

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL**  
**CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**AVALIAÇÃO DE TIPOLOGIAS HABITACIONAIS A PARTIR DA  
CARACTERIZAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS A  
MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

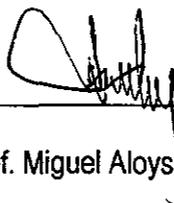
**MÁRCIA ROIG SPERB**

Dissertação apresentada ao corpo docente do Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA.

Porto Alegre

Março/2000

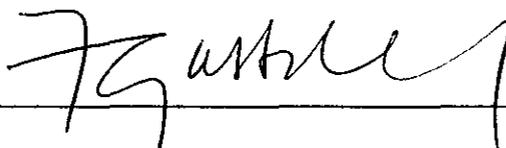
Esta dissertação de mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo orientador e pelo curso de pós-graduação.



---

Prof. Miguel Aloysio Sattler, PhD.

Orientador



---

Prof. Francisco P. S. L. Gastal, PhD.

Coordenador do CPGEC

BANCA EXAMINADORA

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

PhD. – UMIST, Reino Unido.

Prof. Luis Felipe Machado do Nascimento

PhD. - Universidade de Kassel, Alemanha.

Prof. Vanderley Moacyr John

Dr. c/Livre Docência - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Brasil.

*To develop a way of living that is fulfilling and sustainable within nature, we need to rethink our relationships with each other and with the rest of nature.*

WACKERNAGEL e REES (1996)  
(Our ecological footprint : reducing human impact on the earth)

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de deixar os meus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta dissertação de mestrado. De forma especial, agradeço:

- ✓ ao professor Miguel Aloysio Sattler, pela preciosa introdução ao tema de pesquisa e pela segura orientação dada ao longo do desenvolvimento deste trabalho;
- ✓ ao Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB) de forma geral, pela compreensão e fornecimento de todas as informações demandadas por mim sobre a Vila Tecnológica de Porto Alegre;
- ✓ aos responsáveis pelo projeto e pela construção de cada uma das tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre, pela atenção e esclarecimento de todas as questões específicas a cada tipologia;
- ✓ à Glacir Fricke e ao professor Cláudio Pietrobon, pelo essencial intercâmbio de dados sobre conteúdos energéticos de materiais de construção;
- ✓ ao Sr. Neuto Gonçalves Reis, pelo fundamental auxílio a respeito de gastos energéticos em transporte;
- ✓ ao professor Luis Carlos Bonin, pelo interesse sobre o tema de pesquisa e pela valiosa contribuição dada a esta dissertação;
- ✓ aos meus pais, Leda e Jackson, e a minha irmã, Lia, pelo amor, incentivo e apoio dados ao longo de todo o curso de mestrado;
- ✓ ao Paulo, pelo companheirismo e compreensão fundamentais durante todo este tempo;
- ✓ a todos os amigos que estiveram presentes em mais esta etapa da minha vida;
- ✓ e a Capes, por fornecer os recursos financeiros que viabilizaram a realização desta dissertação.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT.....	X
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA.....	1
1.2. PRESSUPOSTOS.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.4. MÉTODO DE PESQUISA.....	4
1.4.1. <i>Revisão bibliográfica</i> .....	4
1.4.2. <i>Delimitações para o estudo de caso</i> .....	4
1.4.3. <i>Estudo de caso</i> .....	5
1.4.4. <i>Avaliação final</i> .....	5
1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	6
1.6. LIMITAÇÕES DA PESQUISA.....	7
<b>2. SUSTENTABILIDADE, IMPACTOS AMBIENTAIS E O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....</b>	<b>8</b>
2.1. SUSTENTABILIDADE E O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL.....	8
2.2. IMPACTOS AMBIENTAIS E O SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL.....	12
2.3. IMPACTOS AMBIENTAIS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	18
2.3.1. <i>Exemplos de métodos de análise de impactos ambientais relacionados com materiais de construção</i> .....	22
<b>3. PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS ENVOLVIDOS DURANTE O CICLO DE VIDA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....</b>	<b>29</b>
3.1. ETAPA DE EXTRAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	29
3.1.1. <i>Exploração de recursos naturais</i> .....	29
3.1.2. <i>Gastos energéticos</i> .....	34
3.1.3. <i>Geração de emissões aéreas poluentes</i> .....	44
3.1.4. <i>Geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos poluentes</i> .....	49
3.2. ETAPA DE TRANSPORTE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	50
3.2.1. <i>Gastos energéticos</i> .....	52
3.2.2. <i>Geração de emissões aéreas poluentes</i> .....	56
3.3. ETAPA DE UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO EM EDIFICAÇÕES.....	59
3.4. ETAPA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO.....	62
3.4.1. <i>Potencial de reutilização</i> .....	63
3.4.2. <i>Potencial de reciclabilidade</i> .....	65
<b>4. DELIMITAÇÕES PARA O ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>74</b>
4.1. DISPOSIÇÕES PRELIMINARES.....	74
4.1.1. <i>O caráter comparativo dos métodos</i> .....	74
4.1.2. <i>Definições utilizadas</i> .....	75
4.2. DELIMITAÇÕES.....	77
4.2.1. <i>Delimitações dos materiais</i> .....	77
4.2.2. <i>Delimitações dos impactos ambientais</i> .....	77
4.3. PONDERAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS.....	79
<b>5. ESTUDO DE CASO.....</b>	<b>80</b>
5.1. OBJETO DE ESTUDO.....	80
5.1.1. <i>Definição de Vila Tecnológica</i> .....	80
5.1.2. <i>Vilas Tecnológicas do Brasil</i> .....	81
5.1.3. <i>Vila Tecnológica de Porto Alegre</i> .....	82
a) <i>Tipologia Habitacional A</i> .....	83
b) <i>Tipologia Habitacional B</i> .....	84

c) Tipologia Habitacional C .....	84
d) Tipologia Habitacional D .....	84
e) Tipologia Habitacional E .....	85
<b>5.2. MÉTODO PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS COM OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS NAS CINCO TIPOLOGIAS HABITACIONAIS .....</b>	<b>85</b>
<b>5.2.1. Coleta de dados iniciais .....</b>	<b>86</b>
a) Coleta de dados gerais .....	86
b) Coleta de dados específicos sobre os materiais de construção utilizados .....	86
<b>5.2.2. Cálculo dos quantitativos de materiais de construção .....</b>	<b>86</b>
a) Paredes .....	88
b) Coberturas .....	91
c) Considerações gerais .....	92
<b>5.2.3. Caracterização inicial dos impactos ambientais .....</b>	<b>93</b>
a) Discriminação do grau de exploração de recursos naturais referente aos materiais de construção utilizados .....	93
b) Discriminação dos conteúdos energéticos dos materiais de construção utilizados .....	94
c) Discriminação dos gastos energéticos em transporte dos materiais de construção desde os seus produtores .....	94
d) Discriminação do potencial de reciclabilidade dos materiais de construção utilizados .....	98
<b>6. ANÁLISE DE RESULTADOS .....</b>	<b>99</b>
<b>6.1. QUANTITATIVOS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SELECIONADOS PARA AS PAREDES E COBERTURAS DAS CINCO TIPOLOGIAS HABITACIONAIS .....</b>	<b>99</b>
<b>6.2. ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES E COBERTURAS DAS CINCO TIPOLOGIAS HABITACIONAIS .....</b>	<b>101</b>
6.2.1. Exploração de Recursos Naturais .....	101
6.2.2. Conteúdo energético .....	104
6.2.3. Gastos energéticos em transporte .....	110
6.2.4. Potencial de reciclabilidade .....	116
6.2.5. Considerações gerais .....	116
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS .....</b>	<b>119</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>122</b>
ANEXO A – Plantas baixas de cada uma das cinco tipologias habitacionais .....	131
ANEXO B - Composições utilizadas de TCPO 10 (1996) .....	136
ANEXO C - Municípios onde se encontram os produtores de cada material selecionado para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais .....	137
ANEXO D - Distâncias entre o município onde se localiza o produtor de cada material e o município de Porto Alegre. ....	138
ANEXO E - Quantitativos dos materiais selecionados para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais .....	139
ANEXO F - Conteúdos energéticos referentes aos materiais selecionados para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais .....	140
ANEXO G - Conteúdos energéticos por unidade de área construída, referentes aos materiais selecionados para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais .....	141
ANEXO H - Gastos energéticos em transporte considerando-se somente a ida dos caminhões (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS) .....	142
ANEXO I - Gastos energéticos em transporte por unidade de área construída, somente a ida dos caminhões (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS) .....	143
ANEXO J - Quantificação do conteúdo energético e dos gastos energéticos em transporte referentes a todos os materiais de construção de uma das tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre. ....	144
ANEXO K - Tipologia A com dois pavimentos: Conteúdos energéticos e Gastos energéticos em transporte (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS) .....	147

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 – Principais etapas do ciclo de vida de materiais de construção. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2 - Conteúdo energético dos materiais selecionados para as paredes. ....</b>	<b>104</b>
<b>Figura 3 - Conteúdo energético dos materiais selecionados para as coberturas. ....</b>	<b>107</b>
<b>Figura 4 – Conteúdos energéticos por unidade de área construída discriminados para as paredes e coberturas. ....</b>	<b>108</b>
<b>Figura 5 – Conteúdos energéticos totais gerais por unidade de área construída para as paredes e coberturas simultaneamente. ....</b>	<b>109</b>
<b>Figura 6 – Gastos energéticos no transporte dos materiais selecionados para as paredes. ....</b>	<b>110</b>
<b>Figura 7 – Gastos energéticos no transporte dos materiais selecionados para as coberturas. ....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 8 – Gastos energéticos em transporte por unidade de área construída discriminados para as paredes e coberturas. ....</b>	<b>113</b>
<b>Figura 9 – Gastos energéticos totais gerais em transporte por unidade de área construída para as paredes e coberturas simultaneamente. ....</b>	<b>113</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 - Previsão do uso remanescente de recursos não renováveis. ....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 2 - Previsão do uso remanescente de alguns recursos não renováveis. ....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 3 - Avaliação qualitativa de materiais de construção em relação aos recursos naturais não renováveis necessários para sua produção.....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 4 – Índices energéticos de materiais de construção.....</b>	<b>42</b>
<b>Tabela 5 – Emissões aéreas causadas devido a utilização de alguns combustíveis. ....</b>	<b>46</b>
<b>Tabela 6 – Gastos energéticos em transportes de carga no brasil.....</b>	<b>55</b>
<b>Tabela 7 - Fatores de emissão de poluentes aéreos de veículos a diesel. ....</b>	<b>59</b>
<b>Tabela 8 – Comparação do processamento primário e secundário do alumínio. ....</b>	<b>67</b>
<b>Tabela 9 – Ganhos energéticos de alguns materiais com a reciclagem.....</b>	<b>67</b>
<b>Tabela 10 – Potencial de reciclabilidade de materiais de construção básicos. ....</b>	<b>69</b>
<b>Tabela 11 - Caracterização geral das vilas tecnológicas do brasil.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabela 12 - Características gerais das cinco tipologias habitacionais estudadas.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabela 13 - Argamassas de assentamento e revestimento de paredes de blocos cerâmicos.....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 14 - Massas aparentes utilizadas para argamassa. ....</b>	<b>88</b>
<b>Tabela 15 - Características das argamassas de assentamento e revestimento de paredes de blocos de concreto.....</b>	<b>89</b>
<b>Tabela 16 - Características da argamassa de assentamento de azulejos para a tipologia e.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabela 17 - Massas aparentes utilizadas para concreto.....</b>	<b>90</b>
<b>Tabela 18 - Massas aparentes utilizadas para madeiras.....</b>	<b>92</b>
<b>Tabela 19 - Quantitativos dos materiais de paredes e cobertura, respectivamente em unidades de massa por unidade de área de paredes ou por unidade de área de projeção horizontal da cobertura. ....</b>	<b>99</b>
<b>Tabela 20 - Quantitativos totais dos materiais selecionados para as paredes e cobertura.....</b>	<b>100</b>
<b>Tabela 21 – Gastos energéticos em transporte e os respectivos conteúdos energéticos, em termos dos materiais utilizados para as paredes.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabela 22 – Gastos energéticos em transporte e os respectivos conteúdos energéticos, em termos dos materiais utilizados para as coberturas.....</b>	<b>115</b>
<b>Tabela 23 – Gastos energéticos totais em transporte e os respectivos conteúdos energéticos, em termos dos materiais utilizados para as paredes e coberturas. ....</b>	<b>115</b>

## RESUMO

As questões ambientais tem sido cada vez mais discutidas mundialmente. O consumo indiscriminado de recursos materiais e energéticos, assim como a elevada geração de poluentes para o ar, água e terra, são exemplos de impactos ambientais relacionados à ação humana no planeta. Simultaneamente, existe uma crescente evidência de que a carga humana imposta aos ecossistemas têm sido muito elevada em diversas regiões, e se não houver algum controle, este fato pode resultar em uma degradação irreversível da ecosfera.

Considerando este contexto, esta dissertação possui como objetivo geral comparar algumas tipologias habitacionais, em termos de impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de materiais de construção. Além disto, outros objetivos são: estudar alguns métodos específicos de análise ambiental e caracterizar os principais impactos ambientais relacionados a cada etapa do ciclo de vida de materiais de construção.

Uma ampla revisão bibliográfica e então algumas delimitações para possibilitar um estudo de caso foram realizadas. Por fim, os materiais de construção selecionados para as paredes e coberturas das tipologias foram analisados, em termos da exploração de recursos naturais, conteúdo energético, consumo energético durante o transporte e potencial de reciclabilidade apresentado por estes materiais.

Alguns dos principais resultados finais demonstraram que alguns dos materiais de construção selecionados para as tipologias habitacionais exigem matérias-primas já escassas no planeta. O conteúdo energético e o consumo energético durante o transporte dos materiais de construção apresentaram valores significativamente diferentes entre as tipologias e entre si. A maioria dos materiais selecionados podem ser reciclados, com algumas exceções. Enfim, o tema de pesquisa demonstrou elevada relevância.

## ABSTRACT

The environmental issues are becoming more and more discussed world-wide. The indiscriminate consumption of material and energy resources, as well as the high generation of pollutants to the air, water and earth, are examples of environmental impacts related to the human action on the planet. Simultaneously, there is growing evidence that the human load imposed to the ecosystems have been too high in several regions, and if there will not be any control, this fact can result in a irreversible degradation of the ecosphere.

Considering this scenario, this dissertation has as general goal to compare some housing typologies, in terms of environmental impacts related to the building materials life cycle. Besides, secondary goals are: to study some specific methods of environmental analyses and to characterize the main environmental impacts related to each stage of the building materials life cycle.

A large bibliographic review and then some delimitation to make possible a case study were done. At last, the building materials selected to the walls and roofs of the typologies were analyzed, in terms of the natural resources exploitation, embodied energy, energy consumption during the transport and recyclability potential presented by these materials.

Some of the main final results demonstrated that some of the building materials selected to the housing typologies require raw-materials already scarce in the planet. The embodied energy and the energy consumption during the transport of the building materials presented values expressively different among the typologies and between themselves. The majority of the materials selected can be recycled, with some exceptions. At last, the research theme demonstrated huge relevance.

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. JUSTIFICATIVA DA PESQUISA

Esta dissertação está inserida no amplo contexto de desenvolvimento sustentável. Resumidamente, desenvolvimento sustentável pode ser definido como uma filosofia para o desenvolvimento da sociedade humana a partir de alguns princípios básicos relacionados a preocupações com as gerações futuras, com a parcela da população de baixo poder econômico, com a participação da população nas decisões que a afeta e com a integridade dos ecossistemas terrestres (MITCHELL et al. apud CURWELL et al., 1997).

Dando ênfase aos aspectos ambientais que estão inseridos no conceito de desenvolvimento sustentável, LYLE (1994) afirma que atualmente convive-se com vários sinais de que o ambiente natural não se encontra tão saudável como deveria, tanto a nível global quanto local. Entre esses sinais, pode-se citar os altos níveis de poluição aérea, a crescente quantidade de resíduos sólidos e líquidos, os altos consumos energéticos, a elevada utilização de recursos naturais e a dificuldade cada vez maior em encontrar locais para depósito de lixo. Simultaneamente, observa-se o aumento do efeito de aquecimento global do planeta, a redução da camada de ozônio, a crescente geração de chuva ácida e de fumaça fotoquímica, dentre vários outros impactos ambientais.

Recentes estatísticas globais de desflorestamento, desertificação, erosão do solo, perda do habitat natural, dentre outras patologias terrestres, demonstram claramente o consumo indiscriminado de recursos naturais e a conseqüente elevada geração de resíduos. Inserido neste contexto, LYLE (1994) afirma que cerca de 61 % da superfície terrestre está atualmente sendo modificada pela ação do ser humano, e os 39 % restantes que ainda permanecem no seu estado natural referem-se principalmente a áreas glaciais ou desérticas.

Neste sentido, BALDWIN et al. (1998) afirmam que as questões ambientais tem se tomado cada vez mais importantes no contexto do desenvolvimento sustentável e que o setor da construção é um dos grandes responsáveis por vários impactos ambientais. Como pode ser visto no BULLETIN CIEF (1999), vários pesquisadores estão buscando atualmente identificar e conseqüentemente reduzir

os impactos ambientais relacionados com a indústria da construção civil, demonstrando a importância do tema. Alguns autores já apresentam métodos para análise ambiental de todo o ciclo de vida de edificações, caracterizado principalmente pelas etapas de projeto, construção, manutenção, e posterior demolição, por possuir relevantes implicações no consumo de recursos naturais, na geração de resíduos, enfim em impactos sobre o meio ambiente. Somente para fins de exemplificação, pode-se citar os métodos apresentados por COLE e LARSSON (1998), ANGIOLETTI et al. (1996) e BALDWIN et al. (1998), que também salientam a relevância das etapas iniciais de planejamento e projeto de uma edificação, onde a existência de ferramentas, que possibilitem avaliar se as decisões de projeto estão se encaminhando contra ou a favor da preservação do meio ambiente, torna-se imprescindível.

HANSEN e PETERSEN (1998) afirmam que a primeira geração de métodos de análise ambiental de edificações surgiu no início dos anos 90, e que mais atualmente também tem ocorrido o surgimento de métodos de análise ambiental específicos ao ciclo de vida de materiais de construção, salientando que cada etapa da vida destes materiais também está relacionada a determinados impactos ambientais. Ainda segundo HANSEN e PETERSEN (1998), o surgimento destes métodos específicos para materiais de construção deve-se a constatação do elevado consumo destes materiais, e dos gastos energéticos, das emissões poluentes, dos resíduos sólidos, dentre outros fatores associados ao seu ciclo de vida, sendo todos responsáveis pela geração de impactos ambientais. Como algumas referências sobre o consumo de materiais de construção, HANSEN e PETERSEN (1998) salientam que é consumida, em média, aproximadamente uma tonelada por metro quadrado construído ( $1,00 \text{ t/m}^2$ ) na Dinamarca. PINTO (1989) demonstra que a edificação brasileira analisada em sua pesquisa também atingiu um valor em torno de  $1,00 \text{ t/m}^2$ . Segundo consta em um relatório do DETR (UK, 1998), é necessário reduzir a exploração de recursos naturais para a produção materiais de construção através de estratégias de minimização do consumo, maximização da reciclagem e reutilização de materiais e componentes de edificações, etc.

Dentre alguns métodos para análise ambiental do ciclo de vida de materiais de construção, pode-se citar aqueles apresentados por ANINK et al. (1996), LAWSON (1996), LIPPIATT (1998) e em GREEN BUILDING DIGEST (1995-). Todos estes métodos defendem a seleção de materiais de construção que representem o menor impacto ambiental durante o seu ciclo de vida, estimulando os melhores produtos e práticas da indústria manufatureira, abrindo caminho para a inclusão de considerações ambientais na fase de escolha dos materiais a serem utilizados na construção de edificações (por exemplo, tipologias habitacionais) e conseqüentemente minimizando impactos ambientais. Contudo, observa-se que a dispersão e escassez de dados representa um dos maiores

problemas atuais para a concretização de uma seleção que realmente resulte em um menor impacto ambiental total.

Desta forma, apesar da constatação da existência de uma grande preocupação mundial quanto aos impactos ambientais gerados pelo setor da construção civil e especificamente em relação aos materiais utilizados, observa-se que os métodos de análise ambiental estudados não apresentam uma avaliação completa de todos os possíveis impactos ambientais, sendo normalmente salientados somente alguns dos impactos ambientais em cada método. Além disto, na maioria das vezes, avaliações ambientais são realizadas somente a nível qualitativo. Concluindo-se, portanto, que existe uma grande necessidade de discussão e desenvolvimento deste tema de pesquisa.

## 1.2. PRESSUPOSTOS

Como principais pressupostos para a realização do trabalho tem-se que:

- ⇒ cada etapa do ciclo de vida de materiais de construção está relacionada a relevantes impactos ambientais passíveis de uma caracterização;
- ⇒ os métodos de análise ambiental do ciclo de vida de materiais de construção, que estão sendo desenvolvidos atualmente, constituem-se num referencial adequado para a comparação ambiental de alternativas de materiais;
- ⇒ as edificações podem ser responsáveis por diferentes impactos ambientais durante o seu ciclo de vida de acordo com vários fatores, dentre os quais destacam-se os materiais de construção utilizados.

## 1.3. OBJETIVOS

Esta dissertação possui como objetivo geral:

- ⇒ comparar as cinco tipologias habitacionais presentes na Vila Tecnológica da cidade de Porto Alegre, em termos de impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de materiais de construção selecionados.

Como objetivos secundários, busca-se:

- ⇒ avaliar alguns métodos de análise ambiental do ciclo de vida de materiais de construção encontrados na bibliografia disponível;
- ⇒ caracterizar os principais impactos ambientais relacionados a cada uma das etapas do ciclo de vida de materiais de construção, ou seja, desde a extração de matérias-primas, passando pela manufatura, transporte e utilização de materiais de construção, até a disposição final destes materiais.

## 1.4. MÉTODO DE PESQUISA

### 1.4.1. Revisão bibliográfica

Inicialmente, realiza-se uma revisão bibliográfica sobre as relações entre o conceito de sustentabilidade, impactos ambientais e o setor da construção civil. Logo após, realiza-se uma revisão bibliográfica especificamente sobre as relações entre impactos ambientais e materiais de construção, observando exemplos de métodos de análise de impactos ambientais relacionados com o ciclo de vida destes materiais e simultaneamente buscando enfatizar a utilização de dados compatíveis com a realidade brasileira. Salienta-se que foram caracterizados os principais impactos ambientais envolvidos em cada etapa do ciclo de vida de materiais de construção, sendo também adotados princípios ambientais básicos a serem considerados durante a seleção de materiais de construção.

### 1.4.2. Delimitações para o estudo de caso

A partir da avaliação dos dados obtidos através da revisão bibliográfica, busca-se delimitar as etapas do ciclo de vida de materiais de construção e os impactos ambientais possíveis de serem analisados nesta dissertação. Estas delimitações ocorreram devido a escassez de determinados dados por parte da bibliografia pesquisada. Além disto, seleciona-se para o estudo somente os materiais de construção que formam as paredes e a cobertura das tipologias habitacionais a serem comparadas, devido principalmente as características intrínsecas das mesmas.

### **1.4.3. Estudo de caso**

Após a delimitação dos impactos ambientais e dos materiais de construção a serem estudados na presente dissertação, realiza-se um diagnóstico preliminar das cinco tipologias habitacionais da Vila Tecnológica da cidade de Porto Alegre através de:

- a) coleta de dados gerais e específicos, buscando-se a caracterização dos materiais de construção selecionados, através de contato com o Departamento Municipal de Habitação (DEM HAB) e com os responsáveis pelo projeto e pela construção de cada uma das cinco tipologias habitacionais;
- b) cálculo dos quantitativos dos materiais selecionados para a construção das paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais, em unidade de massa (kg).

Após a caracterização dos materiais de construção a serem utilizados em cada uma das tipologias habitacionais em estudo, determina-se:

- a) as matérias-primas básicas para produção de cada um dos materiais, e conseqüentemente o grau de exploração de recursos naturais;
- b) o potencial de reciclabilidade dos materiais de construção selecionados.

Após a caracterização e quantificação dos materiais de construção a serem utilizados em cada uma das tipologias habitacionais em estudo, obtém-se:

- a) o conteúdo energético, através da simples multiplicação de cada quantitativo de material de construção pelo seu respectivo índice energético;
- b) os gastos energéticos com o transporte, através da localização dos prováveis produtores de cada material, juntamente com a adoção de coeficientes de gastos energéticos adequados.

### **1.4.4. Avaliação final**

Por fim, compara-se as cinco tipologias habitacionais presentes na Vila Tecnológica da cidade de Porto Alegre, em termos dos grupos de materiais e impactos ambientais delimitados anteriormente.

## 1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, sendo que o primeiro consiste na introdução, onde são apresentadas além da justificativa para a pesquisa, os pressupostos, objetivos, método e limitações de pesquisa.

O capítulo 2, por sua vez, introduz a revisão bibliográfica, apresentando inicialmente as relações entre sustentabilidade, impactos ambientais e o setor da construção civil e, posteriormente, especificando as relações entre impactos ambientais e materiais de construção, através da discussão de alguns métodos de análise de impactos ambientais relacionados com o ciclo de vida destes materiais.

O capítulo 3 caracteriza os principais impactos ambientais envolvidos em cada etapa do ciclo de vida de materiais de construção, ou seja, durante a extração de suas matérias-primas, manufatura, transporte e utilização de materiais de construção, e por fim, durante a disposição final destes materiais. Ao longo deste capítulo, apresenta-se alguns princípios ambientais que devem ser examinados durante a escolha de materiais de construção, e além disto, em alguns casos ainda apresenta-se uma classificação ambiental entre materiais de construção básicos. Salienta-se também que sempre se buscou enfatizar a utilização de dados compatíveis com a realidade brasileira.

O capítulo 4 apresenta as delimitações das etapas do ciclo de vida, impactos ambientais e materiais de construção passíveis de serem analisados durante o estudo de caso. Abordam-se também aspectos de ponderação dos impactos ambientais, com base em resultados da revisão bibliográfica.

O capítulo 5 inicia-se com a definição de Vila Tecnológica, apresentando simultaneamente alguns dados sobre as Vilas Tecnológicas do Brasil. Logo após, apresenta o estudo de caso propriamente dito, através da caracterização das cinco tipologias habitacionais em questão e da exposição detalhada do método utilizado para análise ambiental comparativa das mesmas.

No capítulo 6 pode-se observar os principais resultados obtidos a partir da comparação das tipologias habitacionais, em termos de impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida dos materiais de construção utilizados em suas paredes e coberturas.

Por fim, o capítulo 7 apresenta algumas considerações finais, assim como sugestões para colaborar com o prosseguimento das pesquisas nesta área.

## 1.6. LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Como principais limitações desta dissertação, observa-se que:

- a análise de ciclo de vida abordada restringe-se a sua base conceitual, não sendo realizada a aplicação da ferramenta de análise de ciclo de vida, que ainda se encontra em fase de desenvolvimento por vários pesquisadores mundiais;
- pelo fato do tema de pesquisa ser relativamente novo, muitos dos estudos desenvolvidos até o momento ainda apresentam resultados dispersos, dificultando a análise conjunta dos mesmos;
- a grande maioria das referências bibliográficas apresentam uma abordagem geral dos impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida de materiais de construção, não sendo tratados especificamente para cada material;
- as poucas referências bibliográficas que abordam os impactos ambientais especificamente para cada material de construção, normalmente são de origem estrangeira e apresentam uma análise qualitativa e superficial dos impactos. Constata-se, então, a existência de dificuldades de adaptação de determinados valores de impacto ambiental para a realidade brasileira, e dificuldades em quantificar o impacto ambiental de uma edificação em termos dos seus vários tipos de materiais de construção, com respectivos vários impactos ambientais, devido ao fato desses se apresentarem em sua maioria de forma superficial e qualitativa;
- no estudo de caso, as tipologias habitacionais não são avaliadas sob aspectos de desempenho estrutural, arquitetônico, etc., sendo realizada somente uma análise dos impactos ambientais relacionados aos materiais de construção utilizados;
- no estudo de caso, somente são avaliados aqueles impactos ambientais envolvidos ao longo do ciclo de vida de materiais de construção, que puderam ser detalhados a tal ponto de possibilitar uma classificação ambiental entre materiais de construção básicos.

## 2. SUSTENTABILIDADE, IMPACTOS AMBIENTAIS E O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

### 2.1. SUSTENTABILIDADE E O SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo BRANDON (1998), talvez a definição de desenvolvimento sustentável mais largamente divulgada atualmente seja aquela definida pela *“United Nations World Commission on Environment and Development”*, em 1987, através do documento intitulado *“Our Common Future”*, também conhecido como *“The Brundtland Report”*. Este documento define desenvolvimento sustentável como aquele que permite o suprimento das necessidades humanas atuais sem comprometer as necessidades das futuras gerações, e complementa que o desenvolvimento sustentável representa um processo de mudança onde a exploração de recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional devem estar em harmonia e devem aumentar o potencial de suprimento das necessidades e aspirações humanas.

Porém, BRANDON (1998) salienta que existem incertezas sobre os limites estabelecidos para as palavras “necessidades” e “harmonia” utilizadas anteriormente, não se sabendo exatamente o que elas significam. Além disto, acrescenta que o termo sustentabilidade abrange toda a existência humana e a complexidade das inter-relações que formam o universo, sendo que as milhares de combinações entre fatos resultam em modificações das conclusões possíveis de serem alcançadas, demonstrando as dificuldades para se definir sustentabilidade. BRANDON (1998), portanto, acredita que deve-se desenvolver uma definição mais detalhada dos componentes que contribuem para a sustentabilidade, que representam esta filosofia, e, a partir disto, definir critérios para sua avaliação. Afirma ainda que avaliações pontuais, caracterizadas pela análise de somente alguns dos componentes que contribuem para a sustentabilidade, já representam um ponto de partida essencial para o avanço no tema.

Neste sentido, CURWELL et al. (1997) apresentam o trabalho do grupo de pesquisa denominado *Building Environmental Quality Evaluation for Sustainability through Time* (BEQUEST), criado em 1995. Este grupo possui como objetivo principal avaliar a qualidade do ambiente urbano, sob várias escalas, desde o projeto de componentes de uma edificação até o planejamento urbano de uma cidade, e identificar uma base para o entendimento e implementação de um desenvolvimento urbano

sustentável. Este grupo de pesquisa é caracterizado por um trabalho multidisciplinar, sendo formado por representantes das etapas de projeto, uso e manutenção do ambiente construído.

CURWELL et al. (1997), a partir da constatação de que os termos "sustentabilidade" e "desenvolvimento sustentável" são referenciados em várias pesquisas sob significados diversos, apresentam algumas definições que refletem a visão do grupo BEQUEST. Desta forma, iniciam comentando as definições baseadas nas leis da termodinâmica propostas por Karl-Henrik Robert, em 1991, também levantadas por ASHWORTH (1998). A primeira lei da termodinâmica e o princípio de conservação da matéria afirmam que matéria e energia não podem ser criadas ou destruídas. Segundo ASHWORTH (1998), isto pode significar, por exemplo, extrair recursos naturais sem ultrapassar a velocidade de renovação geológica da natureza e não explorar ecossistemas de tal forma que prejudique a sua capacidade produtiva ou a sua biodiversidade. Já a segunda lei da termodinâmica afirma que os processos naturais apresentam um sentido preferencial de ocorrência, tendendo o sistema espontaneamente para um equilíbrio. Segundo ASHWORTH (1998), isto pode significar que toda matéria introduzida na sociedade tenderá a voltar aos sistemas naturais de onde foi extraída e que deve-se eliminar a produção de compostos artificiais persistentes de difícil reintegração na natureza. Resumidamente, apesar de realizar associações superficiais a partir das leis da termodinâmica, esta abordagem demonstra grande preocupação no uso moderado e eficiente de recursos naturais para suprir as necessidades do ser humano, assim como na sua posterior reincorporação na natureza.

STAHEL et al. apud CURWELL et al. (1997), por sua vez, apresentam uma segunda definição de sustentabilidade, onde abordam o termo "desenvolvimento sustentável" demonstrando grandes preocupações em reduzir os processos de produção lineares, buscando minimizar o consumo de recursos naturais, assim como a produção de resíduos. Esta abordagem prioriza os processos cíclicos, através da maximização do tempo de vida útil dos produtos, da sua reutilização, reciclagem, adaptação a novas demandas da sociedade ao longo do tempo, dentre outros. Desta forma, processos naturais cíclicos podem ser definidos, em resumo, como aqueles onde os resíduos gerados tomam-se novamente recursos fechando-se um ciclo produtivo.

MIYATAKE (1996) acrescenta que a mudança de um processo linear para um processo cíclico poderá significar uma maximização do aproveitamento de matérias-primas e resíduos. LYLE (1994), por sua vez, também incentiva a realização de projetos regenerativos, compostos por processos de produção cíclicos fechados. Afirma que o homem tem utilizado recursos naturais e gerado resíduos sólidos, líquidos e gasosos acima do poder de regeneração da natureza, criando grandes impactos ambientais ao planeta, e que este cenário deve ser combatido.

Nota-se que as duas últimas definições de sustentabilidade comentadas apresentam aspectos muito semelhantes, enfocando nos dois casos, preocupações com o uso de recursos naturais e com a destinação dos resíduos produzidos. Uma terceira abordagem sobre desenvolvimento sustentável analisada por CURWELL et al. (1997), originalmente apresentada por WACKERNAGEL e REES (1996), introduz o conceito de “pegada ecológica”, a qual corresponde a uma estimativa dos requisitos de consumo de recursos e de assimilação dos resíduos de uma determinada população ou economia humana, em termos da área de terra produtiva necessária para tal. Esta abordagem é representada pela definição da máxima carga que pode ser seguramente e persistentemente imposta sobre a ecossfera pelo homem, onde afirma-se que, para suprir as necessidades humanas, não deve ser preciso ultrapassar a capacidade do ecossistema local. Este conceito, também comentado por BARRETT (1999), objetiva reduzir o consumo de recursos naturais, fazer com que sua provisão seja feita de forma local ou regional, assim como a disposição final local ou regional dos resíduos produzidos. Deve-se sempre ter como princípio básico suprir localmente a maior quantidade possível das necessidades humanas, propiciando um contato imediato entre a população e os impactos gerados pelas suas escolhas, dentre vários outros benefícios.

Por fim, MITCHELL et al. apud CURWELL et al. (1997) apresentam uma quarta abordagem, definindo quatro princípios básicos que devem, em conjunto, determinar um desenvolvimento sustentável, sendo referentes a preocupações com:

- as gerações futuras;
- a proteção da integridade dos ecossistemas;
- a população economicamente pobre;
- a participação da população nas decisões que a afeta.

Desta forma, observa-se que as preocupações ambientais são muito relevantes, porém são simplesmente um componente de um contexto maior representado pelo termo “desenvolvimento sustentável”, como divulgado por MITCHELL et al. apud CURWELL et al. (1997). SEADEN e MANSEAU (1998) comentam que tem havido uma preocupação crescente com vários sintomas ambientais, como por exemplo o desflorestamento, a desertificação e a emissão de gases que aumentam o efeito de aquecimento global do planeta e provocam a redução da camada de ozônio, e que simultaneamente a isto, tem surgido indagações sobre a adequação das atuais estratégias políticas, econômicas e tecnológicas com respeito às complexidades do conceito de sustentabilidade. Acrescentam também que outras formas de abordagens devem ser propostas dentro desta nova

realidade, como uma maior preocupação com a parcela pobre da população, e concluem que a implementação do conceito de desenvolvimento sustentável exige novas formas de pensar.

Somente para fins de exemplificação da necessidade destas novas formas de pensar, CURWELL et al. (1997) acrescentam que, através da aplicação de questionários, constatou-se, numa amostra de indivíduos pesquisada, uma tendência dos profissionais diretamente relacionados à construção civil a se preocuparem mais com aspectos que envolvem o futuro e o meio ambiente, e menos com a parcela pobre da população e com a participação das pessoas na tomada de decisões. Neste sentido, salienta-se que as avaliações exclusivamente ambientais de edificações isoladas, que vêm ocorrendo ultimamente, precisam se tornar muito mais completas, buscando abranger todos os quatro princípios básicos abordados anteriormente e não somente o princípio ambiental, para atingir uma efetiva interface com critérios de sustentabilidade numa escala maior como a urbana.

Neste sentido, BARRETT et al. (1998) apresentam os principais tópicos estudados em uma pesquisa, que possuiu como uns de seus objetivos a definição de desenvolvimento sustentável, a definição de critérios para avaliação do mesmo, a definição dos principais fatores envolvidos e o entendimento das interações entre estes fatores, sempre com ênfase ao setor da construção civil. Esta pesquisa foi realizada através da aplicação de questionários a alguns pesquisadores internacionais do tema em questão, em um processo iterativo, atingindo-se para cada tópico abordado um consenso final do grupo de pesquisadores. A definição de sustentabilidade resultante da pesquisa foi a seguinte:

*Desenvolvimento sustentável promove, através de mudanças nos sistemas de valores e políticas da sociedade, uma Terra saudável e produtiva, e uma qualidade de vida social e econômica para todos, tanto no presente como no futuro. Para alcançar isto fisicamente, os seguintes princípios ecológicos precisam ser cumpridos: emissões poluentes não devem exceder a capacidade de assimilação da Terra; o índice de utilização de recursos renováveis não deve exceder o seu índice de regeneração; e o índice de utilização de recursos não renováveis não deve exceder o índice em que substitutos renováveis possam ser encontrados.*

Para exemplificar iniciativas governamentais nesta área, pode-se discutir o caso do governo britânico, que tem demonstrado grandes preocupações quanto a aspectos sustentáveis relacionados ao setor da construção civil, por considerar que esse exerce um importante impacto na sociedade e no meio ambiente. O conceito de desenvolvimento sustentável aceito também representa a necessária visão ampla do tema, incluindo o reconhecimento das necessidades de todos os cidadãos, a efetiva proteção do meio ambiente e a manutenção de elevados e estáveis níveis de crescimento econômico (UNITED KINGDOM, 1998). Desta forma, observa-se que devem ser tomados cuidados ao se referenciar o termo sustentabilidade, sendo este mais amplo que somente preocupações ambientais.

## 2.2. IMPACTOS AMBIENTAIS E O SETOR DE CONSTRUÇÃO CIVIL

Demonstrando uma grande preocupação com o meio ambiente, LYLE (1994) e UHER e LAWSON (1998) afirmam que existe crescente evidência de que a habilidade do planeta Terra em sustentar formas de vida tem sido reduzida, particularmente após a Revolução Industrial. Os mesmos autores acrescentam que, se não houver algum controle, este fato resultará em uma degradação irreversível do planeta, de seus ecossistemas e de seus recursos naturais, reduzindo a qualidade de vida de seus habitantes. Formas atuais de existência humana têm contribuído para uma elevada exploração de recursos naturais considerados renováveis, como a terra e as florestas, e para a redução de recursos consideráveis não renováveis, como os minerais e os combustíveis fósseis. A geração de emissões de gás carbônico acima da capacidade de assimilação pela natureza, a redução da camada de ozônio, a contaminação do ar, água e terra e a degradação de todo ecossistema terrestre são também fatos aparentes.

COLE e ROUSSEAU (1992) acrescentam que, ao contrário do que ocorria até pouco tempo atrás, a utilização de recursos está sendo atualmente discutida também sob o ponto de vista ambiental, além do ponto de vista econômico, particularmente dentro do contexto de grandes efeitos ambientais como o aquecimento global, a redução da camada de ozônio e a poluição local. Uma recente proposta da Comunidade Européia visa acelerar as ações reparadoras relacionadas às mudanças climáticas, à redução da camada de ozônio, à acidificação, à questão dos resíduos, ruídos, transporte e energia, sendo que outras organizações também realçam estas questões (*Department of the Environment* apud PARROTT, 1998). HUMBERG (1991) salienta a importância da conservação da vitalidade e diversidade de ecossistemas e da obediência aos limites de capacidade suporte do planeta Terra.

No entanto, UHER e LAWSON (1998) acrescentam que, dependendo da região e freqüentemente também de questões políticas, a importância de tais fenômenos nem sempre é reconhecida, e que além disto, na maioria das vezes somente dados insuficientes ou inconclusos estão disponibilizados para análises de problemas ambientais. UHER e LAWSON (1998) ainda afirmam que, apesar de já existirem alguns avanços no tratamento das questões ambientais, a grande mudança esperada para o futuro é a mobilização de cada indivíduo para a preservação ambiental. Isto pode significar, a nível individual, a redução do consumo de água e energia, a preferência por produtos reciclados, a redução das embalagens de produtos em geral, dentre várias outras ações. Num nível regional ou nacional, espera-se mudanças mais abrangentes como a redução das emissões poluentes, o uso de fontes alternativas de energia, dentre outros.

Inserido neste contexto geral, LIPPIATT (1998) afirma que o setor da construção civil é um dos mais importantes. O setor é responsável, por exemplo, pelo consumo de aproximadamente 40% de pedra britada, cascalho e areia utilizados globalmente a cada ano. Segundo COLE e LARSSON (1998) a construção, manutenção e operação das edificações exigem uma grande quantidade de recursos renováveis e não renováveis, dentre os quais encontram-se os recursos energéticos, territoriais, hídricos, e materiais. Por exemplo, em termos de recursos territoriais, observa-se a contínua degradação de terras biologicamente produtivas através da urbanização. Em termos de recursos materiais, a extração, transformação, uso e disposição final dos mesmos possuem um custo ambiental, como a destruição de habitats naturais, exploração de recursos, utilização de energia, poluição do ar, poluição da água e problemas com os resíduos sólidos. COLE e LARSSON (1998) ainda acrescentam que os resíduos sólidos produzidos tanto durante a construção quanto durante a demolição de edificações, normalmente destinam-se para depósitos de lixo urbano, sendo que estes depósitos exigem uma área considerável, muitas vezes inserida na zona urbana, gerando vários problemas.

Segundo CASALS et al. (1998) o processo de construção, muitas vezes, não é considerado como um processo que agride significativamente o meio ambiente, quando comparado com as indústrias têxteis, metalúrgicas, dentre outras. Contudo, CASALS et al. (1998) acrescentam que a construção de edificações implica na extração de matérias-primas, consumo de energia, geração de resíduos, etc., assim como ocorre nas demais indústrias, e que portanto também deve ser estudado. Neste sentido, LARSSON (1996) afirma que devem existir fortes alianças entre os governantes políticos e a indústria da construção civil, para fins de consolidação de reais avanços na área ambiental, ou seja, para a melhoria da performance ambiental de edificações em geral.

Em termos de atuais avanços ambientais relacionados ao setor da construção civil, observa-se que já existem alguns métodos de análise de impactos ambientais relacionados a uma edificação, sendo que a maioria deles baseia-se no conceito de análise de ciclo de vida. Esse tipo de análise caracteriza-se basicamente por analisar um produto do "berço ao túmulo" (*cradle-to-grave*), ou seja, desde a concepção, passando pelo projeto, construção, utilização, manutenção, recuperação e chegando até a sua disposição final, pois todos os estágios de vida de um produto podem gerar impactos ambientais, e devem então ser analisados.

Segundo COLE e LARSSON (1998) e PEUPORTIER e PEDREGAL (1998), o conceito de análise de ciclo de vida tem sido amplamente aceito dentro da comunidade de pesquisadores da área ambiental como uma definição básica para efeitos de comparação entre materiais, componentes e serviços alternativos, consistindo também numa base para formulação de métodos de análise

ambiental. Entretanto, muitas vezes a análise de ciclo de vida de um determinado produto pode ser complexa pelas suas próprias características, e além disto, quando considera-se uma edificação como o produto a ser analisado, deve-se realizar uma avaliação simultânea de vários outros produtos e serviços que compõem esta edificação, elevando ainda mais o grau de complexidade da análise de ciclo de vida.

Sobre a análise de ciclo de vida de edificações, PARROTT (1998) acrescenta que, no Reino Unido, as maiores preocupações sobre os impactos ambientais relacionados à construção civil são voltadas para a etapa de utilização das edificações, devido particularmente à elevada energia gasta para fornecer conforto térmico nos seus interiores e aos gastos energéticos em transporte entre as edificações pelo planejamento urbano adotado. Porém, conclui que uma avaliação dos impactos ambientais envolvidos na construção de edificações e na produção de materiais de construção também é necessário e, para tanto, requer pesquisa, a fim de se determinar um grupo de indicadores ambientais e métodos de análise onde os resultados possam ser avaliados de forma transparente.

Neste sentido, MINKE (1997) afirma que o projeto de uma edificação deve contemplar princípios ambientais básicos como por exemplo a economia dos recursos naturais e a minimização do consumo energético e da poluição ambiental, durante todo o ciclo de vida da mesma, ou seja, desde a produção dos materiais de construção, o processo de construção, o tempo de ocupação da edificação até a sua demolição, reciclagem e disposição final de suas partes. ANGIOLETTI et al. (1996) acrescentam que os efeitos de curto e longo prazo das decisões tomadas durante o ciclo de vida das edificações, incluindo a destinação dos resíduos após demolição, devem ser criteriosamente avaliados.

Ainda enfatizando a análise do ciclo de vida de edificações, ANGIOLETTI et al. (1996) apresentam alguns princípios básicos para conceber uma edificação na lógica de um desenvolvimento sustentável. Dentre as principais preocupações ambientais abordadas, salienta-se:

- ⇒ a mínima exploração de recursos naturais (matérias-primas e combustíveis fósseis), durante as fases de projeto, construção e utilização de edificações;
- ⇒ a facilidade de renovação ou reforma da edificação, permitindo que a mesma se adapte às novas exigências dos usuários e permitindo uma minimização do consumo de recursos materiais e da geração de resíduos sólidos, durante a fase de utilização de edificações;
- ⇒ a facilidade de desmontagem parcial ou total de edificações, para posterior reutilização de componentes e reciclagem dos materiais, durante a fase de reabilitação ou demolição final.

Neste sentido, SPEARE (1995) ressalta que, além da relevância em reutilizar e reciclar materiais de construção, deve-se também reconhecer que a recuperação e reforma de edificações inteiras são muitas vezes preferíveis à demolição da mesma para construção de uma nova edificação. Ter uma visão de longo alcance durante o projeto de edificações significa projetar uma edificação flexível, facilmente adaptável a mudanças no tipo de uso e facilmente *desmontável*.

Os prédios antigos representam grandes investimentos de materiais e trabalho, entretanto, muitos edifícios são demolidos antes que sua vida útil tenha atingido o fim, por não mais satisfazerem aos critérios econômicos e de moda. A conservação de toda a edificação ou da maioria dos seus elementos representa uma estratégia básica de conservação para preservar o caráter urbano, reduzir os depósitos de entulho e minimizar o uso de novos materiais (COLE e LARSSON, 1998). Inserido neste contexto, observa-se em UNITED KINGDOM (1998) que esta é uma das principais prioridades do governo britânico quanto às suas preocupações ambientais relacionadas ao setor de edificações. Nota-se ainda a preocupação em incentivar a reutilização de materiais e a redução de resíduos sólidos produzidos durante a construção e demolição de edificações.

Por sua vez, WILSON e MALIN (1995) apresentam uma lista com dez diretrizes básicas para fins de minimização dos impactos ambientais totais relacionados a edificações. Estas diretrizes são referentes ao projeto e construção de edificações energeticamente eficientes, ao aproveitamento de prédios já existentes, ao projeto de comunidades que exijam uma menor dependência de veículos automotores, ao eficiente uso de materiais de construção, à preservação e restauração do ecossistema e da biodiversidade local, à seleção de materiais de construção com baixo impacto ambiental, à maximização da durabilidade e adaptabilidade das edificações, ao eficiente consumo de água, à criação de ambientes internos seguros e confortáveis, e à minimização dos entulhos gerados. Observa-se que WILSON e MALIN (1995) realizam vários comentários sobre cada uma destas diretrizes básicas, porém não chegam a apresentar um método final para uma análise ambiental.

COLE e LARSSON (1998), por outro lado, apresentam seu método para análise ambiental de edificações, através de uma visão também ampla, analisando várias etapas do ciclo de vida de edificações, desde o projeto inicial até a sua demolição. Este método foi testado por quatorze grupos de pesquisa internacionais, com a avaliação de trinta e quatro edificações no total. Desta forma, ao mesmo tempo que representa um método recente, já se encontra largamente difundido, tendo sido utilizado em situações diversas. Porém, deve-se enfatizar a necessidade de um aprimoramento deste método para fins de um maior detalhamento do mesmo.

COLE e LARSSON (1998) analisam edificações sob seis aspectos principais:

- ↳ minimização do consumo de recursos: energéticos, territoriais, hídricos e materiais;
- ↳ minimização de emissões poluentes: aéreas, líquidas e sólidas;
- ↳ maximização da qualidade do ambiente interno: com o objetivo principal de fornecer uma boa qualidade do ar, conforto térmico, luminico e acústico;
- ↳ maximização da vida útil: visando manter os materiais e componentes o máximo possível dentro do ciclo de vida de uma edificação sem a necessidade de novos processamentos;
- ↳ reestruturação de prioridades durante o projeto e a construção, e planejamento da etapa de operação da edificação: com o objetivo principal de valorizar a preservação ambiental;
- ↳ preocupação com fatores contextuais, como a proximidade da edificação aos meios de transporte coletivo, a serviços e atrações, e o impacto da mesma sobre a vizinhança: com o objetivo principal de redução de gastos em transporte durante o uso da edificação e redução de interferências negativas sobre a vizinhança.

Além disto, BALDWIN et al. (1998) apresentam a última versão de um método de análise ambiental de edificações denominado *Building Research Establishment Environmental Assessment Method (BREEAM)*, que pode ser aplicado durante o projeto, assim como durante a utilização ou reformas de edificações comerciais. Observa-se que esta versão procura alcançar a maior abrangência possível de impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida de edificações, abordando alguns aspectos relacionados à existência de um sistema de gerenciamento ambiental, a saúde e conforto proporcionados pelo ambiente interno e externo da edificação, ao consumo energético, aos gastos em transporte, ao consumo de água, materiais, utilização do terreno, ecossistema local, e poluição em geral. Por fim, BALDWIN et al. (1998) apresentam um *checklist* salientando vários aspectos a serem avaliados dentro de cada um dos itens gerais comentados anteriormente, fornecendo uma elevada praticidade durante a análise ambiental. Pode-se afirmar que BALDWIN et al. (1998) apresentam um método de análise ambiental de edificações detalhado e abrangente em termos dos impactos ambientais abordados, possibilitando ainda a obtenção de um indicador final referente ao impacto ambiental total da edificação em estudo.

Em United States Green Building Council (1997), também é apresentado um método de análise ambiental de edificações, denominado *Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)*

*Building*, englobando a avaliação de prédios comerciais ou residenciais, já ocupados ou não. Em termos gerais, primeiramente as edificações devem satisfazer alguns pré-requisitos básicos, para após ser realizada uma pontuação final referente à performance ambiental total. Alguns dos pré-requisitos abordam questões relacionadas à utilização de amianto, eficiência energética, qualidade do ar no interior das edificações, consumo de água, dentre várias outras questões, constituindo um total de onze pré-requisitos, sendo todos relacionados com normas ou especificações oficiais. O resultado da performance ambiental total da edificação é obtido a partir da análise de tópicos referentes:

- aos materiais de construção;
- aos resíduos de construção;
- à eficiência energética geral;
- à qualidade do ar interior;
- à existência de facilidades para a operação e manutenção da edificação e para a reciclagem de lixo doméstico;
- aos acessos a meios de transporte;
- à eficiência na utilização do terreno;
- à eficiência na utilização da água;
- à reabilitação de prédios já existentes, etc.

Salienta-se que no tópico sobre materiais de construção, apresentado por USGBC (1997), enfatiza-se a utilização de materiais locais, materiais com baixo índice de emissão de compostos orgânicos voláteis, com alto conteúdo reciclado incorporado e materiais reutilizados. Além disto, similarmente a BALDWIN et al. (1998), o método de análise ambiental de edificações apresentado por USGBC (1997) também pode ser considerado detalhado, por abordar um elevado número de impactos ambientais, sendo ainda possível uma classificação final da edificação em estudo de acordo com a pontuação obtida para cada impacto ambiental analisado.

MIYATAKE (1996) por sua vez, apresenta uma abordagem mais geral, não tão detalhada, considerando seis princípios ambientais básicos que devem ser seguidos pelos profissionais de construção civil: minimizar o consumo de recursos, maximizar a reutilização de recursos, priorizar o uso de recursos recicláveis ou renováveis, proteger o ambiente natural, criar um ambiente interno saudável e sem a presença de substâncias tóxicas, e por fim, garantir a qualidade do ambiente construído. Ainda

acrescenta que a recuperação de áreas territoriais contaminadas ou degradadas, também constitui-se numa medida ambientalmente correta que deve ser seguida.

Como resultado de algumas análises ambientais, HAL e DULSKI (1997) apresentam a situação atual de alguns países europeus. O país que demonstrou maior preocupação com o tema, possuindo um maior número de edificações com iniciativas aplicadas para preservação ambiental, dentro de um grupo formado por vinte e quatro países europeus, foi a Dinamarca. O trabalho revelou que muitos dos países investigados não possuem ainda políticas nacionais específicas para uma construção sustentável em termos ambientais, porém exemplos pontuais são encontrados com facilidade, sendo que na metade dos países pesquisados pôde-se observar algum diálogo sobre o tema entre o governo e o setor da construção civil. Salienta-se que os impactos ambientais abordados por HAL e DULSKI (1997) incluem gastos energéticos, consumo de recursos hídricos e materiais, geração de resíduos sólidos, transporte urbano, preservação do ecossistema local e saúde humana. Além disto, somente para fins de exemplificação, BOLLMANN et al. (1995) apresentam as principais iniciativas da indústria de construção civil na Grã-Bretanha, Dinamarca e Alemanha, salientando principalmente preocupações com a qualidade do ar no interior das edificações e com a utilização de materiais cujo ciclo de vida esteja relacionado a menores impactos ambientais.

Por fim, observa-se que todos os princípios ambientais e métodos de análise ambiental de edificações apresentados anteriormente, mesmo com diferentes graus de detalhe, salientam a relevância de uma abordagem ampla, através da análise de todas as etapas do ciclo de vida das edificações. Além disto, algumas abordagens ainda enfatizam a importância da avaliação das inter-relações destas edificações com a produção local de alimentos e com a sociedade em geral, considerando-se a edificação também como um organismo vivo.

### 2.3. IMPACTOS AMBIENTAIS E MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

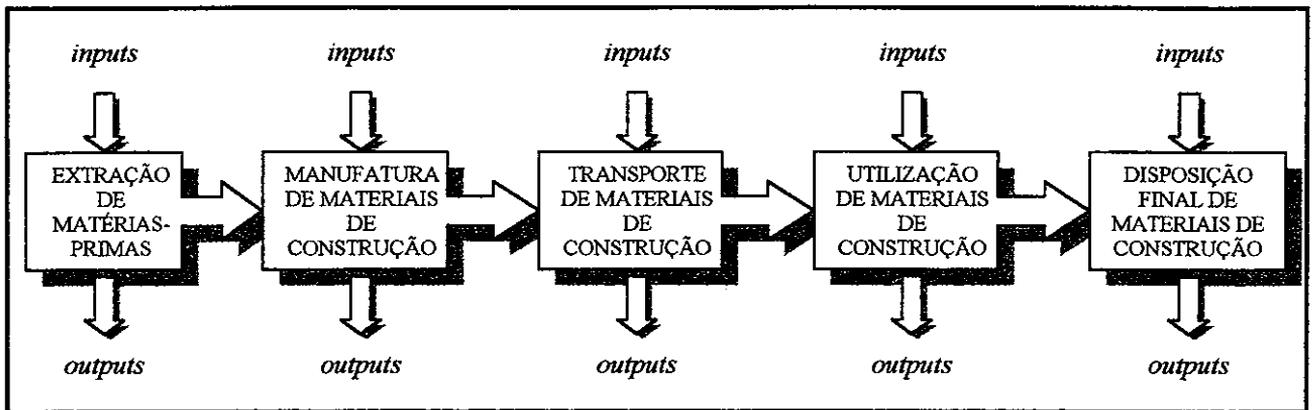
Inserido no amplo contexto dos impactos ambientais relacionados a edificações em geral, pode-se salientar a preocupação específica com os materiais de construção selecionados para estas edificações. Neste sentido, HALLIDAY (1994) afirma que a indústria da construção consome grandes quantidades de materiais e produz uma quantidade significativa de entulho. A extração de algumas matérias-primas causa danos a paisagem, aos habitats naturais e ecossistemas, quase sempre constituindo danos irreversíveis. Adicionalmente, materiais de construção necessitam de gastos

energéticos para a sua produção, e podem gerar poluição para o ar, água ou terra, durante sua extração, manufatura, utilização e disposição final. Ainda segundo HALLIDAY (1994) deve-se então adotar uma estratégia para maximizar o uso de recursos renováveis, a reciclagem e reutilização dos materiais utilizados, priorizando também a sua origem local para reduzir os gastos em transporte.

Com ênfase no estudo dos materiais utilizados no setor da construção civil, PARROTT (1998) afirma que as pesquisas em materiais de construção devem ser orientadas visando facilitar a análise dos impactos ambientais envolvidos em todo o seu ciclo de vida, ou seja, abrangendo basicamente as etapas de extração de matérias-primas, produção, transporte, utilização e disposição final de materiais de construção. Desta forma, seria possível a escolha das melhores opções ambientais, em termos de materiais de construção. Ferramentas como *softwares* e bancos de dados deveriam permitir a incorporação de análises de ciclo de vida, dentro da rotina do planejamento e projeto das construções.

Ainda segundo PARROTT (1998) os custos associados ao controle dos impactos ambientais e o valor das respectivas melhorias ambientais são questões importantes, porém não estão amplamente disponíveis atualmente. Ferramentas de análise de estão sendo desenvolvidas e informações sobre o tema ainda são esparsas. O atual estado da arte é insuficientemente avançado para um padrão único de análise ambiental do ciclo de vida dos materiais de construção, ainda que a *International Standard Organization* (ISO) esteja hoje realizando muitos esforços para a criação de padrões preliminares de análise de ciclo de vida. Desta forma, alternativos grupos de convenções para uma análise ambiental de uma construção específica podem gerar resultados diferentes. Análises apuradas são necessárias para demonstrar a influência de cada série de estudos alternativos sugeridos por diversos agentes.

Considerando-se o conceito de análise de ciclo de vida, a avaliação dos principais impactos ambientais relacionados a materiais de construção pode ser dividida em cinco fases de estudo: primeiro, uma análise detalhada dos impactos referentes a aquisição das matérias-primas; segundo, os impactos durante a manufatura dos materiais de construção; terceiro, os impactos devido ao transporte destes materiais; quarto, os impactos durante a utilização destes materiais em edificações; e por fim, os impactos referentes a disposição final dos mesmos. Deve-se salientar que cada uma destas cinco etapas básicas está diretamente relacionada a determinados *inputs* e *outputs* responsáveis pela geração de impactos ambientais. Enquanto os *inputs* podem representar os recursos materiais, energéticos, etc., os *outputs* podem abranger as emissões aéreas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, etc. Na Figura 1, observa-se um esquema simplificado destas etapas do ciclo de vida de materiais de construção.



**Figura 1** – Principais etapas do ciclo de vida de materiais de construção.

Segundo COLE e LARSSON (1998), a construção, renovação, manutenção e operação de edifícios são responsáveis por uma grande quantidade de materiais, os quais são extraídos da natureza, processados, utilizados e finalmente descartados. A extração, transformação, transporte, uso e disposição final destes materiais possuem um custo ambiental, como a destruição de habitats naturais, exploração de recursos, utilização de energia, poluição do ar e da água, e geração de resíduos sólidos. Neste sentido, AMATRUDA e BOBENHAUSEN (1998) confirmam a importância da adoção de princípios ambientais que proporcionem uma análise de todo o ciclo de vida de materiais de construção, assim como salienta a relevância de uma comparação prática e crítica de materiais alternativos, para fins de seleção de materiais menos agressores ao meio ambiente. Porém, acrescenta que devido ao recente desenvolvimento deste tema de pesquisa, ainda existem algumas barreiras impossibilitando uma análise completa e detalhada de todas as etapas do ciclo de vida de materiais de construção.

TURRENT (1995), por sua vez, salienta alguns aspectos a serem observados quando realiza-se uma análise ambiental de materiais de construção, afirmando que deve-se optar por materiais que apresentem menores conteúdos energéticos, menores emissões poluentes responsáveis por efeitos negativos no planeta como o aquecimento global, maiores potenciais de reciclabilidade e reutilização, e que sejam provenientes do próprio local. PIETERS (1996) acrescenta que materiais ambientalmente corretos devem também estar relacionados com baixos índices de exploração de recursos naturais, com a incorporação de resíduos na sua composição em substituição a uma parcela das matérias-primas originais, com a utilização de matérias-primas renováveis, dentre outros. MALIN e WILSON (1997) ainda ressaltam a importância da durabilidade dos materiais, associada a uma menor exigência de gastos em manutenção. Por fim, pode-se observar a existência de um elevado número de princípios

ambientais que devem ser considerados no momento de comparação de alternativas de materiais, e que várias referências bibliográficas ainda abordam somente alguns deles.

Como resultado de algumas análises ambientais de materiais de construção, PIETERS (1996) afirma que a utilização de alguns materiais deve ser reduzida ou até mesmo totalmente banida de circulação, devido aos elevados impactos ambientais causados ao longo do ciclo de vida dos mesmos, como no caso do cloro, e afirma que em alguns países já existem iniciativas sérias nesta direção. HAL e DULSKI (1997) observaram que todos os vinte e quatro países europeus investigados no seu trabalho apresentaram interesse em conhecer os impactos ambientais relacionados com os materiais de construção, e que as diferenças entre os diversos países não são grandes em relação a esta questão, estando todos praticamente no mesmo nível de preocupação. Por exemplo, produtos que causam danos a camada de ozônio foram reduzidos a um nível mínimo de utilização ou até completamente banidos em quase todos os países europeus. Outro tópico relevante observado em muitos países europeus na questão de materiais com menor impacto ambiental, foi a substituição do policloreto de vinila (PVC) por materiais menos agressores à natureza, como o polipropileno (PP) e o polietileno (PE), no caso de tubulações hidrossanitárias.

Especificamente em relação ao PVC, observa-se que a sua produção exige a criação de dois subprodutos intermediários, bicloreto de etileno e cloretileno, ambos tóxicos e cancerígenos, e além disto, os resíduos do processo de produção são também tóxicos. Apesar dos altos padrões de controle e monitoramento, grandes quantidades destes produtos químicos acabam sendo liberadas para o meio ambiente. Quando ocorrem acidentes, contaminações severas podem ocorrer. Além disto, não deve-se queimar produtos de PVC em ambientes abertos, pois as substâncias liberadas são altamente perigosas (GREEN BUILDING DIGEST, 1995c).

Utiliza-se uma grande variedade de materiais nas edificações, existindo aqueles que provém de fontes escassas, aqueles cuja aquisição e processamento implicam em elevados impactos ambientais, dentre outros. Um projeto com preocupação ambiental exige um profundo conhecimento sobre as conseqüências associadas a todos os tipos de materiais utilizados e necessita observar todas as etapas do ciclo de vida dos mesmos (COLE e LARSSON, 1998). Enquanto alguns materiais afetam o ambiente global do planeta, outros afetam somente o ambiente interno de edificações (JOHNSON, 1993), porém todos os materiais de construção devem ser analisados, independentemente do tipo de impacto ambiental causado. Desta forma, aborda-se no item a seguir alguns métodos de análise de impactos ambientais envolvidos durante o ciclo de vida de materiais de construção em geral.

### **2.3.1. Exemplos de métodos de análise de impactos ambientais relacionados com materiais de construção**

Através da análise de várias referências bibliográficas publicadas recentemente, observa-se uma grande preocupação com os impactos ambientais que podem ser relacionados com o setor de construção civil, e, mais especificamente, com os materiais de construção utilizados. Porém, a grande maioria destas referências abordam o tema de forma genérica, não discriminando os impactos ambientais para cada material. Reconhece-se que, por ser este um tema relativamente novo, existem ainda muitas lacunas a serem pesquisadas. Dentre as referências bibliográficas analisadas, observa-se que quatro (ANINK et al., 1996; LAWSON, 1996; LIPPIATT, 1998; GREEN BUILDING DIGEST, 1995-) especificam mais detalhadamente os impactos ambientais relacionados diretamente aos materiais de construção e estão portanto descritas sucintamente a seguir.

ANINK et al. (1996) apresentam uma análise de ciclo de vida simplificada de materiais freqüentemente utilizados na construção de edificações na Holanda, introduzindo um método de preferências, onde materiais que exercem a mesma função numa edificação, ou seja, materiais que possam ser substituídos entre si, são classificados dentro de quatro níveis de preferência. O material que esteja inserido na preferência de número 1 (um) representa a melhor alternativa em termos ambientais, e aquele que se encontra na preferência de número 4 (quatro) representa a pior escolha ambiental. Nas duas preferências intermediárias classificam-se materiais de impactos ambientais intermediários. Observa-se, então, a característica comparativa deste método de preferências, porém este não fornece valores absolutos dos impactos ambientais apresentados, mas somente valores relativos entre os materiais comparados. Caracteriza-se por uma abordagem muito geral e por não apresentar uma análise sistematizada e padronizada dos impactos ambientais em questão. Muitas vezes, as comparações realizadas entre os quatro níveis de preferência não seguem o mesmo critério de avaliação, ficando algumas vezes confuso para o leitor.

Segundo ANINK et al. (1996), após o levantamento dos impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida de cada material estudado, estes impactos são agrupados nos seguintes cinco grupos: recursos, energia, emissões aéreas e líquidas, danos ao ecossistema e resíduos sólidos. Salienta-se que, além destes cinco grupos, também são considerados aspectos ambientais como o potencial de reutilização, a facilidade de manutenção e a durabilidade proporcionada pelos materiais. Desta forma, as alternativas de materiais são comparadas através da construção de uma matriz, onde os cinco grupos e os três aspectos são analisados em conjunto. Esta matriz representa a base para a determinação das preferências ambientais entre as alternativas de materiais.

Não é utilizada nenhuma ponderação fixa para cada grupo de impactos ambientais. Por exemplo, o grupo recursos será mais importante durante a comparação entre materiais alternativos para a estrutura predial, enquanto que o grupo emissões aéreas será mais importante na comparação entre tintas. Neste sentido, ANINK et al. (1996) reconhecem que decisões subjetivas foram tomadas.

Mesmo sabendo, de uma forma geral, qual foi o método utilizado, ANINK et al. (1996) somente apresentam os resultados de suas análises, com apenas uma rápida e superficial descrição das considerações ambientais tomadas. A interpretação dos dados apresentados fica prejudicada devido a não explicação clara de como um determinado material foi avaliado, pois praticamente somente são apresentados os resultados obtidos.

A quantidade de materiais apresentados por ANINK et al. (1996) é grande, porém com ênfase em produtos de madeira, por serem de grande utilização na Holanda. Salienta-se ainda que ANINK et al. (1996) não apresentam a associação dos resíduos sólidos, emissões gasosas e efluentes líquidos gerados ao longo do ciclo de vida dos materiais com outros impactos ambientais, como por exemplo o aquecimento global e a chuva ácida.

Por sua vez, LAWSON (1996) realiza uma análise de ciclo de vida de vários materiais utilizados na construção civil da Austrália, apresentando informações qualitativas para cada material isoladamente, sem realizar comparações entre materiais diferentes. São levantados alguns impactos ambientais relativos aos materiais apresentados, porém não existe nenhuma sistematização para análise de todo o ciclo de vida, sendo somente salientadas algumas emissões ou resíduos que possam vir a gerar impactos ambientais. LAWSON (1996) não estuda cada etapa do ciclo de vida de cada material separadamente, realizando uma análise um tanto superficial.

LAWSON (1996) divide os materiais em três grandes categorias: orgânicos, cerâmicos e metálicos. Para cada material, salienta alguns aspectos ambientais dentro das características gerais de cada um, com ênfase no conteúdo energético, sempre em linhas gerais. Não associa os resíduos sólidos, as emissões gasosas e os efluentes líquidos gerados ao longo do ciclo de vida de materiais de construção com outros impactos ambientais, como por exemplo o aquecimento global, somente fornecendo informações gerais dos resíduos produzidos. Porém, apesar de uma abordagem um tanto geral dos impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida de materiais de construção, deve-se salientar a utilidade das informações fornecidas por LAWSON (1996).

Como conclusão da análise de cada material, LAWSON (1996) apresenta sete impactos ambientais que são classificados numa escala contendo os seguintes níveis: ruim, regular, bom, muito

boas ou excelentes. Estes sete impactos ambientais são representados pela disponibilidade de matérias-primas, pelo mínimo impacto ambiental referente aos resíduos sólidos, emissões aéreas e efluentes líquidos, pela eficiência energética durante o processo de manufatura, pela durabilidade do material, pela exigência de manutenção, pelo potencial de reutilização e pelo grau de reciclabilidade do material. Por fim, LAWSON (1996) analisa algumas edificações específicas em termos ambientais, também através de uma abordagem ampla, salientando alguns pontos relevantes de cada uma.

LIPPIATT (1998), por outro lado, é responsável pela criação da versão 1.0 do *software* denominado BEES (*Building for Environmental and Economic Sustainability*), cujo projeto teve início no ano de 1994, implementando uma técnica sistemática e racional para seleção de produtos frequentemente utilizados na construção civil dos Estados Unidos da América, através de uma análise ambiental e econômica de todo o ciclo de vida do produto. A técnica é baseada em procedimentos padronizados e transparentes para o usuário do *software*. Foram utilizadas as normas internacionais da série ISO 14000, fornecendo as bases para a análise de ciclo de vida em termos ambientais.

São avaliados no *software* BEES as etapas de aquisição de matérias-primas, manufatura, transporte, instalação, utilização e disposição final dos materiais de construção. Todas as fases do ciclo de vida de cada produto avaliado são detalhadamente apresentadas, com todos os seus respectivos *inputs* e *outputs* analisados em termos quantitativos. Sobre este aspecto, somente LIPPIATT (1998), dentre toda bibliografia pesquisada, apresenta exatamente valores absolutos dos *inputs* e *outputs*, relacionando-os através de fórmulas matemáticas aos respectivos impactos ambientais gerados.

Os principais procedimentos adotados para a avaliação ambiental são demonstrados no manual de utilização do *software*, permitindo uma adaptação para outros produtos quaisquer, desde que de posse de uma quantificação detalhada de todos os *inputs* e *outputs* envolvidos em todo ciclo de vida do novo produto a ser avaliado. Os *inputs* envolvem energia, água e matérias-primas, enquanto os *outputs* abrangem emissões aéreas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, dentre outros menos significativos. Deve-se salientar, contudo, que estas informações exigem um estudo profundo e detalhado de cada material, que compõe cada parte de uma edificação.

LIPPIATT (1998) apresenta a análise de somente vinte produtos, abrangendo a comparação entre concreto com três variações de adição de cinza volante, entre sete tipos de isolamento térmico, entre dois tipos de revestimento interno com variações para parede e teto, entre dois tipos de revestimento exterior, entre três tipos de cobertura e entre três tipos de revestimento para piso. Nota-se que o *software* não avalia somente materiais isoladamente, mas todo o conjunto de materiais necessário para o produto final. Por exemplo, para os materiais de cobertura foram considerados desde

a quantidade de pregos necessária até o tipo de telha utilizada, sendo os produtos finais comparados por unidade de área. Observa-se, porém, que os produtos para isolamento térmico e revestimento interno de paredes e tetos com chapas de madeira são característicos da realidade norte americana, sendo que os demais produtos são mais adaptáveis a realidade brasileira. Contudo deve-se salientar o reduzido número de materiais de construção abordados nesta referência bibliográfica.

A performance ambiental de cada produto, no *software* BEES, é obtida através da associação dos resíduos sólidos, das emissões aéreas e dos efluentes líquidos poluentes, a seis impactos ambientais: o aquecimento global, chuva ácida, nutrificação do solo e água, exploração de recursos naturais, geração de resíduos sólidos e qualidade do ar no interior de edificações. Por nutrificação entende-se a adição de nutrientes minerais ao solo ou água, sendo que a adição de elevadas quantidades de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, pode resultar em indesejáveis modificações no número de espécies do ecossistema local e redução da biodiversidade. Os gastos energéticos ao longo do ciclo de vida de cada produto também são avaliados.

Impactos ambientais locais, como a elevada quantidade de fumaça gerada nos grandes centros urbanos, não são abordados, por serem considerados de menor importância e por ocorrerem pontualmente em determinados locais, não representando uma preocupação global. Porém, alguns impactos ambientais de abrangência global também não são analisados, como por exemplo a redução da camada de ozônio, devido à justificativa de que os principais causadores deste impacto (clorofluorcarbonos, solventes a base de cloro e halogêneos) não estão sendo mais produzidos em uma elevada intensidade, e além disto, estão continuamente sendo substituídos por alternativas não prejudiciais à camada de ozônio. Impactos sobre a saúde humana também não são explicitamente incluídos no BEES, pois segundo LIPPIATT (1998), estes ainda não estão suficientemente analisados e consolidados, sendo necessário mais desenvolvimento em pesquisas sobre o assunto. Impactos ambientais que não são atualmente cientificamente provados ou não podem ser quantificados em termos de impacto ambiental foram também excluídos do BEES, como por exemplo a extração mineral e a devastação de florestas, os quais são frequentemente abordados de forma qualitativa por outros autores devido à geração de perdas de hábitat natural e de biodiversidade.

Através de uma síntese dos seis impactos avaliados, a performance ambiental total pode ser calculada para cada produto. Esta síntese deve ser realizada considerando-se as diferentes unidades de medida dos impactos estudados, por exemplo, o aquecimento global é medido em termos de equivalentes de dióxido de carbono, enquanto a nutrificação é medida em termos de equivalentes de fosfato. Para tanto, utiliza-se a norma americana ASTM E 1765 (1995).

Além disto, LIPPIATT (1998) sugere três sistemas de ponderação entre os seis impactos abordados, com base na bibliografia pesquisada, determinando o grau de importância relativa entre os impactos ambientais. Além da sugestão destes três sistemas de ponderação, permite também, que o próprio usuário do *software* estabeleça o seu próprio sistema de ponderação. LIPPIATT (1998) afirma que a importância relativa entre impactos ambientais depende de vários pontos de vista, ficando a critério de cada um a escolha de um sistema de ponderação. As características locais e regionais de cada lugar tendem a ser os fatores decisivos na escolha do grau de relevância de cada impacto. A percepção humana quanto as prioridades locais e regionais parece indicar o caminho a seguir.

Salienta-se que os resultados de impacto ambiental total de cada um dos produtos analisados no programa BEES 1.0 não representam danos ambientais absolutos, mas sim danos relativos entre os produtos alternativos comparados. As análises são sempre realizadas em termos comparativos entre dois ou mais produtos. Conseqüentemente, a performance ambiental de determinado material ou produto poderá se modificar a partir da inserção ou remoção de uma ou mais alternativas sob consideração. Desde que os produtos exerçam a mesma função dentro da edificação, ou seja, desde que um possa ser substituído pelo outro, pode-se realizar uma comparação da performance ambiental entre eles. Desta forma, o *software* BEES utiliza o sistema de classificação padrão presente na norma americana ASTM E 1557 (1996), denominado de UNIFORMAT II, para organizar os materiais ou produtos de construção em grupos comparáveis. Esta norma classifica os materiais de construção em três níveis hierárquicos: um grupo de subsistemas (por exemplo, subestrutura, interiores, etc.), um grupo de elementos (por exemplo, fundações, acabamentos interiores, etc.), e um grupo de elementos individuais (por exemplo, laje, acabamento de piso, etc.). O *software* BEES utiliza o grupo de elementos individuais para comparar produtos que exercem a mesma função básica numa edificação.

Por fim, a performance econômica de cada produto é obtida utilizando-se a norma americana ASTM E 917 (1994), que abrange os custos envolvidos em investimentos iniciais, substituição, operação, manutenção e disposição final. As performances ambiental e econômica são então combinadas em uma performance total utilizando-se a norma americana ASTM E 1765 (1995).

O GREEN BUILDING DIGEST (1995-), por sua vez, é um trabalho composto por fascículos produzidos seqüencialmente desde o ano de 1995, representando uma vasta pesquisa com elevado embasamento bibliográfico. Cada fascículo apresenta análises ambientais de um tipo de material de uso comum em edificações convencionais do Reino Unido, sendo eles: materiais de alvenaria, materiais para isolamento térmico, tintas, madeiras, canalizações pluviais, janelas, vasos sanitários, revestimentos de piso, chapas de materiais compósitos, telhas, preservativos de madeira, cercas,

membranas impermeabilizantes para coberturas planas, vidros, instalações elétricas, um fascículo específico para fontes energéticas, dentre outros.

O GREEN BUILDING DIGEST (1995-) caracteriza-se por levantar impactos ambientais relevantes ao longo de todo o ciclo de vida de cada material, sendo este representado por duas grandes etapas: produção e utilização. A princípio a etapa de produção inclui as fases de extração, processamento, produção e distribuição de um material, e a etapa de utilização aborda as fases de instalação, uso e disposição final do material. Observa-se que o trabalho procura analisar todas as etapas durante a vida dos materiais de construção.

As questões ambientais levantadas durante o ciclo de vida de cada material são associadas a impactos ambientais tanto globais quanto locais. Os impactos relacionados à etapa de produção envolvem gastos energéticos, exploração de recursos naturais, aquecimento global, chuva ácida, redução da camada de ozônio, emissão de substâncias tóxicas, geração de fumaça fotoquímica e, em alguns fascículos, também salienta-se alguns aspectos sobre a saúde dos operários. Já os impactos relacionados à etapa de utilização referem-se à durabilidade e manutenção, aos riscos à saúde dos ocupantes da edificação, à reciclabilidade, ao potencial de reutilização e ao tipo de disposição final de cada material. Salienta-se que a análise dos impactos ambientais é composta por argumentos qualitativos, não apresentando dados quantitativos que justifiquem os resultados alcançados.

Ainda em relação ao GREEN BUILDING DIGEST (1995-), os impactos ambientais são classificados dentro de uma escala com cinco níveis, representados por um máximo impacto ambiental (nível 4), um grande impacto ambiental (nível 3), um pequeno impacto ambiental (nível 2), um mínimo impacto ambiental (nível 1), e por fim nenhuma evidência de impacto ambiental significativo (nível 0). Esta classificação é relativa dentro de cada fascículo, sendo que a importância relativa entre materiais de diferentes fascículos não foi avaliada. De maneira similar ao método adotado por LIPPIATT (1998), os resultados de impacto ambiental não representam danos ambientais absolutos, mas sim danos relativos entre os produtos alternativos comparados, ou seja, as análises são sempre elaboradas relativamente aos vários materiais contidos em cada fascículo.

Comparando-se o GREEN BUILDING DIGEST (1995-) com as outras três publicações comentadas anteriormente, nota-se que a avaliação de impactos ambientais relacionados aos materiais de construção realizada por este trabalho não atinge o alto nível de detalhe encontrado em LIPPIATT (1998), mas também não utiliza uma abordagem tão superficial como aquelas apresentadas por LAWSON (1996) e por ANINK et al. (1996).

Como considerações finais da análise das quatro referências bibliográficas, salienta-se que somente LIPPIATT (1998) apresenta um método de análise ambiental quantitativo, calculando através de fórmulas matemáticas os impactos ambientais referentes a cada produto, enquanto as demais referências fornecem dados qualitativos.

Com exceção de LAWSON (1996), as demais referências realizam uma análise ambiental comparativa entre materiais que exerçam a mesma função numa edificação, não existindo valores de impacto ambiental absolutos, somente valores relativos entre os materiais comparados. LAWSON (1996), por sua vez, apresenta informações sobre impactos ambientais de cada material estudado, não chegando a realizar qualquer comparação direta entre eles.

Todas as quatro referências, assim como a grande maioria dos pesquisadores deste tema, buscam analisar um produto do "berço ao túmulo" (*cradle-to-grave*), ou seja, desde a extração de matérias-primas, manufatura, transporte, instalação, utilização, manutenção, recuperação, até a disposição final dos materiais de construção, pois todos os estágios de vida de um produto geram impactos ambientais, e devem então ser analisados. Como já discutido anteriormente, este conceito de análise de ciclo de vida está sendo atualmente muito divulgado, porém na maioria dos casos o que tem ocorrido é uma abordagem um tanto geral e superficial, constituindo-se basicamente no levantamento de alguns poucos aspectos de todo o ciclo de vida de determinado produto, de forma não detalhada. Dentro deste contexto, LAWSON (1996) e ANINK et al. (1996) apresentam análises de ciclo de vida mais superficiais, enquanto GREEN BUILDING DIGEST (1995-) e LIPPIATT (1998) avaliam cada produto de forma mais completa. Porém, deve-se ressaltar, que o tema em questão surgiu recentemente a nível internacional e que a grande maioria das pesquisas desenvolvidas até o momento ainda apresenta resultados qualitativos.

Neste contexto, os impactos ambientais a serem estudados na presente dissertação não pretendem em hipótese alguma esgotar o tema de pesquisa, mas sim alertar sobre algumas questões ambientais relacionadas a materiais de construção. Futuramente, acredita-se que projetistas e construtores não somente poderão minimizar os impactos ambientais dos seus projetos, proporcionando a inclusão de considerações ambientais na fase de escolha dos materiais a serem utilizados na construção de uma edificação, como também estimular os melhores produtos e práticas da indústria manufatureira.

No capítulo a seguir apresenta-se, em maior detalhe, a caracterização dos principais impactos ambientais envolvidos durante todo o ciclo de vida de materiais de construção, de acordo com a bibliografia pesquisada.

### **3. PRINCIPAIS IMPACTOS AMBIENTAIS ENVOLVIDOS DURANTE O CICLO DE VIDA DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

#### **3.1. ETAPA DE EXTRAÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS E PRODUÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO**

Durante as primeiras etapas do ciclo de vida de materiais de construção, representadas pela extração de matérias-primas e pela posterior manufatura dos materiais de construção, observa-se a possibilidade de geração de vários impactos ambientais, sendo esses em geral referentes a exploração de recursos naturais, gastos energéticos, geração de emissões aéreas, efluentes líquidos e resíduos sólidos poluentes. Nos itens a seguir, realiza-se uma abordagem detalhada destes principais impactos ambientais, com relação a alguns materiais de construção básicos, salientando-se pontos relevantes.

##### **3.1.1. Exploração de recursos naturais**

A exploração de recursos naturais pode ser definida simplesmente como a diminuição da disponibilidade dos mesmos na natureza (LIPPIATT, 1998). Porém, deve-se reconhecer que à esta exploração também estão relacionados vários outros impactos ambientais, como danos à paisagem, aos habitats naturais e ecossistemas, os quais muitas vezes criam prejuízos irreversíveis ao meio ambiente (HALLIDAY, 1994). Além disto, freqüentemente o próprio processo de extração provoca a geração de emissões aéreas, efluentes líquidos e resíduos sólidos poluentes, podendo-se citar como exemplo as emissões de gás metano durante a extração de carvão mineral, que possui uma relação direta com o aumento do efeito de aquecimento global do planeta (LIPPIATT, 1998). Desta forma, observa-se que a exploração de recursos naturais possui amplas implicações no meio ambiente, sendo relacionada a vários impactos ambientais.

A princípio, os recursos naturais podem ser divididos em recursos naturais renováveis, como a terra e as florestas, caracterizados por possuírem um índice elevado de reposição natural, e recursos naturais não renováveis, como os recursos minerais e fósseis, com um mínimo índice de reposição

pela natureza. COLE e LARSSON (1998) alertam que os recursos renováveis devem ser explorados atendendo aos limites biológicos da habilidade de regeneração e da capacidade de produção da biosfera, enquanto os não renováveis devem ser utilizados desde que continue sendo possível o seu uso ou acesso pelas gerações futuras.

Em termos de recursos renováveis, a contínua degradação da biosfera através da exploração e abuso não somente reduz sua habilidade de produzir recursos essenciais, mas também sua habilidade de regeneração. Deve-se preservar a integridade funcional dos ecossistemas, para que estes mantenham a sua capacidade de recuperação das agressões humanas e a sua produtividade biológica. Já em termos de recursos não renováveis, as implicações na qualidade, longevidade, e reutilização das edificações, assim como, na recuperação, reutilização e reciclabilidade dos seus materiais e componentes constituintes são profundas e requerem o entendimento das novas inter-relações e o estabelecimento de novas prioridades de projeto. Deve-se ainda ter maiores restrições quanto à utilização de recursos não renováveis cuja reserva natural seja atualmente muito pequena.

O uso de recursos renováveis deve ocorrer sempre obedecendo a velocidade de renovação da natureza, sendo que eles podem ser contados como recursos renováveis somente se estiverem realmente sendo renovados no mesmo índice da sua exploração. Recursos que a princípio são renováveis, como a madeira de florestas naturais e as terras produtivas, podem ser totalmente destruídos pela atividade humana, se forem expostos a elevados índices de exploração. Por sua vez, a utilização de recursos não renováveis deve sempre ser pensada no sentido de prolongar ao máximo a vida útil de seus produtos, estimulando reciclagem e reutilização (GREEN BUILDING DIGEST, 1995a).

Além de tudo isto, uma das mais importantes diretrizes ambientais, em relação à exploração de recursos, refere-se à redução da quantidade de recursos naturais investidos na produção, manutenção, reparo, reforma e operação das edificações, sendo eles renováveis ou não renováveis. Deve-se buscar reduzir a quantidade de recursos naturais utilizada na medida do possível, independentemente de seu grau de renovabilidade, evitando assim desperdícios desnecessários dos mesmos.

Inserido neste contexto de melhorar a eficiência no uso de recursos, WILD (1997) acrescenta que a incorporação de resíduos em materiais de construção está sendo uma das alternativas atuais para redução de impactos ambientais, pois desta forma se diminui o consumo de matérias-primas cuja extração e utilização agredem o meio ambiente, através da substituição de uma parcela destes recursos naturais por resíduos. MYMRIN e VAAMONDE (1998) e WILD (1997) acrescentam que atualmente pesquisas neste sentido tem se concentrado na produção de cimento, argamassas, concreto e solo estabilizado, e que a ênfase está sendo na incorporação de resíduos do setor industrial. No Brasil, a

utilização de uma grande diversidade de resíduos em materiais de construção já tem sido estudada há algum tempo, como pode ser constatado por exemplo em CINCOTTO (1988), AGOPYAN (1988) e DAL MOLIN (1995), dentre diversos pesquisadores.

Resumindo, os princípios salientados anteriormente para diminuição dos impactos ambientais relativos a exploração de recursos naturais foram:

- ✓ reduzir a quantidade de recursos naturais utilizada;
- ✓ explorar os recursos renováveis de acordo com os limites biológicos e a capacidade de produção da biosfera;
- ✓ explorar os recursos não renováveis priorizando aqueles que possuam uma maior reserva natural, assim como valorizando a longevidade, reutilização e reciclabilidade dos materiais produzidos a partir dos mesmos;
- ✓ e estimular a incorporação de resíduos em novos materiais, substituindo a necessidade de utilização única de recursos naturais.

Deve-se aqui salientar que fatores como a reutilização e a reciclagem de materiais serão abordados em maior detalhe em itens posteriores.

A partir da grande abrangência dos impactos ambientais relacionados com a exploração de recursos naturais, delimita-se para esta dissertação somente uma análise qualitativa em termos da disponibilidade futura dos recursos, a partir do tamanho das suas respectivas reservas naturais e do índice atual de sua extração, assim como realizado em LIPPIATT (1998). Busca-se, então, priorizar a utilização dos recursos que possuam uma maior reserva natural, segundo os índices atuais de exploração. Os dados encontrados em LIPPIATT (1998) podem ser observados a seguir na Tabela 1, salientando-se que são analisados somente os recursos não renováveis, minerais e fósseis, e que os valores apresentados representam quanto tempo um determinado recurso natural vai continuar disponível considerando o índice corrente de extração e o tamanho atual de sua reserva natural.

Pode-se observar a existência de dados desta natureza também em outras referências bibliográficas. Salienta-se, por exemplo, os valores encontrados em CONSTRUCTION ... (1996), como por ser visto na Tabela 2. A partir da análise das Tabelas 1 e 2, nota-se que os valores estimados nas duas referências, mesmo apresentando quantidades diferentes para alguns recursos, se encontram na maioria dos casos dentro da mesma ordem de grandeza. Deve-se aqui salientar as imprecisões

intrínsecas destas estimativas nas várias referências bibliográficas analisadas. Desta forma, para fins de padronização, utiliza-se nesta dissertação somente os valores da Tabela 1, devido a essa ser mais abrangente em termos dos recursos abordados e pertencer ao método de análise de impactos ambientais relacionados a materiais de construção proposto por LIPPIATT (1998).

Através dos valores apresentados na Tabela 1, pôde-se então analisar alguns materiais de construção em relação às suas principais matérias-primas, observando se os recursos naturais não renováveis utilizados encontram-se com uma maior ou menor disponibilidade na natureza. Consequentemente, na Tabela 3 apresenta-se a avaliação de alguns materiais de construção básicos em relação à exploração de recursos naturais.

**Tabela 1 - Previsão do uso remanescente de recursos não renováveis.**

RECURSO NATURAL	EXTRAÇÃO ATUAL (kg/ano)	RESERVA NATURAL (kg)	USO REMANESCENTE (anos)
MANGANÊS	7,3 E+09	5,0 E+12	685
CARVÃO	4,5 E+12	3,0 E+15	666
POTÁSSIO	2,6 E+10	1,7 E+13	649
URÂNIO	3,3 E+07	1,3 E+10	412
BAUXITA	1,1 E+11	2,8 E+13	257
FOSFATO	1,4 E+11	3,4 E+13	248
FERRO	4,3 E+11	1,0 E+14	231
NÍQUEL	9,2 E+08	1,1 E+11	120
MERCÚRIO	3,1 E+06	2,4 E+08	77
PETRÓLEO	3,2 E+12	2,4 E+14	75
GÁS NATURAL	2,0 E+12	1,3 E+14	66
COBRE	9,8 E+09	6,1 E+11	62
ESTANHO	1,8 E+08	1,0 E+10	56
CÁDMIO	2,0 E+07	9,7 E+08	49
ZINCO	7,1 E+09	3,3 E+11	47
CHUMBO	2,8 E+09	1,2 E+11	43
PRATA	1,4 E+07	4,2 E+08	30
OURO	2,2 E+06	6,1 E+07	28

Obs.: Recursos abundantes: Argila; Dolomita; Feldspato; Gipsita; Caulinita; Calcário; Sílica; e Cloreto de sódio. Salienta-se que podem existir locais de escassez destes recursos, porém à nível global eles são abundantes.

Fontes: World Energy Council apud LIPPIATT (1998) e U.S. Bureau of Mines apud LIPPIATT (1998).

**Tabela 2 - Previsão do uso remanescente de alguns recursos não renováveis.**

METAL	EXTRAÇÃO NO ANO DE 1990 (kg)	RESERVA NATURAL (kg)	USO REMANESCENTE (anos)
FERRO	9,3 E+11	2,3 E+14	265
BAUXITA	1,8 E+11	2,5 E+13	225
NÍQUEL	8,4 E+8	1,1 E+12	116
COBRE	1,1 E+10	5,5 E+11	62
ZINCO	7,0 E+9	3,0 E+11	40
CHUMBO	5,5 E+9	1,2 E+11	36

Fonte: World Resources Institute apud CONSTRUCTION ... (1996).

**Tabela 3 - Avaliação qualitativa de materiais de construção em relação aos recursos naturais não renováveis necessários para sua produção.**

MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	MATÉRIAS-PRIMAS BÁSICAS	AValiação
AREIA	Silica.	Abundante.
BRITA	Aluminossilicatos; Silicatos de Magnésio e Ferro; Carbonatos; Sulfatos.	Abundante.
CAL VIRGEM OU HIDRATADA	Calcário.	Abundante.
CIMENTO PORTLAND	Calcário; Argila; Gipsita.	Abundante.
CIMENTO-AMIANTO	Calcário; Argila; Gipsita; Silicatos de Magnésio e Ferro.	Abundante.
CONCRETO	Silica; Aluminossilicatos; Silicatos de Magnésio e Ferro; Carbonatos; Sulfatos; Calcário; Argila; Gipsita.	Abundante.
CERÂMICA	Argila (com Óxido de Ferro).	Abundante.
AZULEJO	Argila (com Quartzo e Feldspato); Chumbo; Estanho; Óxidos.	Não abundante.
LOUÇA	Argila (com Quartzo e Feldspato e praticamente sem Óxido de Ferro).	Abundante.
GESSO	Gipsita.	Abundante.
VIDRO PLANO	Silica; Calcário; Dolomita; Feldspato.	Abundante.
ALUMÍNIO	Bauxita.	Não abundante. *
COBRE	Cobre.	Não abundante.
ZINCO	Zinco.	Não abundante.
AÇO GALVANIZADO	Minério de Ferro; Carbono (Manganês, Silício, Cromo, Chumbo...); Óxido de Zinco.	Não abundante.
AÇO	Minério de Ferro; Carbono (Manganês, Silício, Cromo, Chumbo...).	Não abundante.
POLIESTIRENO (PS)	Estireno (petróleo).	Não abundante.
POLIETILENO (PE)	Etileno (petróleo).	Não abundante.
POLIPROPILENO (PP)	Propileno (petróleo).	Não abundante.
POLICLORETO DE VINILA (PVC)	Eteno (petróleo); Cloreto de Sódio.	Não abundante.

\* A bauxita pode ser considerada como não abundante na superfície terrestre, porém representa um recurso menos escasso que o cobre, petróleo, chumbo, zinco, estanho, dentre outros.

Fontes: PETRUCCI (1980) e LIPPIATT (1998).

Deve-se salientar que os dados apresentados na Tabela 3 representam dados genéricos e aproximados, somente para fins de uma avaliação qualitativa da exploração dos recursos naturais não renováveis. Neste sentido, as matérias-primas referentes à produção de cada material de construção foram classificadas em dois grandes grupos, sendo um primeiro grupo formado por recursos naturais abundantes na superfície terrestre e um segundo grupo formado por recursos não abundantes. Esta classificação foi realizada a partir dos dados existentes em PETRUCCI (1980) e LIPPIATT (1998).

Através da observação da Tabela 3, pode-se notar que praticamente somente os metais e polímeros plásticos representam materiais de construção provenientes de recursos naturais considerados não abundantes na superfície terrestre. Além disto, ressalta-se que a madeira é considerada um recurso natural renovável, não constando nas Tabelas 1 e 3, porém pode ser a princípio considerada como abundante na superfície terrestre, alertando-se, por sua vez, para a necessidade de um manejo sustentável das florestas.

Por fim, salienta-se que não se pretende de forma alguma esgotar este assunto na presente dissertação, mas pelo contrário, proporcionar subsídios para o desenvolvimento de trabalhos mais detalhados. Nesta dissertação, se o material de construção possui pelo menos uma matéria-prima básica considerada em escassez, o mesmo foi classificado na categoria não abundante, independentemente da quantidade da matéria-prima em questão, o que pode ter gerado resultados distorcidos. O critério aqui adotado para classificação entre abundante ou não abundante representa apenas um primeiro ponto de partida para próximas pesquisas.

### **3.1.2. Gastos energéticos**

Segundo YATES e BALDWIN (1998), a questão dos gastos energéticos envolvidos no processo de produção de materiais de construção tem se tomado uma questão abordada tanto em pesquisas científicas, quanto na prática. Enquanto as emissões poluentes devido à produção destes materiais representam uma preocupação ambiental, os gastos energéticos envolvidos nesta produção envolvem também uma questão de custo, que num mercado altamente competitivo economicamente, afetam diretamente o produtor do material. Observa-se assim, a existência de interesses econômicos envolvidos, além dos ambientais, sendo as pesquisas sobre o tema incentivadas até pelos próprios fabricantes de materiais, que esperam melhorar a sua eficiência energética.

Dentro deste contexto, adota-se dois conceitos básicos para a análise de gastos energéticos. Inicialmente, pode-se definir “índice energético” de um material como a quantidade de energia consumida durante a extração de matérias-primas e manufatura por unidade de massa do material produzido, onde não é computado qualquer gasto energético após o material pronto, como por exemplo gastos em transporte até o local da construção e gastos durante a construção. A partir disto, pode-se definir o “conteúdo energético” de um material através da multiplicação do seu índice energético pela massa utilizada deste material em uma edificação específica. Na carência de informação sobre outros impactos ambientais que envolvem um produto, o conteúdo energético é freqüentemente utilizado como sendo um indicador do impacto ambiental total, por muitos pesquisadores.

Segundo COLE e ROUSSEAU (1992), os gastos energéticos no local de construção, ou seja, basicamente para o transporte interno no canteiro de obras e a instalação de componentes, representam uma pequena quantidade quando comparados com os gastos durante a produção de materiais de construção. STEIN et al. e SALOKANGAS et al. apud COLE e ROUSSEAU (1992) estimam que os gastos energéticos no local de construção são aproximadamente 7-10 % dos gastos durante a produção de materiais. Por sua vez, o trabalho de GUIMARÃES (1985) apresenta como um dos resultados de sua análise que, enquanto aproximadamente 5,4 % dos gastos energéticos são devidos aos transportes dos materiais até o canteiro de obras, 0,1 % ocorrem dentro do canteiro de obras e 94,5 % são devidos ao conteúdo energético dos materiais. Desta forma, de acordo com estas referências bibliográficas observa-se a predominância do conteúdo energético em relação aos menores gastos energéticos durante o transporte de materiais e a construção das edificações.

Porém, várias pesquisas realizadas, principalmente em países do norte europeu, afirmam que até mesmo esta parcela energética devida ao conteúdo energético de materiais não é significativa dentro de um contexto mais amplo. Observa-se, nestes países, uma maior preocupação com os gastos energéticos ao longo da fase de utilização das edificações, devido basicamente ao condicionamento térmico artificial que estas edificações necessitam, e também aos gastos com ventilação e iluminação, colocando para segundo plano as preocupações com a energia exigida para produção dos materiais de construção. A elevada preocupação de diversos autores, provenientes de países como o Reino Unido, com os impactos ambientais gerados principalmente pelo aquecimento das edificações, pode ser justificada parcialmente pelas baixas temperaturas a que são submetidas as suas construções, durante um longo período de sua vida útil. Os gastos energéticos para a manutenção de um adequado índice de conforto térmico no interior das edificações são altos, sendo motivo de diversos estudos.

MILLER (1998), por sua vez, comenta que as preocupações com os gastos energéticos relacionados à produção de materiais tem crescido no Reino Unido, à medida que as melhorias no desempenho térmico e na eficiência energética de sistemas tem reduzido o consumo de energia ao longo da utilização da edificação. Saliendo essa mesma tendência apresentada por MILLER (1998), COLE e LARSSON (1998) incluem a energia requerida para fabricação de materiais no método de análise de impactos ambientais proposto por eles. SZOKOLAY (1997) e CURWELL et al. (1990) também afirmam que, atualmente, devido à melhorias na eficiência energética durante a utilização de edificações, existe uma maior preocupação com o conteúdo energético de materiais.

Além desta questão, através de análises sobre contextos energéticos nacionais, PARROTT (1998) afirma que, após uma reunião em maio de 1997 entre pesquisadores da Finlândia, Dinamarca, Holanda e França, os gastos energéticos devido à produção de materiais não foram considerados significativos dentro de seus contextos nacionais, caracterizados pelos seguintes percentuais nacionais de gastos energéticos: a produção de materiais de construção responsável por cerca de 5 a 7 % do total nacional, a utilização de qualquer tipo de edificação responsável por 40 a 50 %, os transportes em geral por cerca de 25 %, dentre outros. Por sua vez, conforme apresentado em GREEN BUILDING DIGEST (1995a), mais de 5 % dos gastos totais em energia no Reino Unido se destinam à produção e distribuição dos materiais de construção, sendo que esta energia se encontra quase sempre na forma de combustíveis fósseis não renováveis. Porém, ao contrário do resultado apresentado por PARROTT (1998), em GREEN BUILDING DIGEST (1995a) demonstra-se uma grande preocupação sobre o estudo destes gastos energéticos. Desta forma, observa-se que ambas referências apresentam praticamente o mesmo valor de gastos energéticos na produção de materiais de construção, sendo algo em torno de 5 a 7 % do total nacional, porém ambos apresentam conclusões diferentes sobre a relevância de estudos destes gastos energéticos. BALDWIN et al. (1998) acrescentam que a energia utilizada para produção e transporte de materiais de construção representa cerca de 10 % do consumo energético total do Reino Unido, revelando uma preocupação em reduzir este percentual.

Desta forma, constata-se a existência de algumas divergências quanto à relevância do conteúdo energético de materiais de construção, quando comparados a gastos energéticos durante a utilização de edificações, e também quando comparados a gastos energéticos nacionais totais. No entanto, deve-se salientar que, como a edificação é um produto de longo prazo de utilização, a sua energia de operação tende a ser elevada. Além disto, devido aos vários fatores existentes em um contexto amplo como o nacional, o percentual referente à energia de produção dos materiais de construção pode ser considerado relativamente pequeno. Porém, isto tudo não pode ser interpretado como uma justificativa para dar menor importância à energia de produção dos materiais, tendo em vista

que a análise ambiental deve ser sistêmica, explorando quaisquer possibilidades de redução de gastos energéticos.

Neste sentido, ATKINSON et al. (1996) acrescentam que relevantes ganhos ambientais podem ocorrer a partir da escolha correta de materiais de construção que exijam menores gastos energéticos durante a sua produção. Por sua vez, BAIRD et al. (1998) apresentam uma iniciativa para inserção dos gastos energéticos durante a produção de materiais de construção no Código Nacional de Energia da Nova Zelândia, e acrescentam que a escolha dos materiais influencia também na energia operacional da edificação, sendo importante a seleção de materiais com menores conteúdos energéticos e que simultaneamente proporcionem menores gastos energéticos durante o uso da edificação.

Inserido neste contexto, procede-se, a seguir, à uma comparação de caráter amplo e genérico entre dados brasileiros atualmente disponíveis sobre os gastos energéticos durante a produção de materiais de construção e durante a utilização de edificações. Busca-se, desta forma, avaliar o grau de importância entre ambos dentro de uma realidade brasileira.

Inicialmente, observa-se que GUIMARÃES (1985) calcula os gastos energéticos devidos a produção dos materiais de construção utilizados em uma habitação popular, tipo COHAB – CP 1 II (DEPEA/BNH), de 41,91 m<sup>2</sup> de área útil e 46,14 m<sup>2</sup> de área construída, constituída por varanda, sala, dois quartos, circulação, banheiro e cozinha, atingindo um valor total de 114.610,02 MJ, o que representa cerca de 2.483,96 MJ/m<sup>2</sup> de área construída. Este valor refere-se ao conteúdo energético total da habitação específica analisada por GUIMARÃES (1985) e indica a quantidade de energia incorporada nos materiais utilizados. Por sua vez, DEBNATH et al. (1995) apresentam, como resultado da análise de algumas edificações residenciais típicas na Índia, que o conteúdo energético destas variou entre 3.000 e 5.000 MJ/m<sup>2</sup>. Por outro lado, HANSEN e PETERSEN (1998) afirmam que o conteúdo energético de várias edificações na Dinamarca corresponde a aproximadamente 3.000 MJ/m<sup>2</sup>. Por fim, GULISANO et al. (1998) afirmam que na Itália este valor se localiza entre 6.000 e 7.000 MJ/m<sup>2</sup>. Com a finalidade de comparar o valor brasileiro obtido por GUIMARÃES (1985), com os gastos energéticos durante a utilização de habitações no Brasil, apresenta-se a seguir alguns dados.

Em relatório do Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 1997), observa-se que, para o ano de referência de 1996, o valor médio de 9.322,05 MJ/hab.ano representou a média brasileira de consumo energético durante a utilização de edificações residenciais. Deve-se salientar que, para o cálculo deste consumo energético do setor residencial brasileiro, foram considerados os poderes caloríficos relativos às várias fontes energéticas utilizadas, representadas principalmente pelo consumo de eletricidade, gás liquefeito de petróleo e lenha, e secundariamente pelo gás natural, querosene iluminante, gás

canalizado e carvão vegetal. Observa-se que os valores dos poderes caloríficos utilizados em BRASIL (1997) são praticamente iguais aos utilizados por GUIMARÃES (1985), com exceção do valor adotado para representar a eletricidade. Em BRASIL (1997) adota-se um coeficiente de equivalência determinado com base na quantidade de óleo combustível necessária para produzir a mesma quantidade de energia elétrica de origem hidráulica em uma central térmica convencional a óleo, representado pelo valor de 13,11 MJ/kWh. GUIMARÃES (1985) por sua vez, utiliza o valor de 3,60 MJ/kWh, pois considera as perdas de transformação durante a produção de energia elétrica em hidrelétricas.

Para fins de comparação entre o consumo energético durante a utilização de edificações residenciais encontrado em BRASIL (1997) e os dados de conteúdo energético apresentados por GUIMARÃES (1985), deve-se buscar uma padronização dos poderes caloríficos utilizados. Calcula-se, então, um novo valor para o consumo energético durante a utilização de edificações residenciais brasileiras, considerando-se 3,60 MJ/kWh como o fator de equivalência para eletricidade, atingindo-se 5.143,13 MJ/hab.ano, para o ano de referência de 1996, e não mais o valor de 9.322,05 MJ/hab.ano.

Neste momento, toma-se também necessário o conhecimento de dados sobre a população brasileira. Observa-se que a média de moradores por domicílio particular permanente no Brasil representou 3,94 habitantes por moradia, para o ano de referência de 1996 (IBGE, 1998). De posse deste valor médio, e considerando-se que 5.143,13 MJ/hab.ano representou a média brasileira de consumo energético durante a utilização de edificações residenciais no ano de 1996, sendo aproximadamente a mesma durante pelo menos os dez anos anteriores pesquisados, calcula-se o valor de 20.263,93 MJ/ano, representando os gastos energéticos médios em cada moradia no Brasil.

Desta forma, compara-se o valor obtido por GUIMARÃES (1985) referente ao conteúdo energético incorporado nos materiais de uma habitação popular, representado por 114.610,02 MJ, com o valor total médio dos gastos energéticos durante a utilização de habitações brasileiras, representado por 20.263,93 MJ/ano. Como conclusão desta comparação, obtém-se o período de aproximadamente seis (6) anos, correspondente ao tempo necessário para se consumir durante o uso da habitação, a mesma quantidade de energia gasta para produção dos materiais de construção utilizados. Porém, deve-se salientar que a comparação anterior apresenta algumas limitações. Observa-se que, enquanto o conteúdo energético apresentado por GUIMARÃES (1985) refere-se a uma habitação popular, os valores dos gastos energéticos durante o uso de edificações residenciais apresentados em BRASIL (1997) são relativos ao consumo médio de toda a população brasileira, sem uma discriminação para a parcela da população de menor nível econômico. Ou seja, o consumo energético de uma habitação

popular pode ser menor do que a média brasileira, o que implicaria em uma maior quantidade de anos para se consumir durante o uso da habitação, a mesma quantidade de energia gasta durante a manufatura dos materiais de construção utilizados.

Através do estudo de MASCARÓ (1981), pode-se observar que em geral o período de tempo necessário, durante a utilização de prédios residenciais no Brasil, para se consumir a mesma quantidade de energia gasta para a produção dos materiais de construção, transporte dos mesmos até a obra e construção destes prédios, representou aproximadamente trinta e três (33) anos, demonstrando a relevância da parcela energética gasta na produção de materiais. Porém, deve-se salientar que MASCARÓ (1981) considerou somente os gastos diretos em energia elétrica durante a utilização das edificações, não abordando as demais fontes energéticas como o gás liquefeito de petróleo, lenha, gás natural, querosene iluminante, gás canalizado e carvão vegetal, como considerado em BRASIL (1997). Salienta-se ainda que os dados de MASCARÓ (1981) são referentes a um estudo de caso de prédios residenciais não específicos para população de baixa renda econômica.

Por fim, realiza-se uma última comparação do valor do conteúdo energético total de uma habitação popular obtido por GUIMARÃES (1985), representado por 114.610,02 MJ, com o consumo mínimo de energia elétrica por uma família de quatro pessoas apresentado por GRAÇA apud KNIJNIK (1994), referente a 6.048,00 MJ/ano. Desta forma, atinge-se o valor de aproximadamente dezenove (19) anos referente ao tempo necessário para se consumir durante o uso da habitação, a mesma quantidade de energia utilizada para produção dos materiais de construção. Salienta-se que, mesmo constatando que ambos os valores apresentados por GUIMARÃES (1985) e GRAÇA apud KNIJNIK (1994) são relativos a habitações populares, GUIMARÃES (1985) considera todas as fontes energéticas durante a manufatura de materiais de construção, enquanto GRAÇA apud KNIJNIK (1994) considera somente os gastos em energia elétrica durante o uso da habitação popular, sendo esta uma limitação desta comparação.

Concluindo, apesar da constatação da escassez atual de dados brasileiros para a identificação do grau de relevância entre o conteúdo energético e a energia operacional, especificamente quanto a habitações em geral, não se descarta a relevância do estudo do conteúdo energético, ou seja, dos gastos energéticos durante a extração e produção de materiais de construção. Desta forma, observando-se também a existência de vários trabalhos científicos sobre o tema a nível mundial, adota-se como um princípio ambiental básico:

- ✓ priorizar o uso de materiais de construção relacionados a menores conteúdos energéticos.

Para tal, deve-se primeiro identificar os índices energéticos de cada material em questão. Porém, apesar de existirem várias pesquisas sobre gastos energéticos envolvidos no processo de produção de materiais de construção, não observa-se um consenso sobre os índices energéticos adotados. O resultado das pesquisas normalmente apresentam valores diferentes. COLE e ROUSSEAU (1992) explicam que isto ocorre devido a basicamente quatro fatores, que serão comentados a seguir. O primeiro fator trata das diferenças entre as limitações de cada pesquisa. A limitação ou a escolha do nível de análise depende do objetivo do trabalho, da disponibilidade de dados e do tipo do método de análise a ser utilizado, sendo umas pesquisas mais profundamente estudadas que outras. Salienta-se, desta forma, que avaliações de índice energético devem ser acompanhadas da discriminação de todas as limitações adotadas.

Para COLE e ROUSSEAU (1992), o cálculo ideal do índice energético de materiais contempla:

- ⇒ os gastos energéticos diretamente relacionados à extração, beneficiamento e transporte das matérias-primas;
- ⇒ os gastos energéticos diretamente relacionados ao processamento primário, como também ao transporte para os estágios secundários;
- ⇒ os gastos energéticos diretamente relacionados à fabricação secundária, montagem, dentre outros, quando aplicável;
- ⇒ e o poder calorífico das matérias-primas quando estas forem utilizadas como combustível.

Pesquisas mais detalhadas ainda incluem gastos energéticos indiretos envolvidos no processo produtivo, como por exemplo, gastos para fabricação das máquinas que produziram os equipamentos para produção do material em questão, como realizado no trabalho de BUCHANAN e HONEY (1994).

Ainda segundo COLE e ROUSSEAU (1992), o segundo fator corresponde às diferenças entre as fontes de informações utilizadas, que dependendo da pesquisa, podem ser as próprias indústrias que fabricam o material, bancos de dados nacionais, ou outros tipos de fontes. O terceiro fator refere-se às diferenças internacionais, em termos dos tipos de combustíveis utilizados, da importação de algumas matérias-primas não existentes ou escassas em determinado país, dentre outros. Por exemplo, enquanto no Canadá o alumínio é produzido com energia proveniente de hidrelétricas, no Reino Unido utiliza-se a energia de termelétricas. Por fim, o quarto fator corresponde ao poder calorífico adotado para cada material combustível, que pode ser obtido através de valores teóricos ou de valores reais quando queimado num processo de eficiência regular e não ótima.

COLE e LARSSON (1998) acrescentam que, a princípio, avaliações de conteúdo energético deveriam derivar de informações regionais de intensidade de energia. Porém, sabendo-se que em muitos casos isto não é possível, as avaliações são obrigadas a utilizar informações compiladas de várias fontes, o que as torna relativamente grosseiras, imprecisas e superficiais.

Nesta dissertação, foram analisadas nove principais referências bibliográficas, que apresentavam valores absolutos de índices energéticos de vários materiais de construção. Dentre as referências analisadas, encontram-se as estrangeiras representadas por LAWSON (1996), COLE e ROUSSEAU (1992), ALCORN e BAIRD (1996), WORRELL et al. (1994), VISVESVARAYA (1987), SZOKOLAY (1997) e CONSTRUCTION ... (1996), e as brasileiras de GUIMARÃES (1985) e BRASIL (1982). Todos os índices energéticos apresentados por estas referências encontram-se na Tabela 4.

Observa-se na Tabela 4 que cinco valores de índices energéticos representam quantitativos muito diferentes dos demais relativos ao mesmo material, sendo considerados valores espúrios. Estes valores espúrios encontram-se realçados na Tabela 4, através de um sombreamento. Porém, mesmo com a eliminação destes valores espúrios, observa-se que os valores absolutos dos índices energéticos variam consideravelmente para um mesmo material, de acordo com a referência.

Como resultado da análise destas referências, pôde-se constatar que cinco delas abordam tanto blocos cerâmicos quanto blocos de concreto, sendo que em todas os blocos cerâmicos apresentam um índice energético maior que os blocos de concreto, em termos de MJ/kg, incluindo-se as duas referências brasileiras. Os gastos energéticos para produção de cal virgem ou hidratada e de cimento Portland apresentaram valores em geral semelhantes, sendo comparados em cinco referências, em termos de MJ/kg. Além disto, através da Tabela 4, pode-se observar que os agregados areia e brita apresentam os menores índices energéticos dentre todos os materiais pesquisados, devido aos gastos energéticos relativamente baixos para sua extração e britagem.

Porém, como comentado por EDWARDS e HOBBS (1998), deve-se salientar que a simples comparação entre os índices energéticos (MJ/kg) não é objeto da pesquisa, sendo relevante somente a comparação entre os conteúdos energéticos (MJ) gerados a partir da multiplicação destes índices pelas quantidades (kg) dos materiais utilizados. GUIMARÃES (1985) conclui em seu trabalho que alguns materiais, apesar de possuírem um elevado índice energético, não se destacam no conteúdo energético total de uma edificação, fornecendo como exemplo o vidro. GUIMARÃES (1985) acrescenta que, como resultado da análise da habitação popular tipo COHAB – CP 1 II (DEPEA/BNH), os materiais utilizados com maior participação no conteúdo energético total foram os blocos cerâmicos vazados e o cimento Portland. DEBNATH et al. (1995) afirmam que, para as edificações residenciais típicas da

Tabela 4 – Índices energéticos de materiais de construção.

ÍNDICE ENERGÉTICO (MJ/kg)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
DADOS REFERENTES AO PAÍS:	Austrália	Brasil	Brasil	Canadá	Suíça	Nova Zelândia	Holanda Oeste Europeu	Austrália	Não conhecido	Holanda
REFERÊNCIA DOS DADOS:	1996	1982	1985	1975-85	1980	1996	1988	1997	1979	1991
POLIESTIRENO (PS)				105,00	122,80		82,70			
POLIETILENO (PE)				87,00	49,30		67,80	324,00		
POLIPROPILENO (PP)							63,20			
POLICLORETO DE VINILA (PVC)	80,00	0,59	74,33				52,40	288,00		
PLÁSTICOS (EM GERAL)	90,00								40,00	50,00–100,00
ALUMÍNIO	170,00	98,82		236,30	261,70	166,00	187,10	165,60–201,60	120,00	200,00–250,00
COBRE	100,00		87,65			70,60	82,80	57,60	30,00	100,00
ZINCO	51,00			64,10	68,40			54,00	50,50	25,00
AO GALVANIZADO	38,00	41,70	32,46					37,80		
AO	34,00	21,91	25,58	25,70	27,70	32,00	22,70	36,00	30,00	30,00–60,00
TINTAS (EM GERAL)	61,50	1,18	73,06	76,00		93,30				
VIDRO PLANO	12,70	20,82	27,93	10,20	21,60	14,90		21,60	21,00	12,25
MADEIRA COMPENSADA (HARDBOARD)	24,10									
MADEIRA AGLOMERADA (PARTICLEBOARD)	8,00	5,23						7,92		
MADEIRA BRUTA SERRADA	3,40		3,34			2,50		1,80–3,24		0,10–5,00
FIBROCIMENTO	7,60	3,93	3,55			13,10		7,56	5,10	
CIMENTO PORTLAND	5,60	3,82	4,04	5,90	4,90	7,80	3,90	7,92	6,40	5,80
CAL VIRGEM OU HIDRATADA		3,95	2,35					5,40	6,30	3,00–5,00
GESSO (EM PASTA)	2,90	0,01		7,40	1,40				3,60	1,00–4,00
CERÂMICA (BLOCOS)	2,50	3,09	3,13	4,90	3,10	2,50	3,00	3,60–4,32	4,30	2,00–7,00
CONCRETO (BLOCOS)	1,40	0,43	0,60			0,86				0,80–3,50
SILICO-CALCÁREOS (BLOCOS)							0,70	1,44–1,80	0,84	0,80–1,20
CONCRETO (IN LOCO)	1,70			1,20	0,90	1,40		0,72–1,80	0,80	0,80–1,50
AREIA / BRITA		0,03	0,07			0,10	0,10	0,04	0,10	

A: LAWSON (1996)

B: BRASIL (1982)

C: GUIMARÃES (1985)

D: COLE e ROUSSEAU (1992)

E: COLE e ROUSSEAU (1992)

F: ALCORN e BAIRD (1996)

G: WORRELL et al. (1994)

H: SZOKOLAY (1997)

I: VISVESVARAYA (1987)

J: CONSTRUCTION ... (1996)

Fontes: LAWSON (1996), BRASIL (1982), GUIMARÃES (1985), COLE e ROUSSEAU (1992), ALCORN e BAIRD (1996), WORRELL et al. (1994), SZOKOLAY (1997), VISVESVARAYA (1987) e CONSTRUCTION ... (1996)

Índia, estudadas em seu trabalho, os blocos cerâmicos, o cimento Portland e o aço foram os maiores contribuintes para o conteúdo energético total das mesmas.

Devido aos quatro fatores citados por COLE e ROUSSEAU (1992), comentados anteriormente, e devido à utilização de intervalos de índices energéticos por parte de algumas referências bibliográficas apresentadas na Tabela 4, não foram adotados nesta dissertação índices médios resultantes das várias referências. Buscou-se adotar uma das nove referências como base para este estudo. Desta forma, considerando-se principalmente as diferenças internacionais entre as tecnologias aplicadas na produção de materiais de construção, adota-se a referência brasileira de GUIMARÃES (1985) como base para esta dissertação, já que em BRASIL (1982) existem três valores absolutos de índice energético incompatíveis com as demais referências, relativos ao PVC, à tinta e ao gesso.

Salienta-se que o índice energético utilizado para a madeira bruta serrada foi 3,34 MJ/kg, como utilizado por GUIMARÃES (1985). Porém, para a madeira compensada tipo *hardboard*, utilizou-se os valores de LAWSON (1996), sendo a única referência estudada que apresenta um índice energético para este tipo de chapa de madeira. E quanto à madeira aglomerada, também utilizou-se o índice energético apresentado por LAWSON (1996), sendo praticamente o mesmo apresentado por SZOKOLAY (1997), novamente devido à não disponibilidade destes dados no trabalho de GUIMARÃES (1985). Deve-se ressaltar ainda que não foi utilizado o índice energético de madeira aglomerada encontrado em BRASIL (1982) devido à existência de vários valores espúrios nesta referência em comparação com as demais, o que compromete em parte a confiabilidade dos seus valores.

Além dos valores encontrados na Tabela 4, utilizou-se os índices energéticos para azulejos e louça sanitária apresentados por GUIMARÃES (1985), correspondentes respectivamente aos valores de 23,35 MJ/kg e 39,33 MJ/kg. Porém, vale salientar que provavelmente a indústria brasileira de cerâmica esmaltada é atualmente mais eficiente que há anos atrás, quando foi realizada a pesquisa de GUIMARÃES (1985), que somente está sendo adotada como referência neste trabalho devido a precariedade de dados sobre índices energéticos.

Já para o poliestireno expandido utilizou-se o valor de 111,6 MJ/kg apresentado por WILSON (1995), sendo a única referência bibliográfica encontrada que trata especificamente de comparações ambientais entre vários materiais para isolamento térmico, apresentando índices energéticos estimados de cada um. Neste aspecto, salienta-se que CURWELL et al. (1990) fornecem exemplos de materiais alternativos para isolamento térmico, afirmando que o poliestireno expandido consome quase dez vezes mais energia durante a sua produção, quando comparado a lã mineral.

Por fim, é interessante salientar algumas relações entre o tipo de processo produtivo utilizado com os índices energéticos obtidos. Segundo WILSON (1993), a maior parte da energia consumida na produção de cimento é utilizada para operação dos fornos rotativos de cimento. Os fornos mais modernos que utilizam o processo seco de produção de cimento são mais eficientes energeticamente do que aqueles com processo úmido, devido ao fato de que não é necessário usar energia para retirar a umidade. Em um forno moderno com processo seco, os ingredientes são normalmente pré-aquecidos com o calor perdido pelos gases de exaustão que saem dos fornos. Um forno com processo seco pode utilizar cerca de 50% menos energia que um forno com processo úmido.

Apesar destas diferenças energéticas entre os tipos de produção do cimento Portland, por via seca ou por via úmida, todas as referências pesquisadas sobre índices energéticos, presentes na Tabela 4, não especificaram qual o processo de produção de cimento relativo aos índices apresentados, com exceção de BRASIL (1982) e WORRELL et al. (1994), onde encontra-se o estudo do processo por via seca. Além disto, quanto aos demais materiais de construção, observa-se que os seus processos produtivos também não foram discriminados nas referências bibliográficas estudadas, o que parcialmente compromete a utilidade dos dados.

### **3.1.3. Geração de emissões aéreas poluentes**

A produção de materiais de construção muitas vezes é responsável por emissões aéreas poluentes, que, por sua vez, estão associadas a determinados impactos ambientais. Desta forma, apresenta-se a seguir algumas relações entre estas emissões e seus respectivos impactos ambientais.

Segundo LIPPIATT (1998) e GREEN BUILDING DIGEST (1995a), a produção de alguns materiais de construção gera emissões que causam o aumento do efeito de aquecimento global do planeta, causado principalmente pela emissão de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), clorofluorcarbonos (CFCs), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e gás metano ( $\text{CH}_4$ ). Em termos gerais, o aquecimento global é um efeito natural, caracterizado pela manutenção da temperatura superficial do planeta, através de gases com a capacidade de retenção das ondas longas de calor emitidas pela superfície terrestre. Os principais gases responsáveis pelo aquecimento global são o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o gás metano ( $\text{CH}_4$ ). Porém, a queima de combustíveis fósseis, que causa elevadas emissões de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para a atmosfera, juntamente com emissões de clorofluorcarbonos (CFCs), óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ) e gás metano ( $\text{CH}_4$ ) de outras fontes, tem causado um aumento significativo da quantidade de irradiação solar refletida retida na atmosfera terrestre. BUCHANAN e HONEY (1994) estimam que a

temperatura global cresceu cerca de meio grau Celsius durante os últimos cinquenta anos, devido às grandes emissões destes gases, responsáveis pelo aumento do efeito de aquecimento global e, conseqüentemente, pela elevação do nível do mar, dentre outras graves conseqüências para a natureza. No entanto, há controvérsias entre diversos pesquisadores quanto aos reais efeitos do aquecimento global no planeta.

Por sua vez, a produção de alguns materiais de construção pode também ser responsável pela geração de emissões que causam a redução da camada de ozônio, sendo esta produção geralmente restrita a materiais de isolamento térmico, como por exemplo fibras de poliéster. Além disto, o uso de clorofluorcarbonos (CFCs) e outros gases, que reduzem o ozônio, nos processos industriais, também contribui para a redução da camada de ozônio. Em termos gerais, a camada de ozônio da estratosfera tem a função de proteger os habitantes da Terra dos efeitos nocivos da radiação ultravioleta, tendo em vista que a exposição aos raios ultravioletas pode causar a incidência de alguns tipos de câncer de pele, cataratas, etc. A presença de gases como os clorofluorcarbonos (CFCs) na atmosfera tem causado a destruição desta camada de ozônio (GREEN BUILDING DIGEST, 1995a).

A manufatura de alguns materiais de construção ainda produz emissões que causam a chuva ácida, que representa um sério problema ambiental, gerando danos aos ecossistemas e ao ambiente construído. A chuva ácida é causada principalmente por emissões de óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), que por sua vez estão diretamente relacionados a queima de combustíveis fósseis e biomassa. LIPPIATT (1998) acrescenta que além destes dois principais agentes, as emissões de ácido clorídrico, ácido fluorídrico e amônia também contribuem para a chuva ácida, sendo que estes compostos podem estar dissolvidos em água ou fixados em partículas sólidas na atmosfera. HALLIDAY (1994) confirma que a chuva ácida é formada principalmente pela remoção de óxidos de enxofre ( $SO_x$ ) e nitrogênio ( $NO_x$ ) da atmosfera através de precipitação e que a presença destes compostos dissolvidos nas precipitações causa um aumento na acidez, podendo agredir a flora e a fauna terrestres, o solo e edificações (GREEN BUILDING DIGEST, 1995a).

Por fim, segundo consta em GREEN BUILDING DIGEST (1995a), durante a produção de alguns materiais de construção podem ocorrer emissões de oxidantes fotoquímicos, causadores de poluição aérea e da redução da camada de ozônio, e conseqüentemente de danos à vegetação, aos materiais e à saúde humana. Pode-se afirmar que os principais oxidantes fotoquímicos são representados pelos hidrocarbonetos (HC) e óxidos de nitrogênio ( $NO_x$ ), muitas vezes emitidos durante a manufatura de determinados materiais de construção. GRAEDEL e GUTH (1990) acrescentam que a fumaça fotoquímica é caracterizada por um ar visivelmente contaminado que provoca riscos à saúde,

sendo resultante de reações químicas entre hidrocarbonetos (HC), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>) e a luz solar. A fumaça fotoquímica foi anunciada pela primeira vez em Los Angeles no começo dos anos 50.

Após esta abordagem genérica das principais emissões aéreas poluentes geradas durante a manufatura de materiais de construção, assim como as suas relações com vários impactos ambientais, busca-se então discriminar as emissões aéreas para cada material de construção, tendo-se em vista o seguinte princípio ambiental:

- ✓ priorizar a utilização de materiais de construção, cujo processo de manufatura esteja relacionado a menores emissões aéreas poluentes.

Neste sentido, COLE e ROUSSEAU (1992), além de constatarem que a produção de materiais de construção muitas vezes gera emissões aéreas poluentes associadas a impactos ambientais, salientam que estas emissões podem estar relacionadas tanto a características intrínsecas dos materiais, quanto aos tipos de combustíveis utilizados durante a produção dos mesmos.

COLE e ROUSSEAU (1992) afirmam que as principais emissões não relacionadas à utilização de combustíveis podem ser de material particulado, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), sendo que a natureza, extensão e proporções destas emissões são específicas também dos diversos processos de produção das indústrias de materiais. Por outro lado, as emissões diretamente relacionadas à utilização de combustíveis abrangem principalmente o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), material particulado, dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrogênio (NO<sub>x</sub>), monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC), sendo que as proporções entre estes gases variam significativamente de acordo com o tipo de combustível e com a eficiência de combustão. Na Tabela 5, expõe-se as quantidades médias aproximadas de emissões causadas por alguns combustíveis.

**Tabela 5 – Emissões aéreas causadas devido a utilização de alguns combustíveis.**

COMBUSTIVEL/USO	CO <sub>2</sub> (g/MJ)	Particulados (g/MJ)	SO <sub>2</sub> (g/MJ)	NO <sub>x</sub> (g/MJ)	CO (g/MJ)	HC (g/MJ)
GÁS NATURAL	50,5000	0,0060	0,0002	0,0900	0,0070	0,0080
ELETRICIDADE (100% proveniente da queima de carvão)	248,9000	0,3100	2,3600	0,7500	0,1700	0,0080
ELETRICIDADE (62% hidrelétrica; 20,1% carvão; 16% termonuclear; 0,5% gás; 1,4% óleo)	52,3000	0,0700	0,5000	0,1600	0,0400	0,0017

Fonte: COLE e ROUSSEAU (1992).

COLE e ROUSSEAU (1992) complementam que em alguns casos, como durante a produção de cimento, as emissões devido a combustíveis representam a maior parcela de poluição, pois as emissões devido a características intrínsecas do cimento são representadas principalmente pela geração de poeira e nada mais. Por outro lado, existem materiais de construção que devido às suas próprias características emitem vários poluentes aéreos, como por exemplo no caso da fundição de metais, que emitem óxidos de enxofre (SO<sub>x</sub>) devido à redução de minério de ferro.

Com a finalidade de caracterizar as emissões aéreas poluentes relacionadas à produção de cada material de construção, realiza-se um levantamento bibliográfico, onde observa-se que a grande maioria das referências bibliográficas abordam o tema de forma genérica, não discriminando impactos ambientais devido a emissões aéreas para cada material de construção. Dentre as referências bibliográficas analisadas, somente quatro especificam as emissões aéreas poluentes relativas a cada material estudado, sendo representadas por ANINK et al. (1996), LAWSON (1996), LIPPIATT (1998), e GREEN BUILDING DIGEST (1995-). Desta forma, a princípio, adota-se como base para a análise das emissões aéreas poluentes o trabalho intitulado de GREEN BUILDING DIGEST (1995-), devido às constatações das limitações encontradas em LIPPIATT (1998), principalmente quanto ao restrito número de materiais abordados, e das limitações encontradas nos trabalhos de LAWSON (1996) e ANINK et al. (1996), relativas principalmente à abordagem de caráter superficial de suas análises ambientais.

Porém, como uma ressalva importante, observa-se que, em GREEN BUILDING DIGEST (1995-) os materiais são avaliados através de um método comparativo, onde são realizadas avaliações de impacto ambiental relativo entre materiais substituíveis em uma edificação por exercerem a mesma função, não demonstrando os valores absolutos que representaram a base para a classificação qualitativa final apresentada. Desta forma, possui como uma de suas limitações a não possibilidade de avaliar o significado de um determinado impacto ambiental num contexto maior. Mesmo que um material "A" seja classificado com o máximo impacto ambiental em relação a um material "B" que possua um mínimo impacto ambiental relativo, não se tem idéia do significado destes valores em termos absolutos.

Por exemplo, em GREEN BUILDING DIGEST (1995a), as emissões de oxidantes fotoquímicos durante a produção de cimento Portland são consideradas de maior impacto ambiental comparativamente às emissões geradas durante a produção de cal virgem, mas somente através desta informação não se consegue avaliar o quanto este impacto é significativo quando comparado com a produção de outros materiais de construção. No entanto, esta limitação não representa um grande

problema de pesquisa, pois a comparação entre materiais alternativos que exerçam função semelhante dentro de uma edificação, como por exemplo a comparação entre blocos para alvenaria de materiais diferentes, telhas de materiais diferentes, esquadrias de materiais diferentes, tintas de diversas composições, já possibilitam um resultado satisfatório no momento, tendo em vista que o tema de pesquisa em questão é relativamente recente a nível internacional.

Contudo, a maior ressalva que se deve fazer em se utilizar os resultados de GREEN BUILDING DIGEST (1995-) se refere ao fato de que estes não representam exatamente a realidade brasileira. Os impactos ambientais foram calculados em termos das tecnologias de extração de matérias-primas e de produção dos materiais de construção, típicas de países europeus, em especial do Reino Unido, e estão associados à utilização de combustíveis muitas vezes diferentes dos utilizados no Brasil. Assim, sabendo-se que a queima de combustíveis está diretamente relacionada à geração de algumas emissões aéreas poluentes, alguns impactos ambientais apresentados podem não ser compatíveis com a realidade brasileira.

Através de um contato com KIMMINS (1999), editor do GREEN BUILDING DIGEST (1995-), constatou-se que os impactos ambientais apresentados nesta referência são resultado de uma compilação de informações de várias fontes europeias, com ênfase em dados provenientes do Reino Unido. Segundo informações de KIMMINS (1999), pôde-se constatar algumas divergências entre os combustíveis utilizados no Reino Unido e no Brasil para produção de materiais de construção. Somente para fins de exemplificação, no caso da produção de blocos cerâmicos, enquanto no Reino Unido utiliza-se gás natural para aquecer os fornos das olarias e eletricidade proveniente da queima de carvão, sabe-se que no Brasil a maioria dos fornos de olarias possuem como combustível básico a lenha, sendo a parcela de eletricidade utilizada proveniente de hidrelétricas. Além disto, KIMMINS (1999) não informou com precisão todos os combustíveis utilizados nos processos produtivos de cada material de construção pesquisado em GREEN BUILDING DIGEST (1995-), fornecendo somente dados gerais sobre os combustíveis mais utilizados no Reino Unido.

Deve-se salientar que, mesmo de posse de informações sobre os exatos combustíveis utilizados para produção de cada material de construção no Reino Unido e no Brasil, e de posse de informações sobre as quantidades médias de emissões aéreas referentes a cada combustível, não se consegue adaptar os dados apresentados em GREEN BUILDING DIGEST (1995-) para a realidade brasileira, devido à sua característica qualitativa. Além disto, os dados apresentados em GREEN BUILDING DIGEST (1995-) são relativos tanto às emissões devido aos combustíveis quanto às características intrínsecas de cada material, não havendo uma discriminação entre eles.

Através de informações sobre os tipos e quantidades de combustíveis utilizados para produção de cada material de construção no Brasil e de informações sobre as quantidades médias de emissões aéreas referentes a cada combustível, poderia-se tentar avaliar os impactos ambientais relativos aos vários poluentes aéreos gerados pela queima destes combustíveis. Porém, este seria um exercício muito exaustivo para fins desta dissertação, sendo que ainda faltaria a quantificação da parcela referente às características intrínsecas dos próprios materiais. Desta forma, o impacto ambiental relacionado à geração de emissões aéreas poluentes não será avaliado detalhadamente nesta dissertação devido à falta de dados confiáveis para subsidiar a análise.

#### **3.1.4. Geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos poluentes**

Emissões tóxicas para a terra ou a água podem ser produzidas durante a extração de matérias-primas e o processamento de materiais de construção. Estas emissões abrangem uma vasta gama de elementos tóxicos, dependendo dos materiais de construção em questão, assim como do processo utilizado para a produção dos mesmos (GREEN BUILDING DIGEST, 1995a).

Porém, salienta-se que todas as referências pesquisadas, que tratam especificamente dos impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida de materiais de construção, não abordam a geração de efluentes líquidos e de resíduos sólidos poluentes de maneira detalhada. Pelo contrário, as mesmas apresentam uma abordagem geral e um tanto vaga. Além disto, a maioria destas referências nem ao menos cita a geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos durante a etapa de extração de matérias-primas e produção de materiais de construção, enfatizando nesta fase a exploração de recursos naturais, os gastos energéticos e a geração de emissões aéreas poluentes, já comentados anteriormente.

Desta forma, esta geração de efluentes líquidos e resíduos sólidos poluentes não será alvo de um detalhado estudo nesta dissertação, devido à escassez de dados a este respeito. No entanto, sabendo-se da existência deste impacto ambiental, pode-se ter como um princípio básico:

- ✓ priorizar o uso de materiais de construção associados a menores poluições por efluentes líquidos e resíduos sólidos, durante a extração de suas matérias-primas e sua manufatura.

### 3.2. ETAPA DE TRANSPORTE DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Segundo HAYWARD e HILL (1999), o transporte de uma maneira geral está vinculado a vários impactos ambientais, como por exemplo mudanças na qualidade do ar, modificações na paisagem, alteração da biodiversidade local, geração de ruído, aumento do consumo energético, dentre outros. Por sua vez, BANISTER e BANISTER (1995) afirmam que o transporte tem sido responsável por um elevado consumo de recursos energéticos não renováveis e pela emissão de poluentes aéreos em níveis significativos. Além disto, complementam que a ênfase nos estudos sobre o consumo energético é importante devido à sua relação atual direta com a utilização de recursos naturais não renováveis e escassos, com a poluição ambiental e com o aumento do efeito de aquecimento global do planeta.

Com relação ao transporte rodoviário, BANISTER e BANISTER (1995) afirmam que o mesmo tem contribuído significativamente com emissões de monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e dióxido de carbono, devendo-se salientar que estas emissões vem crescendo ao longo dos últimos anos, acompanhadas também por um crescimento no consumo energético. A partir destas constatações, HIMANEN et al. (1992) afirmam que deve-se pensar em soluções urgentes para compatibilizar o transporte e o meio ambiente, buscando-se reduzir cada um dos seus diversos impactos ambientais.

Inserido neste contexto geral, a etapa de transporte dos materiais de construção, desde os seus respectivos produtores até as obras de construção, também está vinculada a diversos tipos de impactos ambientais e tem sido alvo de várias pesquisas recentes. Observa-se que muitos pesquisadores, como CURWELL et al. (1990), têm enfatizado a importância da utilização de materiais provenientes de produtores locais, para fins de minimizar o transporte e consequentemente reduzir os impactos ambientais relacionados com este transporte. Segundo MALIN (1996a), a utilização de materiais de construção locais possui ainda outras vantagens como, por exemplo, o contato dos usuários diretamente com os impactos ambientais gerados pelas suas escolhas, o suporte da economia local, etc.

Porém, alguns contrapontos podem existir se por exemplo as indústrias locais realizarem um uso menos eficiente das matérias-primas, possuírem controles de poluição menos sofisticados e forem energeticamente menos eficientes, quando comparadas a indústrias similares existentes a uma longa distância. O conceito de indústrias similares se refere àquelas indústrias responsáveis pela produção de um mesmo tipo de material de construção. Desta forma, para determinar se um material local é

realmente a melhor escolha ambiental para uma aplicação específica, deve-se também considerar estes contrapontos. No entanto, salienta-se que, para a escolha do produtor de um determinado material de construção, no caso de duas indústrias que apresentem benefícios ambientais intrínsecos similares, deve-se optar pela mais próxima com o objetivo de reduzir os impactos relacionados ao transporte.

Nesta dissertação não foi possível efetuar uma análise das características específicas de cada indústria similar, sendo considerados valores padrões referentes a cada material de construção. Considerou-se somente um único índice energético para cada material de construção, conforme apresentado no item 3.1.2. Desta forma, desconsiderando-se as diferenças relativas às características intrínsecas de indústrias similares, busca-se estimular a utilização de materiais produzidos localmente, pois menores impactos ambientais estão diretamente relacionados a menores distâncias de transporte entre as indústrias produtoras e o canteiro de obras. Além disto, deve-se salientar que mesmo que a análise das características específicas de cada indústria similar fosse realizada, estas características seriam referentes a outras etapas do ciclo de vida de materiais de construção, já explicitadas em itens anteriores, ou a serem analisadas em itens seguintes, devendo-se analisar a etapa de transporte sempre buscando-se reduzir o mesmo, e consequentemente os impactos associados.

Resumidamente, pode-se considerar como um princípio ambiental básico:

- ✓ reduzir o transporte de materiais de construção, através da utilização de materiais provenientes de produtores locais.

Além da localização destes produtores, pode-se ainda comentar que a localização das jazidas das matérias-primas utilizadas também é importante, observando-se no entanto que, normalmente, as indústrias produtoras localizam-se próximas a estas jazidas, podendo existir exceções.

Por fim, tendo em vista a grande amplitude de impactos ambientais envolvidos com o transporte de materiais de construção, realiza-se a seguir uma abordagem de somente alguns destes impactos, especificamente representados pelos gastos energéticos e pelas emissões aéreas poluentes. Salienta-se que toda a análise foi baseada no transporte rodoviário através de caminhões de transporte de carga, e que não foram consideradas as distâncias das jazidas de matérias-primas até as indústrias produtoras, sendo as mesmas consideradas a princípio desprezíveis, e então analisadas somente as distâncias das indústrias produtoras até o local da obra.

### 3.2.1. Gastos energéticos

Especificamente em relação aos gastos energéticos, KOMOR et al. (1993) afirmam que, em determinados países, o setor de transportes é responsável por um montante equivalente a aproximadamente um terço da energia total consumida no setor comercial e cerca de metade do consumo total de petróleo. Ou seja, o setor de transportes consome uma elevada quantidade de recursos energéticos devendo-se criar ferramentas para a minimização deste consumo. GREENE (1993) acrescenta que, desde a Revolução Industrial, a energia para fins de transporte tem sido, em geral, proveniente da queima de combustíveis fósseis: carvão, petróleo e gás natural. Neste sentido, cita como exemplo os Estados Unidos da América, onde cerca de 98,7 % de toda energia gasta em meios de transporte é gerada pela queima de combustíveis fósseis. Acrescenta ainda que a utilização destes combustíveis é responsável pela produção de um grande número de impactos ambientais.

Tendo em vista o elevado consumo energético de combustíveis fósseis pelo setor de transportes e considerando que o mesmo está associado a vários impactos ambientais, constata-se a necessidade de minimização deste consumo. Neste sentido, GREENE (1993) e MORCHEOINE e ORFEUIL (1998) afirmam que deve-se melhorar a eficiência energética dos meios de transporte, adotando simultaneamente medidas para a redução das distâncias de transporte, criando uma sociedade mais acessível e menos móvel.

Em relação ao transporte rodoviário e, mais especificamente, em relação ao transporte de carga em caminhões, KOMOR et al. (1993) afirmam que, enquanto existe uma ampla variedade de tipos de caminhões em uso nos países em desenvolvimento, existe também uma maior incidência de caminhões que possuem um tempo de vida elevado, acompanhado de uma manutenção irregular, resultando em baixos índices de eficiência energética. Somente para fins de exemplificação, YENNY e UY apud KOMOR et al. (1993) apresentam os consumos energéticos de alguns caminhões leves, analisados em países em desenvolvimento (Índia, China, dentre outros), de acordo com a respectiva capacidade de carga de cada um. Demonstrem, por fim, a baixa eficiência energética de todos os caminhões estudados, devido principalmente à falta de uma manutenção regular. Desta forma, constata-se que caminhões com a mesma capacidade de carga podem apresentar diferenças significativas entre os seus respectivos consumos energéticos, dependendo da idade dos caminhões, da regularidade de manutenção que os mesmos recebem, dentre outros fatores.

HIMANEN et al. (1992) acrescentam que o consumo energético está relacionado a várias características próprias dos veículos, como por exemplo a velocidade de cruzeiro dos mesmos. Neste

sentido, KOMOR et al. (1993) salientam que, além da velocidade de cruzeiro, o tamanho dos caminhões também possui uma importante relação com o consumo energético, afirmando que caminhões com uma baixa capacidade de carga normalmente exigem mais energia para transportar uma tonelada de material quando comparados a caminhões com uma maior capacidade de carga.

MILLER (1998) ainda afirma que a quantidade de material carregada e a sua relação com a carga útil admitida pelo veículo transportador são importantes fatores na determinação da energia consumida durante o transporte. Especificamente no caso da construção civil, os veículos podem não estar transportando toda a sua carga útil devido à requisição de uma menor quantidade pela obra, ou devido a restrições de tamanho do local de estoque de materiais no canteiro de obras, dentre outros. De acordo com o percentual de carga carregado, que varia de 100 % a 0 % da carga útil, observam-se variações no consumo energético do veículo. Além disto, a forma física e a densidade do material também podem interferir na carga transportada, e, conseqüentemente, alterar os gastos energéticos decorrentes da operação de transporte.

MALIN (1996a) ainda ressalta que os gastos energéticos em transporte dependem das condições de tráfego, sendo maiores em zonas urbanas, onde a eficiência energética é reduzida devido à falta de uniformidade no fluxo de tráfego.

Em resumo, pode-se afirmar que os gastos energéticos envolvidos no transporte de materiais de construção diferem muito de acordo com fatores como: idade dos caminhões, periodicidade de manutenção, peso bruto total combinado (PBTC), velocidade de cruzeiro, capacidade de carga útil, percentual de carga carregada, condições de tráfego, entre outros. Porém, observa-se na bibliografia valores estimados de consumo energético no transporte de materiais de construção, sem apresentar discriminações de idade dos caminhões, periodicidade de manutenção, etc.

Como exemplo de algumas estimativas da energia média consumida no transporte rodoviário de materiais de construção, tem-se uma no Canadá de  $1,18 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km (TRUSTY apud MILLER, 1998), na Dinamarca de  $1,44 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km (KROGH apud MILLER, 1998), no Reino Unido de  $4,50 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km (WEST apud MILLER, 1998) e nos Estados Unidos da América de  $2,13 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km (MALIN apud MILLER, 1998). Por sua vez, LIZARDO e CHAGAS apud GUIMARÃES (1985) afirmam que o consumo médio de combustível, óleo diesel, dos caminhões que transportam carga no Brasil pode ser representado por  $0,0384 \times 10^{-3}$  l/kg.km. Em BRASIL (1997), o poder calorífico do óleo diesel é expresso por 38,34 MJ/l. Desta forma, multiplicando-se o valor de 38,34 MJ/l por  $0,0384 \times 10^{-3}$  l/kg.km, atinge-se o valor de  $1,47 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km, representando o consumo energético no transporte

rodoviário de materiais de construção. Observa-se que este valor calculado encontra-se dentro da faixa de variação dos valores indicados anteriormente pela bibliografia estrangeira.

Somente para fins de comparação do conteúdo energético de materiais de construção e do consumo energético no transporte destes materiais, desde o local da sua indústria produtora até o canteiro de obra, MALIN (1996a) afirma que em geral os gastos energéticos devido ao transporte de um determinado material variam entre 3 % a 5 % do seu respectivo conteúdo energético, no caso de materiais com um alto índice energético, e variam entre 10 % a 30 % do seu respectivo conteúdo energético, no caso de materiais com um baixo índice energético.

Por sua vez, GUIMARÃES (1985) apresenta os resultados de um estudo de caso de uma habitação, demonstrando que, enquanto 5,4 % dos gastos energéticos foram devidos aos transportes dos materiais até o canteiro de obra, 0,1 % foi devido aos transportes dos materiais dentro do canteiro de obras e 94,5 % devido ao conteúdo energético dos materiais. GUIMARÃES (1985) considerou em seu trabalho a viagem desde os produtores de materiais até o canteiro de obra, através de caminhões 100 % carregados, e também a volta vazia dos caminhões. Salienta-se que a volta dos caminhões vazios foi computada simplesmente através de um acréscimo de 50 % do valor do consumo energético dos caminhões 100 % carregados, para o cálculo dos gastos totais em transporte de materiais de construção.

Segundo MILLER (1998) os gastos energéticos em transporte de materiais, encontrados na bibliografia pesquisada por ele, também são pequenos quando comparados aos gastos energéticos durante a produção dos materiais, porém afirma que muitas simplificações são normalmente realizadas na estimativa desta parcela energética, sendo possível a existência de valores distorcidos da realidade. MILLER (1998) através de outro estudo de caso sobre os gastos energéticos gerados no transporte de materiais diversos, dos seus locais de origem até um respectivo canteiro de obra, baseado no consumo de combustível somente para a entrega dos materiais, concluiu que estes gastos representaram aproximadamente 1,5 % do conteúdo energético dos materiais utilizados na edificação em estudo. No entanto, deve-se ressaltar que não foram computadas as viagens de volta para o local de origem, nem a manutenção e fabricação dos veículos, nem a infra-estrutura rodoviária, etc.

Com a finalidade de buscar dados mais precisos para possibilitar uma análise dos gastos energéticos durante o transporte de materiais de construção, utiliza-se nesta dissertação os valores de consumos energéticos fornecidos diretamente pela Associação Nacional do Transporte de Cargas (NTC), mais especificamente por REIS (1999). Estes valores são referentes a nove tipos básicos de caminhões normalmente utilizados em rodovias brasileiras, com idade entre seis (6) e sete (7) anos de

uso e que regularmente realizam manutenção preventiva, representando médias nacionais dos caminhões cadastrados na Associação Nacional do Transporte de Cargas (NTC). Salienta-se que todos os valores foram obtidos a partir de caminhões carregando 100 % da sua capacidade de carga útil. Na Tabela 6, pode-se observar todos estes valores.

**Tabela 6 – Gastos energéticos em transportes de carga no Brasil.**

VEÍCULO	A (t)	B (t)	C (km/litro)	D (litro/l.km)	E (MJ/kg.km)
Caminhão leve	6,7	4,2	7,12	0,033	$1,282 \times 10^{-3}$
Caminhão médio 2 eixos	15,0	10,7	3,18	0,029	$1,127 \times 10^{-3}$
Caminhão semi-pesado 3 eixos	23,0	14,3	3,18	0,022	$0,843 \times 10^{-3}$
Cavalo 2 eixos com semi-reboque 2 eixos	33,0	20,0	2,60	0,019	$0,737 \times 10^{-3}$
Cavalo 2 eixos com semi-reboque 3 eixos	41,5	26,4	2,10	0,018	$0,692 \times 10^{-3}$
Caminhão 3 eixos com reboque 2 eixos	43,0	28,5	2,00	0,018	$0,673 \times 10^{-3}$
Cavalo 3 eixos com semi-reboque 3 eixos	45,0	28,7	2,00	0,017	$0,668 \times 10^{-3}$
Caminhão 3 eixos com reboque 3 eixos	50,0	31,9	1,80	0,017	$0,668 \times 10^{-3}$
Cavalo + semi-reboque dolly + semi-reboque (9 eixos)	76,0	50,0	1,20	0,017	$0,639 \times 10^{-3}$

A: Peso Bruto Total Combinado (PBTC)

D: Produtividade

B: Carga Líquida

E: Coeficientes de Gastos Energéticos

C: Rendimento

Fonte: REIS (1999).

Para o cálculo dos coeficientes energéticos encontrados na coluna E da Tabela 6, foram considerados os valores disponíveis em BRASIL (1997) sobre a massa específica do diesel referente a  $852 \text{ kg/m}^3$  e sobre o poder calorífico do diesel de  $10.750 \text{ kcal/kg}$ .

Além disto, salienta-se que, para os dois primeiros tipos de veículos apresentados na Tabela 6, caminhão leve e caminhão médio de dois eixos, foram consideradas condições de tráfego basicamente urbano, e para os demais veículos foram consideradas condições de tráfego rodoviário. Desta maneira, foram considerados os locais onde os veículos normalmente são utilizados.

Segundo a Associação Nacional do Transporte de Cargas (NTC), o tipo de caminhão mais utilizado nas rodovias brasileiras para o transporte de cargas é representado pelas características referentes na Tabela 6 ao Caminhão semi-pesado de três eixos. E o segundo mais utilizado é representado pelas características referentes na Tabela 6 ao Cavalo de dois eixos com semi-reboque

de três eixos. Deve-se ressaltar ainda que os dois últimos tipos de caminhões abordados na Tabela 6 exigem autorização especial para trânsito, pois os seus respectivos pesos brutos totais combinados ultrapassam o valor de 45 toneladas.

OSTRIA (1996) confirma que caminhões de dois eixos, com um peso bruto total de no máximo 15 toneladas, são mais frequentemente utilizados em áreas urbanas, devido a vários fatores, dentre os quais a maior facilidade de locomoção destes caminhões em áreas estreitas. OSTRIA (1996) acrescenta que caminhões com um peso bruto total maior que 15 toneladas, possuindo entre três e nove eixos, são normalmente encontrados em rodovias, sendo alguns impossibilitados de trafegar em zona urbana. Desta forma, caminhões pesados, ou seja, com um peso bruto total maior que 15 toneladas, normalmente realizam viagens de longas distâncias, com velocidade praticamente constante.

Analisando estas considerações, conclui-se que, no caso do transporte de materiais de construção, pode-se adotar os coeficientes energéticos apresentados na Tabela 6 para estimar os gastos energéticos ocorridos durante este transporte, de acordo com o tipo de caminhão e tráfego utilizados.

### **3.2.2. Geração de emissões aéreas poluentes**

Especificamente em relação às emissões aéreas poluentes, HIMANEN et al. (1992) e RAMANATHAN (1996) afirmam que o transporte em geral está relacionado a vários níveis geográficos de impactos ambientais. Para fins de exemplificação pode-se citar a incidência de fumaça fotoquímica a nível regional; prejuízos a edificações; danos florestais; destruição da qualidade do solo pela incidência de chuva ácida; mudanças climáticas globais ativadas pela concentração atmosférica de gases como o dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrogênio e clorofluorcarbonos; etc.

RAMANATHAN (1996) acrescenta que a poluição aérea devido ao transporte rodoviário é altamente relevante devido ao tipo e quantidade de poluentes emitidos. MADDISON et al. (1996) confirmam a importância dos impactos ambientais relacionados ao transporte rodoviário, constatando em seu trabalho que o transporte rodoviário no Reino Unido é responsável por uma grande parcela de todo o dióxido de carbono produzido neste país, sendo, conseqüentemente, parcialmente responsável pelo aumento do aquecimento global do planeta. MALIN (1996a) afirma que o dióxido de carbono é o

maior contribuinte para o aquecimento global do planeta, sendo um subproduto inevitável da queima de combustíveis fósseis utilizados para o transporte.

BANISTER e BANISTER (1995) acrescentam que o transporte é sem dúvida um grande responsável pelo aumento do efeito de aquecimento global do planeta, juntamente com outros setores da indústria e da agricultura, além da contribuição dos efeitos de climatização artificial de edificações. BANISTER e BANISTER (1995) e EYRE et al. (1997) ainda salientam que os principais poluentes aéreos gerados pelo transporte rodoviário são o dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, óxidos de nitrogênio e material particulado.

Como complementação, RAMANATHAN (1996) e HARRISON et al. (1993) afirmam que, enquanto os veículos movidos a gasolina são responsáveis principalmente pelas emissões de monóxido de carbono e hidrocarbonetos, os veículos à diesel são essencialmente responsáveis pelas emissões de óxidos de nitrogênio e material particulado. Além desta constatação, MADDISON et al. (1996) afirmam que a comparação entre os impactos ambientais causados por veículos movidos a gasolina e por veículos a diesel tem causado uma grande controvérsia. Alguns defendem o diesel como um combustível gerador de menores impactos ambientais, porém deve-se salientar que ambos combustíveis possuem as suas vantagens e desvantagens, sendo cada um responsável pela emissão de um conjunto de poluentes aéreos.

Salienta-se que, para o transporte de materiais de construção, busca-se analisar o transporte de carga rodoviário através de caminhões movidos a diesel. Neste sentido, observa-se que HARRISON et al. (1993) realizam uma abrangente abordagem sobre caminhões a diesel. Apesar da constatação da escassez de dados sobre emissões aéreas poluentes especificamente devidas ao tráfego de caminhões de carga movidos a diesel, HARRISON et al. (1993) utilizam fatores de emissão aérea baseados em testes reais de caminhões trafegando em rodovias do Reino Unido. Salienta-se que os caminhões pesquisados já possuíam algum tempo de utilização, não representando veículos totalmente novos.

Antes de qualquer avaliação detalhada dos dados obtidos, HARRISON et al. (1993) apresentam uma análise geral de vários fatores responsáveis pela emissão de poluentes aéreos, como por exemplo o tipo de rodovia utilizada, a velocidade do tráfego e até mesmo o comportamento do motorista. Além disto, em veículos a diesel observa-se que altas emissões de hidrocarbonetos podem ocorrer por exemplo durante a partida do veículo frio, dentre outras circunstâncias. A carga carregada pelo veículo exerce por sua vez uma grande influência na emissão de óxidos de nitrogênio, observando-se que, quanto menor o peso transportado, menores são estas emissões. Já a emissão de

material particulado pertence a um processo mais complexo, com vários diferentes fatores intervenientes, sendo mais difícil relacioná-la com as condições de operação de um veículo a diesel.

Por fim, como regra geral, HARRISON et al. (1993) afirmam que, quanto maior o peso bruto total combinado dos caminhões, maiores serão as emissões aéreas poluentes totais. Além disto, afirma que, para caminhões pesados, a emissão de material particulado pode variar entre 0,5 g/km e 2,0 g/km, e que a emissão de óxidos de nitrogênio pode variar entre 0,1 g/km e 40,0 g/km, dependendo do tipo e características do caminhão em estudo. Além disto, HARRISON et al. (1993) constataram que os caminhões mais pesados estão relacionados com maiores emissões totais de óxidos de nitrogênio, monóxido de carbono e dióxido de carbono, enquanto que as emissões de material particulado independem do peso bruto total dos caminhões.

Segundo BANISTER e BANISTER (1995) e GREENE (1993), a utilização de combustíveis fósseis é um grande responsável pelas emissões aéreas poluentes e conseqüentemente pelo aumento do aquecimento global, da chuva ácida, entre outros. Porém, HARRISON et al. (1993) acrescentam que existe uma complexa relação entre as propriedades dos combustíveis utilizados, o desempenho do motor e as emissões aéreas geradas. Além disto, a periodicidade de manutenção dos veículos possui uma direta relação com as emissões poluentes produzidas, salientando-se que a falta de uma manutenção uniforme implica em maiores emissões poluentes. Segundo PARROTT (1998) e HOWARD et al. (1998), os congestionamentos também geram uma carga ambiental negativa, associada à diminuição na qualidade do ar urbano devido às emissões poluentes dos veículos.

Por fim, pôde-se constatar, através do estudo da literatura, a existência de diversos fatores determinantes das emissões aéreas devidas ao transporte de carga por caminhões a diesel. Dentre eles pode-se citar: características da rodovia, condições de tráfego, comportamento do motorista, partida do veículo, carga carregada, peso bruto total combinado, condições de manutenção, etc.

Porém, observa-se que, mesmo em face de todos estes fatores intervenientes, HARRISON et al. (1993) apresentam valores de fatores de emissão de poluentes aéreos referentes a veículos a diesel, somente de acordo com o peso bruto total dos mesmos. Da mesma forma, em PLANO ... (1999) observam-se valores médios de fatores de emissão para veículos a diesel utilizados na Região Metropolitana de São Paulo. Estes dados podem ser vistos na Tabela 7, onde também pode-se observar a falta de alguns dados em ambas referências, assim como a falta de correlação entre os valores de emissão de monóxido de carbono e de óxidos de nitrogênio encontrados nas duas referências. Já para material particulado, observou-se uma coerência nos dados das duas referências.

**Tabela 7 - Fatores de emissão de poluentes aéreos de veículos a diesel.**

FONTE	FATOR DE EMISSÃO (g/km)					
	CO <sub>2</sub>	CO	HC	NOx	SOx	MP
PLANO ... (1999)*	-	17,80	2,90	13,00	1,13	0,81
HARRISON et al. (1993) #	380,00-1100,00	1,75 – 4,10	-	2,80 – 8,70	-	0,57 – 0,90

\* Valores médios de emissão dos veículos a diesel em uso na Região Metropolitana de São Paulo.

# Dados referentes a abrangência de valores de emissão de acordo com o peso bruto total do veículo a diesel, considerando-se um mínimo de 3,5 toneladas.

CO<sub>2</sub>: dióxido de carbono

HC: hidrocarbonetos

SOx: óxidos de enxofre

CO: monóxido de carbono

NOx: óxidos de nitrogênio

MP: material particulado

**Fontes:** PLANO ... (1999); HARRISON et al. (1993).

Deve-se salientar que, enquanto uma referência é relativa a dados brasileiros, mais precisamente a dados da região metropolitana de São Paulo, a outra é relativa a dados gerais do Reino Unido, justificando em parte as diferenças existentes entre as duas referências, além de todos os fatores intervenientes já comentados anteriormente. Para efeito desta dissertação, considera-se que os poucos dados existentes não permitem nem mesmo uma avaliação básica. É preciso um grau de detalhamento mais elevado para fins de utilização deste tipo de informação, ou seja, considera-se que os dados obtidos são, até o momento, insuficientes para qualquer tipo de análise. Neste sentido, as emissões aéreas poluentes não serão alvo de análise posterior nesta dissertação, finalizando a sua abordagem neste item.

Somente para fins de complementação, salienta-se que MADDISON et al. (1996), preocupados com os impactos ambientais no planeta, apresentam algumas sugestões para minimização das emissões de poluentes aéreos gerados pelo tráfego rodoviário, salientando a importância da melhoria da eficiência energética dos veículos e da criação de maiores incentivos para a utilização de energia renovável. Por sua vez, KORNFIELD e SKOLNIK (1996) defendem a relevância de incentivos econômicos que encorajem a utilização de veículos pesados com baixos índices de emissões aéreas.

### 3.3. ETAPA DE UTILIZAÇÃO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO EM EDIFICAÇÕES

Durante a etapa de utilização de materiais de construção em edificações, ou seja, durante as fases de construção e uso de edificações, pode-se afirmar que um dos principais impactos associados especificamente a materiais de construção refere-se a emissão de compostos orgânicos voláteis por

determinados tipos de produtos. Porém, deve-se salientar que este problema está mais diretamente relacionado a riscos à saúde humana e menos a um impacto ambiental no planeta, conforme abordado até este momento.

Segundo apresentado em GREEN BUILDING DIGEST (1995b), compostos orgânicos voláteis são normalmente utilizados como solventes, que evaporam facilmente. Porém, estes compostos podem ser poluentes aéreos e causar reações químicas ou fotoquímicas na atmosfera, gerando fumaças fotoquímicas, que por sua vez podem causar danos locais à vegetação, e principalmente à saúde humana. A emissão de compostos orgânicos voláteis também pode ocorrer a partir de carpetes sintéticos, e segundo CAPONETTO et al. (1998), as maiores emissões são provenientes de pisos de PVC e de tintas em geral.

WOLKOFF e NIELSEN (1996) salientam, então, a importância de estudos de qualidade do ar no interior de edificações, principalmente quando estas não possuem ventilação natural, pois sabe-se que alguns materiais de construção liberam compostos orgânicos voláteis, particularmente nos primeiros meses de utilização de novas edificações, causando odores desagradáveis e gases irritantes das membranas mucosas humanas. VALICENTI e WENGER (1997) acrescentam que o maior problema encontra-se durante o período de construção e os primeiros meses de ocupação de uma edificação, alertando para possíveis reações alérgicas humanas.

Neste sentido, HOLDSWORTH e SEALEY (1992) apresentam uma proposta do *Swedish Council for Building Research* e do *Swedish National Institute of Environmental Medicine*, onde adota-se um índice máximo de emissão de formaldeído, referente a  $0,15 \text{ mg/m}^3$ , e outro para os compostos orgânicos voláteis totais, referente a  $2,00 \text{ mg/m}^3$ . HAL e DULSKI (1997), por sua vez, afirmam que produtos com elevados percentuais de formaldeído, responsável por altos índices de emissões tóxicas, foram reduzidos a um nível mínimo de utilização ou até totalmente banidos na maioria dos países europeus. Segundo apresentado em GREEN BUILDING DIGEST (1996a), o formaldeído é uma substância altamente tóxica quando inalada, porém somente representa um grave problema se extensas áreas de materiais que contenham esta substância, como pisos, solventes, etc., estejam presentes num ambiente sem ventilação. Em menores concentrações, o formaldeído pode causar dores de cabeça, irritação nos olhos, dentre outros problemas.

Outra preocupação ambiental relevante durante a etapa de construção de edificações é o desperdício de materiais. Com certa frequência, podem ser vistos materiais de construção sendo desperdiçados de forma indiscriminada e sem controle, gerando impactos ambientais, que em muitos casos poderiam ter sido evitados. PINTO (1989), SOIBELMAN (1993) e mais recentemente COSTA

(1999) representam importantes referências no estudo de perdas de materiais em canteiros de obras. Segundo estes pesquisadores, deficiências no gerenciamento de materiais, principalmente no que se refere à armazenagem e manuseio dos mesmos nos canteiros de obras, apresentam-se como algumas das várias causas de desperdício. COSTA (1999) realiza um estudo detalhado sobre a questão de perdas de materiais de construção, sendo que a presente dissertação fica restrita a fazer apenas uma indicação da relevância do tema.

MALIN e WILSON (1997) ainda afirmam que na etapa de utilização de edificações, deve haver uma grande preocupação com a manutenção e recuperação das mesmas, que muitas vezes podem exigir uma elevada utilização de novos materiais. A exigência de novos materiais está diretamente relacionada a todos os impactos ambientais levantados nos itens 3.1. e 3.2. vistos anteriormente, e no item 3.4. que será abordado a seguir. Desta forma, quanto maior for a necessidade de manutenção ao longo da vida útil de materiais, assim como quanto menor for a durabilidade dos mesmos, maiores serão os impactos ambientais associados. Neste sentido, COLE e LARSSON (1998) ressaltam a relevância de uma elevada durabilidade dos materiais de construção, para fins de minimização dos gastos em manutenção, assim como para fins de redução do montante de resíduos gerado no final da vida útil das edificações, prolongando o tempo de utilização das mesmas.

Além disto, pode-se afirmar que, durante a etapa de utilização de edificações, um outro impacto associado aos materiais de construção refere-se aos gastos energéticos apresentados por esta edificação. Observa-se que várias referências bibliográficas afirmam que podem ocorrer elevados consumos energéticos devido à utilização de equipamentos para condicionamento artificial de ar, principalmente nas regiões de clima rigoroso. Neste sentido, CURWELL et al. (1990) afirmam que a escolha de materiais de construção influencia a eficiência térmica de uma edificação, existindo vários materiais alternativos para fins de isolamento térmico. Porém, deve-se salientar que muitas vezes os elevados gastos energéticos durante a utilização de edificações não ocorrem exclusivamente devido aos materiais de construção utilizados, mas também podem ser decorrentes de falhas do projeto arquitetônico, dentre vários outros fatores.

Resumidamente, os princípios ambientais que devem ser considerados durante a escolha de materiais de construção, para fins de redução dos impactos ambientais durante a etapa de utilização dos materiais em edificações, podem ser representados pela seleção de materiais:

- ✓ com um mínimo índice de emissão de compostos orgânicos voláteis;
- ✓ com um mínimo percentual de formaldeído em sua composição;

- ✓ com um mínimo desperdício no canteiro de obras;
- ✓ com uma elevada durabilidade, exigindo uma mínima manutenção ao longo de seu uso;
- ✓ que proporcionem menores gastos energéticos durante o uso da edificação.

### 3.4. ETAPA DE DISPOSIÇÃO FINAL DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

A deposição de resíduos sólidos representa um grande problema para as cidades, pela ausência de espaço físico no ambiente urbano, onde normalmente são inseridos os depósitos de lixo urbano. Em um contexto maior, isto representa um problema global, pela geração cada vez maior de resíduos. BUHÉ et al. (1997) ressaltam que vários setores da economia são responsáveis pela geração de resíduos ou produtos secundários e que a maioria destes estão atualmente procurando valorizá-los no sentido de reduzir o volume de resíduos depositados diariamente em locais específicos nas cidades. Além disto, observa-se também uma crescente preocupação em racionalizar o uso de embalagens e em fabricar produtos com uma maior vida útil a partir de materiais que possam ser posteriormente reciclados ou reutilizados.

Neste sentido, SPEARE (1995) defende a reciclagem e a reutilização de materiais devido a dois fatores básicos, representados pela necessidade de conservar os recursos naturais e pela necessidade de gerenciar os resíduos. Ou seja, deve-se tentar minimizar a quantidade de recursos naturais explorada, assim como diminuir a quantidade de materiais descartados, mas que muitas vezes ainda possuem muita utilidade. Salienta-se que a reciclagem implica em um novo processamento do material, enquanto que a reutilização refere-se somente à nova utilização do material sem envolver qualquer processamento. Em ambos os casos, considera-se materiais após o consumo, ou seja, após a sua utilização. Por fim, entende-se que o conceito de redução está inserido em todo o contexto de ciclo de vida, desde a redução da exploração de recursos naturais até a redução da disposição final de materiais, e que a reciclagem e a reutilização de materiais possuem um estreito vínculo com este conceito, enfatizando-se a relevância da aplicação dos mesmos para os recursos naturais não renováveis.

Além das características intrínsecas dos materiais em termos de seu potencial de reciclabilidade e reutilização, ANDRIVON e VIMOND (1997) e MALIN (1995) alertam para a importância de uma separação seletiva do entulho de obra durante as etapas de construção e

demolição, a fim de facilitar tanto a reciclagem quanto a reutilização dos materiais e componentes utilizados na edificação. MALIN (1995) acrescenta que existem diferenças entre os resíduos gerados durante a construção de uma edificação e aqueles gerados durante a sua demolição. Os resíduos de demolição são na maioria das vezes mais intensamente contaminados com outros materiais, sendo mais difícil a sua separação. Apesar disto, deve-se pensar na separação seletiva dos resíduos produzidos em ambas as fases: construção e demolição.

Por sua vez, RUCH et al. (1995) apresentam um trabalho muito completo sobre a situação da Alemanha quanto a aspectos de *desconstrução* seletiva, com a finalidade de uma posterior reutilização ou reciclagem dos materiais recuperados. RUCH et al. (1995) salientam que o entulho de construção gerado na Alemanha atinge um montante maior que 33 milhões de toneladas por ano, e acrescentam que, apesar da recuperação da maioria destes resíduos ser tecnicamente possível, somente uma pequena parcela é reciclada, cerca de 22 %. Adicionalmente, discutem várias possibilidades de reutilização e reciclagem referentes a alguns materiais de construção e por fim afirmam que uma *desconstrução* seletiva apresenta benefícios quando comparada à demolição de edificações.

Resumidamente, os princípios ambientais básicos salientados anteriormente para diminuição dos impactos ambientais relativos à disposição final de materiais de construção foram:

- ✓ reduzir a quantidade de entulho gerado;
- ✓ incentivar a reciclagem de materiais de construção;
- ✓ incentivar a reutilização de materiais e componentes de edificações.

#### **3.4.1. Potencial de reutilização**

CURWELL (1996) alerta para a elevada exploração de recursos, estimulando a reutilização de materiais e salientando que projetistas de edificações devem reexaminar as suas práticas através da adoção de sistemas construtivos que facilitem a desmontagem dos componentes da edificação, possibilitando a reutilização posterior dos mesmos. BERGE (1997) confirma que deve-se preocupar com a reutilização de materiais e componentes de uma edificação desde o seu projeto, através da adoção de sistemas construtivos que proporcionem uma fácil separação de seus componentes na fase de demolição da edificação. BERGE (1997) acrescenta que as várias partes que formam uma edificação podem possuir tempos de vida útil diferentes e então prioriza a utilização de ligações não

permanentes entre estas várias partes, possibilitando a separação das mesmas quando necessário. Além disto, salienta a relevância dos componentes da edificação possuírem características padronizadas de acordo com o padrão local de mercado, para viabilizar a posterior comercialização dos mesmos para reutilização em novas edificações.

MALIN (1997) acrescenta que a demolição de edificações é realizada em alguns dias, enquanto a *desconstrução* em algumas semanas, afirmando que o fator tempo é o que muitas vezes impede o trabalho de *desconstrução*. Porém, acrescenta que os altos custos de disposição final dos materiais demolidos em locais específicos das cidades tem tomado a *desconstrução* também economicamente atrativa, salientando a importância da comercialização de materiais no próprio local de *desconstrução*, para evitar gastos em transporte e estoque de materiais.

Porém, segundo COLE e LARSSON (1998) a reutilização de materiais e componentes provenientes da *desconstrução* de edificações é normalmente difícil devido a dois fatores principais: normalmente as edificações não são projetadas para facilitar a recuperação dos materiais no final de sua vida útil, e os materiais que conseguem ser recuperados não possuem uma demanda suficiente, nem mecanismos padrões de seleção, deposição, validação, propaganda e distribuição. Desta forma, as principais barreiras contra a reutilização podem ser representadas pelo uso de materiais com alto poder de fixação, por exemplo torna-se praticamente impossível a reutilização de um carpete que esteja totalmente aderido ao piso através de uma cola muito resistente, impedindo a separação dos materiais. Salienta-se que, neste e em outros casos, o esforço de recuperação somente é viável se a qualidade e o custo-benefício do material restaurado conseguir competir com os novos materiais. Um projeto que forneça uma fácil instalação e remoção produz um produto potencialmente recuperável, minimizando os danos e reduzindo os custos. Desta forma, ressalta-se que os projetos deveriam fornecer um significativo potencial de recuperação e reutilização de seus materiais.

Nesta dissertação, o potencial de reutilização de materiais de construção não será analisado em profundidade, pois para tanto seria necessária uma avaliação detalhada das ligações entre os vários elementos das edificações, observando-se o grau de facilidade proporcionado para uma posterior reutilização dos mesmos. Observa-se, porém, que a maioria dos projetos habitacionais a serem analisados não apresenta o detalhamento necessário para tal.

### 3.4.2. Potencial de reciclabilidade

CURWELL (1996) demonstra uma grande preocupação com a disposição final de materiais de construção, enfatizando a importância da reciclagem destes materiais e salientando que os projetistas de edificações devem estimular a utilização de materiais com alto conteúdo reciclado. Para fins de ilustração, JAVORNIK e DOWNING (1997) apresentam a utilização de vários materiais de construção com conteúdo reciclado. COLE e LARSSON (1998) acrescentam que os projetos de edificações poderiam fornecer um grande potencial para reciclagem de seus componentes, sendo que para uma futura reciclagem, salienta-se que materiais não misturados com outros são mais facilmente reprocessados. Neste sentido, BERGE (1997) e ISHII (1999) afirmam que deve-se utilizar componentes que apresentem a menor variabilidade possível de materiais diferentes, para facilitar sua reciclagem.

Inserido no conceito de análise de ciclo de vida, considerando o futuro dos produtos, BUHÉ et al. (1997) distinguem dois tipos de reciclagem, a primeira caracterizada pela reciclagem de um produto que irá exercer a mesma função que exercia anteriormente, por exemplo a reciclagem de blocos de concreto em novos blocos de concreto, denominando-se uma reciclagem de ciclo fechado, e a segunda caracterizada pela reciclagem de um produto que irá exercer uma função diferente da que exercia anteriormente, por exemplo a reciclagem de blocos cerâmicos para exercer a função de agregados para concreto, denominando-se uma reciclagem de ciclo aberto. Estas duas soluções de reciclagem ilustram uma preocupação ambiental, porém deve-se ressaltar que no caso de uma reciclagem de ciclo fechado o produtor do material possui claramente uma responsabilidade ambiental, enquanto que no caso de uma reciclagem de ciclo aberto a responsabilidade ambiental não fica claramente definida, ou seja, neste segundo caso um produto de um sistema "A" é reciclado para um sistema "B" e as responsabilidades são divididas entre ambos os sistemas.

No contexto da reciclagem de ciclo aberto, pode-se citar o exemplo da incorporação de resíduos na produção de novos materiais. Neste caso, os resíduos se tomam matérias-primas secundárias, substituindo parcialmente ou até totalmente a necessidade de utilização de matérias-primas originais. Segundo BUHÉ et al. (1997), observa-se que a indústria da construção civil é vista como um importante setor para incorporação de resíduos provenientes de diversos tipos de outras indústrias, devido principalmente à grande variedade de materiais de construção necessários em uma edificação. Além disto, as edificações são caracterizadas por uma elevada vida útil, possibilitando a imobilização de determinados resíduos por um longo período de tempo. Desta forma, observa-se que resíduos de umas indústrias podem se tornar matérias-primas para outras indústrias, e assim por

diante, fechando um grande ciclo. Ou seja, deve-se salientar a importância de uma visão ampla, considerando a inter-relação entre vários setores produtivos. Para fins de ilustração da reciclagem de ciclo aberto, LAVENDEL (1996) salienta experiências de incorporação de resíduos de madeira em resinas plásticas, criando esquadrias para janelas e portas.

Contudo, é importante reconhecer que existem determinadas restrições quanto a reciclagem de materiais, dentre elas pode-se citar aspectos técnicos, econômicos e ambientais, assim como a opinião pública em geral (SPEARE, 1995). Considerando-se esta última, observa-se a existência de dúvidas, freqüentemente infundadas, a respeito da qualidade e da possível contaminação presente em materiais reciclados. Este fato demonstra a necessidade de esclarecimentos exatos sobre a composição, propriedades e desempenho de tais materiais reciclados. Quanto a aspectos técnicos, salienta-se que em alguns casos podem surgir limitações a partir da falta de normas apropriadas para reciclagem. Em relação aos aspectos econômicos, observa-se que a reciclagem é influenciada por muitos fatores como a quantidade e localização geográfica, custos de disposição dos resíduos, custos de processamento e transporte, e o preço dos materiais reciclados em comparação com materiais originais.

Deve-se ainda salientar que os impactos ambientais durante as etapas de reciclagem devem ser menores quando comparados com os impactos existentes durante a produção dos respectivos materiais originais, para fins de viabilizar ambientalmente a reciclagem (SPEARE, 1995). Neste sentido, BUHÉ et al. (1997) afirmam que realmente ocorre uma redução do volume de resíduos gerados nas cidades devido à reciclagem dos mesmos, porém salientam que algumas vezes a reciclagem pode ser responsável por uma maior degradação ao meio ambiente.

Por sua vez, LEA (1996) analisa a reciclagem de vários materiais sob o ponto de vista energético. Afirma que a reciclagem de materiais pode significar ganhos energéticos se a energia utilizada para a coleta, separação e tratamento dos resíduos, assim como o seu subsequente processamento, for menor que a energia utilizada para extração de matérias-primas e processamento dos materiais originais. Pode-se citar o aço e o alumínio como bons exemplos de materiais cuja reciclagem exige muito menos energia do que a produção a partir de suas matérias-primas.

Salienta-se que no trabalho de LEA (1996) não foram considerados os gastos energéticos para a seleção dos materiais a partir do lixo público, sendo assumido que esta separação seja feita pelo próprio consumidor, porém a avaliação incluiu os gastos de transporte do material já separado, o tratamento do material e o seu processamento. Na Tabela 8, pode-se observar a comparação em unidades energéticas do processamento primário e secundário do alumínio. Nota-se através da análise da Tabela 8 a grande vantagem energética da reciclagem do alumínio. SEBRAE (1996) por sua vez,

também afirma que a produção de alumínio, a partir da reciclagem de sucatas, apresenta vantagens significativas em relação ao processamento da matéria-prima virgem representada pela bauxita, e acrescenta que a energia necessária para a reciclagem chega a ser 95 % menor.

Porém, LEA (1996) salienta que para outros materiais a reciclagem não apresenta saldos energéticos positivos. Para alguns materiais, como os plásticos, somente podem ocorrer ganhos energéticos através da utilização dos mesmos na forma de combustível, ou seja, através da conversão direta dos mesmos em energia por processo de queima. Não existe nenhum ganho energético através da reciclagem de plásticos, principalmente devido a uma razão principal: os plásticos precisam ser muito homogêneos para serem reciclados, ou seja, não pode existir a contaminação com outros tipos de plástico, o que implica em gastos significativos para separação dos seus diversos tipos. Os papéis, similarmente aos plásticos, apresentam altos ganhos energéticos através de sua queima, demonstrando no entanto poucos ganhos energéticos quando reciclados. Porém, devido aos altos incentivos já recebidos para viabilizar a sua reciclagem, esta toma-se cada vez mais freqüente para produtos de papel. Na Tabela 9, pode-se observar ganhos energéticos de alguns materiais.

**Tabela 8 – Comparação do processamento primário e secundário do alumínio.**

ETAPA	PROCESSAMENTO PRIMÁRIO (MJ/kg)	PROCESSAMENTO SECUNDÁRIO (MJ/kg)
Refinamento	193,0	5,5
Beneficiamento	41,5	5,4
Transporte	0,5	2,1
<b>Total</b>	<b>235,0</b>	<b>13,0</b>

Fonte: Energy savings by wastes recycling apud LEA (1996).

**Tabela 9 – Ganhos energéticos de alguns materiais com a reciclagem.**

MATERIAL	GANHOS ENERGÉTICOS (MJ/kg)
Alumínio reciclado	222,0 *
Plásticos incinerados	32,6
Plásticos não incinerados	0,0
Aço reciclado	12,6
Papel reciclado	7,0
Vidro reciclado	6,0

\* Observe Tabela 8.

Fonte: Energy savings by wastes recycling apud LEA (1996).

Por fim, deve-se salientar que os ganhos energéticos representam somente um dos vários fatores envolvidos com a reciclagem de materiais. Desta forma, não deve-se tomar os ganhos energéticos como o único aspecto decisório na opção por reciclar ou não um determinado material.

Especificamente a respeito de materiais de construção, KALIN (1991) afirma que o setor da construção civil é o último grande setor industrial a incorporar programas de redução e reciclagem de seus resíduos no Canadá, e cita que mais da metade dos entulhos de obras e demolições tem a possibilidade de serem reciclados. KALIN (1991) acrescenta que talvez a barreira mais significativa contra a reciclagem de materiais de construção é atualmente decorrente da falta de um mercado específico para materiais de construção reciclados. Neste sentido, SPENCER (1990) comenta que deve haver um incentivo maior para a criação de toda uma infra-estrutura de suporte à reciclagem de materiais de construção, através de políticas municipais, estaduais e nacionais, proporcionando a existência de um sistema para a reciclagem destes materiais sem reduzir a qualidade da edificação.

Conforme apresentado em RIO GRANDE DO SUL (1998c), a reciclagem de entulhos de construção civil já é uma realidade em muitos países europeus e até em algumas cidades brasileiras. Entretanto, a viabilidade econômica da atividade depende fundamentalmente do engajamento do setor da construção civil neste propósito. Além disto, como exposto em RIO GRANDE DO SUL (1998b), os entulhos e demais resíduos da atividade construtiva apresentam percentuais elevados, sendo que, na maioria dos municípios da região metropolitana de Porto Alegre, o peso de entulhos de construção removidos é maior do que o peso de resíduos domiciliares gerados.

Estes entulhos de construção possuem uma participação expressiva em massa, correspondendo a 25,5 % dos resíduos sólidos urbanos totais da região metropolitana de Porto Alegre. Deve-se salientar que a participação volumétrica desses resíduos é significativamente menor em decorrência de sua maior densidade. Para fins comparativos, o entulho de obras de construção civil, juntamente com o entulho de pavimentações asfálticas, são responsáveis por cerca de 24 % dos resíduos sólidos municipais totais nos Estados Unidos da América (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos apud HOLUB, 1997). Além disto, ainda observa-se que a destinação final mais utilizada para os entulhos apresenta-se como aterros de lotes públicos ou privados, visando a terraplanagem do terreno (RIO GRANDE DO SUL, 1998a). Vale salientar que estes materiais são considerados inertes, porém pode-se observar a presença constante de resíduos perigosos como latas de solventes, tintas, óleos e graxas. Como conclusão, pode-se considerar os resíduos de construção como significativos dentro do contexto de resíduos sólidos, sendo a sua reciclagem de extrema importância em um contexto global.

Por fim, salienta-se que, na presente dissertação, não será analisado o conteúdo reciclado incorporado em materiais de construção, pois isto exigiria uma discriminação detalhada da composição de cada material específico, incluindo-se neste caso a análise de presença de resíduos das mais variadas origens inseridos nos materiais de construção, entre outros fatores. Desta forma, esta dissertação se limitará a avaliar o potencial de reciclabilidade de materiais de construção genéricos, através das características intrínsecas dos mesmos, com uma abordagem ampla e geral, podendo-se aplicar os resultados desta análise posteriormente quando necessário. Ou seja, pretende-se analisar vários materiais de construção conforme as suas características próprias quanto a possibilitar ou não uma futura reciclagem. A Tabela 10 apresenta o resultado da revisão bibliográfica sobre o potencial de reciclabilidade de materiais de construção básicos, através de uma listagem destes materiais com os seus respectivos potenciais para uma posterior reciclagem.

Observa-se que a bibliografia consultada nesta dissertação apresenta o potencial de reciclagem de vários materiais de construção, salientando se as propriedades intrínsecas a um material específico permitem ou não a posterior reciclagem do mesmo. Deve-se ressaltar que o potencial de reciclabilidade de cada material foi avaliado independentemente do tipo de reciclagem possível, ou seja, considerou-se tanto a reciclagem de ciclo fechado quanto a reciclagem de ciclo aberto, já discriminadas em parágrafos anteriores. Desta forma, os materiais de construção foram analisados quanto a possibilidade de serem reciclados para exercer a mesma função atual ou novas funções.

**Tabela 10** – Potencial de reciclabilidade de materiais de construção básicos.

MATERIAL	POTENCIAL DE RECICLABILIDADE
Alumínio	Reciclável.
Cobre	Reciclável.
Zinco	Reciclável.
Aço	Reciclável.
Poliestireno expandido $\pi$	Reciclável.
Poliétileno (PE)	Reciclável.
Polipropileno (PP)	Reciclável.
Policloreto de Vinila (PVC)	Não reciclável.
Cerâmica	Reciclável.
Concreto	Reciclável.
Cimento-amianto $\Delta$	Não reciclável.
Madeira tratada com produtos químicos tóxicos *	Não reciclável.

Fontes: GREEN BUILDING DIGEST (1995-);  $\pi$  WILSON (1995);  $\Delta$  GANDOLLA et al. (1994); \*STEUTEVILLE (1994).

Pode-se observar através do estudo da Tabela 10 que praticamente todos os principais materiais utilizados para a construção civil podem ser considerados passíveis de uma posterior reciclagem, com exceção da madeira tratada com produtos químicos tóxicos, do cimento-amianto e do PVC. A seguir, as dificuldades de reciclagem destes três materiais de construção são abordadas em maior detalhe. Deve-se salientar que não foi encontrada nenhuma referência sobre o potencial de reciclagem de azulejos, louças e vidro plano.

Primeiramente, quanto à madeira tratada, MALIN (1994) ressalta que a mesma torna-se um lixo tóxico ao final de sua vida útil, altamente perigoso devido ao seu grau tóxico, não devendo ser simplesmente descartada como um resíduo biodegradável. Uma análise de vários produtos utilizados para preservação de madeiras é realizada em GREEN BUILDING DIGEST (1996c), demonstrando-se que na sua maioria eles são produtos tóxicos, sendo que alguns estão banidos há algum tempo em vários países do mundo, como é o caso do pentaclorofenol, um preservativo altamente tóxico e prejudicial ao meio ambiente. Dentre os preservativos tóxicos pode-se ainda citar o creosoto e os compostos baseados em cromo e arsênio, como por exemplo o CCA (Cromo, Cobre, Arsênio), ambos largamente utilizados no Brasil. Porém, deve-se salientar que, tanto o creosoto, quanto o CCA, representam um grau tóxico menor quando comparados a preservativos como o pentaclorofenol. STEUTEVILLE (1994) acrescenta que madeiras autoclavadas com produtos químicos tóxicos, assim como madeiras com recobrimento superficial de creosoto não são aceitas para reciclagem devido a problemas relacionados ao seu elevado poder tóxico. Desta forma, nesta dissertação considera-se a madeira tratada como um material tóxico, não sendo viável sua reciclagem no final de sua vida útil.

Quanto ao amianto, conforme salientado em RIO GRANDE DO SUL (1998c) e por SPENCER (1990), os materiais a serem reciclados não devem conter amianto ou outros materiais perigosos em sua composição. MALIN (1997) acrescenta que alguns materiais de construção devem ser totalmente banidos, através de sua remoção de circulação, sendo o amianto incluído nesta lista de materiais perigosos. Além disto, HAL e DULSKI (1997) afirmam que produtos que contenham amianto já foram totalmente banidos em quase todos os países europeus. Neste sentido, CURWELL et al. (1990) e JOHNSON (1993) afirmam que o amianto pode representar sérios riscos a saúde humana durante a sua extração e manufatura, e durante reformas e demolições, pois a inalação das fibras de amianto pode causar graves problemas de saúde, incluindo o câncer pulmonar. Segundo GREEN BUILDING DIGEST (1996b) quando utilizado em telhas de fibrocimento, o amianto possui um menor risco de liberar suas fibras, devido ao efeito de agregação do cimento. Entretanto, fibras de amianto podem ser liberadas quando uma peça de cimento-amianto é cortada, furada ou quebrada. LEJEUNE (1998) confirma os riscos apresentados por peças de cimento-amianto e salienta que existem atualmente

vários materiais que podem substituir produtos contendo amianto, citando como exemplo a substituição das fibras de amianto por fibras de vidro ou fibras orgânicas durante a produção de telhas de fibrocimento.

Desta forma, GANDOLLA et al. (1994) afirmam que, desde os anos 80, observa-se em todo o mundo a progressiva substituição de materiais que contenham amianto por outros materiais que não agreguem riscos a saúde humana, tanto através da substituição das fibras de amianto por outras fibras durante a etapa de produção de novos elementos para edificações, quanto através da eliminação de produtos que já contenham fibras de amianto em sua composição de edificações existentes. Por ser um mineral quimicamente estável e estar presente na natureza, sua eliminação no sentido de restitui-lo ao meio ambiente não apresenta problemas particulares, porém as fibras microscópicas de amianto podem representar um grave risco a saúde para as pessoas que trabalham nas operações de eliminação do amianto das edificações que o contenham. Além disto, o procedimento mais adequado antes da disposição final das fibras de amianto retiradas de edificações é realizar uma fixação destas fibras, evitando assim a emissão das mesmas para o ar.

BECCA VIN (1998), assim como DUFFAURE-GALLAIS (1998), apresentam os cuidados a serem tomados durante a eliminação de materiais com amianto existentes em edificações, acrescentando a necessidade de isolamento do local e utilização de equipamentos de proteção individual adequados, para proteção dos trabalhadores em contato com produtos que contenham amianto. Por sua vez, MALIN (1996b) acrescenta que, em certos casos, ao invés da eliminação, podem ser utilizados filmes de tintas específicas sobre materiais que apresentem fibras de amianto na sua composição, com a finalidade de limitar as emissões destas fibras, evitando a necessidade de remoção dos materiais da edificação. CHEMILLIER (1998) afirma que esta técnica é conhecida como encapsulamento e é adotada em algumas circunstâncias onde a retirada de determinados elementos da edificação seja difícil.

Por fim, nota-se que a reciclagem do amianto não é cogitada em nenhuma hipótese, existindo estudos para a sua não utilização ou para a sua eliminação ou fixação nos prédios que já o contenham. Desta forma, o cimento-amianto não é considerado reciclável na presente dissertação, sendo estimulada a sua retirada de circulação, por ser considerado um material cuja utilização apresenta graves riscos a saúde humana.

Quanto aos polímeros plásticos em geral, observa-se em GREEN BUILDING DIGEST (1996a) a afirmação de que os termoplásticos, que podem ser remodelados sob ação de calor, são potencialmente recicláveis. Como exemplos de termoplásticos observa-se o polietileno (PE), o

polipropileno (PP), o poliestireno (PS), o policloreto de vinila (PVC) e o polietileno tereftalato (PET). Porém, a grande variedade de tipos de plásticos presentes no lixo das cidades torna a separação de um plástico específico um processo difícil, exigindo consideráveis gastos econômicos. Além dos termoplásticos, existem os termofixos que não são remodelados sob a ação de calor, possuindo maiores dificuldades para a reciclagem. KIBERT (1993) afirma que uma das maiores dificuldades para a reciclagem de plásticos em geral é referente ao baixo preço dos polímeros virgens em relação ao preço dos polímeros reciclados. Neste sentido, VILHENA et al. (1995) complementam que algumas vezes a reciclagem de plásticos pode apresentar alguns inconvenientes como a diminuição da qualidade dos plásticos reciclados devido à existência de degradações no plástico original.

Contudo, LONGCAMP (1995) cita a grande preocupação dos produtores de plásticos quanto à valorização dos produtos de plástico ao final de sua vida útil, mostrando algumas iniciativas do setor para viabilizar a reciclagem dos mesmos. Neste sentido, LAMPO e FINNEY (1993) apresentam alguns exemplos da reciclagem de plásticos existentes no lixo urbano provenientes das mais variadas indústrias, em novos produtos de construção civil, como por exemplo cercas de plástico reciclado para separar terrenos vizinhos. Conforme apresentado em GREEN BUILDING DIGEST (1996a), o polipropileno (PP) e o polietileno (PE) são facilmente recicláveis, enquanto existem vários problemas em relação à reciclagem do policloreto de vinila (PVC).

Especificamente em relação ao PVC, segundo apresentado em GREEN BUILDING DIGEST (1996a), as emissões tóxicas inviabilizam a incineração de PVC, devido à geração de dioxinas, organoclorados e gás clorídrico altamente corrosivo, que podem corroer a camada superficial de cromo da maquinaria, além de transformar 90 % da massa original do plástico em resíduos de sais sem nenhuma utilidade. Além disto, em GREEN BUILDING DIGEST (1997) observa-se que outro grave problema para a reciclagem de PVC refere-se à dificuldade de distinção entre ele e o polietileno tereftalato (PET), durante a separação dos mesmos nos entulhos. O PVC funde a uma temperatura muito menor que o PET, começando a queimar quando o PET inicia a sua fusão, criando marcas pretas no PET, inviabilizando o mesmo para muitas aplicações. WILSON (1998) acrescenta que pode existir a emissão de dioxinas, que são substâncias altamente cancerígenas, durante a manufatura e queimas acidentais do PVC, e além disto as substâncias plastificantes adicionadas ao PVC, para fins de aumentar a flexibilidade do material final, também são potencialmente perigosas a saúde humana.

Porém, mesmo com todas estas dificuldades que praticamente inviabilizam a reciclagem de PVC, observa-se a existência de pesquisas que estimulam a reciclagem do mesmo. Por exemplo, BURGAUD (1995) afirma que o processo de reciclagem do PVC é praticamente isento de

complicações, sendo que a etapa mais difícil refere-se à coleta do PVC inserido no entulho. Coleta esta que, como já foi visto anteriormente, pode inviabilizar totalmente a reciclagem do PVC e do PET. Neste sentido, MALIN e WILSON (1994) colocam o tema em discussão, questionando a eliminação ou não do PVC do mercado. MALIN e WILSON (1994) comentam que, por um lado, a indústria do PVC afirma que o PVC refere-se a um material isento de quaisquer problemas, e por outro lado, grupos de defesa ambiental afirmam que o PVC é relacionado a inúmeros problemas, devendo-se banir totalmente este material. Pode-se observar que não existe nada em comum entre ambos os lados. Somente para fins de exemplificação, PIVA e WIEBECK (1999), representando os produtores de PVC, afirmam que o PVC é um material reciclável, e que uma vez recuperado pode ser reprocessado com a própria resina virgem ou com outras para produzir uma grande variedade de produtos.

Sob outro ponto de vista, MALIN e WILSON (1994) afirmam que a reciclagem de produtos de PVC pós-consumo é difícil devido à ampla variedade de aditivos e formulações químicas inseridas nestes produtos. Dentre os aditivos mais utilizados pode-se citar os plastificantes, usados com a finalidade de proporcionar uma maior flexibilidade aos produtos de PVC, e os estabilizantes, usados com a finalidade de reduzir a tendência de degradação sob variadas circunstâncias. Enquanto a reciclagem de resíduos industriais de PVC por si só não apresenta maiores problemas, a reciclagem de materiais de PVC após a sua utilização deve ser vista de uma maneira diferente.

Deve-se salientar que, além da dificuldade inerente ao processo de reciclagem de PVC, este também tem a capacidade de complicar a reciclagem de outros plásticos, por exemplo o PET, como já salientado anteriormente. Além disto, o ácido clorídrico gerado durante a fusão do PVC causa graves problemas nos incineradores, destruindo as superfícies metálicas e de alvenaria dos mesmos, exigindo maiores gastos para manutenção e troca de peças. Por outro lado, com exceção do espaço ocupado, a disposição de materiais de PVC em locais específicos dos centros urbanos não causa maiores problemas ao meio ambiente.

Por fim, decidiu-se considerar nesta dissertação a não possibilidade de reciclagem de produtos de PVC pós-consumo, devido a todas as dificuldades salientadas anteriormente.

## **4. DELIMITAÇÕES PARA O ESTUDO DE CASO**

### **4.1. DISPOSIÇÕES PRELIMINARES**

Após o estudo de quatro métodos de análise de impactos ambientais relacionados especificamente com materiais de construção, no item 2.3.1., e observando simultaneamente os principais impactos expostos ao longo do capítulo 3, busca-se neste momento levantar os aspectos positivos dos métodos estudados e restringir os impactos ambientais a serem explorados no estudo de caso. Além disto, busca-se também limitar os materiais de construção a serem avaliados.

Desta forma, pretende-se, neste capítulo, criar subsídios para a avaliação de tipologias habitacionais, a ser realizada no estudo de caso desta dissertação, tomando-se como base principalmente os quatro métodos examinados no item 2.3.1. e os impactos ambientais caracterizados no capítulo 3.

#### **4.1.1. O caráter comparativo dos métodos**

Inicialmente, observa-se que três métodos analisados no item 2.3.1., representados por ANINK et al. (1996), LIPPIATT (1998) e GREEN BUILDING DIGEST (1995-), realizam uma análise ambiental comparativa entre materiais ou grupos de materiais que exerçam a mesma função em uma edificação, não existindo valores de impacto ambiental absolutos, somente valores relativos entre os materiais comparados. Desta forma, desde que os materiais exerçam a mesma função dentro da edificação, ou seja, desde que um possa ser substituído pelo outro, pode-se realizar uma comparação da performance ambiental entre eles. Observa-se que, com este caráter comparativo dos métodos de análise ambiental, torna-se possível uma posterior escolha entre materiais de diferentes performances ambientais, que, por sua vez, possam ser substituídos em uma edificação, sem nenhum prejuízo à funcionalidade da mesma.

Salienta-se que o quarto método analisado (LAWSON, 1996) é o único que apresenta informações isoladas sobre cada material estudado, sem realizar comparações diretas entre materiais, realizando, porém, comparações a nível de pisos, paredes, cobertura, janelas e portas de edificações. Ou seja, LAWSON (1996) também executa uma análise comparativa de acordo com a função exercida por determinados produtos, só que com uma visão mais abrangente. TRUSTY et al. (1998), ao apresentarem um outro método de análise ambiental de alguns materiais de construção, como a madeira, o aço e o concreto, indicam o princípio comparativo de seu método, baseado como os outros em comparações entre materiais ou conjuntos de materiais que exerçam a mesma função dentro da edificação.

Desta forma, adota-se, como um dos princípios básicos para o estudo de caso a ser executado, a comparação de materiais de construção que exerçam a mesma função em uma edificação, assim como a comparação de grupos de materiais de construção, que em conjunto executem uma determinada função na edificação. Pretende-se, então, nesta dissertação, estudar os impactos ambientais relativos entre materiais ou conjuntos de materiais alternativos.

#### **4.1.2. Definições utilizadas**

Torna-se relevante, neste momento, definir precisamente materiais de construção e grupos de materiais de construção, para fins de uma padronização. Desta forma, adota-se nesta dissertação a definição de materiais de construção amplamente utilizada nas referências bibliográficas sobre métodos de análise de impactos ambientais relacionados a materiais de construção. Materiais de construção são definidos tanto por aquelas matérias-primas que não sofreram nenhum processo de geração de uma forma, como exemplos pode-se citar o cimento, a areia e a cal, quanto por materiais que foram trabalhados e obtiveram uma forma, mas que não foram criados para uma utilização específica, ou seja, não possuem uma única utilização em edificações, mas pelo contrário se adaptam a uma variedade de situações de uso, como exemplos pode-se citar os tijolos e as telhas.

Já para a definição de grupos de materiais, foram consultadas referências bibliográficas específicas, dentre as quais se destacam a norma americana ASTM E 1557 (1996), BLACHÈRE (1973), CARRIÓ (1986) e SABBATINI (1989). Após o estudo destas referências, constatou-se a inexistência de um consenso sobre o tema, como será visto a seguir.

Primeiramente, observa-se que o método de análise de impactos ambientais relacionados com materiais de construção proposto por LIPPIATT (1998) utiliza o sistema de classificação da norma americana ASTM E 1557 (1996) para organizar os materiais de construção em grupos comparáveis. Esta norma consiste basicamente na classificação dos materiais de construção em três níveis: um grupo de subsistemas (por exemplo: subestrutura, interiores, etc.), um grupo de elementos (por exemplo: fundações, acabamentos interiores, etc.), e um grupo de elementos individuais (por exemplo: laje, acabamento de piso, etc.). Ao todo esta norma define seis grandes subsistemas: subestrutura, estrutura, interiores, instalações, equipamentos e construção especial e demolição. LIPPIATT (1998) adota o grupo de elementos individuais para fins de comparação dos produtos que exerçam a mesma função em uma edificação.

CARRIÓ (1986), por sua vez, define quatro subsistemas construtivos: estrutural (fundação, estruturas verticais e horizontais), fechamentos (paredes internas e externas não estruturais, coberturas, portas e janelas), acabamentos (acabamentos de piso, teto, paredes interiores e exteriores) e instalações (instalações elétricas e hidrossanitárias). Já SABBATINI (1989) define um subsistema como sendo a designação da maior parte funcional de uma edificação, citando alguns exemplos de subsistemas: fundação, piso, cobertura, paredes, instalações, etc. Por fim, pode-se notar que cada referência bibliográfica apresenta uma classificação própria para grupos de materiais dentro de uma edificação, não existindo uma classificação padrão.

Neste sentido, deve-se realizar algumas observações quanto às classificações estudadas. Por exemplo, salienta-se que muitas vezes as paredes de uma edificação podem exercer simultaneamente as funções de vedação e estrutural. Neste caso, não é aconselhável uma análise comparativa entre habitações utilizando-se uma divisão entre estrutura e vedação, como visto em ASTM E 1557 (1996) e CARRIÓ (1986), pois elas podem se confundir.

Além disto, uma outra observação relevante refere-se à discriminação dos acabamentos separadamente das respectivas superfícies bases para os mesmos. Também neste caso, pode-se observar que às vezes a própria estrutura ou vedação já apresenta um acabamento ideal, sem necessitar de um acabamento extra. Por exemplo, pode-se imaginar uma parede que exija um acabamento superficial e outra que não exija nenhum tipo de acabamento. Acredita-se que o objeto de estudo, neste caso, não é a comparação de um acabamento qualquer com nenhuma referência, ou seja, acredita-se que neste caso deve-se comparar a parede sem acabamento com o conjunto formado pela outra parede e o seu acabamento específico.

Por estas razões, adota-se para a presente dissertação a definição fornecida por SABBATINI (1989), definindo grandes grupos de materiais representando partes funcionais de uma edificação, como por exemplo: fundação, piso, cobertura, paredes, instalações, etc. Acredita-se ser esta referência a que melhor se encaixe com os objetivos desta dissertação. Salienta-se que uma divisão similar foi utilizada no trabalho de LAWSON (1996), ao realizar uma análise ambiental de algumas edificações em termos de grandes grupos de materiais: piso, paredes, cobertura, janelas e portas.

## 4.2. DELIMITAÇÕES

### 4.2.1. Delimitações dos materiais

A partir da definição dos grupos de materiais no item anterior, delimita-se para a presente dissertação somente o estudo dos materiais que constituem as paredes e a cobertura de edificações. Esta delimitação está diretamente relacionada às tipologias habitacionais a serem avaliadas detalhadamente no próximo capítulo desta dissertação, onde observa-se que os demais subsistemas como a fundação, o piso e as instalações não apresentam diferenças significativas entre as tipologias, representando um padrão comum, ou seja, não havendo alternativas diferentes a serem comparadas. Desta forma, analisa-se nesta dissertação os principais materiais de construção utilizados somente para a formação das paredes e coberturas nas tipologias habitacionais a serem estudadas posteriormente.

### 4.2.2. Delimitações dos impactos ambientais

Pôde-se constatar em capítulos anteriores que existe uma grande preocupação mundial com os impactos ambientais relacionados ao setor da construção civil, porém a maioria das pesquisas ainda trata o tema de forma genérica. Poucas são as referências bibliográficas que discriminam os impactos ambientais em termos detalhados de materiais de construção. Além disto, como pôde ser observado durante o estudo de alguns métodos de análise de impactos ambientais no item 2.3.1., assim como durante o desenvolvimento do capítulo 3, a avaliação ambiental detalhada de todas as etapas do ciclo de vida de materiais de construção é muito difícil de ser realizada atualmente, devido à grande complexidade de fatores intervenientes.

Inserido neste contexto, delimita-se algumas etapas do ciclo de vida de materiais de construção para serem estudadas na presente dissertação, realizando-se uma análise de ciclo de vida simplificada. Adota-se como delimitação o estudo das etapas de extração de matérias-primas, manufatura de materiais de construção, transporte de materiais de construção e disposição final dos mesmos. Salienta-se que a etapa de utilização de materiais de construção em edificações não é analisada detalhadamente na presente dissertação, devido principalmente à escassez de dados encontrados na bibliografia existente.

Busca-se, então, estudar as quatro etapas do ciclo de vida de materiais de construção especificadas anteriormente, em termos dos impactos ambientais que não apresentaram dificuldades na obtenção de dados para análise, conforme apresentado no capítulo 3. Ou seja, analisa-se somente aqueles impactos ambientais, envolvidos nestas etapas, que puderam ser caracterizados a tal ponto de possibilitar uma classificação ambiental entre materiais de construção básicos. Os demais impactos ambientais, que somente possibilitaram a determinação de princípios ambientais para materiais de construção em geral, sem proporcionar uma comparação direta entre eles, não são selecionados para análise no estudo de caso desta dissertação.

Desta forma, os impactos ambientais a serem estudados durante a etapa de extração de matérias-primas e manufatura de materiais de construção são representados pelo grau de exploração de recursos naturais e pelos gastos energéticos durante a extração de matérias-primas e processamento dos materiais. O impacto ambiental a ser estudado durante a etapa de transporte de materiais de construção, desde o seu produtor até o canteiro de obras, é representado pelos gastos energéticos durante este transporte. Por fim, o impacto ambiental a ser estudado durante a etapa de disposição final de materiais de construção é representado pelo potencial de reciclabilidade apresentado pelos materiais.

Observa-se que, enquanto os gastos energéticos durante a extração das matérias-primas, manufatura e transporte podem ser quantificados para cada material, o grau de exploração de recursos naturais e o potencial de reciclabilidade são analisados qualitativamente. Desta forma, o método a ser utilizado na presente dissertação, para avaliação das paredes e coberturas nas cinco tipologias habitacionais a serem estudadas posteriormente, deve ser constituído por uma etapa quantitativa referente aos gastos energéticos e outra qualitativa referente à exploração de recursos e potencial de reciclabilidade.

### 4.3. PONDERAÇÃO DOS IMPACTOS AMBIENTAIS

Quanto a aspectos de ponderação de impactos ambientais, ou seja, quanto ao grau de importância relativa entre os impactos ambientais, observa-se que a questão é bastante subjetiva. Por exemplo, o *BRE - Building Research Establishment* vem pesquisando nos últimos anos métodos que possibilitem a formulação de índices de ponderação para diferentes impactos ambientais. Em uma pesquisa realizada por *KPMG Management Consulting*, para o *BRE*, em 1992, concluiu-se que eram limitadas as experiências na aplicação prática de um método de ponderação para avaliações ambientais, não sendo possível uma avaliação rigorosa na época (YATES e BALDWIN, 1998). Atualmente, o *BRE*, na ausência de uma metodologia robusta cientificamente, utiliza abordagens qualitativas associadas com algumas abordagens quantitativas, indicando os impactos ambientais que o *BRE* acredita que sejam mais importantes. Mesmo assim, o *BRE* mantém uma linha de pesquisa no tema de ponderação de impactos ambientais.

O *software* denominado de *BEES - Building for Environmental and Economic Sustainability*, recentemente lançado no Estados Unidos da América, representa um novo exemplo de um método que permite medir impactos ambientais. A diferença deste método é que ele permite que os próprios usuários do *software* ponderem os impactos ambientais de acordo com prioridades particulares. Além disto, ele sugere três sistemas de ponderação entre os seis impactos abordados, com base na bibliografia pesquisada, determinando o grau de importância relativa entre os impactos ambientais abordados, sendo um definido pelas seguintes ponderações: aquecimento global (27%), chuva ácida (13%), nutrição do solo (13%), exploração de recursos naturais (13%), geração de resíduos sólidos (7%) e qualidade do ar no interior de edificações (27%); outro com: aquecimento global (28%), chuva ácida (17%), nutrição do solo (18%), exploração de recursos naturais (15%), geração de resíduos sólidos (10%) e qualidade do ar no interior de edificações (12%); e o último representado por um conjunto de pesos iguais para os seis impactos (LIPPIATT, 1998).

Adota-se, na presente dissertação, pesos iguais para todos os impactos ambientais avaliados, fornecendo um mesmo grau de importância para os mesmos. Busca-se, desta forma, a imparcialidade entre os vários impactos estudados, tomando-se como princípio que a análise individual de cada impacto ainda representa o ponto chave, exigindo avanços significativos. Posteriormente, quando cada impacto estiver bem definido, de preferência em valores absolutos, será imprescindível uma caracterização detalhada da ponderação a ser adotada. As peculiaridades locais e regionais tenderão a influenciar significativamente o grau de relevância de cada impacto, para cada localidade ou região.

## **5. ESTUDO DE CASO**

### **5.1. OBJETO DE ESTUDO**

Após a pesquisa bibliográfica desenvolvida e a sua complementação com as delimitações adotadas no capítulo anterior, realiza-se então um estudo de caso. Nesta etapa da dissertação, busca-se analisar os impactos ambientais referentes aos materiais de construção selecionados para cada uma das propostas de habitações populares da Vila Tecnológica do município de Porto Alegre, realizando-se uma comparação entre as várias tecnologias habitacionais alternativas propostas, através de uma abordagem de caráter amplo.

#### **5.1.1. Definição de Vila Tecnológica**

O Programa de Difusão de Tecnologia para Construção de Habitação de Baixo Custo, também conhecido pela sigla PROTECH, foi criado pelo Decreto de 28 de julho de 1993 e utiliza os recursos oriundos da alienação dos imóveis residenciais de propriedade da União disciplinados pelo Decreto nº 1.036 de 04 de janeiro de 1994 (BRASIL, 1999b). Este Programa, que estava vinculado diretamente à Presidência da República, se transferiu para a Secretaria de Política Urbana do Ministério do Planejamento e Orçamento por força do Decreto nº 1.362 de 01 de janeiro de 1995 (BRASIL, 1996).

O PROTECH visa demonstrar, através de modelos construídos, representados pelas Vilas Tecnológicas, as possibilidades de construção de habitações para a população de baixa renda com maior qualidade e menor custo, considerando-se a qualidade dos projetos e a excelência da gestão administrativa, do sistema de financiamento e da formação de parcerias. Seu principal objetivo técnico é identificar, investigar e estimular tecnologias existentes capazes de contribuir com os objetivos sociais do Programa. Os modelos construídos em locais estratégicos devem constituir-se em centros difusores de informação, a partir da análise de desempenho pós-ocupação das tecnologias habitacionais adotadas, contribuindo para a solução do problema habitacional de cada município (BRASIL, 1996).

Segundo apresentado em BRASIL (1999a), os principais objetivos do PROTECH são:

- *estimular o desenvolvimento de estudos e pesquisas que tenham por finalidade a redução do custo de construção da habitação popular, bem como de promover, em colaboração com o setor privado, a divulgação de novas tecnologias especialmente desenvolvidas para este fim;*
- *demonstrar de forma concreta, via novos assentamentos, as reais vantagens da adoção e difusão regionalizadas de propostas urbanísticas e arquitetônicas, e inovações tecnológicas que resultem na significativa redução do custo da produção e na melhoria da qualidade das habitações populares.*

Por fim, ainda são salientadas preocupações referentes ao treinamento de mão-de-obra local, ampliando a oferta de empregos e aproveitando o potencial industrial da região, e preocupações referentes à identificação de tecnologias alternativas para construção de habitações de baixo custo que respeitem a cultura e os fatores ambientais locais (BRASIL, 1999b).

### 5.1.2. Vilas Tecnológicas do Brasil

Em termos de produção de unidades habitacionais, o PROTECH se limita a construção de oito Vilas Tecnológicas no Brasil, nos seguintes municípios: Bauru (SP), Brasília (DF), Contagem (MG), Curitiba (PR), Goiânia (GO), Juiz de Fora (MG), Porto Alegre (RS) e Ribeirão Preto (SP). No dia 11 de março de 1998, cinco Vilas Tecnológicas no Brasil já se encontravam habitadas. São estas as existentes nos municípios de Curitiba (PR), Ribeirão Preto (SP), Bauru (SP), Contagem (MG) e Juiz de Fora (SP). Outras três estavam com construções a iniciar (Brasília/DF, Porto Alegre/RS e Goiânia/GO) (IDHAB, 1998). Na Tabela 11, observa-se a quantidade de habitações construídas ou a serem construídas em cada Vila Tecnológica e o número de tecnologias habitacionais selecionadas.

**Tabela 11** - Caracterização geral das Vilas Tecnológicas do Brasil.

VILA TECNOLÓGICA	N.º DE HABITAÇÕES	N.º DE TECNOLOGIAS SELECIONADAS
CURITIBA	120	19
RIBEIRÃO PRETO	121	10
BAURU	105	13
CONTAGEM	90	3
JUIZ DE FORA	100	3
BRASÍLIA	95	10
PORTO ALEGRE	101	5
GOIÂNIA	100	3

Fonte: BRASIL (1999b).

### 5.1.3. Vila Tecnológica de Porto Alegre

Especificamente a respeito da Vila Tecnológica de Porto Alegre, conforme apresentado em DEMHAB (1996), observa-se que primeiramente foram estabelecidas as condições de participação e critérios de seleção de tecnologias habitacionais alternativas, para implementar o projeto denominado Vila Tecnológica de Porto Alegre, através do Edital do Concurso nº 01 de 1996 do Departamento Municipal de Habitação de Porto Alegre (DEMHAB). Após uma análise das dez propostas encaminhadas, a Comissão Julgadora Especial, comissão responsável por receber e julgar as propostas referentes ao concurso anteriormente citado, selecionou cinco tecnologias habitacionais para integrar a Vila Tecnológica de Porto Alegre, que atualmente está sob responsabilidade imediata do DEMHAB. Nesta dissertação, foram analisadas as cinco tecnologias habitacionais vencedoras.

Observa-se que todas as cinco tecnologias habitacionais selecionadas para a Vila Tecnológica de Porto Alegre apresentam uma tipologia habitacional básica, sendo que algumas tecnologias habitacionais ainda possuem tipologias extras, representadas por algumas variantes, como por exemplo ampliações horizontais e/ou verticais. Sallenta-se que não há diferenças entre os tipos de materiais utilizados entre cada uma das variações dentro de uma mesma tecnologia habitacional, porém existem pequenas diferenças em termos dos quantitativos. Por exemplo, os quantitativos dos materiais necessários para a construção de uma mesma parede podem ser diferentes de acordo com o número de pavimentos da habitação.

Desta forma, para fins de padronização, buscou-se nesta dissertação, analisar somente a tipologia habitacional básica de cada uma das cinco tecnologias habitacionais alternativas propostas, ou seja, analisar somente a tipologia mais simples exposta por cada proposta. Este procedimento foi adotado para todas as cinco tecnologias habitacionais propostas, com exceção de uma das propostas que apresenta como o tipo mais simplificado uma habitação com área construída<sup>1</sup> em torno de 50% da área construída das demais propostas. Neste caso específico, foi analisada a tipologia habitacional com 40 m<sup>2</sup> de área construída, e não a tipologia habitacional básica com 22 m<sup>2</sup> de área construída, para fins de uniformização das dimensões habitacionais entre todas as propostas. Neste sentido, apresenta-se na Tabela 12 as principais características das tipologias habitacionais estudadas, sendo suas plantas baixas apresentadas no Anexo A.

---

<sup>1</sup> Por área construída, entende-se a área fechada da habitação incluindo-se todas as paredes.

**Tabela 12 - Características gerais das cinco tipologias habitacionais estudadas.**

TIPOLOGIA HABITACIONAL	①	②	③	④	⑤
Tipologia A	34,92	79,36	49,41	40	Sala/Cozinha; Banho; Um dormitório; Circulação.
Tipologia B	36,55	106,10	45,83	34	Sala; Cozinha; Banho; Dois dormitórios; Circulação.
Tipologia C	40,00	89,26	56,81	35	Sala; Cozinha; Banho; Dois dormitórios.
Tipologia D	46,50	123,56	60,21	34 e 40	Sala/Cozinha; Banho; Três dormitórios; Circulação.
Tipologia E	39,85	96,80	54,18	35	Sala/Cozinha; Banho; Dois dormitórios; Circulação.

①: ÁREA CONSTRUÍDA (m<sup>2</sup>)

④: INCLINAÇÃO DA COBERTURA (%)

②: ÁREA DE PAREDES (já descontados todos os vãos) (m<sup>2</sup>)

⑤: CÔMODOS

③: ÁREA DE PROJEÇÃO HORIZONTAL DA COBERTURA (m<sup>2</sup>)

Fonte: Própria.

Os cinco tipos de habitações térreas analisados, que apresentam áreas construídas semelhantes, são descritos sucintamente a seguir. Como explicado anteriormente, cada uma das tipologias habitacionais representa uma das cinco propostas selecionadas para integrar a Vila Tecnológica de Porto Alegre.

Deve-se salientar que, segundo as delimitações adotadas no item 4.2.1., foram enfatizados somente aspectos relativos a paredes e coberturas. E para fins de sigilo de algumas informações sobre as tipologias, estas foram descritas através de uma abordagem geral, sem apresentar detalhes das mesmas.

#### a) Tipologia Habitacional A

Em termos gerais, esta tipologia habitacional é composta por uma estrutura metálica de aço de chapa dobrada, formada por pilares, vigas e cobertura. Os elementos desta estrutura metálica são montados por encaixes e fixados entre si através de parafusos. As paredes são formadas por uma estrutura metálica de pilares e vigas. Os vãos são posteriormente preenchidos com alvenaria convencional em blocos cerâmicos de seis furos, sendo esta alinhada pela estrutura metálica. Para fins de acabamento da superfície, as paredes recebem um revestimento argamassado, sem utilização de azulejos em qualquer local. A cobertura é constituída por uma estrutura metálica, algumas ripas de madeira e telhas cerâmicas. As ripas de madeira exercem a função básica de fixação das telhas. O projeto não inclui a utilização de forro.

#### b) Tipologia Habitacional B

As paredes são do tipo "Sandwich", com 10 cm de espessura, formadas por lajotas cerâmicas precisamente distanciadas entre si, através de espaçadores plásticos próprios do sistema, formando as superfícies interna e externa das paredes. O espaço vazio entre as superfícies de lajotas é preenchido com concreto 6 MPa e vergalhões de aço. As paredes não recebem nenhum tipo de revestimento extra, salientando-se que tanto na face exterior de todas as paredes, quanto na face interior das paredes do banheiro e cozinha, são utilizadas lajotas cerâmicas esmaltadas, enquanto que nas demais faces internas de paredes são utilizadas lajotas cerâmicas não esmaltadas. A cobertura é formada por vigas pré fabricadas de concreto armado, com a incorporação de telhas cerâmicas. Estas vigas são dispostas lado a lado formando a cobertura da habitação. O projeto não inclui a utilização de forro.

#### c) Tipologia Habitacional C

As paredes são compostas por painéis pré-industrializados tipo "Sandwich", com espessura de 8 cm e dimensões padrões de 1,25 x 2,75 cm ou frações. Cada painel é formado por uma série de materiais com funções distintas e específicas dispostos da seguinte forma: uma estrutura interna de madeira em forma de grelha, formando a base de sustentação; chapas *hardboard* coladas e grampeadas em ambas as faces da estrutura de madeira. Na parte interna dos painéis, nos vazios da grelha, são inseridas as instalações elétricas, hidráulicas, etc., e o espaço restante é preenchido com poliestireno expandido. Externamente as chapas *hardboard* são tratadas e conjuntamente é aplicado um revestimento de 12 mm de argamassa epoxidica. Algumas áreas específicas das paredes ainda recebem azulejos. A cobertura é formada por uma estrutura de treliças de madeira. São utilizadas telhas de fibrocimento. Para a constituição do forro são utilizados painéis de forro com as mesmas características e composição dos painéis para paredes.

#### d) Tipologia Habitacional D

As paredes são compostas por alvenaria convencional em blocos cerâmicos de seis furos e vigas de concreto armado para a cinta e oitão. As paredes ainda recebem um revestimento argamassado para fins de acabamento da superfície. Não são utilizados azulejos em qualquer local. A cobertura é formada por uma estrutura metálica, com um sistema de multivigas, composto por quatorze vigas treliçadas em aço, que são apoiadas nas paredes dos oitões e fixadas na cinta de concreto. São

utilizadas telhas cerâmicas diretamente fixadas na estrutura metálica. Utiliza-se um forro de madeira com aproximadamente 1 cm de espessura.

#### e) Tipologia Habitacional E

As paredes são formadas por alvenaria convencional em blocos de concreto, sendo a última fiada constituída por blocos em formato de U preenchidos por concreto armado para formar a cinta de amarração. Externamente, as paredes apresentam um revestimento argamassado. Internamente, as paredes possuem seus blocos pintados e aparentes. Em áreas específicas são utilizados azulejos. A cobertura é constituída por estrutura de treliças de madeira e telhas de fibrocimento. Utiliza-se um forro de madeira com aproximadamente 1 cm de espessura.

### 5.2. MÉTODO PARA ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS COM OS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO UTILIZADOS NAS CINCO TIPOLOGIAS HABITACIONAIS

Neste item, será descrito o método utilizado para viabilizar a análise dos impactos ambientais referentes aos materiais de construção selecionados para cada tipologia habitacional. Pretende-se, em linhas gerais, criar subsídios para posteriormente examinar os materiais e grupos de materiais que formam as paredes e coberturas das cinco tipologias estudadas, conforme delimitado em 4.2.1., através da análise dos impactos ambientais discriminados no item 4.2.2. Para tanto, realizam-se as seguintes principais etapas de trabalho:

- \* coleta de dados iniciais;
- \* cálculo dos quantitativos de cada material de construção utilizado;
- \* caracterização inicial dos impactos ambientais referentes aos materiais de construção utilizados.

Nos itens a seguir, apresenta-se o detalhamento destas três etapas de trabalho recém mencionadas.

### **5.2.1. Coleta de dados iniciais**

#### **a) Coleta de dados gerais**

A coleta inicial de dados gerais necessários para o presente estudo de caso realizou-se através de contatos pessoais com o órgão responsável pela construção da Vila Tecnológica da cidade de Porto Alegre, representado pelo Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB). Desta forma, através do Departamento Municipal de Habitação (DEMHAB), foram obtidas cópias dos memoriais descritivos e dos projetos arquitetônicos e estruturais de cada uma das cinco tipologias habitacionais em questão, para fins de iniciar a análise das propostas.

#### **b) Coleta de dados específicos sobre os materiais de construção utilizados**

Após a coleta de dados gerais, foram contatados pessoalmente os responsáveis pelo projeto e pela construção de cada uma das cinco tipologias habitacionais, com a finalidade de obter informações quanto as especificações exatas dos materiais selecionados.

Desta forma, pôde-se confirmar a utilização dos materiais de construção presentes nos memoriais descritivos. Porém, salienta-se que para algumas tipologias habitacionais não foi possível a obtenção dos respectivos memoriais descritivos juntamente ao DEMHAB, sendo neste caso de extrema relevância o contato pessoal com os responsáveis pelo projeto e pela execução das obras destas tipologias, para fins da caracterização detalhada dos materiais a serem utilizados durante a construção.

### **5.2.2. Cálculo dos quantitativos de materiais de construção**

De posse dos projetos arquitetônicos e estruturais, memoriais descritivos e especificações dos materiais de construção a serem utilizados, pôde-se, então, calcular os quantitativos de cada material.

Salienta-se que não foram calculados os quantitativos de todos os materiais que compõem cada habitação, mas somente aqueles referentes as paredes e coberturas, como já explicitado anteriormente no item 4.2.1. Além disto, pôde-se confirmar, através dos dados levantados, que os materiais utilizados na fundação, piso, instalações elétricas, instalações hidrossanitárias e acabamentos em geral são convencionais, não havendo modificações significativas entre os tipos de

materiais selecionados, nem entre seus quantitativos totais, dentre as cinco tipologias habitacionais, ou seja, não existe razão para o seu estudo, desde que o objetivo desta análise seja de caráter comparativo.

Desta forma, os quantitativos dos materiais de construção foram calculados em unidade de massa (kg), separadamente para paredes e coberturas. Ou seja, os materiais foram quantificados através de unidades de massa por unidade de área de paredes ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de parede), ou através de unidades de massa por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura). Isto foi realizado para viabilizar uma posterior comparação entre as cinco tipologias habitacionais, pois conforme observado na Tabela 12, nota-se a existência de diferenças entre as cinco tipologias em relação as áreas totais de parede e as áreas totais de projeção da cobertura.

Para o cálculo da área de paredes de cada tipologia habitacional considerou-se todas as superfícies verticais da habitação, excluindo-se todos os vãos. Por outro lado, a área de projeção da cobertura foi calculada simplesmente pela projeção da mesma sobre um plano horizontal.

Salienta-se que foram realizados procedimentos de quantificação diferenciados para materiais específicos e para materiais não específicos a uma determinada tipologia habitacional. Primeiramente, para a quantificação de materiais de construção específicos de uma tipologia habitacional, em unidades de massa por unidade de área de paredes ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de parede), ou em unidades de massa por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura), realizou-se um cálculo personalizado para os mesmos, como por exemplo, para a quantificação dos materiais existentes nos painéis pré-industrializados tipo "Sandwich" apresentados pela Tipologia Habitacional C. Resumidamente, o procedimento básico realizado no caso destes materiais de construção específicos caracterizou-se primeiramente pela quantificação personalizada do material em questão, em unidade de massa (kg), para logo após dividir este valor pela área de paredes ou pela área de projeção da cobertura, de acordo com a localização do material.

Secundariamente, para a quantificação de materiais de construção não específicos a uma determinada tipologia habitacional, em unidades de massa por unidade de área de paredes ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de parede), ou em unidades de massa por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura), foram adotados alguns padrões existentes em TCPO 10 (1996), com a finalidade de padronização dos quantitativos entre as tipologias habitacionais. Esta padronização deve-se ao fato de que não seria adequado comparar alternativas similares com quantitativos diferenciados, devido por exemplo a diferenças em traços de argamassas, espessuras de junta de assentamento, etc. Ou seja, por exemplo, para fins de comparação entre duas alvenarias convencionais de blocos cerâmicos de

seis (6) furos, foram adotadas dimensões padrões para o bloco cerâmico de seis (6) furos, assim como uma dosagem padrão para os constituintes das argamassas de assentamento e revestimento, não realizando nenhuma diferenciação entre os quantitativos das duas alvenarias convencionais similares. Neste sentido, visando ainda uma maior facilidade de uniformização com demais trabalhos no tema, foram utilizados os valores padrões já consagrados em TCPO 10 (1996). Nos itens a seguir, salientam-se os pontos relevantes do procedimento utilizado no caso destes materiais de construção não específicos a uma determinada tipologia habitacional, separadamente para paredes e coberturas.

#### a) Paredes

A partir da constatação de que as Tipologias A e D especificam a utilização de alvenaria de blocos cerâmicos de seis (6) furos com revestimentos argamassados, buscou-se padronizar os quantitativos utilizados neste tipo de alvenaria. Desta forma, os quantitativos para argamassa de assentamento e revestimento de paredes com blocos cerâmicos de seis (6) furos foram obtidos a partir de TCPO 10 (1996), obtendo-se diretamente os quantitativos de cimento, cal e areia, em termos de kg/m<sup>2</sup> de parede. Foram então adotados os quantitativos relativos as argamassas constantes na Tabela 13 e utilizadas as massas aparentes indicadas na Tabela 14.

**Tabela 13** - Argamassas de assentamento e revestimento de paredes de blocos cerâmicos.

ARGAMASSA	TRAÇO (volume)	ESPESSURA (mm)
Argamassa de assentamento	1:2:8	12*
Chapisco (externo e interno)	1:3	5
Massa única (externo e interno)	1:2:9	20

\* espessura de junta de assentamento.

Fonte: TCPO 10 (1996).

**Tabela 14** - Massas aparentes utilizadas para argamassa.

MATERIAL	MASSA APARENTE (kg/m <sup>3</sup> )
Cal Hidratada	600
Cimento Portland	1.200
Areia (grau de umidade = 3% e inchamento =30%)	1.150
Areia seca	1.450

Fonte: TCPO 10 (1996).

Em termos dos blocos cerâmicos, foram considerados blocos com dimensões padrões de 9 x 15 x 20, em centímetros, e dimensão de junta de assentamento de 12 mm. Desta forma, utilizou-se o valor de 29,12 blocos/m<sup>2</sup> de parede, para paredes a espelho, e 46,24 blocos/m<sup>2</sup> de parede, para paredes a chato, conforme TCPO 10 (1996). Para a quantificação dos blocos cerâmicos em massa utilizou-se o valor de 1.100 kg/m<sup>3</sup> de bloco, citado por BAUER (1979).

Além disto, deve-se salientar que, em ambas Tipologias Habitacionais A e D, a área de paredes abrange outros elementos além da alvenaria de blocos cerâmicos de seis (6) furos, sendo necessária a consideração da área ocupada por estes outros elementos para o cálculo dos quantitativos finais, em unidades de massa por unidade de área de paredes (kg/m<sup>2</sup> de parede).

No caso da Tipologia Habitacional E, que utiliza paredes de blocos de concreto, os quantitativos para argamassa de assentamento e revestimento destas paredes também foram obtidos a partir de TCPO 10 (1996). Para tal, adotou-se os quantitativos relativos as argamassas constantes na Tabela 15 e utilizadas as massas aparentes indicadas na Tabela 14. Porém, deve-se salientar que segundo o memorial descritivo desta tipologia habitacional, somente as paredes externas da habitação são revestidas com argamassa, enquanto as internas possuem blocos aparentes. Desta forma, o quantitativo calculado para argamassa de revestimento, em kg/m<sup>2</sup> de parede, foi menor que o para as paredes com blocos cerâmicos, as quais são revestidas tanto internamente quanto externamente.

Considerou-se blocos de concreto de dimensões 14 x 19 x 39, em centímetros, e com junta de assentamento de 10 mm. Desta forma, utilizou-se o valor de 12,50 blocos/m<sup>2</sup> de parede. Para a quantificação destes blocos em massa utilizou-se o valor de 1.200 kg/m<sup>3</sup> de bloco (TECMOLD).

**Tabela 15 - Características das argamassas de assentamento e revestimento de paredes de blocos de concreto.**

ARGAMASSA	TRAÇO (volume)	ESPESSURA (mm)
Argamassa de assentamento	1:0,5:8	10*
Chapisco (externo e interno)	1:3	5
Massa única (externo e interno)	1:2:9	20

\* espessura de junta de assentamento

Fonte: TCPO 10 (1996).

No caso de azulejos, observa-se que somente as Tipologias Habitacionais C e E utilizam este material de construção em algumas áreas específicas da habitação. Além disto, tendo em vista que os

quantitativos para a argamassa de assentamento de azulejos da Tipologia C já estão contabilizados nos quantitativos totais desta tecnologia, por possuir um sistema próprio de assentamento não convencional, somente torna-se necessário a utilização de TCPO 10 (1996) para a Tipologia E. Foram adotados os quantitativos relativos a argamassa de assentamento de azulejos apresentada na Tabela 16 e utilizadas as massas aparentes indicadas na Tabela 14. Salienta-se que como estes quantitativos foram utilizados somente para paredes com blocos de concreto, considerou-se o assentamento de azulejos diretamente sobre os blocos aparentes, dispensando-se o chapisco e o emboço.

**Tabela 16 - Características da argamassa de assentamento de azulejos para a Tipologia E.**

ARGAMASSA	TRACO (volume)	ESPESSURA (mm)
Argamassa de assentamento	1:2:8	20

Fonte: TCPO 10 (1996).

Para a quantificação de azulejos em massa, tanto para a Tipologia C quanto para a Tipologia E, utilizou-se dados contidos no catálogo de produtos ELIANE, que apresenta um valor médio de 10,86 kg/m<sup>2</sup> de azulejos, de dimensões 20 x 20 cm, pertencente a categoria de azulejos mais simples.

Os quantitativos para concreto convencional de 18 MPa para itens cuja dosagem do concreto não estava especificada nas propostas de tipologias habitacionais, também foram calculados de acordo com TCPO 10 (1996). Neste sentido, foram utilizadas as massas aparentes indicadas na Tabela 17 e a dosagem apresentada no Anexo B.

Todos os demais materiais de construção constituintes das paredes não abordados neste item são próprios de uma determinada tipologia habitacional. Os seus respectivos quantitativos foram calculados através das especificações constantes nos projetos arquitetônicos e estruturais e nos memoriais descritivos, realizando um cálculo personalizado para os mesmos, juntamente com um contato direto com os seus fabricantes.

**Tabela 17 - Massas aparentes utilizadas para concreto.**

MATERIAL	MASSA APARENTE (kg/m <sup>3</sup> )
Cimento Portland	1.200
Areia (grau de umidade = 5% e inchamento =30%)	1.200
Brita	1.350

Fonte: TCPO 10 (1996).

## b) Coberturas

Para a quantificação de telhas cerâmicas em massa foram contatados dois fabricantes específicos das Tipologias A e B, obtendo-se primeiramente um valor de 16 telhas romanas/m<sup>2</sup> de projeção de cobertura, com aproximadamente 40 % de inclinação, já considerando-se a sobreposição entre as telhas, onde cada uma possui a massa de aproximadamente 3 kg, e secundariamente um valor de 26 telhas coloniais/m<sup>2</sup> de projeção de cobertura, com 34 % de inclinação, já considerando-se a sobreposição entre as telhas, onde cada uma possui a massa de aproximadamente 1,85 kg. Desta forma, observa-se que obteve-se um valor de aproximadamente 48 kg/m<sup>2</sup> de projeção de cobertura, para os dois casos anteriormente citados. Tendo em vista a incerteza sobre o exato fabricante de telhas cerâmicas relativo a Tipologia D, que apresenta cobertura com 34% de inclinação em uma água e 40% na outra água, adotou-se com fins de padronização o valor de 48 kg/m<sup>2</sup> de projeção de cobertura, para as três tipologias habitacionais em questão, ou seja, para as Tipologias A, B e D.

Além disto, para a quantificação de telhas de fibrocimento em massa, foi utilizado o catálogo BRASILIT, de onde pôde-se obter o valor de 16 kg/m<sup>2</sup> de projeção de cobertura, referente a utilização de telhas onduladas de 6 mm de espessura, com dimensões de 1,10 x 0,91 m, e uma inclinação de 35% de cobertura, já consideradas as sobreposições mínimas exigidas. Este valor foi considerado para as Tipologias C e E que utilizam telhas de fibrocimento.

Os quantitativos referentes à estrutura de madeira de cobertura da Tipologia E foram calculados de acordo com TCPO 10 (1996), devido à falta de especificação da mesma nos projetos, inclusive no memorial descritivo. Salienta-se que esta tipologia habitacional é a única que utiliza uma estrutura de madeira de cobertura convencional, não havendo problemas de adoção destes quantitativos para fins de comparação entre todas as cinco tipologias.

Para os quantitativos de forro de madeira de Pinus e estrutura de madeira de Cedrinho foram utilizadas as massas aparentes apresentadas na Tabela 18, conforme INO et al. (1998). Salienta-se ainda que para o cálculo dos quantitativos para o forro de madeira de Pinus, considerou-se toda área interna da habitação, através de medições de projeto, e uma espessura de 1 cm.

Todos os demais materiais de construção constituintes das coberturas não abordados neste item são próprios de uma determinada tipologia habitacional, sendo os seus respectivos quantitativos calculados através das especificações constantes nos projetos arquitetônicos e estruturais e nos memoriais descritivos, realizando um cálculo específico para os mesmos juntamente com um contato direto com os seus próprios fabricantes.

**Tabela 18 - Massas aparentes utilizadas para madeiras.**

MATERIAL	MASSA APARENTE (kg/m <sup>3</sup> )
Madeira de Pinus	500
Madeira de Cedrinho	550 *

\* Considerou-se a massa aparente da madeira de Eucalipto Grandis para madeira de Cedrinho.

Fonte: INO et al. (1998)

### c) Considerações gerais

Pode-se citar como quantitativos específicos: a estrutura metálica de pilares, vigas e cobertura da Tipologia A; todos os quantitativos da Tipologia B, com exceção das telhas cerâmicas e do concreto 18 MPa utilizado na cobertura; todos os quantitativos da Tipologia C, com exceção das telhas de fibrocimento e dos azulejos; e a estrutura metálica da cobertura da Tipologia D. Observa-se que a Tipologia E possuiu todos os seus quantitativos calculados a partir de TCPO 10 (1996), a partir da constatação de que todos os seus materiais eram convencionais, ou seja, não específicos desta tipologia habitacional.

Deve-se ressaltar que todos os quantitativos específicos de cada tipologia habitacional, obtidos através de contato direto com os fabricantes, representam valores exatos, segundo os próprios responsáveis pelo fornecimento dos dados, ou seja, sem a consideração de percentuais de desperdício de materiais de construção. Desta forma, para quantitativos não específicos padronizados em todas as propostas, ou seja, para as telhas cerâmicas e de fibrocimento, os azulejos, a madeira para forro, os blocos cerâmicos e blocos de concreto, as argamassas de assentamento de blocos cerâmicos e blocos de concreto, e para as argamassas para revestimento de paredes, também foram considerados quantitativos exatos, ou seja, não foram adotados coeficientes de desperdício de materiais de construção. Os materiais de construção que foram padronizados somente nas tipologias habitacionais que não especificaram exatamente uma composição própria são representados pela argamassa de assentamento de azulejos, pelo concreto e pela madeira para estrutura de telhado, sendo também adotados quantitativos exatos.

Neste sentido, salienta-se que a respeito dos quantitativos referentes ao concreto convencional, foram utilizados valores encontrados em TCPO 10 (1996), porém foram descontados os percentuais de desperdício utilizados nesta referência. TCPO 10 (1996) apresenta para a composição de concreto convencional os coeficientes de 5% de perdas para o cimento, 15% para a areia e 10% para a brita, que não foram considerados na presente dissertação para manter uma coerência com os

valores exatos utilizados para os demais quantitativos de cada tipologia habitacional. No Anexo B, pode-se observar todas as composições de TCPO 10 (1996) utilizadas, já descontados os percentuais de desperdícios.

Por fim, deve-se salientar que também foi realizado um cálculo de quantitativos totais, em unidades de massa (kg), através da simples multiplicação dos quantitativos em unidades de massa por unidade de área de paredes ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de parede) ou em unidades de massa por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura), pelas respectivas áreas totais de paredes ou de projeção horizontal da cobertura, apresentadas na Tabela 12. A partir disto, pôde-se somar os quantitativos totais das paredes e da cobertura, atingindo-se um valor total geral para cada tipologia habitacional, também em unidade de massa (kg). Através da simples divisão deste total geral pela área construída de cada tipologia, conforme valores da Tabela 12, atingiu-se um quantitativo final em unidades de massa por unidade de área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$  área construída).

### **5.2.3. Caracterização inicial dos impactos ambientais**

Após a coleta de dados iniciais e o cálculo dos quantitativos de materiais de construção selecionados para cada uma das cinco tipologias habitacionais estudadas na presente dissertação, pôde-se realizar uma caracterização inicial dos impactos ambientais delimitados no item 4.2.2. Nos itens a seguir, apresenta-se os procedimentos adotados para viabilizar uma posterior análise destes impactos ambientais no próximo capítulo.

- a) Discriminação do grau de exploração de recursos naturais referente aos materiais de construção utilizados

A identificação das matérias-primas básicas para a produção dos materiais de construção selecionados para constituir as paredes e coberturas, de cada uma das cinco tipologias habitacionais em questão, pôde ser realizada diretamente a partir das especificações dos materiais a serem utilizados e dos resultados da pesquisa bibliográfica realizada no item 3.1.1. Conseqüentemente, pôde-se verificar o atual grau de escassez destas matérias-primas, ou seja, pôde-se discriminar o grau de exploração de recursos naturais referente aos materiais de construção utilizados.

b) Discriminação dos conteúdos energéticos dos materiais de construção utilizados

Após a quantificação dos materiais de construção utilizados nas paredes e coberturas de cada uma das cinco tipologias habitacionais em questão, através de unidades de massa por unidade de área de paredes ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de parede), ou através de unidades de massa por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura), pôde-se realizar a simples multiplicação matemática de cada quantitativo de material pelo seu respectivo índice energético, fornecido em unidades de energia por unidade de massa ( $\text{MJ}/\text{kg}$ ), conforme explicitado no item 3.1.2.

Desta forma, obteve-se o conteúdo energético referente a cada material de construção, em unidades de energia por unidade de área de parede ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de parede), ou por unidade de área de projeção de cobertura ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura). Além disto, a partir das áreas totais de paredes e projeções de coberturas respectivas a cada tipologia habitacional, salientadas na Tabela 12, pôde-se calcular os conteúdos energéticos totais das paredes e coberturas, em unidades de energia ( $\text{MJ}$ ). Por fim, pôde-se dividir estes conteúdos energéticos totais das paredes e coberturas, pela área construída de cada tipologia habitacional, apresentada na Tabela 12, atingindo-se um valor em unidades de energia por unidade de área construída ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de área construída).

c) Discriminação dos gastos energéticos em transporte dos materiais de construção desde os seus produtores

Após a caracterização dos materiais de construção selecionados para cada tipologia habitacional, pôde-se então discriminar os prováveis fornecedores de cada material. A divulgação do fornecedor mais provável foi realizada diretamente pelos responsáveis de execução das obras, mais especificamente pelos responsáveis da área de suprimentos de materiais de cada empresa construtora. Salienta-se que foram analisados somente os projetos das tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre, enquanto as obras ainda não haviam começado, sendo então necessário indicar o fornecedor mais provável de cada material, que não necessariamente serão os reais fornecedores durante a construção propriamente dita.

Deve-se salientar ainda que, quando a empresa construtora não possuía um único fornecedor para um determinado material, mas pelo contrário, possuía um grupo formado por algumas alternativas de fornecedores, existiram algumas dificuldades em selecionar um único fornecedor mais provável especificamente para a Vila Tecnológica. No entanto, pôde-se constatar que a incerteza quanto ao

exato fornecedor ocorreu principalmente no caso de materiais de construção não específicos de cada tipologia habitacional, ou seja, materiais de construção genéricos. Por outro lado, quando se tratava de materiais próprios de cada tipologia habitacional, a precisão na indicação do provável fornecedor foi alta, não sendo cogitada a modificação do mesmo durante o processo construtivo.

Após a discriminação dos prováveis fornecedores de materiais, partiu-se para a localização dos conseqüentes prováveis produtores originais de cada material, pois segundo explicitado no item 3.2.1., deve-se computar os gastos energéticos no transporte dos materiais de construção desde o seu produtor até o local onde será construída a edificação, sendo que por produtor entende-se aquele que transforma as matérias-primas no material de construção utilizado nas obras de construção civil. Desta forma, após a discriminação dos prováveis fornecedores de materiais de construção para cada tipologia habitacional, buscou-se localizar os produtores de cada material através de contatos com todos estes fornecedores discriminados pelas empresas construtoras.

Pôde-se, então, localizar o endereço dos produtores dos materiais de construção e conseqüentemente constatar as distâncias entre os municípios em que se encontram estes produtores de materiais e o município de Porto Alegre, onde será realizada a obra da Vila Tecnológica em questão. Como uma das constatações realizadas, observou-se que, enquanto alguns fornecedores exercem somente a função de revenda de materiais, outros são os próprios produtores.

Salienta-se aqui uma limitação desta dissertação referente ao estudo baseado em prováveis fornecedores de materiais e conseqüentemente em prováveis produtores de materiais de construção, devido à limitação da análise de propostas de tipologias habitacionais, sem a possibilidade de acompanhamento da etapa de construção das mesmas. Mesmo com estas dificuldades, buscou-se sistematizar a localização dos produtores de materiais atentando para as duas categorias básicas descritas a seguir.

Primeiramente, existem aqueles produtores de materiais específicos de cada tipologia habitacional, apresentando uma vinculação direta com a tecnologia habitacional adotada, constituindo-se então na única possibilidade a ser adotada durante a etapa de construção. Neste caso, adotou-se a localização municipal exata destes produtores específicos de materiais.

Secundariamente, existem aqueles produtores de materiais de construção genéricos, que são utilizados em várias tipologias habitacionais. Neste caso, foram adotadas localizações únicas para todas as cinco tipologias, para fins de padronização, sendo estas localizações únicas aprovadas por cada uma das respectivas cinco empresas construtoras. Desta forma, no caso do cimento adotou-se o

município de Esteio (RS), como localização do produtor deste material de construção. Para a cal, adotou-se o município de Caçapava do Sul (RS); para a areia, a pedra britada e blocos cerâmicos de seis (6) furos, o município de Porto Alegre (RS); para os azulejos, o município de Criciúma (SC); para telhas de fibrocimento, o município de Esteio (RS); para madeira serrada de Cedrinho, o município de Sinop (MT); e para madeira serrada de Pinus, o município de Canela (RS). Além destes materiais de construção cuja localização dos respectivos produtores foi padronizada para todas as cinco tipologias habitacionais estudadas, salienta-se que, no caso do aço, somente nas tipologias onde o mesmo não é específico da tecnologia habitacional, considerou-se o município de Sapucaia do Sul (RS), como município padrão. No Anexo C, constata-se a localização adotada para os produtores de todos os materiais básicos de cada uma das tipologias habitacionais, separados pelo grupo de materiais que formam as paredes e por aqueles que formam as coberturas. Observa-se que os materiais constituintes das coberturas foram ainda subdivididos em estrutura da cobertura e telhas, sendo que, para aquelas tipologias que possuíam forro, esse foi considerado juntamente com a estrutura da cobertura.

Deve-se salientar que as localizações padronizadas apresentadas anteriormente, para produtores de materiais de construção genéricos, além de terem sido aprovadas simultaneamente por cada uma das respectivas cinco empresas construtoras, foram adotadas segundo o princípio da menor distância de transporte possível. Entretanto, no caso da madeira de Cedrinho, considerou-se o município de Sinop (MT), devido a não citação de outros municípios mais próximos a Porto Alegre por parte das empresas construtoras e dos fornecedores diretos.

Após a localização dos produtores de todos os materiais de construção utilizados nas tipologias habitacionais analisadas, buscou-se discriminar as distâncias entre os municípios onde se localizam cada um destes produtores e o município de Porto Alegre. Para tanto, foram consultadas referências como GUIA ... (1996), DNER (1999) e DAER (1996).

Observou-se que tanto em GUIA ... (1996), quanto em DNER (1999), é utilizado o mesmo critério para o cálculo das distâncias entre municípios brasileiros, onde a distância entre duas cidades é medida de centro a centro e os caminhos adotados são os mais curtos pelas rodovias asfaltadas. Além disto, constatou-se que ambas referências apresentam exatamente os mesmos valores de distâncias entre os municípios brasileiros, sendo que a primeira ainda abrange uma maior quantidade de cidades, enquanto que a segunda não apresenta vários municípios necessários para a presente dissertação. Desta forma, adota-se GUIA ... (1996) como base para este estudo. Porém, salienta-se que somente as distâncias entre Porto Alegre e Bom Princípio (RS) e entre Porto Alegre e Itaquaquacetuba (SP) foram

obtidas diretamente através de um contato por meio eletrônico com o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), já que as mesmas não estavam discriminadas em ambas referências.

Deve-se ressaltar que não foram utilizados os valores de distâncias apresentados em DAER (1996) pois as distâncias entre o município de Porto Alegre e os demais municípios do estado do Rio Grande do Sul foram calculados em termos dos limites municipais, e não dos centros dos mesmos como realizado em GUIA ... (1996) e em DNER (1999). Além disto, os valores encontrados em DAER (1996) são referentes somente a distâncias entre municípios do estado do Rio Grande do Sul.

Por fim, para os produtores localizados dentro do próprio município de Porto Alegre foi considerada uma distância arbitrária de 10 km, para fins de cálculo dos gastos energéticos devido ao transporte. No Anexo D, pode-se constatar as distâncias adotadas entre o município de Porto Alegre e os demais municípios brasileiros em questão.

Além da discriminação destas distâncias de transporte, tornou-se necessária a determinação do coeficiente de gastos energéticos a ser utilizado na presente dissertação. Conforme salientado no item 3.2.1., a Associação Nacional do Transporte de Cargas (NTC) afirma que o tipo de caminhão mais utilizado nas rodovias brasileiras para o transporte de cargas é representado pelo caminhão semi-pesado de três eixos, cujas características são apresentadas na Tabela 6. Desta forma, adota-se para a presente dissertação o coeficiente de gastos energéticos referentes a este tipo de caminhão, correspondente ao valor de  $0,843 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km.

Porém, tendo-se em vista a existência de materiais de construção das tipologias habitacionais em estudo que são somente transportados dentro do município de Porto Alegre, nota-se a necessidade de adoção de um outro coeficiente de gastos energéticos específico para este caso. Neste sentido, adota-se também o coeficiente de  $1,127 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km, referente ao caminhão médio de dois eixos apresentado na Tabela 6, que é normalmente utilizado em condições de tráfego urbano. Por fim, utilizam-se estes dois coeficientes de gastos energéticos na presente dissertação, ou seja, o valor de  $1,127 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km para as distâncias de transporte inseridas somente na Região Metropolitana de Porto Alegre e o valor de  $0,843 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km para as demais distâncias de transporte.

Além disto, salienta-se que foi considerada somente a ida dos caminhões, ou seja, o transporte de cada material desde o município onde se localiza o produtor, até o município de Porto Alegre, pois observou-se através de um contato direto com os produtores que a entrega de seus materiais de construção é realizada através de empresas de transporte de cargas, e não por veículos do próprio produtor. Desta forma, não considerou-se a volta dos caminhões. As únicas exceções ocorreram no

caso do transporte de materiais como os tijolos cerâmicos, areia, brita e cal, porém observou-se que estes materiais também eram transportados por empresas de transporte de carga em alguns casos. Neste sentido, para fins de padronização, considerou-se somente a ida, para todos os materiais de construção em questão.

Por fim, pôde-se realizar a multiplicação matemática de cada quantitativo de material, em unidades de massa por unidade de área de paredes ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de parede), ou em unidades de massa por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{kg}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura), pela sua respectiva distância transportada, em unidades de comprimento (km), e pelo respectivo coeficiente de gastos energéticos ( $\text{MJ}/\text{kg.km}$ ). Desta forma, obtiveram-se valores em unidades de energia por unidade de área de paredes ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de parede), ou por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura), representando os gastos energéticos em transporte dos materiais de construção desde o município de seu produtor até o município de Porto Alegre.

Além disto, a partir das áreas totais de paredes e projeções de coberturas de cada tipologia habitacional, calculou-se os gastos energéticos totais em transporte, em unidades de energia (MJ). Por fim, pôde-se dividir estes gastos energéticos totais em transporte, pela área construída de cada tipologia habitacional, atingindo-se um valor em unidades de energia por unidade de área construída ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de área construída).

#### d) Discriminação do potencial de reciclabilidade dos materiais de construção utilizados

O potencial de reciclabilidade pôde ser discriminado diretamente a partir das especificações dos materiais a serem utilizados nas cinco tipologias habitacionais, utilizando-se também os resultados da pesquisa bibliográfica realizada no item 3.4.2.

## 6. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 6.1. QUANTITATIVOS DOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SELECIONADOS PARA AS PAREDES E COBERTURAS DAS CINCO TIPOLOGIAS HABITACIONAIS

Os quantitativos calculados, a partir do método exposto no capítulo anterior, para cada um dos materiais de construção estudados, em unidades de massa por unidade de área de paredes ( $\text{kg/m}^2$  de parede) ou em unidades de massa por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{kg/m}^2$  de projeção da cobertura), estão discriminados no Anexo E. A Tabela 19 apresenta um resumo dos dados apresentados no Anexo E.

**Tabela 19** - Quantitativos dos materiais de paredes e cobertura, respectivamente em unidades de massa por unidade de área de paredes ou por unidade de área de projeção horizontal da cobertura.

TIPOLOGIA HABITACIONAL	PAREDES	COBERTURA
	$\text{kg/m}^2$ paredes	$\text{kg/m}^2$ proj. cob.
A	170,59	53,96
B	205,88	194,12
C	68,91	33,57
D	201,15	59,16
E	231,42	28,56

Fonte: Própria.

Inicialmente, pôde-se constatar as diferenças dos quantitativos em massa entre as cinco tipologias habitacionais, observando que alguns sistemas construtivos exigiam materiais com maior ou menor massa que outros. Pôde-se observar, por exemplo, que, em termos dos materiais utilizados para cobertura, a Tipologia Habitacional B apresentou o maior quantitativo por unidade de área de projeção de cobertura, principalmente devido às vigas de concreto armado utilizadas para a estrutura da cobertura, enquanto as demais tipologias utilizaram basicamente estruturas em madeira ou aço. Além disto, a adoção de telhas cerâmicas ou telhas de fibrocimento também influenciou no quantitativo final por unidade de área de projeção de cobertura.

Em relação as paredes, observou-se que a Tipologia C apresentou o menor quantitativo por unidade de área de paredes, basicamente devido a ampla utilização de painéis de madeira, preenchidos com poliestireno expandido. Por fim, observou-se que a Tipologia C apresentou baixos valores para os seus quantitativos em geral, tanto àqueles referentes a cobertura, quanto àqueles referentes as paredes.

Além disto, a Tabela 20 apresenta os quantitativos totais calculados para os materiais das paredes e cobertura de cada tipologia habitacional, em unidade de massa (kg), conforme o procedimento descrito no capítulo anterior, e conseqüentemente apresenta também os quantitativos finais referentes aos materiais das paredes e cobertura em conjunto, em unidades de massa por unidade de área construída ( $\text{kg}/\text{m}^2$  área construída). Nesta Tabela 20, pode-se então observar as diferenças entre as tipologias habitacionais em estudo, sendo a Tipologia C responsável pelo menor quantitativo por unidade de área construída, cerca de quatro vezes menor que o quantitativo por unidade de área construída apresentado pela Tipologia B. As demais tipologias habitacionais apresentaram valores intermediários.

Salienta-se, entretanto, que o principal objetivo deste item específico é somente apresentar os valores calculados dos quantitativos, sem realizar uma comparação detalhada entre as tipologias habitacionais.

**Tabela 20** - Quantitativos totais dos materiais selecionados para as paredes e cobertura.

TIPOLOGIA HABITACIONAL	TOTAL PAREDES	TOTAL COBERTURA	TOTAL GERAL PAREDES + COBERTURA	TOTAL GERAL PAREDES + COBERTURA
	kg	kg	kg	$\text{kg}/\text{m}^2$ área construída
A	13.538,02	2.666,16	16.204,19	464,04
B	21.843,87	8.896,52	30.740,39	841,05
C	6.150,91	1.907,11	8.058,02	201,45
D	24.854,09	3.562,02	28.416,12	611,10
E	22.401,46	1.547,38	23.948,84	600,97

Fonte: Própria.

## 6.2. ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS AOS MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO DAS PAREDES E COBERTURAS DAS CINCO TIPOLOGIAS HABITACIONAIS

Neste item, as cinco tipologias habitacionais em estudo são comparadas em termos dos diversos materiais ou grupos de materiais alternativos utilizados em suas paredes e coberturas, considerando-se os possíveis impactos ambientais delimitados no item 4.2.2 desta dissertação. Deve-se salientar que estes materiais ou grupos de materiais alternativos comparados não necessariamente apresentam o mesmo desempenho estrutural, térmico, acústico, dentre outros. Buscou-se realizar na presente dissertação somente uma avaliação dos impactos ambientais salientados anteriormente, que pode ser observada nos itens a seguir, independentemente do desempenho destes materiais alternativos sob outras variáveis.

### 6.2.1. Exploração de Recursos Naturais

Como apresentado no capítulo anterior, pôde-se identificar as matérias-primas básicas necessárias para a produção de cada um dos materiais de construção selecionados para as paredes e cobertura de cada uma das cinco tipologias habitacionais em questão. Consequentemente, pôde-se também verificar o atual grau de disponibilidade destes recursos naturais, através dos dados discriminados anteriormente na Tabela 3.

Além dos materiais apresentados na Tabela 3, salienta-se que a madeira serrada bruta de Pinus e de Cedrinho, a madeira compensada e a madeira aglomerada também foram selecionadas como materiais de construção para algumas das cinco tipologias habitacionais em estudo. Como a madeira é a princípio um recurso natural renovável, ela foi considerada nesta dissertação como uma matéria-prima abundante na face terrestre. Consequentemente, a madeira aglomerada utilizada, constituída basicamente por madeira bruta e tanino de madeira de Acácia, também foi considerada como proveniente de recursos naturais abundantes na face terrestre. Por outro lado, a madeira compensada utilizada, composta basicamente por madeira bruta e resinas sintéticas, não foi considerada abundante, devido principalmente à presença de resinas sintéticas em sua composição.

Por fim, pôde-se observar que alguns materiais de construção utilizados nas várias tipologias, tais como o aço, o aço galvanizado, o poliestireno expandido, o polietileno de alta densidade e o

azulejo, necessitam de matérias-primas cujas reservas naturais já estão em escassez segundo LIPPIATT (1998). Salienta-se que o azulejo é considerado um material proveniente de recursos naturais não abundantes devido à camada de acabamento final do mesmo, que normalmente exige a presença de chumbo e estanho, segundo PETRUCCI (1980), os quais representam recursos naturais não renováveis e já em escassez, segundo LIPPIATT (1998). Além destes materiais de construção, a madeira compensada utilizada também foi considerada na presente dissertação como um material que exige a exploração de recursos naturais não abundantes, conforme comentado anteriormente. A utilização de todos os demais materiais selecionados pelas tipologias estudadas a princípio envolvem a exploração de recursos naturais abundantes, mas, mesmo assim, salienta-se que estes também devem ser utilizados com moderação.

Desta forma, concluiu-se que aquelas tipologias habitacionais relacionadas com uma maior utilização de materiais como o aço, poliestireno expandido, polietileno de alta densidade, azulejos e madeira compensada, representaram tipologias habitacionais geradoras de um maior impacto ambiental em relação à exploração de recursos naturais. Neste sentido, deve-se buscar reduzir ou até eliminar a utilização destes materiais através da substituição dos mesmos por materiais alternativos, para fins de minimização dos impactos ambientais causados pela escassez de recursos naturais. Além disto, deve-se sempre ter em mente a necessidade de redução da exploração de recursos naturais em geral, visando reduzir os impactos ambientais relacionados a esta exploração.

A partir destes dados, buscou-se realizar uma análise qualitativa das paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais em estudo, salientando os pontos mais relevantes das mesmas quanto a presença de materiais de construção relacionados à exploração de recursos naturais não renováveis atualmente não abundantes. Esta análise qualitativa não pretende de forma alguma esgotar o tema de pesquisa, mas muito pelo contrário, simplesmente visa discutir melhor o tema em questão, proporcionando alguns subsídios para posteriores trabalhos nesta área de pesquisa. Apesar das dificuldades encontradas, como a falta de um maior detalhamento sobre o grau de disponibilidade de cada recurso natural, acredita-se que uma análise qualitativa já possa contribuir com o presente tema.

Neste sentido, primeiramente observa-se que a Tipologia Habitacional A apresenta uma estrutura em aço tanto nas suas paredes, quanto na sua cobertura, o que representa a utilização de recursos naturais considerados não abundantes. A Tipologia Habitacional D também apresenta uma estrutura em aço, porém somente para a constituição da sua cobertura, correspondendo à uma ênfase menor na utilização de aço.

Por sua vez, a Tipologia Habitacional B também apresenta a utilização de aço para a constituição de suas paredes e cobertura, mas em uma quantidade menor que as encontradas nas duas tipologias citadas anteriormente, já que é parte integrante do concreto armado utilizado. Porém, esta Tipologia B ainda apresenta a utilização de aço galvanizado, em forma de algeroz, polietileno de alta densidade, em forma de espaçadores, e algumas lajotas cerâmicas esmaltadas, possuindo basicamente os mesmos componentes da camada de acabamento final de azulejos comentados anteriormente, representando a utilização de vários recursos naturais não abundantes.

A Tipologia Habitacional C apresenta a utilização de madeira compensada, poliestireno expandido, azulejos e uma pequena quantidade de aço, sendo todos provenientes de matérias-primas não abundantes. Além disto, a Tipologia C utiliza algumas misturas químicas, cujas composições não puderam ser discriminadas, o que impossibilitou a análise do grau de exploração de recursos naturais neste caso. Por fim, a Tipologia Habitacional E praticamente não utiliza nenhum material de construção relacionado com a exploração de recursos não abundantes, com exceção dos azulejos utilizados em uma pequena área da habitação e de uma reduzida parcela de aço utilizada na estrutura de madeira da cobertura e na cinta de amarração de concreto armado.

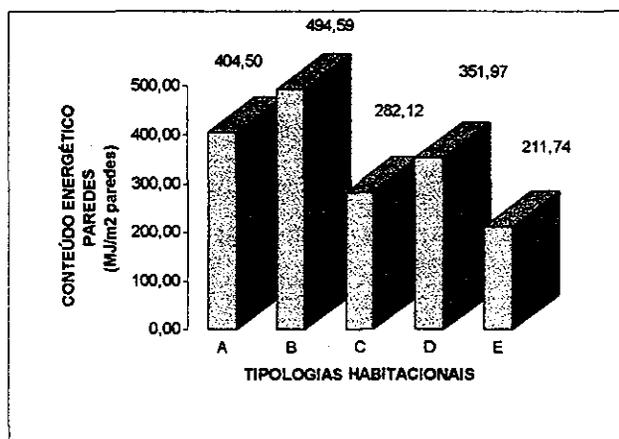
Neste momento, deve-se salientar algumas dificuldades em comparar as cinco tipologias habitacionais, quanto à exploração de recursos naturais, em termos quantitativos. Dentre algumas análises realizadas, observou-se por exemplo que a comparação das tipologias em termos dos quantitativos totais (kg) referentes aos materiais de construção, cujas matérias-primas são consideradas não abundantes, a princípio não representa um procedimento adequado. Somente para fins de exemplificação, observou-se que no caso dos azulejos e das lajotas cerâmicas esmaltadas, onde somente a camada superficial do esmalte de acabamento está relacionada à utilização de matérias-primas não abundantes, a comparação em termos dos quantitativos totais (kg) dos materiais de construção seria imprópria, pois a grande parcela da massa refere-se à cerâmica, cujas matérias-primas são consideradas abundantes, e não ao esmalte de acabamento. Devido à falta de um maior detalhamento sobre as exatas composições de cada um dos materiais de construção utilizados e também sobre o grau de disponibilidade de cada um dos recursos naturais envolvidos, a comparação das tipologias em termos quantitativos não foi realizada nesta dissertação.

Por fim, acredita-se que praticamente todos os materiais de construção utilizados na tipologias habitacionais em estudo, cujas matérias-primas são consideradas não abundantes, possam ser substituídos por alternativas que exijam uma menor exploração de recursos. Quanto à comparação qualitativa entre as cinco tipologias, acredita-se que a Tipologia Habitacional E apresentou o menor

grau de exploração de recursos naturais não abundantes, porém deve-se novamente ressaltar as dificuldades de comparar as demais tipologias entre si, devido à falta de um maior detalhamento nos dados existentes, conforme mencionado anteriormente.

### 6.2.2. Conteúdo energético

Os resultados obtidos sobre o conteúdo energético de cada material de construção, a partir do método exposto no capítulo anterior, em unidades de energia por unidade de área de parede ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de parede), ou por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura), de acordo com a localização de cada um, podem ser observados detalhadamente no Anexo F. A partir destes resultados, pôde-se então comparar os materiais e grupos de materiais alternativos das cinco tipologias habitacionais em questão. Inicialmente, através da Figura 2, observa-se o conteúdo energético referente aos materiais selecionados para as paredes de cada tipologia habitacional, em unidades de energia por unidade de área de parede ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de parede).



**Figura 2** - Conteúdo energético dos materiais selecionados para as paredes.

Em termos dos materiais selecionados para as paredes, constatou-se que a Tipologia B apresentou o conteúdo energético mais elevado dentre todas as tipologias habitacionais, representado por  $494,59 \text{ MJ}/\text{m}^2$  de paredes, principalmente devido às lajotas cerâmicas utilizadas, responsáveis por um conteúdo energético de  $388,73 \text{ MJ}/\text{m}^2$  de paredes, conforme pode ser observado no Anexo F. Este alto conteúdo energético atingido deve-se principalmente à presença de lajotas cerâmicas esmaltadas, que possuem um elevado índice energético de  $23,35 \text{ MJ}/\text{kg}$ , enquanto as lajotas não esmaltadas possuem um índice de  $3,13 \text{ MJ}/\text{kg}$ . Porém, deve-se salientar que provavelmente o índice energético

atual para lajotas cerâmicas esmaltadas é menor que 23,35 MJ/kg, conforme já comentado anteriormente. Sabe-se que a indústria brasileira de cerâmica esmaltada é atualmente mais eficiente que há anos atrás, quando foi realizada a pesquisa de GUIMARÃES (1985), que somente está sendo adotada como referência neste trabalho devido a precariedade de dados sobre índices energéticos.

Somente para fins de análise, observou-se que se a Tipologia B utilizasse somente lajotas cerâmicas não esmaltadas, o conteúdo energético correspondente às mesmas seria de 84,42 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, ao invés de 388,73 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, e conseqüentemente o total seria de 190,27 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, ao invés de 494,59 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, o que representaria o menor conteúdo energético referente aos materiais selecionados para as paredes dentre as demais tipologias.

A Tipologia A também foi responsável por um elevado conteúdo energético, apresentando 404,50 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, devido principalmente à utilização de blocos cerâmicos e de uma estrutura em aço. Observou-se que os blocos cerâmicos, apesar de possuírem um índice energético relativamente baixo (3,13 MJ/kg), representaram uma elevada parcela em unidades massa, como pode ser visto no Anexo E, o que gerou um conteúdo energético elevado. Por sua vez, o aço estrutural utilizado, mesmo não sendo tão significativo em termos de massa, possui um elevado índice energético (25,58 MJ/kg), resultando também em um elevado conteúdo energético. Na Tipologia D, com 351,97 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, observou-se também a grande influência dos blocos cerâmicos utilizados, essencialmente devido à elevada massa dos mesmos, tendo em vista que o índice energético adotado para estes blocos não é muito alto, conforme comentado anteriormente.

Basicamente a única diferença entre os materiais selecionados para as paredes das Tipologias A e D é representada pela utilização de uma estrutura de pilares e vigas de aço na Tipologia A além da alvenaria de blocos cerâmicos, enquanto que as paredes da Tipologia D são formadas basicamente só pela alvenaria de blocos cerâmicos e por uma cinta de amarração de concreto armado. Ao se analisar conjuntamente os Anexos E e F, pode-se notar que os quantitativos de blocos cerâmicos, cimento, cal e areia são menores na Tipologia A quando comparados à Tipologia D. Este fato deve-se principalmente à presença de uma parede geminada na Tipologia A, utilizando blocos cerâmicos dispostos a chato, sendo esta a parede de maiores dimensões desta tipologia. Salienta-se que somente foi considerada a metade dos quantitativos desta parede, o que foi responsável pela diminuição dos quantitativos da Tipologia A. Além disto, a cinta de amarração de concreto armado utilizada na Tipologia D está relacionada a um aumento dos quantitativos nesta tipologia. Porém, mesmo com estas diferenças de quantitativos, o que determinaria um maior conteúdo energético na

Tipologia D, observa-se a elevada influência da estrutura de aço utilizada pela Tipologia A, sendo esta a principal responsável pelo maior conteúdo energético apresentado nas paredes da Tipologia A.

Já na Tipologia C, com 282,12 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, pôde-se constatar uma elevada influência da madeira compensada utilizada. Se fosse possível a substituição destas chapas de madeira compensada por chapas de madeira aglomerada, o conteúdo energético desta Tipologia C provavelmente seria menor. Além disto, deve-se salientar que a utilização de poliestireno expandido também foi responsável por uma elevada parcela do conteúdo energético da Tipologia C. Quanto às misturas químicas utilizadas nas paredes desta Tipologia C, não foi considerada a parcela de conteúdo energético referente às mesmas, devido à falta de uma discriminação exata de seus constituintes.

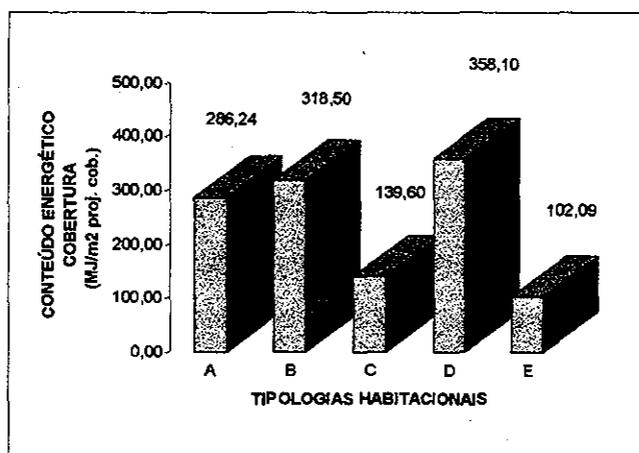
A Tipologia E, com 211,74 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, representou o menor conteúdo energético dentre as cinco tipologias. Salienta-se que as paredes desta tipologia não apresentaram nenhum material que se destacou muito dos demais, em termos do conteúdo energético atingido.

Por fim, pode-se ainda salientar as diferenças entre o conteúdo energético apresentado pelas tipologias D e E, especificamente quanto aos blocos para alvenaria utilizados. Observou-se que ambas tipologias possuem suas paredes formadas basicamente por alvenarias convencionais com blocos dispostos a espelho, porém constatou-se que enquanto os blocos cerâmicos utilizados pela Tipologia D são responsáveis por um conteúdo energético 252,47 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, os blocos de concreto utilizados pela Tipologia E são responsáveis por 93,37 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, o que demonstra uma diferença significativa, conforme Anexo F. Este fato deve-se principalmente a elevada diferença entre o índice energético dos blocos cerâmicos (3,13 MJ/kg) e dos blocos de concreto (0,60 MJ/kg).

Já em termos dos materiais selecionados para as coberturas, observa-se, na Figura 3, o conteúdo energético referente aos materiais selecionados para a cobertura de cada tipologia habitacional, em unidades de energia por unidade de área de projeção da cobertura (MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura).

Constatou-se que a Tipologia D apresentou o maior conteúdo energético, 358,10 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, devido principalmente às telhas cerâmicas e à estrutura de aço utilizadas, seguida pela Tipologia B, com 318,50 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, devido essencialmente às telhas cerâmicas e à estrutura de concreto armado utilizadas. Em terceiro lugar, o conteúdo energético da cobertura da Tipologia A também possuiu uma grande influência das telhas cerâmicas e da estrutura de aço utilizadas. Por fim, as Tipologias C e E possuíram conteúdos energéticos menores, sendo que ambas utilizam estrutura da cobertura em madeira, associadas a telhas de fibrocimento.

Deve-se salientar que no caso da cobertura da Tipologia C, não foi considerada a parcela de conteúdo energético referente às misturas químicas utilizadas, pois não foi possível a discriminação da composição das mesmas.



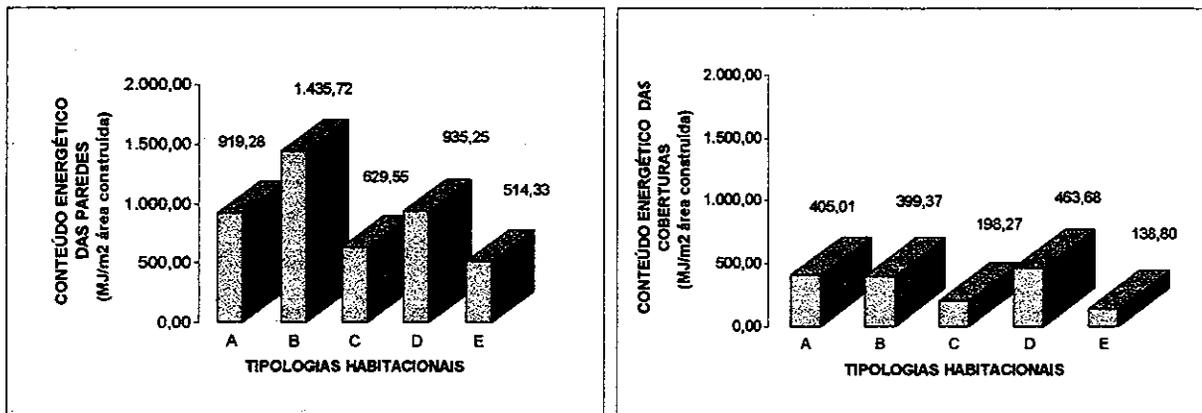
**Figura 3** - Conteúdo energético dos materiais selecionados para as coberturas.

Dentre as tipologias em questão, foram utilizados dois tipos básicos de telhas, as cerâmicas e as de fibrocimento, sendo que enquanto as primeiras apresentaram um conteúdo energético de 150,24 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, as segundas apresentaram somente 56,84 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, conforme Anexo F. Desta forma, pôde-se constatar a diferença significativa entre os conteúdos energéticos discriminados especificamente para as telhas utilizadas, principalmente devido à elevada massa das telhas cerâmicas, já que os índices energéticos utilizados para ambas foram semelhantes: 3,13 MJ/kg para materiais cerâmicos e 3,55 MJ/kg para o fibrocimento.

Também pôde-se realizar uma comparação entre os três tipos de estrutura de cobertura associadas a utilização de telhas cerâmicas similares, nas Tipologias A, B e D. Neste sentido, observou-se que a estrutura da cobertura da Tipologia A, que adotou o aço como material básico, obteve um conteúdo energético de 136,00 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, a estrutura da cobertura da Tipologia B, que adotou o concreto armado como material básico, obteve 153,98 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, e a estrutura da cobertura da Tipologia D, também com o aço como material básico, obteve 196,20 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura. Desta forma, a princípio constatou-se a existência de alternativas de estrutura de cobertura com conteúdos energéticos significativamente diferentes, para o mesmo tipo básico de telhas e habitações. Além disto, pôde-se observar que as Tipologias A e D, ambas com estruturas de cobertura em aço, apresentaram valores de conteúdos energéticos diferenciados, principalmente devido à quantidade de aço utilizada.

Por fim, constatou-se que a Tipologia Habitacional E foi responsável pelos menores conteúdos energéticos, tanto para paredes, 211,74 MJ/m<sup>2</sup> de paredes, quanto para a cobertura, 102,09 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura. A Tipologia E utilizou uma alvenaria convencional de blocos de concreto, estrutura da cobertura em madeira e telhas de fibrocimento.

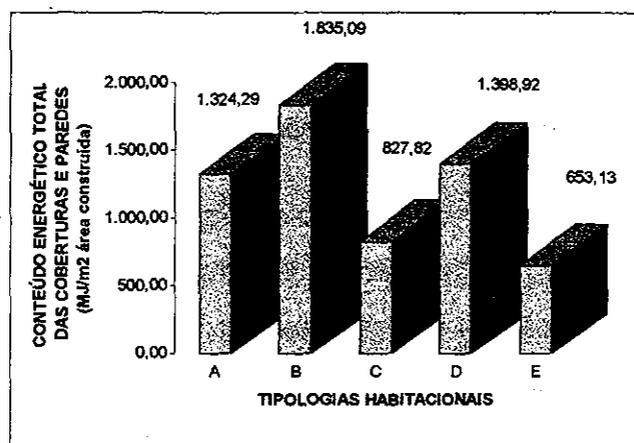
Além desta análise dos conteúdos energéticos em unidades de energia por unidade de área de parede (MJ/m<sup>2</sup> de parede), ou por unidade de área de projeção da cobertura (MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura), pôde-se calcular os conteúdos energéticos das paredes e coberturas de cada tipologia habitacional em unidades de energia por unidade de área construída (MJ/m<sup>2</sup> de área construída). Isto foi possível a partir das áreas totais de paredes e projeções de coberturas e das áreas construídas de cada tipologia habitacional, sendo que os resultados podem ser vistos no Anexo G. Em resumo, a Figura 4 apresenta os valores dos conteúdos energéticos obtidos por unidade de área construída para as paredes e coberturas de cada uma das cinco tipologias habitacionais em questão. Além disto, na Figura 5 observa-se o resultado final com os conteúdos energéticos totais gerais considerando-se simultaneamente as paredes e coberturas.



**Figura 4** – Conteúdos energéticos por unidade de área construída discriminados para as paredes e coberturas.

Salienta-se que a comparação das tipologias em unidades de energia por unidade de área construída (MJ/m<sup>2</sup> de área construída), além de levar em consideração os materiais de construção utilizados, considerou também o percentual da área de paredes e de projeção da cobertura em relação a área construída. Desta forma, este procedimento proporcionou uma análise das áreas totais de paredes e de projeção horizontal da cobertura, quanto a área construída de cada tipologia. Somente para fins de exemplificação, comparando-se as paredes das Tipologias A e D, pôde-se observar que enquanto as Tipologias A e D apresentaram conteúdos energéticos de respectivamente 404,50 MJ/m<sup>2</sup>

de paredes e 351,97 MJ/m<sup>2</sup> de paredes (Figura 2), apresentaram também respectivamente 919,28 MJ/m<sup>2</sup> de área construída e 935,25 MJ/m<sup>2</sup> de área construída (Figura 4). O fato destas tipologias possuírem estes valores por unidade de área construída deve-se principalmente ao menor quociente formado pela área de paredes da Tipologia A e a sua área construída.



**Figura 5** – Conteúdos energéticos totais gerais por unidade de área construída para as paredes e coberturas simultaneamente.

Através das Figuras 4 e 5, pôde-se observar a grande amplitude dos valores de conteúdo energético entre as cinco tipologias habitacionais, constatando-se a princípio a existência de alternativas habitacionais relacionadas a menores conteúdos energéticos. Além disto, deve-se salientar que os dados apresentados na Figura 5 proporcionaram a comparação das tipologias habitacionais considerando as paredes e coberturas em conjunto, ou seja, considerando-se os totais gerais, o que permitiu uma visão mais ampla do todo.

Especificamente com relação aos conteúdos energéticos totais gerais por unidade de área construída para as paredes e coberturas simultaneamente, salienta-se que a Tipologia B apresentou o maior conteúdo energético, com 1.835,09 MJ/m<sup>2</sup> de área construída, sendo 61,49 % deste valor referente às lajotas cerâmicas utilizadas. No caso da utilização de somente lajotas cerâmicas não esmaltadas este resultado seria equivalente a 951,72 MJ/m<sup>2</sup> de área construída. Porém, novamente salienta-se a precariedade do valor do índice energético adotado para a cerâmica esmaltada, conforme comentado anteriormente, o que dificulta uma análise minuciosa.

Além disto, observou-se que as Tipologias A e D apresentaram valores semelhantes de conteúdos energéticos totais gerais, enquanto as Tipologias C e E foram responsáveis por conteúdos energéticos totais gerais menores que aqueles apresentados por todas as demais tipologias estudadas.

### 6.2.3. Gastos energéticos em transporte

Inicialmente, deve-se novamente ressaltar que a comparação realizada neste item representa somente uma abordagem geral e aproximada dos gastos energéticos em transporte, pois somente foram consideradas as distâncias transportadas, os quantitativos de materiais em unidades de massa e os coeficientes de gastos energéticos de  $1,127 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km para as distâncias de transporte inseridas na Região Metropolitana de Porto Alegre e de  $0,843 \times 10^{-3}$  MJ/kg.km para as demais distâncias de transporte, conforme o método apresentado no capítulo anterior.

Os resultados obtidos referentes aos gastos energéticos durante o transporte dos materiais de construção desde o município de seu produtor até o município de Porto Alegre, em unidades de energia por unidade de área de paredes (MJ/m<sup>2</sup> de parede), ou por unidade de área de projeção da cobertura (MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura), podem ser visualizados em detalhe no Anexo H. Resumidamente, na Figura 6, pode-se observar os gastos energéticos em transporte referentes aos materiais selecionados para as paredes de cada tipologia habitacional, em unidades de energia por unidade de área de parede (MJ/m<sup>2</sup> de parede).

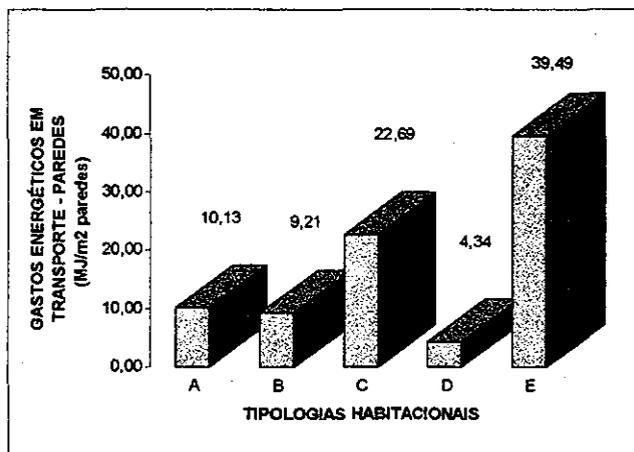


Figura 6 – Gastos energéticos no transporte dos materiais selecionados para as paredes.

Em termos desses gastos energéticos no transporte dos materiais selecionados especificamente para as paredes das cinco tipologias habitacionais, pôde-se constatar que a Tipologia D apresentou o menor gasto energético, pois todos os materiais de suas paredes são provenientes de produtores localizados na Região Metropolitana de Porto Alegre, com uma única exceção representada pelo município de Caçapava do Sul, produtor da cal utilizada, o que significou menores distâncias de transporte em geral, com relação as demais tipologias em questão, conforme pode ser visto nos

Anexos C e D. Além disto, como o quantitativo em massa da cal utilizada não foi elevado, conforme observado no Anexo E, conseqüentemente ele não exerceu grande influência no gasto energético em transporte com relação as demais tipologias, mesmo estando relacionado a uma longa distância de transporte.

Observou-se, por outro lado, que a Tipologia E apresentou o maior gasto energético em transporte, com 39,49 MJ/m<sup>2</sup> de parede, neste caso devido principalmente à elevada massa dos blocos de concreto, conforme observa-se no Anexo E, e também à distância de transporte dos mesmos, como pode ser visto no Anexo D. Os azulejos e a cal, mesmo sendo também provenientes de longas distâncias de transporte, não influenciaram muito no gasto energético, como pode ser verificado no Anexo H, devido às reduzidas massas dos mesmos.

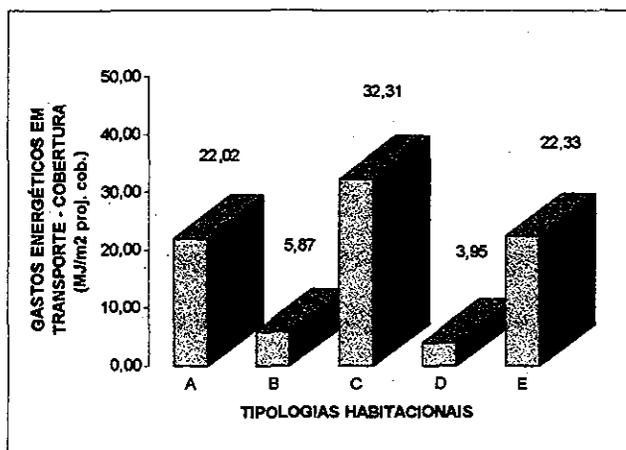
Quanto à Tipologia C, pôde-se notar que as elevadas distâncias de transporte da madeira serrada, da madeira compensada e das misturas químicas foram as principais responsáveis pelo gasto energético em transporte apresentado por esta tipologia. Além disto, salienta-se ser esta a tipologia que possuiu o menor quantitativo em massa de materiais para as paredes (kg/m<sup>2</sup> de parede), dentre todas as tipologias, conforme Tabela 19, e ao mesmo tempo a tipologia que apresentou o segundo maior gasto energético em transporte dos materiais para as paredes (22,69 MJ/m<sup>2</sup> de parede), o que reforça a relevância das longas distâncias recém comentadas. Além disto, ressalta-se as elevadas distâncias de transporte dos conectores de aço e azulejos também utilizados nas paredes da Tipologia C, que porém não influenciaram muito no gasto energético em transporte, devido às suas massas reduzidas.

Deve-se salientar ainda a importância em se reduzir as elevadas distâncias de transporte do aço utilizado nas paredes da Tipologia A, e das lajotas cerâmicas utilizadas nas paredes da Tipologia B, pois estas distâncias foram as principais responsáveis pelos gastos em transporte destas tipologias.

Em relação aos gastos energéticos em transporte referentes aos materiais selecionados para a cobertura de cada tipologia habitacional, em unidades de energia por unidade de área de projeção de cobertura (MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura), a Figura 7 apresenta a seguir os principais resultados.

Constatou-se que a Tipologia C, com 32,31 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, e a Tipologia E, com 22,33 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, foram responsáveis pelos maiores gastos energéticos em transporte de materiais para as coberturas, devido essencialmente à elevada distância de transporte da madeira serrada utilizada por ambas tipologias, como pode ser visto no Anexo D. Os conectores de aço utilizados nas coberturas das Tipologias C e E, assim como as misturas químicas utilizadas na

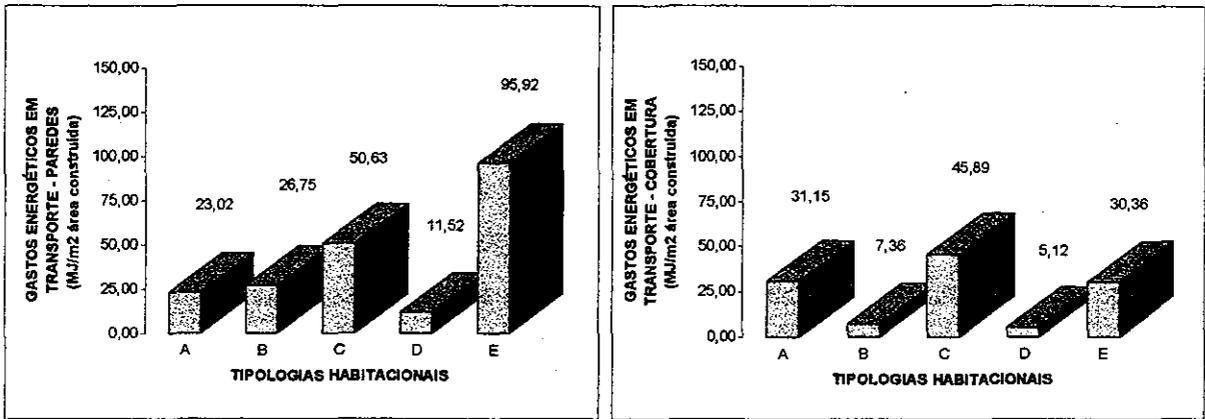
cobertura da Tipologia C, mesmo sendo também provenientes de longas distâncias de transporte, não influenciaram muito nos gastos energéticos, devido as reduzidas massas dos mesmos.



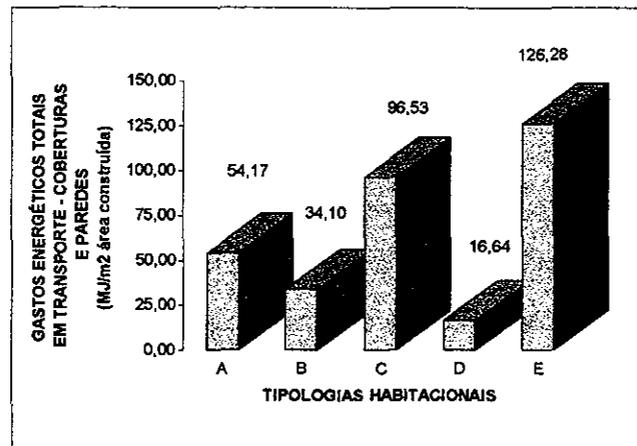
**Figura 7** – Gastos energéticos no transporte dos materiais selecionados para as coberturas.

Por sua vez, a Tipologia A apresentou 22,02 MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura, principalmente pelas grandes distâncias de transporte do aço estrutural e das telhas cerâmicas adotadas. Por fim, as coberturas das Tipologias B e D, com os menores gastos energéticos, praticamente utilizaram somente materiais locais ou regionais, com exceção do aço galvanizado para algeroz adotado na Tipologia B.

Além desta análise dos gastos energéticos em unidades de energia por unidade de área de parede (MJ/m<sup>2</sup> de parede), ou por unidade de área de projeção de cobertura (MJ/m<sup>2</sup> de projeção da cobertura), calculou-se também os gastos energéticos totais das paredes e coberturas de cada tipologia habitacional em unidades de energia por unidade de área construída (MJ/m<sup>2</sup> de área construída), assim como no item anterior, a partir das áreas totais de paredes e projeções de coberturas e das áreas construídas de cada tipologia habitacional, salientadas na Tabela 12. Os resultados podem ser observados no Anexo I. Na Figura 8, pode-se observar os valores dos gastos energéticos em transporte por unidade de área construída obtidos para as paredes e coberturas, para cada uma das cinco tipologias habitacionais. Já na Figura 9, observa-se o resultado final dos gastos energéticos totais gerais em transporte considerando-se simultaneamente as paredes e coberturas.



**Figura 8** – Gastos energéticos em transporte por unidade de área construída discriminados para as paredes e coberturas.



**Figura 9** – Gastos energéticos totais gerais em transporte por unidade de área construída para as paredes e coberturas simultaneamente.

Através da Figura 9, pôde-se observar que a Tipologia D se destacou em relação aos materiais locais ou regionais utilizados, tanto em suas paredes, quanto em sua cobertura, possuindo o menor gasto energético total geral em transporte, em unidades de energia por unidade de área construída (MJ/m<sup>2</sup> de área construída), enquanto a Tipologia E apresentou o maior gasto energético total geral em transporte, devido em parte às longas distâncias de transporte da madeira serrada utilizada na estrutura de sua cobertura e dos blocos de concreto utilizados nas suas paredes. Deve-se aqui salientar que, assim como no item anterior, a comparação das tipologias em termos de unidades de energia por unidade de área construída considerou também o percentual da área de paredes e de projeção da cobertura em relação à área construída, além dos fatores considerados na comparação por unidade de área de parede ou por unidade de área de projeção de cobertura.

Como complementação desta análise, realizou-se a soma dos valores dos gastos energéticos em transporte dos materiais de construção desde o município de seu produtor até o município de Porto Alegre, aos conteúdos energéticos discriminados no item anterior, ambos em unidades de energia por unidade de área de paredes ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de parede), ou por unidade de área de projeção da cobertura ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de projeção da cobertura). Na Tabela 21, pode-se observar os principais resultados para as paredes de cada uma das cinco tipologias, assim como a relação entre os gastos em transporte e os respectivos conteúdos energéticos, enquanto que na Tabela 22, observa-se os principais resultados para as coberturas.

Além disto, na Tabela 23 pode-se observar a relação entre os gastos energéticos totais gerais em transporte e os respectivos conteúdos energéticos totais gerais, em unidades de energia por unidade de área construída ( $\text{MJ}/\text{m}^2$  de área construída).

A partir dos dados expostos nestas três tabelas, pôde-se constatar que os gastos energéticos durante o transporte dos materiais de construção em estudo foram sempre significativamente menores que os seus respectivos conteúdos energéticos. Porém, especificamente para as Tipologias Habitacionais C e E, os gastos em transporte apresentaram uma relevância maior do que nas demais tipologias, tanto devido aos menores conteúdos energéticos apresentados por estas Tipologias, quanto aos maiores gastos energéticos em transporte das mesmas, conforme pode ser constatado nas Tabelas 21, 22 e 23.

Por fim, deve-se salientar que, mesmo que os gastos energéticos em transporte tenham sido menores que os seus respectivos conteúdos energéticos, estes valores não devem ser descartados. Reitera-se que a etapa de transporte de materiais de construção também está relacionada a vários outros fatores relevantes, conforme analisado no capítulo 3, não devendo ser desprezada.

Além disto, como um item extra e complementar da linha de raciocínio desta dissertação, realizou-se a quantificação do conteúdo energético e dos gastos energéticos em transporte referentes a todos os materiais de construção constituintes de uma habitação completa. Desta forma, além da análise dos materiais de suas paredes e cobertura, também foi realizada uma análise dos materiais que formam a sua fundação, contrapiso e piso, esquadrias, etc., conforme pode ser visto nos Anexos J e K. Este estudo adicional foi realizado somente para fins de quantificação dos gastos energéticos durante a extração, produção e transporte de todos os materiais de construção referentes a uma das tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre.

**Tabela 21** – Gastos energéticos em transporte e os respectivos conteúdos energéticos, em termos dos materiais utilizados para as paredes.

TIPOLOGIA HABITACIONAL	TRANSPORTE (PAREDES)	CONTEÚDO (PAREDES)	CONTEÚDO E TRANSPORTE	%
	M/Jm <sup>2</sup> paredes	M/Jm <sup>2</sup> paredes	M/Jm <sup>2</sup> paredes	
A	10,13	404,50	414,63	2,50
B	9,21	494,59	503,80	1,86
C	22,69	282,12	304,81	8,04
D	4,34	351,97	356,31	1,23
E	39,49	211,74	251,23	18,65

Fonte: Própria.

**Tabela 22** – Gastos energéticos em transporte e os respectivos conteúdos energéticos, em termos dos materiais utilizados para as coberturas.

TIPOLOGIA HABITACIONAL	TRANSPORTE (COBERTURA)	CONTEÚDO (COBERTURA)	CONTEÚDO E TRANSPORTE	%
	M/Jm <sup>2</sup> proj. cob.	M/Jm <sup>2</sup> proj. cob.	M/Jm <sup>2</sup> proj. cob.	
A	22,02	286,24	308,26	7,69
B	5,87	318,50	324,37	1,84
C	32,31	139,60	171,91	23,14
D	3,95	358,10	362,05	1,10
E	22,33	102,09	124,42	21,87

Fonte: Própria.

**Tabela 23** – Gastos energéticos totais em transporte e os respectivos conteúdos energéticos, em termos dos materiais utilizados para as paredes e coberturas.

TIPOLOGIA HABITACIONAL	TRANSPORTE (COBERTURA E PAREDES)	CONTEÚDO (COBERTURA E PAREDES)	CONTEÚDO E TRANSPORTE	%
	(M/Jm <sup>2</sup> área construída)	(M/Jm <sup>2</sup> área construída)	(M/Jm <sup>2</sup> área construída)	
A	54,17	1.324,29	1.378,46	4,09
B	34,10	1.835,09	1.869,19	1,86
C	96,53	827,82	924,35	11,66
D	16,64	1.398,92	1.415,56	1,19
E	126,28	653,13	779,41	19,33

Fonte: Própria.

#### **6.2.4. Potencial de reciclabilidade**

Através do método descrito no capítulo anterior, pôde-se analisar o potencial de reciclabilidade dos principais materiais de construção selecionados para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais em questão. No entanto, através dos dados já apresentados na Tabela 10, salienta-se novamente que esta dissertação se limita a avaliar somente o potencial de reciclabilidade de materiais de construção genéricos, através de uma abordagem ampla e geral.

A partir da constatação de que somente o cimento-amianto e a madeira tratada com produtos químicos tóxicos são considerados materiais de construção não recicláveis, dentre todos os principais materiais de construção utilizados nas paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais em questão, pôde-se realizar uma avaliação qualitativa destas tipologias habitacionais quanto ao potencial de reciclabilidade apresentado pelos materiais utilizados. Salienta-se que esta análise qualitativa busca desenvolver melhor o tema em questão, mesmo que através de uma abordagem não detalhada.

Como resultado, pôde-se observar que a Tipologia Habitacional C a princípio representa a tipologia responsável pelo maior impacto ambiental em termos do potencial de reciclabilidade apresentado por seus materiais básicos, quando em comparação com as demais tipologias. Observou-se que esta tipologia apresenta uma quantidade considerável de madeira tratada com produtos químicos tóxicos nas suas paredes e cobertura, assim como cimento-amianto nas suas telhas. Além disto, as misturas químicas, de composições não conhecidas, utilizadas nas paredes e cobertura da Tipologia C, representam uma dúvida em relação ao potencial de reciclabilidade.

Salienta-se ainda que a Tipologia Habitacional E também possui cimento-amianto nas suas telhas e madeira tratada com produtos químicos tóxicos na estrutura da sua cobertura, sendo também responsável por um impacto ambiental considerável, devido à não reciclabilidade destes materiais. As demais Tipologias A, B e D não são constituídas por nenhum destes dois materiais em questão, estando a princípio isentas de impactos ambientais em termos do potencial de reciclabilidade.

#### **6.2.5. Considerações gerais**

Como algumas considerações gerais sobre a comparação das tipologias habitacionais em termos dos impactos ambientais analisados, salienta-se inicialmente que, quanto à exploração de recursos naturais, acredita-se que a Tipologia E apresentou o menor impacto ambiental, ou seja, o

menor grau de exploração de recursos naturais não abundantes, em relação aos materiais selecionados para as suas paredes e coberturas. Cada uma das demais tipologias apresentou alguns materiais de construção relacionados à exploração de recursos naturais não abundantes, no entanto, a comparação entre elas ficou restringida à uma abordagem qualitativa deste impacto ambiental. Salienta-se ainda que os principais materiais de construção, das tipologias em estudo, responsáveis pela maior exploração de recursos naturais não abundantes, foram o aço, o aço galvanizado, o poliestireno expandido, o polietileno de alta densidade, os azulejos e a madeira compensada. No entanto, existe uma grande necessidade de dados numéricos que proporcionem uma análise quantitativa, mais minuciosa, do grau de exploração de recursos naturais relacionado a materiais de construção.

Quanto ao conteúdo energético, de uma maneira geral, comparando-se as tipologias em termos de unidades de energia por unidade de área construída, pôde-se observar que a Tipologia B apresentou o maior impacto ambiental, ou seja, o maior conteúdo energético total geral considerando-se as suas paredes e cobertura simultaneamente, seguida pelas Tipologias A e D, e por fim, pelas Tipologias C e E geradoras de menores impactos ambientais em termos de conteúdo energético. Pode-se afirmar que os principais materiais de construção, responsáveis pelos maiores conteúdos energéticos atingidos, foram representados por lajotas cerâmicas esmaltadas (com ressalva), aço estrutural, blocos cerâmicos, telhas cerâmicas, madeira compensada, poliestireno expandido e concreto armado.

No entanto, esta análise dos conteúdos energéticos, realizada com base nos índices energéticos adotados no item 3.1.2, possui suas limitações. A precariedade de dados exatos sobre índices energéticos na bibliografia estudada fragiliza a comparação dos conteúdos energéticos das tipologias. A necessidade de dados precisos e atuais sobre índices energéticos torna-se evidente para fins de confiabilidade nos resultados.

Quanto aos gastos energéticos em transporte, também de uma maneira geral, comparando-se as tipologias em termos de unidades de energia por unidade de área construída, constatou-se que a Tipologia E representou o maior impacto ambiental, ou seja, o maior gasto energético total geral em transporte considerando-se as suas paredes e cobertura simultaneamente, seguida em ordem decrescente pelas Tipologias C, A, B e D. Observou-se que a Tipologia D se destacou em relação aos materiais locais ou regionais utilizados, possuindo o menor gasto energético total geral em transporte.

Quanto ao potencial de reciclabilidade, a Tipologia C representou a tipologia habitacional com o maior impacto ambiental, seguida pela Tipologia E. As demais tipologias foram a princípio consideradas

não geradoras de impactos ambientais quanto ao potencial de reciclabilidade, basicamente por não possuírem materiais de construção como a madeira tratada com produtos químicos tóxicos e o cimento-amianto, em suas paredes e coberturas.

Por fim, tanto as análises qualitativas quanto as análises quantitativas realizadas nesta dissertação demonstraram a necessidade de dados mais precisos, atuais, e que possam ser mensurados em formato numérico. Tendo em vista as dificuldades encontradas na comparação final das tipologias habitacionais, acredita-se que a busca de dados numéricos possa ser um dos caminhos a ser seguido, para fins de propiciar avanços neste tema de pesquisa. Paralelamente a isto, salienta-se a importância da percepção humana quanto as prioridades ambientais, para cada local ou região específica.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES PARA PRÓXIMOS TRABALHOS

Dentre os principais resultados alcançados ao longo do desenvolvimento desta dissertação de mestrado, pôde-se verificar que, de uma forma geral, os objetivos inicialmente estabelecidos foram atingidos. Além disto, acredita-se que o presente tema de pesquisa pôde ser discutido e melhor compreendido, através dos passos realizados nesta dissertação, proporcionando subsídios para a elaboração de trabalhos futuros mais detalhados.

A revisão bibliográfica realizada possibilitou a constatação da relevância que está sendo dada atualmente, em nível mundial, aos impactos ambientais relacionados a edificações e, mais especificamente, relacionados aos materiais de construção selecionados para as mesmas. Neste sentido, destaca-se que a avaliação de alguns métodos de análise ambiental do ciclo de vida de materiais de construção pôde ampliar o conhecimento do tema de pesquisa, demonstrando ao mesmo tempo possibilidades variadas de comparação ambiental de alternativas de materiais. Pôde-se verificar também a ênfase dada por estes métodos para análises do “berço ao túmulo” (*cradle-to-grave*), ou seja, desde a extração de matérias-primas, manufatura, transporte, utilização, até a disposição final dos materiais de construção, não descartando nenhuma etapa do ciclo de vida dos mesmos.

Em termos gerais, os principais impactos ambientais envolvidos em cada uma das etapas do ciclo de vida de materiais de construção puderam ser caracterizados na presente dissertação, a partir da investigação das mais diversas fontes de informação, proporcionando a discussão de vários pontos relevantes. Com respeito a cada um destes impactos, foram determinados princípios ambientais básicos para materiais de construção em geral, os quais representam diretrizes básicas a serem consideradas com o objetivo de minimizar impactos ambientais. Reitera-se ainda que a inclusão de princípios ambientais na fase de escolha dos materiais a serem utilizados é de extrema importância e pode ser responsável por estimular a indústria manufatureira a incentivar a produção de materiais menos agressivos ao meio ambiente.

Por outro lado, destaca-se que somente alguns dos impactos ambientais envolvidos ao longo do ciclo de vida de materiais de construção puderam ser detalhados a tal ponto de possibilitar uma classificação ambiental entre materiais de construção básicos, ou seja, a tal ponto de proporcionar uma

comparação direta entre alternativas de materiais. Isto ocorreu devido a vários fatores, dentre os quais salienta-se algumas limitações de pesquisa já mencionadas anteriormente, como, por exemplo, o fato de que muitos dos estudos já desenvolvidos no tema de pesquisa ainda apresentam resultados dispersos, dificultando a análise conjunta dos mesmos. Além disto, a grande maioria das referências bibliográficas apresentam uma abordagem geral dos impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida de materiais de construção, não sendo tratados especificamente para cada material. E por fim, as referências bibliográficas que estudam os impactos ambientais especificamente para cada material de construção, quase sempre são de origem estrangeira e apresentam uma análise superficial e qualitativa dos impactos, o que dificulta a adaptação de alguns valores de impacto ambiental para a realidade brasileira, assim como dificulta a quantificação do impacto ambiental de uma edificação em termos dos seus vários tipos de materiais de construção, com os associados impactos ambientais, devido ao fato desses se apresentarem em sua maioria de forma superficial e qualitativa. Todas estas limitações indicam a necessidade de um prosseguimento deste estudo em trabalhos que possam ser realizados futuramente.

As cinco tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre foram comparadas, então, em termo destes impactos ambientais que puderam ser analisados em maior detalhe. Como resultado, pôde-se observar os diferentes impactos ambientais apresentados por cada uma destas tipologias, o que revelou a princípio a existência de alternativas habitacionais com menores impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida dos materiais de construção selecionados para suas paredes e coberturas, quando comparadas às demais. Por exemplo, enquanto algumas tipologias enfatizam a utilização de materiais de construção provenientes de recursos naturais abundantes no planeta, outras exigem o uso intensivo de matérias-primas cujas reservas naturais já apresentam atualmente sinais de escassez.

Além dessa questão sobre a exploração de recursos naturais, constatou-se também que os conteúdos energéticos e os gastos energéticos durante o transporte dos materiais de construção selecionados para as cinco tipologias habitacionais em estudo podem ser considerados significativos e que os mesmos apresentaram valores significativamente diferentes entre as tipologias habitacionais e entre si. As diferenças observadas entre as cinco tipologias sugerem a possibilidade da utilização de materiais de construção alternativos relacionados a menores conteúdos energéticos e que sejam simultaneamente materiais provenientes de recursos naturais locais ou regionais. Além disto, mesmo sendo realizada qualitativamente, a comparação das tipologias quanto ao potencial de reciclabilidade de seus materiais também pôde gerar resultados satisfatórios.

Por fim, acredita-se que a comparação ambiental entre as tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre, em termos dos materiais de construção constituintes de suas paredes e coberturas, atendeu aos objetivos que esta dissertação se propôs a alcançar. No entanto, salienta-se que o presente tema de pesquisa ainda se encontra em fase inicial de investigação, sendo de extrema relevância o desenvolvimento de outros trabalhos sobre impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de materiais de construção, assim como ao longo do ciclo de vida de edificações, para fins de uma caracterização abrangente e ao mesmo tempo minuciosa do tema.

Como sugestões para próximos trabalhos, indica-se as seguintes ações:

- realizar análises de impacto ambiental para cada material de construção separadamente, de forma a estudar cada um em maior detalhe, o que não pôde ser feito nesta dissertação devido ao seu caráter amplo e abrangente;
- aprimorar a caracterização dos impactos ambientais envolvidos em cada etapa do ciclo de vida de materiais de construção, buscando avaliar em maior detalhe aqueles impactos que não puderam ser integralmente analisados nesta dissertação;
- caracterizar em detalhe outros impactos ambientais envolvidos no ciclo de vida de edificações, além dos impactos referentes aos materiais de construção utilizados;
- analisar não somente edificações isoladas, mas avaliar também as inter-relações das mesmas com o ambiente circundante, através da inserção de requisitos para um desenvolvimento urbano sustentável.

Através de uma visão mais global, acredita-se que estas ações possam enriquecer os conhecimentos na área de pesquisa em edificações e comunidades sustentáveis, assim como, proporcionar, a todos aqueles envolvidos no processo de projeto e construção de edificações e comunidades em geral, subsídios para minimizar os impactos ambientais de suas atitudes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGOPYAN, V. Estudos dos materiais de construção civil : materiais alternativos. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES/ Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. São Paulo : Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, 1988. p.75-78.
2. ALCORN, J.A.; BAIRD, G. Use of a hybrid energy analysis method for evaluating the embodied energy of building materials. *Renewable Energy*, v. 8, n. 1/4, p. 319-322, 1996.
3. AMATRUDA, J.; BOBENHAUSEN, W. A practical assessment procedure for specifying environmentally-sustainable building materials. In: GREEN BUILDING CHALLENGE '98 : an international conference on the performance assessment of buildings, Oct. 26-28, 1998, Vancouver, Canada. *Proceedings ...* Vancouver, Canada, 1998. 2 v. V. 1. p. 187-194.
4. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard practice for measuring life-cycle costs of buildings and building systems. ASTM Designation E 917-94. West Conshohocken, PA, USA, 1994.
5. \_\_\_\_\_. Standard classification for building elements and related sitework - UNIFORMAT II. ASTM Designation E 1557-96. West Conshohocken, PA, USA, 1996.
6. \_\_\_\_\_. Standard practice for applying hierarchy process (AHP) to multiattribute decision analysis of investments related to buildings and buildings systems. ASTM Designation E 1765-95. West Conshohocken, PA, USA, 1995.
7. ANDRIVON, I.; VIMOND, E. Gestion des déchets et maîtrise des nuisances sur les "chantiers verts". *CSTB Magazine*, n. 102, p. 38-42, mars 1997.
8. ANGIOLETTI, R.; GOBIN, C.; WECKSTEIN, M. et al. Vingt-quatre critères pour concevoir et construire un bâtiment dans une logique de développement durable. *Cahiers du CSTB*, v. 366, n. 2864, p. 1-29, jan.-fév. 1996.
9. ANINK, D.; BOONSTRA, C.; MAK, J. *Handbook of sustainable building : an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment*. London, United Kingdom : James & James, 1996. 175 p.
10. ASHWORTH, G. Sustainable development : a challenge to the construction industry. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ...* Symposium D. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 1727-1737.
11. ATKINSON, C.; HOBBS, S.; WEST, J. et al. Life cycle embodied energy and carbon dioxide emissions in buildings. *UNEP Industry and Environment*, v. 19, n. 2, p. 29-31, Apr./June 1996.
12. BAIRD, G.; ALCORN, A.; WOOD, P. et al. Progress towards the specification of embodied energy performance criteria for New Zeland buildings. In: GREEN BUILDING CHALLENGE '98 : an international conference on the performance assessment of buildings, Oct. 26-28, 1998, Vancouver, Canada. *Proceedings ...* Vancouver, Canada, 1998. 2 v. V. 1. p. 154-161.
13. BALDWIN, R.; YATES, A.; HOWARD, N. et al. *BREEAM 98 for offices : an environmental assessment method for office buildings*. Garston, Watford : Construction Research Communications (CRC) - Building Research Establishment (BRE), 1998. 36 p.

14. BANISTER, D.; BANISTER, C. Energy consumption in transport in Great Britain : macro level estimates. *Transportation Research : an international journal : Part A : Policy and Practice*, Great Britain, v. 29A, n. 1, p. 21-32, 1995.
15. BARRETT, J. Sustainability indicators and ecological footprints : the case of Guernsey. In: THE 1999 INTERNATIONAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT RESEARCH CONFERENCE, March 25-26, 1999, University of Leeds. *Proceedings ...* United Kingdom : ERP Environment, 1999. p. 28-35.
16. BARRETT, P.; SEXTON, M.; CURADO, M. Sustainability through integration. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ...* Symposium D. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 1767-1776.
17. BAUER, L. A. F. *Materiais de construção*. Rio de Janeiro : Livros Técnicos e Científicos, 1979. 529 p.
18. BECCA VIN, J. Réglementation : un dispositif renforcé et sécurisé. *CSTB Magazine*, n. 112, p. 5-9, mars 1998.
19. BERGE, B. Adisa-structures : principles for re-usable building construction. In: PLEA 1997 KUSHIRO : THE 14<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Jan. 8-10, 1997, Kushiro, Japan. *Proceedings ...* Kushiro, Japan : PLEA 1997 Technical Committee, 1997. 3 v. V. 3. p. 293-298.
20. BLACHÈRE, G. *A reasoned introduction to the work of standardization for the development of the use of components and for the "open system"*. Library translation n. 1785. Garston, Watford : Building Research Establishment (BRE), Sept. 1973. 38 p. Translated from the French.
21. BOLLMANN, M.; BUTTENWIESER, I.; CHEVET, H. Environnement et construction : les industriels prennent des initiatives en Grande-Bretagne, au Danemark et en Allemagne. *Cahiers du CSTB*, v. 356, n. 2778, p. 1-21, jan.-fév. 1995.
22. BRANDON, P. S. Sustainability in management and organisation : the key issues? In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ...* Symposium D. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 1739-1747.
23. BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio (MIC). Secretaria de Tecnologia Industrial. *Balço energético de edificações típicas*. Brasília : CETEC, 1982. 97 p.
24. BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. Departamento de Habitação. *PROTECH : programa de difusão de tecnologia para construção de habitação de baixo custo*. Brasília, 1996.
25. BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). *Balço energético nacional*. Brasília, 1997. 153 p.
26. BRASIL. *Decreto (sem número) de 28 de julho de 1993*. Cria o Programa de Difusão de Tecnologia para a Construção de Habitações de Baixo Custo - PROTECH. Disponível na Internet. <http://www.mpo.gov.br/sepurb/protech.htm>, 29 de jul. de 1999a.
27. BRASIL. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. *PROTECH : programa de difusão de tecnologia para construção de habitação de baixo custo*. Disponível na Internet. <http://www.mpo.gov.br/sepurb/protech.htm>, 29 de jul. de 1999b.
28. BRASILIT. [Telha de fibrocimento] *Ondulada*. [s. n. t.] (Catálogo Industrial).
29. BUCHANAN, A. H.; HONEY, B. G. Energy and carbon dioxide implications of building construction. *Energy and Buildings*, v. 20, n.3, p. 205-217, 1994.
30. BUHÉ, C.; ACHARD, G.; LE TÉNO, J.F. et al. Integration of the recycling processes to the life cycle analysis of construction products. *Resources, Conservation and Recycling*. v. 20, n. 4, p. 227-243, Aug. 1997.
31. BULLETIN CIEF (Construction Industry Environmental Forum), London, p. 1-4, Mar./Apr. 1999.

32. BURGAUD, P. Recyclage des polymères dans le bâtiment : l'exemple du PVC. *CSTB Magazine*, n. 90, p. 6-9, dec. 1995.
33. CAPONETTO, R.; CASCONI, S. M.; MARLETTA, L. Environmental issues of building materials : pollutant emissions from old and new materials. In: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CITIES - PLEA'98. *Proceedings ...* Lisbon, Portugal : James & James Science Publishers, Jun. 1998. p. 529-532.
34. CARRIÓ, J. M. Propuesta de evaluación de sistemas constructivos. *Informes de la Construcción*, v. 38, n. 385, p. 5-29, nov. 1986.
35. CASALS, M.; GIMÉNEZ, D.; ALAVEDRA, P. Difficulties into application of the sustainable concepts on construction in Spain. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ...* Symposium D. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 1983-1989.
36. CHEMILLIER, P. Les mesures d'accompagnement de la réglementation. *CSTB Magazine*, n. 112, p. 9-14, mars 1998.
37. CINCOTTO, M. A. Utilização de subprodutos e resíduos na indústria da construção civil. In: TECNOLOGIA DE EDIFICAÇÕES/ Projeto de Divulgação Tecnológica Lix da Cunha. São Paulo : Pini : Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Edificações do IPT, 1988. p. 71-74.
38. COLE, R. J.; LARSSON, N. *Green building challenge '98 assessment manual*. 4 v. V.1: Overview, V.4: Multi-unit residential buildings. Disponível na Internet. <http://greenbuilding.ca/down/gbc98>, 20 de outubro de 1998.
39. COLE, R. J.; ROUSSEAU, D. Environmental auditing for building construction : energy and air pollution indices for building materials. *Building and Environment*, Great Britain, v. 27, n. 1, p. 23-30, 1992.
40. COMPANHIA VIDRARIA SANTA MARINA. *O vidro na arquitetura*. São Paulo, 1992.
41. CONSTRUCTION and the Environment : facts and figures. *UNEP Industry and Environment*, v. 19, n. 2, p. 4-8, Apr./June 1996.
42. COSTA, A. L. *Perdas na construção civil : uma proposta conceitual e ferramentas para prevenção*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.
43. CURWELL, S. Specifying for greener buildings. *The architects' journal*, v. 203, n. 1, p. 38-40, 11 Jan. 1996.
44. CURWELL, S.; HAMILTON, A.; COOPER, I. Towards sustainable urban development : identifying the role for the development and construction industry professional : the work of BEQUEST. In: I ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 18-21 nov., 1997, Canela, RS. *Anais ...* Porto Alegre : ANTAC, 1997. 353 p. p. 339-350.
45. CURWELL, S.; MARCH, C.; VENABLES, R. *Buildings and health : the rosehaugh guide to the design, construction, use and management of buildings*. London : RIBA, 1990. 522 p.
46. DAL MOLIN, D. C. C. *Contribuição ao estudo das propriedades mecânicas dos concretos de alta resistência com e sem adições de microssilica*. Tese (Doutorado). Departamento de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995. 286 p.
47. DEBNATH, A.; SINGH, S. V.; SINGH, Y. P. Comparative assessment of energy requirements for different types of residential buildings in India. *Energy and Buildings*, v. 23, p. 141-146, 1995.
48. DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS E RODAGEM (DAER/RS) - Equipe de Cadastro. *Distâncias de Porto Alegre ao interior do Rio Grande do Sul e respectivos itinerários*. Dez., 1996.
49. DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE HABITAÇÃO (DEM HAB). *Vila Tecnológica de Porto Alegre : PROTECH : edital do concurso nº 01/96 DEM HAB*. Porto Alegre, 1996.

50. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *Distância entre cidades*. Disponível na Internet. <http://www.dner.gov.br>, 29 de jul. de 1999.
51. DUFFAURE-GALLAIS, I. Exposition à l'amiante dans les travaux d'entretien et de maintenance : guide de prévention. *CSTB Magazine*, n. 112, p. 27-28, mars 1998.
52. EDWARDS, S.; HOBBS, S. Data collection and handling for environmental assessment of building materials by architects and specifiers. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ... Symposium A*. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 569-576.
53. ELIANE. [Revestimentos cerâmicos, s.n.t.] (Catálogo Industrial)
54. EYRE, N. J.; OZDEMIROGLU, E.; PEARCE, W. et al. Fuel and location effects on the damage costs of transport emissions. *Journal of Transport Economics and Policy*, v. 31, n. 1, p. 05-24, Jan. 1997.
55. GANDOLLA, M.; DUGNANI, L.; ACACIA, C. et al. Eliminacion de residuos conteniendo amianto. *Residuos*, Año 4, n. 5, p. 23-27, set./oct. 1994.
56. GRAEDEL, T.E.; GUTH, L. A. The impact of environmental issues on materials and processes. *AT&T Technical Journal*, p. 129-140, Nov./Dec. 1990.
57. GREEN BUILDING DIGEST. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), 1995-. Frequência irregular.
58. \_\_\_\_\_. Masonry materials. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n. 1, Jan. 1995a. 13 p.
59. \_\_\_\_\_. Paints & stains for joinery. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n. 3, Mar. 1995b. 9 p.
60. \_\_\_\_\_. Window frames. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n. 7, Nov. 1995c. 13 p.
61. \_\_\_\_\_. Carpets & floor coverings. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n. 9, Mar. 1996a. 13 p.
62. \_\_\_\_\_. Roofing materials. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n. 11, June/July 1996b. 27 p.
63. \_\_\_\_\_. Timber preservatives. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n. 12, Sept. 1996c. 23 p.
64. \_\_\_\_\_. Electrical wiring. Liverpool, United Kingdom : Ethical Consumer Research Association (ECRA), The Technical Aid Network (ACTAC), n. 16, Summer 1997. 21 p.
65. GREENE, D. L. Transportation and energy : the global environmental challenge. *Transportation Research : an international journal : Part A : Policy and Practice*, Great Britain, v. 27A, n. 3, p. 163-166, 1993.
66. GUIA Brasil Quatro Rodas. São Paulo : Abril, 1996.
67. GUIMARÃES, G. D. *Análise energética na construção de habitações*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Nuclear e Planejamento Energético). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1985. 231 p.
68. GULISANO, G; MARLETTA, L.; SAPIENZA V. Energy cost of building materials and life-cycle assessment. In: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CITIES – PLEA'98. *Proceedings ...* Lisbon, Portugal : James & James Science Publishers, Jun. 1998. p. 521-524.

69. HAL, A. V.; DULSKI, B. Sustainable housing in Europe. *Sustainable Building : journal on building and the environment*, v. 1, n. 1, p. 8-41, 1997.
70. HALLIDAY, S. P. *Environmental code of practice for buildings and their services*. Berkshire : The Building Services Research and Information Association (BSRIA), 1994. 130 p.
71. HANSEN, K.; PETERSEN, E. H. Inclusion of life cycle assessment of materials in green building performance. In: GREEN BUILDING CHALLENGE '98 : an international conference on the performance assessment of buildings, Oct. 26-28, 1998, Vancouver, Canada. *Proceedings ...* Vancouver, Canada, 1998. 2 v. V. 2. p. 221-228.
72. HARRISON, R. M.; BRIMBLECOMBE, P.; DERWENT, R. G. et al. *Diesel vehicle emissions and urban air quality : second report of the Quality of Urban Air Review Group*. Birmingham : The University of Birmingham, 1993. 88p.
73. HAYWARD, K.; HILL, D. Sustainable transport : strategic assessment of transport strategy options. IN: THE 1999 INTERNATIONAL SUSTAINABLE DEVELOPMENT RESEARCH CONFERENCE, March 25-26, 1999, University of Leeds. *Proceedings ...* United Kingdom : ERP Environment, 1999. p. 131-136.
74. HIMANEN, V.; NIJKAMP, P.; PADJEN, J. Environmental quality and transport policy in Europe. *Transportation Research : an international journal : Part A : Policy and Practice*, Great Britain, v. 26A, n. 2, p. 147-157, 1992.
75. HOLDSWORTH, B.; SEALEY, A. *Healthy Buildings : a design primer for a living environment*. England : Longman, 1992. 148 p.
76. HOLUB, W. J. Recycling : a resource boon or aggregate bust? *Rock Products*, v. 100, n. 4, p. 39-41, Apr. 1997.
77. HOWARD, N. P.; GILHAM, A.; RAO, S. et al. Transport environmental implications of buildings. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ...* Symposium D. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 2149-2159.
78. HUMBERG, M.E. *Cuidando do planeta Terra : uma estratégia para o futuro da vida*. São Paulo : CL-A Cultural, 1991. 246 p.
79. IDEAL STANDARD. [Complementos hidrossanitários, s.n.t. ] (Catálogo Industrial)
80. INO, A.; SHIMBO, I.; DELLA NOCE, L.G. *Mini curso : Produção de Casas de madeira : Controle de Qualidade na Cadeia Produtiva*. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC 98 - MINI CURSO, 27-30 abr., 1998, Florianópolis, SC. 56 p.
81. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Contagem da população 1996*. Disponível na Internet. <http://www.ibge.gov.br>, 11 de junho de 1998.
82. INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO HABITACIONAL DO DISTRITO FEDERAL (IDHAB). Diretoria de Planejamento. Divisão de Acompanhamento e Avaliação. *Relatório de atividade : oficina de avaliação do projeto Vila Tecnológica*. Brasília, 1998.
83. ISHII, K. Material selection issues in design for recyclability. In: THE SECOND INTERNATIONAL ECOBALANCE CONFERENCE, Nov. 18, 1996, Tsukuba, Japan. *Proceedings ...* Disponível na Internet. <http://hart.me.berkeley.edu/~aagogino/design/Ecobalance.Ishii.html>, 07 de dez. de 1999.
84. JAVORNIK, M.; DOWNING, T. W. Green building in the heartland : a sensible approach to recycled content building materials. In: ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC BALANCE : THE 21<sup>ST</sup> CENTURY OUTLOOK. Nov. 6-9, 1997, Miami, Florida. *Conference CD-ROM ...* Miami, Florida : The American Institute of Architects, U. S. Green Building Council, U. S. Department of Energy, 1997.
85. JOHNSON, S. *Greener buildings : environmental impact of property*. London : Macmillan, 1993. 186 p.

86. KALIN, Z. Canada targets C&D debris. *Biocycle*, v. 32, n. 1, p. 35-36, Jan. 1991.
87. KIBERT, C. J. Construction materials from recycled polymers. *Structures and Building: Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, v. 99, n. 4, p. 455-464, 1993.
88. KIMMINS, Sam. [Comunicação pessoal], 10 de mar. 1999.
89. KNIJNIK, R. *Energia e meio ambiente em Porto Alegre : bases para o desenvolvimento*. Porto Alegre : DMAE, 1994. 309 p.
90. KOMOR, P.; BALDWIN, S. F.; DUNKERLEY, J. Technologies for improving transportation energy efficiency in the developing world. *Transportation Research : an international journal : Part A : Policy and Practice*, Great Britain, v. 27A, n. 5, p. 359-372, 1993.
91. KORNFIELD, T.; SKOLNIK, J. Economic incentives to mitigate impacts of state low-emission vehicle standard for heavy-duty vehicles. *Transportation Research Record*, Energy and Environment, Washington D. C., n. 1520, p. 63-70, 1996.
92. LAMPO, R.; FINNEY, D. From the garbage heap to your home : recycled plastics are coming. *ASTM Standardization News*, v. 22, n. 8, p. 36-39, Aug. 1993.
93. LARSSON, N. Public/private strategies for moving towards green building practices. *UNEP Industry and Environment*, v. 19, n. 2, p. 23-25, Apr./June 1996.
94. LAVENDEL, B. Recycled wood and plastic composites find markets. *Biocycle*, v. 37, n. 12, p. 39-43, Dec. 1996.
95. LAWSON, B. *Building materials, energy and the environment : towards ecologically sustainable development*. Australia : The Royal Australian Institute of Architects, 1996. 135 p.
96. LEA, W. R. Plastic incineration versus recycling : a comparison of energy and landfill cost savings. *Journal of Hazardous Materials*, v. 47, n.1-3, p. 295-302, 1996.
97. LEJEUNE, C. Les matériaux de remplacement de l'amiante. *CSTB Magazine*, n. 112, p. 17-18, mars 1998.
98. LIPPIATT, B. *BEES 1.0 - Building for environmental and economic sustainability : technical manual and user guide*. United States of America : U. S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, Apr. 1998. 84 p.
99. LONGCAMP, M. Les producteurs de matières plastiques s'unissent pour gérer leurs déchets. *CSTB Magazine*, n. 90, p. 3-5, dec. 1995.
100. LYLE, J. T. *Regenerative design for sustainable development*. New York : John Wiley & Sons, 1994. 338 p.
101. MADDISON, D. et al. *The true cost of road transport*. United Kingdom : Blueprint, 1996.
102. MALIN, N. Steel or wood framing : which way should we go? *Environmental Building News*, v. 3, n. 4, p. 1,10-17, July/Aug. 1994.
103. \_\_\_\_\_. What's new in construction waste management? *Environmental Building News*, v. 4, n. 6, p. 1,12-14, Nov./Dec. 1995.
104. \_\_\_\_\_. On using local materials. *Environmental Building News*, v. 5, n. 5, p. 1,15-18, Sept./Oct. 1996a.
105. \_\_\_\_\_. Lead and asbestos : the encapsulation option. *Environmental Building News*, v. 5, n. 6, p. 8-9, Nov./Dec. 1996b.
106. \_\_\_\_\_. Building deconstruction : a viable alternative to demolition? *Environmental Building News*, v. 6, n. 3, p. 3-4, Mar. 1997.

107. MALIN, N; WILSON, A. Should we phase out PVC? *Environmental Building News*, v. 3, n. 1, p. 1,9-18, Jan./Feb. 1994.
108. \_\_\_\_\_. Material selection : tools, resources, and techniques for choosing green. *Environmental Building News*, v. 6, n. 1, p. 1,10-14, Jan. 1997.
109. MASCARÓ, J. L. *Consumo de energia e construção de edifícios*. São Paulo : SECOVI, 1981.
110. MILLER, A.J. Energy implications of the transportation of building materials. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ... Symposium A*. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 803-810.
111. MYMRIN, V. A.; VAAMONDE, A. J. V. Industrial wastes recycling as binders for the construction materials producing. In: II SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL - GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL, 26-28 out., 1998, Porto Alegre, RS. *Anais ...* Porto Alegre, 1998. 630 p. p. 088-093.
112. MINKE, G. Environment-conscious design with ecological building materials : some results of recent research and development work. In: PLEA 1997 KUSHIRO : THE 14<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Jan. 8-10, 1997, Kushiro, Japan. *Proceedings ...* Kushiro, Japan : PLEA 1997 Technical Committee, 1997. 3 v. V. 3. p. 305-310.
113. MIYATAKE, Y. Technology development and sustainable construction. *Journal of Management in Engineering*, v. 12, n. 4, p. 23-27, July/Aug. 1996.
114. MORCHEOINE, P. A.; ORFEUIL, E. J. P. Transports, énergie, environnement : modes de vie et comportements. *Transports*, n. 390, p. 225-238, juil./août 1998.
115. NAMBEI RASQUINI. [Fios condutores, s. n. t.] (Catálogo Industrial).
116. OSTRIA, S. J. Assessing emissions contribution of intercity trucking. *Transportation Research Record, Energy and Environment*, Washington D. C., n. 1520, p. 35-43, 1996.
117. PARROTT, L. An environmental perspective on UK construction materials. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ... Symposium D*. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 2209-2216.
118. PETRUCCI, E. G. R. *Materiais de construção*. 5. ed. Porto Alegre : Globo, 1980. 435 p.
119. PEUPORTIER, B.; PEDREGAL, P. D. Application of life cycle simulation to energy and environment conscious design. In: ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CITIES – PLEA'98. *Proceedings ...* Lisbon, Portugal : James & James Science Publishers, Jun. 1998. p. 517-520.
120. PIETERS, G. The construction industry and the environment in Europe. *UNEP Industry and Environment*, v. 19, n. 2, p. 9-12, Apr./June 1996.
121. PINTO, T. P. *Perdas de materiais em processos construtivos tradicionais*. São Carlos : Universidade Federal de São Carlos, Centro de Tecnologia de Edificações, out. 1989. 20 p.
122. PIVA, A. M.; WIEBECK, H. *Reciclagem mecânica do PVC*. São Paulo : Instituto do PVC, 1999.
123. PLANO de Controle da Poluição por Veículos em Uso - PCPV : versão preliminar. Disponível na Internet. <http://www.cetesb.br>, 05 de jan. de 1999.
124. RAMANATHAN, R. Indian transport sector : energy and environmental implications. *Energy Sources*, v. 18, n. 7, p. 791-805, Oct./Nov. 1996.
125. REIS, Neuto Gonçalves. [Comunicação pessoal], mar. 1999.

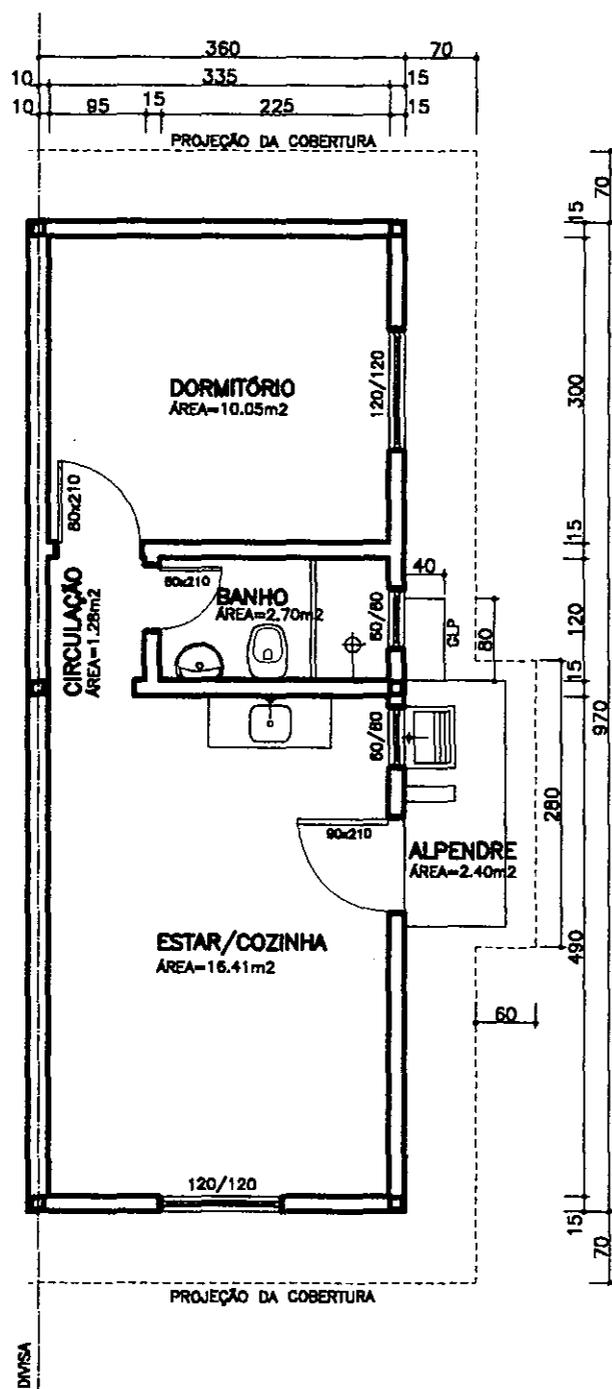
126. RIO GRANDE DO SUL. Secretaria da Coordenação e Planejamento. Programa para o Desenvolvimento Racional, Recuperação e Gerenciamento Ambiental da Bacia do Guaíba – Pró-Guaíba. *Plano diretor de resíduos sólidos da região metropolitana de Porto Alegre (PDRS)*. V.2E-Tomo A: Diagnóstico. Porto Alegre, 1998a.
127. \_\_\_\_\_. *Plano diretor de resíduos sólidos da região metropolitana de Porto Alegre (PDRS)*. V.3: Prognóstico. Porto Alegre, 1998b.
128. \_\_\_\_\_. *Plano diretor de resíduos sólidos da região metropolitana de Porto Alegre (PDRS)*. V.4-Tomo B: Proposição de soluções. Porto Alegre, 1998c.
129. RUCH, M.; SCHULTMANN, F.; RENTZ, O. et al. La déconstruction sélective : une expérimentation en Allemagne. *Cahiers du CSTB*, v. 357; n. 2787, p. 1-25, mars 1995.
130. SABBATINI, F. H. *Desenvolvimento de métodos, processos e sistemas construtivos : formulação e aplicação de uma metodologia*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 1989. 321 p.
131. SEADEN, G.; MANSEAU, A. Socio-economic changes and sustainable construction. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ... Symposium A*. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 849-856.
132. SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO A MICRO E PEQUENA EMPRESA (SEBRAE). *Perfil industrial : indústria de reciclagem de alumínio*. Campo Grande, Mato Grosso do Sul : SEBRAE/MS, 1996. 8 p.
133. SOIBELMAN, L. *As perdas de materiais na construção de edificações : sua incidência e seu controle*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1993.
134. SPEARE, R. S. Recycling of structural materials. *The Structural Engineer*, v. 73, n. 13, p. 220-222, July 1995.
135. SPENCER, R. Opportunities for recycling C&D debris. *Biocycle*, v. 31, n. 7, p. 56-58, July 1990.
136. STEUTEVILLE, R. Innovators in C&D recycling. *Biocycle*, v. 35, n. 1, p. 30-33, Jan. 1994.
137. SZOKOLAY, S. V. The environmental imperative. In: PLEA 1997 KUSHIRO : THE 14<sup>TH</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, Jan. 8-10, 1997, Kushiro, Japan. *Proceedings ... Kushiro, Japan : PLEA 1997 Technical Committee, 1997. 3 v. V. 3. p. 03-12.*
138. TABELAS de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO 10). São Paulo : Pini, 1996.
139. TECMOLD. *Guia TECMOLD de alvenaria estrutural : diretrizes básicas para projeto arquitetônico, hidráulico e estrutural*. [s. n. t.] p.19 (Catálogo industrial)
140. TIGRE. *Catálogo eletrônico de produtos : versão 2.0*. 1997. (Compact Disc)
141. TRUSTY, W. B.; MEIL, J. K.; NORRIS, G. A. ATHENAT<sup>TM</sup> : a LCA decision support tool for the building community. In: GREEN BUILDING CHALLENGE '98 : an international conference on the performance assessment of buildings, Oct. 26-28, 1998, Vancouver, Canada. *Proceedings ... Vancouver, Canada, 1998. 2 v. V. 1. p. 39-45.*
142. TURRENT, D. Green building materials. *The architects' journal*, v. 201, n. 23, p. 37-41, 8 June 1995.
143. UHER, T. E.; LAWSON, W. Sustainable development in construction. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ... Symposium D*. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 1927-1934.

144. UNITED KINGDOM. Department of the Environment, Transport and the Regions (DETR). Construction Innovation and Research Management Division. *Oportunities for change* : consultation paper on a UK strategy for sustainable construction. London, 1998. 23 p.
145. UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). LEED Building™ Rating System. In: GREEN DEVELOPMENTS, Rocky Mountain Institute, Windows™ and Macintosh™ CD-ROM, Vers. 1.0, Nov. 1997.
146. VALICENTI, J. A.; WENGER, J. Air quality monitoring during construction and inicial occupation of a new building. *Air & Waste Management*, v. 47, p. 890-897, Aug. 1997.
147. VILHENA, A. T.; PACHECO, E. B. A. V.; HEMAIS, C. A. Tecnologias para reciclagem de papel e de plásticos no Brasil. *RQI - Revista de Química Industrial*, n. 703, p. 5-10, out./dez. 1995.
148. VISVESVARAYA, H. C. A basis for the évolution of strategy for a futuristic development of building materials. *Matériaux et Constructions*, v. 19, n. 111, p. 161-164, 1987.
149. YATES, A.; BALDWIN, R. Environmental assessment of buildings, building operations and urban areas. In: CONSTRUCTION AND THE ENVIRONMENT - CIB WORLD BUILDING CONGRESS, June 7-12, 1998, Gävle, Sweden. *Proceedings ... Symposium D*. Gävle, Sweden : Kickan Fahlstedt, 1998. 2358 p. p. 2269-2276.
150. WACKERNAGEL, M.; REES, W. E. *Our ecological footprint* : reducing human impact on the earth. Canada : New Society Publishers, 1996. 160 p.
151. WILD, S. Innovation in environmentally cost-effective building materials. *The Structural Engineer*, v. 75, n. 12, p. 210-211, 17 June 1997.
152. WILSON, A. Cement and concrete : environmental considerations. *Environmental Building News*. v. 2, n. 2, p. 1, 7-12, Mar./Apr. 1993.
153. \_\_\_\_\_. Insulation materials : environmental comparisons. *Environmental Building News*. v. 4, n. 1, p. 1,11-17, Jan./Feb. 1995.
154. \_\_\_\_\_. Low-slope roofing : prospects looking up. *Environmental Building News*. v. 7, n. 10, p. 1,10-19, Nov. 1998.
155. WILSON, A; MALIN, N. Establishing priorities with green building. *Environmental Building News*. v. 4, n. 5, p. 1,14-17, Sept./Oct. 1995.
156. WOLKOFF, P.; NIELSEN, P. A. A new approach for indoor climate labeling of building materials : emission testing, modeling, and comfort evaluation. *Atmospheric Environment*, v. 30, n. 15, p. 2679-2689, 1996.
157. WORRELL, E.; VAN HEUNINGEN, R. J. J.; DE CASTRO, J. F. M. et al. New gross energy-requirement figures for materials production. *Energy*, v. 19, n. 6, p. 627-640, 1994.

ANEXO A – Plantas baixas de cada uma das cinco tipologias habitacionais.

## TIPOLOGIA HABITACIONAL A

ÁREA CONSTRUÍDA: 34.92m<sup>2</sup>

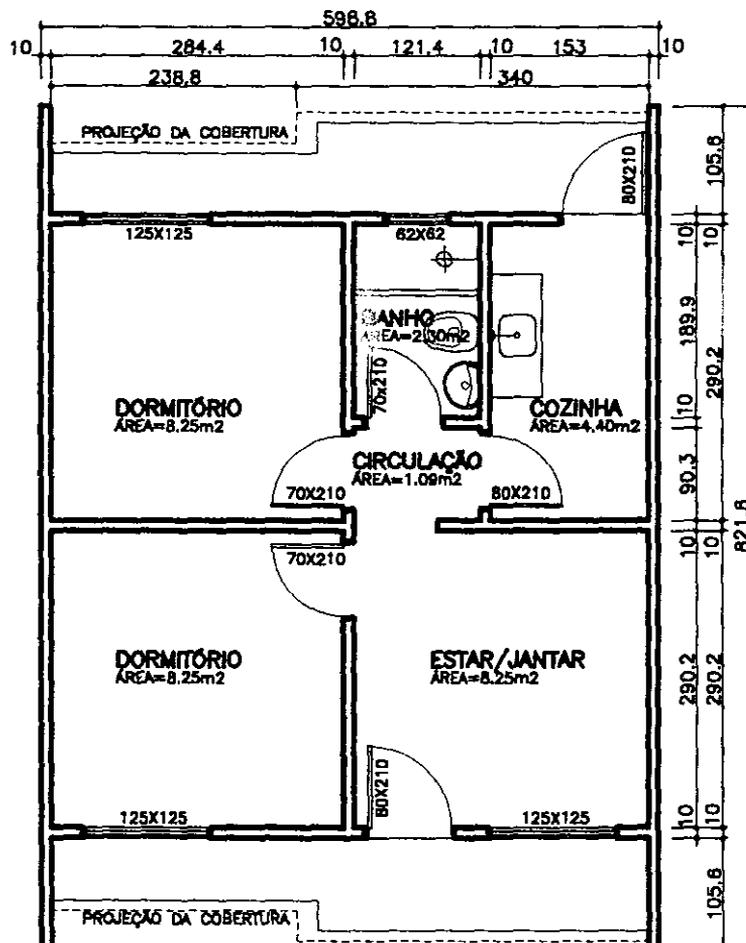


PLANTA BAIXA  
ESCALA: 1/75

Continuação ANEXO A – Plantas baixas de cada uma das cinco tipologias habitacionais.

## TIPOLOGIA HABITACIONAL B

ÁREA CONSTRUÍDA: 36.55m<sup>2</sup>

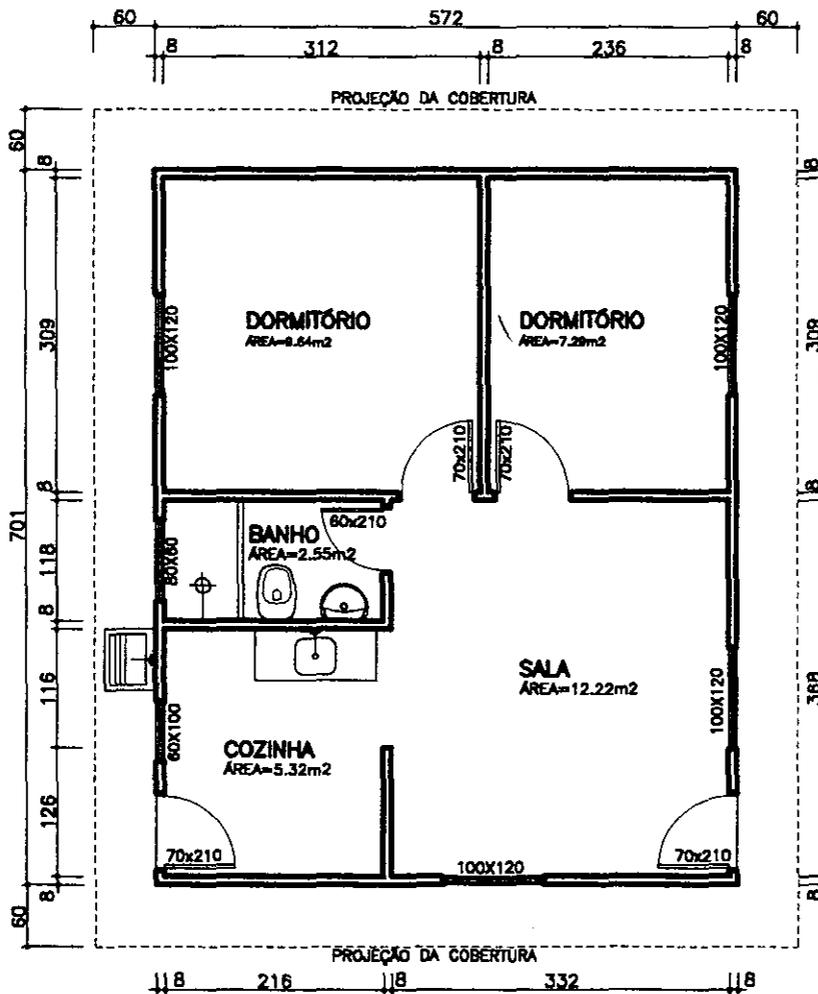


PLANTA BAIXA  
ESCALA:1/75

Continuação ANEXO A – Plantas baixas de cada uma das cinco tipologias habitacionais.

## TIPOLOGIA HABITACIONAL C

ÁREA CONSTRUIDA: 40.00m<sup>2</sup>

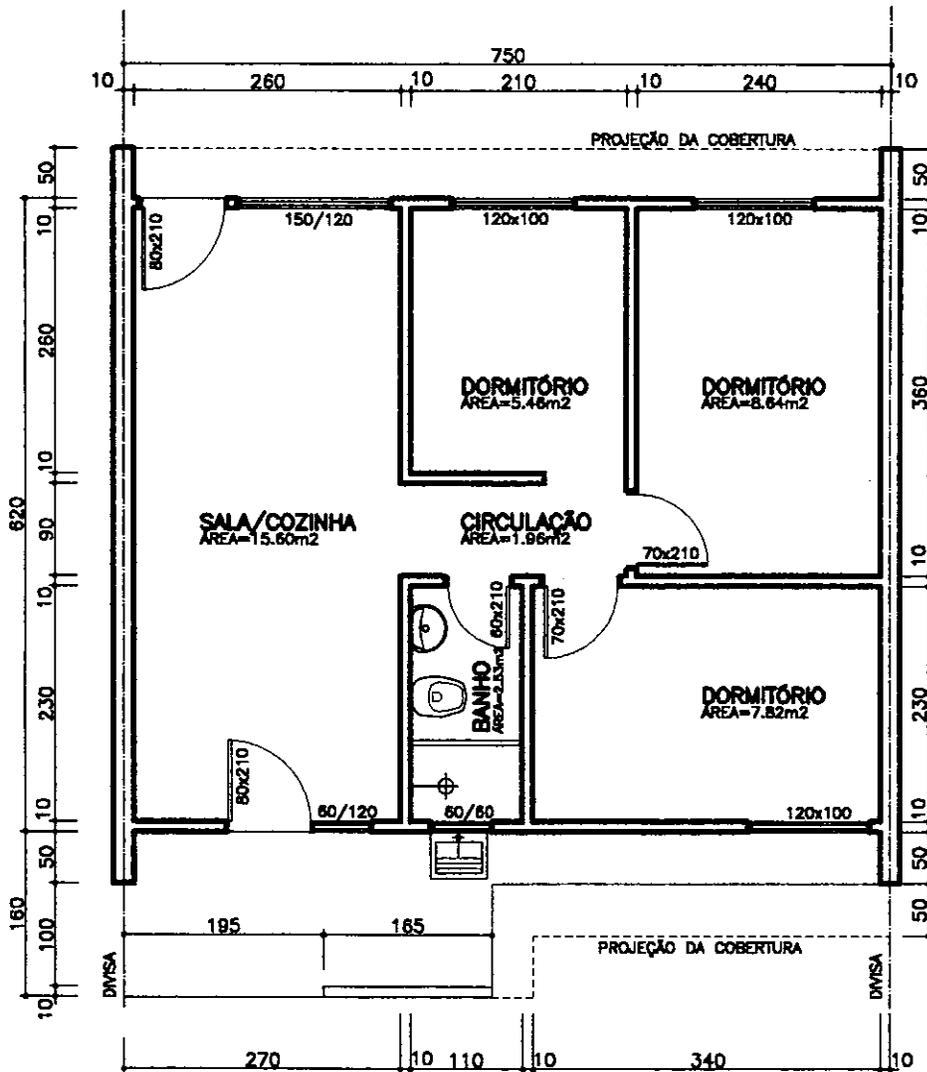


PLANTA BAIXA  
ESCALA: 1/75

Continuação ANEXO A – Plantas baixas de cada uma das cinco tipologias habitacionais.

## TIPOLOGIA HABITACIONAL D

ÁREA CONSTRUÍDA: 46.50m<sup>2</sup>



PLANTA BAIXA

ESCALA: 1/75



ANEXO B - Composições utilizadas de TCPO 10 (1996).

CÓDIGO (TCPO 10, 1996)	ITEM	ITEM EQUIVALENTE (TCPO 10, 1996)	COMPOSIÇÃO (TCPO 10, 1996)	
070119	Argamassa para assentamento de blocos cerâmicos, em paredes a espelho.	Alvenaria de elevação com tijolos cerâmicos furados, dimensões: 9 x 15 x 20 cm, assentes em argamassa. Espessura da junta: 12 mm; espessura da parede (a espelho) sem revestimento: 10 cm. Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média ou grossa sem peneirar, no traço 1:2:8.	Cimento:	2,548 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Cal hidratada:	2,548 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Areia média:	0,017 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de parede
070123	Argamassa para assentamento de blocos cerâmicos, em paredes a chato.	Alvenaria de elevação com tijolos cerâmicos furados, dimensões: 9 x 15 x 20 cm, assentes em argamassa. Espessura da junta: 12 mm; espessura da parede (a chato) sem revestimento: 15 cm. Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média ou grossa sem peneirar, no traço 1:2:8.	Cimento:	4,914 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Cal hidratada:	4,914 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Areia média:	0,0328 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de parede
070160	Argamassa para assentamento de blocos de concreto.	Alvenaria de elevação com blocos de concreto, dimensões: 14 x 19 x 39 cm, assentes com argamassa. Espessura das juntas: 10 mm; espessura da parede sem revestimento: 14 cm. Argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média sem peneirar no traço 1:0,5:8.	Cimento:	1,95 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Cal hidratada:	0,49 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Areia média ou grossa:	0,0130 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de parede
150407	Argamassa para assentamento de azulejos.	Assentamento de azulejos, empregando argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média, seca e peneirada no traço 1:2:8	Cimento:	3,64 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Cal hidratada:	3,64 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Areia média:	0,0243 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de parede
150101 ou 160101	Chapisco.	Chapisco sobre superfícies verticais, empregando argamassa de cimento e areia média ou grossa sem peneirar, no traço 1:3, espessura 5 mm.	Cimento:	2,43 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Areia média ou grossa:	0,0061 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de parede
150209 ou 160209	Massa única	Emboço para paredes internas ou externas, empregando argamassa mista de cimento, cal hidratada e areia média ou grossa sem peneirar, no traço 1:2:9, espessura 20 mm	Cimento:	3,24 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Cal hidratada:	3,24 kg/ m <sup>2</sup> de parede
			Areia média ou grossa:	0,0243 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de parede
060370 ou 050508	Concreto 18 MPa	Concreto estrutural, controle tipo "B", consistência normal para vibração, brita 1 e 2, fck = 18 MPa.	Cimento:	289 kg/ m <sup>3</sup> de concreto *
			Areia média:	0,7859 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
			Brita 1:	0,1900 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
			Brita 2:	0,5700 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
060366	Concreto 10 MPa	Concreto estrutural, controle tipo "B", consistência normal para vibração, brita 1 e 2, fck = 10 MPa.	Cimento:	230 kg/ m <sup>3</sup> de concreto *
			Areia média:	0,8297 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
			Brita 1:	0,1900 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
			Brita 2:	0,5700 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
170360	Contrapiso	Concreto não estrutural para lastro	Cimento:	200 kg/ m <sup>3</sup> de concreto *
			Areia média:	0,5883 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
			Brita 1:	0,2391 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
			Brita 2:	0,5591 m <sup>3</sup> / m <sup>3</sup> de concreto *
170362	Piso	Pisos cimentados empregando argamassa de cimento e areia média ou grossa sem peneirar no traço 1:4, espessura 1,5 cm	Cimento:	5,48 kg/ m <sup>2</sup> de área de piso
			Areia média ou grossa:	0,0182 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de área de piso
110206	Estrutura de madeira para cobertura.	Estrutura pré-fabricada de madeira, vão de 8 m, em duas águas, espaçamento entre tesouras de 1,20 m, inclinação de 26% a 48%, para telhas de fibrocimento.	Madeira de Cedrinho:	0,017 m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> de projeção de cobertura
			Conectores de Aço:	0,15 kg/ m <sup>2</sup> de projeção de cobertura

\* Dados modificados da fonte, para a obtenção de valores sem percentuais de desperdícios de materiais de construção.

Fonte: TCPO 10 (1996).

**ANEXO C - Municípios onde se encontram os produtores de cada material selecionado para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais.**

TIPOLOGIA HABITACIONAL A	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL B	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL C	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL D	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL E	MUNICÍPIO
COBERTURA	PRODUTOR	COBERTURA	PRODUTOR	COBERTURA	PRODUTOR	COBERTURA	PRODUTOR	COBERTURA	PRODUTOR
ESTRUTURA		ESTRUTURA		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO	
MADEIRA SERRADA (estrutura)	Sinop/MT	CIMENTO (estrutura)	Estrela/RS	MADEIRA SERRADA (estrutura e forro)	Sinop/MT	AÇO (estrutura)	Sapucaia do Sul/RS	MADEIRA SERRADA (estrutura)	Sinop/MT
AÇO (estrutura)	Ipatinga/MG	AREIA (estrutura)	Porto Alegre/RS	MADEIRA AGLOMERADA (estrutura e forro)	Estância V./RS	MADEIRA SERRADA (forro)	Camobi/RS	MADEIRA SERRADA (forro)	Camobi/RS
		BRITA (estrutura)	Porto Alegre/RS	MISTURAS QUÍMICAS (estrutura e forro)	São Paulo/SP			AÇO (conectores de estrutura)	Itaquaquecetuba/SP
		AÇO (estrutura)	Sapucaia do Sul/RS	AÇO (conectores de estrutura)	Itaquaquecetuba/SP				
TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS	
CERÂMICA (telhas)	Santa Maria/RS	CERÂMICA (telhas)	Bom Princípio/RS	FIBROCIMENTO (telhas)	Estrela/RS	CERÂMICA (telhas)	Bom Princípio/RS	FIBROCIMENTO (telhas)	Estrela/RS
		AÇO GALVANIZADO (algeroz)	Volta Redonda/RJ						

TIPOLOGIA HABITACIONAL A	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL B	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL C	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL D	MUNICÍPIO	TIPOLOGIA HABITACIONAL E	MUNICÍPIO
PAREDES	PRODUTOR								
BLOCOS CERÂMICOS	Porto Alegre/RS	CIMENTO	Estrela/RS	MADEIRA SERRADA	Sinop/MT	BLOCOS CERÂMICOS	Porto Alegre/RS	BLOCOS DE CONCRETO	Maracajá/SC
AÇO	Ipatinga/MG	AREIA	Porto Alegre/RS	MADEIRA COMPENSADA	Jundiaí/SP	AÇO	Sapucaia do Sul/RS	AÇO	Sapucaia do Sul/RS
CIMENTO	Estrela/RS	BRITA	Porto Alegre/RS	POLIESTIRENO EXPANDIDO	Sapucaia do Sul/RS	CIMENTO	Estrela/RS	CIMENTO	Estrela/RS
CAL	Caxapava do Sul/RS	AÇO	Sapucaia do Sul/RS	AÇO	São Paulo/SP	CAL	Caxapava do Sul/RS	CAL	Caxapava do Sul/RS
AREIA	Porto Alegre/RS	LAJOTAS CERÂMICAS	Criciúma/SC	CIMENTO	Estrela/RS	AREIA	Porto Alegre/RS	AREIA	Porto Alegre/RS
		PEAD	Caxias do Sul/RS	AREIA	Porto Alegre/RS	BRITA	Porto Alegre/RS	BRITA	Porto Alegre/RS
				AZULEJOS	Criciúma/SC			AZULEJOS	Criciúma/SC
				MISTURAS QUÍMICAS	São Paulo/SP				

**Obs. 1:** Municípios sombreados representam a localização de prováveis produtores, que podem ser modificados durante o processo de construção. Representam municípios padronizados para o estudo.

**Obs. 2:** Municípios não sombreados representam a localização dos exatos produtores de materiais específicos de cada tipologia habitacional, sendo pouco provável a sua modificação durante o processo de construção.

**Fonte:** Própria.

**ANEXO D - Distâncias entre o município onde se localiza o produtor de cada material e o município de Porto Alegre.**

TIPOLOGIA HABITACIONAL A	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL B	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL C	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL D	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL E	DISTÂNCIA
COBERTURA	(km)	COBERTURA	(km)	COBERTURA	(km)	COBERTURA	(km)	COBERTURA	(km)
ESTRUTURA		ESTRUTURA		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO	
MADEIRA SERRADA (estrutura)	2707	CIMENTO (estrutura)	27	MADEIRA SERRADA (estrutura e forro)	2707	AÇO (estrutura)	30	MADEIRA SERRADA (estrutura)	2707
AÇO (estrutura)	1934	AREIA (estrutura)	10	MADEIRA AGLOMERADA (estrutura e forro)	52	MADEIRA SERRADA (forro)	141	MADEIRA SERRADA (forro)	141
		BRITA (estrutura)	10	MISTURAS QUÍMICAS (estrutura e forro)	1109			AÇO (conectores de estrutura)	1097
		AÇO (estrutura)	30	AÇO (conectores de estrutura)	1097				
TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS	
CERÂMICA (telhas)	292	CERÂMICA (telhas)	81	FIBROCIMENTO (telhas)	27	CERÂMICA (telhas)	81	FIBROCIMENTO (telhas)	27
		AÇO GALVANIZADO (algeroz)	1437						

TIPOLOGIA HABITACIONAL A	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL B	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL C	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL D	DISTÂNCIA	TIPOLOGIA HABITACIONAL E	DISTÂNCIA
PAREDES	(km)								
BLOCOS CERÂMICOS	10	CIMENTO	27	MADEIRA SERRADA	2707	BLOCOS CERÂMICOS	10	BLOCOS DE CONCRETO	282
AÇO	1934	AREIA	10	MADEIRA COMPENSADA	1189	AÇO	30	AÇO	30
CIMENTO	27	BRITA	10	POLIESTIRENO EXPANDIDO	30	CIMENTO	27	CIMENTO	27
CAL	263	AÇO	30	AÇO	1109	CAL	263	CAL	263
AREIA	10	LAJOTAS CERÂMICAS	304	CIMENTO	27	AREIA	10	AREIA	10
		PEAD	131	AREIA	10	BRITA	10	BRITA	10
				AZULEJOS	304			AZULEJOS	304
				MISTURAS QUÍMICAS	1109				

**Obs. 1:** Para produtores localizados em Porto Alegre considerou-se uma distância básica de 10 km.

**Obs. 2:** A distância entre duas cidades é medida de centro a centro, os caminhos são os mais curtos pelas rodovias asfaltadas.

Fonte: GUIA ... (1996).

ANEXO E - Quantitativos dos materiais selecionados para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais.

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
COBERTURA	kg/m2 proj. cob.	COBERTURA	kg/m2 proj. cob.	COBERTURA	kg/m2 proj. cob.	COBERTURA	kg/m2 proj. cob.	COBERTURA	kg/m2 proj. cob.
ESTRUTURA		ESTRUTURA		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO	
MADEIRA SERRADA (estrutura)	0,74	CIMENTO (estrutura)	18,29	MADEIRA SERRADA (estrutura e forro)	13,65	AÇO (estrutura)	7,67	MADEIRA SERRADA (estrutura)	9,35
AÇO (estrutura)	5,22	AREIA (estrutura)	59,68	MADEIRA AGLOMERADA (estrutura e forro)	3,40	MADEIRA SERRADA (forro)	3,49	MADEIRA SERRADA (forro)	3,05
		BRITA (estrutura)	64,92	MISTURAS QUÍMICAS (estrutura e forro)	0,12			AÇO (conectores de estrutura)	0,15
		AÇO (estrutura)	2,79	AÇO (conectores de estrutura)	0,39				
TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS	
CERÂMICA (telhas)	48,00	CERÂMICA (telhas)	48,00	FIBROCIMENTO (telhas)	16,01	CERÂMICA (telhas)	48,00	FIBROCIMENTO (telhas)	16,01
		AÇO GALVANIZADO (algeroz)	0,44						
<b>TOTAL:</b>	<b>63,68</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>184,12</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>33,57</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>69,16</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>28,66</b>

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
PAREDES	kg/m2 paredes								
BLOCOS CERÂMICOS	75,08	CIMENTO	12,24	MADEIRA SERRADA	4,19	BLOCOS CERÂMICOS	80,66	BLOCOS DE CONCRETO	155,61
AÇO	3,97	AREIA	66,29	MADEIRA COMPENSADA	5,36	AÇO	0,50	AÇO	0,33
CIMENTO	11,24	BRITA	99,14	POLIESTIRENO EXPANDIDO	0,51	CIMENTO	14,89	CIMENTO	8,65
CAL	7,42	AÇO	0,93	AÇO	0,15	CAL	8,42	CAL	3,88
AREIA	72,88	LAJOTAS CERÂMICAS	26,97	CIMENTO	9,52	AREIA	89,79	AREIA	55,22
		PEAD	0,31	AREIA	40,61	BRITA	6,89	BRITA	5,09
				AZULEJOS	1,58			AZULEJOS	2,64
				MISTURAS QUÍMICAS	6,99				
<b>TOTAL:</b>	<b>170,68</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>206,88</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>68,81</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>201,16</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>231,42</b>

Fonte: Própria.

**ANEXO F - Conteúdos energéticos referentes aos materiais selecionados para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais.**

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.
<b>ESTRUTURA</b>		<b>ESTRUTURA</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>	
MADEIRA SERRADA (estrutura)	2,47	CIMENTO (estrutura)	73,89	MADEIRA SERRADA (estrutura e forro)	45,59	AÇO (estrutura)	196,20	MADEIRA SERRADA (estrutura)	31,23
AÇO (estrutura)	133,53	AREIA (estrutura)	4,18	MADEIRA AGLOMERADA (estrutura e forro)	27,20	MADEIRA SERRADA (forro)	11,66	MADEIRA SERRADA (forro)	10,19
		BRITA (estrutura) *	4,54	MISTURAS QUÍMICAS (estrutura e forro)	-			AÇO (conectores de estrutura)	3,84
		AÇO (estrutura)	71,37	AÇO (conectores de estrutura)	9,98				
<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>	
CERÂMICA (telhas)	150,24	CERÂMICA (telhas)	150,24	FIBROCIMENTO (telhas)	56,84	CERÂMICA (telhas)	150,24	FIBROCIMENTO (telhas)	56,84
		AÇO GALVANIZADO (algeroz)	14,28						
<b>TOTAL:</b>	<b>286,24</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>318,60</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>139,80</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>358,10</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>102,06</b>

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
PAREDES	MJ/m2 paredes								
BLOCOS CERÂMICOS	235,00	CIMENTO	49,45	MADEIRA SERRADA	13,99	BLOCOS CERÂMICOS	252,47	BLOCOS DE CONCRETO	93,37
AÇO	101,55	AREIA	4,64	MADEIRA COMPENSADA	129,18	AÇO	12,79	AÇO	8,44
CIMENTO	45,41	BRITA	6,94	POLIESTIRENO EXPANDIDO	56,92	CIMENTO	60,16	CIMENTO	34,95
CAL	17,44	AÇO	23,69	AÇO	3,84	CAL	19,79	CAL	9,12
AREIA	5,10	LAJOTAS CERÂMICAS	388,73	CIMENTO	38,46	AREIA	6,29	AREIA	3,87
		PEAD	21,14	AREIA	2,84	BRITA	0,48	BRITA	0,36
				AZULEJOS	36,89			AZULEJOS	61,64
				MISTURAS QUÍMICAS	-				
<b>TOTAL:</b>	<b>404,50</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>484,58</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>282,12</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>391,97</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>211,74</b>

Fonte: Própria.

**ANEXO G - Conteúdos energéticos por unidade de área construída, referentes aos materiais selecionados para as paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais.**

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.
<b>ESTRUTURA</b>		<b>ESTRUTURA</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>	
MADEIRA SERRADA (estrutura)	3,50	CIMENTO (estrutura)	92,65	MADEIRA SERRADA (estrutura e forro)	64,75	AÇO (estrutura)	254,05	MADEIRA SERRADA (estrutura)	42,46
AÇO (estrutura)	188,93	AREIA (estrutura)	5,24	MADEIRA AGLOMERADA (estrutura e forro)	38,63	MADEIRA SERRADA (forro)	15,09	MADEIRA SERRADA (forro)	13,85
		BRITA (estrutura)	5,70	MISTURAS QUÍMICAS (estrutura e forro)	-			AÇO (conectores de estrutura)	5,22
		AÇO (estrutura)	89,49	AÇO (conectores de estrutura)	14,17				
<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>	
CERÂMICA (telhas)	212,58	CERÂMICA (telhas)	188,39	FIBROCIMENTO (telhas)	80,72	CERÂMICA (telhas)	194,54	FIBROCIMENTO (telhas)	77,27
		AÇO GALVANIZADO (algeroz)	17,91						
<b>TOTAL:</b>	<b>405,01</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>399,37</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>168,27</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>469,68</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>136,60</b>

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
PAREDES	MJ/m <sup>2</sup> área c.								
BLOCOS CERÂMICOS	534,07	CIMENTO	143,55	MADEIRA SERRADA	31,23	BLOCOS CERÂMICOS	670,85	BLOCOS DE CONCRETO	226,80
AÇO	230,79	AREIA	13,47	MADEIRA COMPENSADA	288,26	AÇO	33,99	AÇO	20,51
CIMENTO	103,20	BRITA	20,15	POLIESTIRENO EXPANDIDO	127,01	CIMENTO	159,85	CIMENTO	84,89
CAL	39,63	AÇO	68,76	AÇO	8,56	CAL	52,58	CAL	22,15
AREIA	11,59	LAJOTAS CERÂMICAS	1.128,43	CIMENTO	85,83	AREIA	16,70	AREIA	9,39
		PEAD	61,37	AREIA	6,34	BRITA	1,28	BRITA	0,87
				AZULEJOS	82,33			AZULEJOS	149,74
				MISTURAS QUÍMICAS	-				
<b>TOTAL:</b>	<b>918,28</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>1.438,72</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>829,95</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>938,28</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>614,93</b>

<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>1.324,29</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>1.835,09</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>827,82</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>1.388,92</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>653,13</b>
---------------------	-----------------	---------------------	-----------------	---------------------	---------------	---------------------	-----------------	---------------------	---------------

Obs. : área c. = área construída

Fonte: Própria.

ANEXO H - Gastos energéticos em transporte considerando-se somente a ida dos caminhões (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS).

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.	COBERTURA	MJ/m2 proj. cob.
ESTRUTURA		ESTRUTURA		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO		ESTRUTURA E FORRO	
MADEIRA SERRADA (estrutura)	1,69	CIMENTO (estrutura)	0,56	MADEIRA SERRADA (estrutura e forro)	31,15	AÇO (estrutura)	0,26	MADEIRA SERRADA (estrutura)	21,34
AÇO (estrutura)	8,51	AREIA (estrutura)	0,67	MADEIRA AGLOMERADA (estrutura e forro)	0,20	MADEIRA SERRADA (forro)	0,41	MADEIRA SERRADA (forro)	0,36
		BRITA (estrutura)	0,73	MISTURAS QUÍMICAS (estrutura e forro)	0,11			AÇO (conectores de estrutura)	0,14
		AÇO (estrutura)	0,09	AÇO (conectores de estrutura)	0,36				
TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS		TELHAS	
CERÂMICA (telhas)	11,82	CERÂMICA (telhas)	3,28	FIBROCIMENTO (telhas)	0,49	CERÂMICA (telhas)	3,28	FIBROCIMENTO (telhas)	0,49
		AÇO GALVANIZADO (algeroz)	0,53						
<b>TOTAL:</b>	<b>22,02</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>5,97</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>32,31</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>3,95</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>22,33</b>

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
PAREDES	MJ/m2 paredes								
BLOCOS CERÂMICOS	0,85	CIMENTO	0,37	MADEIRA SERRADA	9,56	BLOCOS CERÂMICOS	0,94	BLOCOS DE CONCRETO	37,00
AÇO	6,47	AREIA	0,75	MADEIRA COMPENSADA	5,28	AÇO	0,02	AÇO	0,01
CIMENTO	0,34	BRITA	1,12	POLIESTIRENO EXPANDIDO	0,02	CIMENTO	0,45	CIMENTO	0,25
CAL	1,65	AÇO	0,03	AÇO	0,14	CAL	1,87	CAL	0,86
AREIA	0,82	LAJOTAS CERÂMICAS	6,91	CIMENTO	0,29	AREIA	1,01	AREIA	0,62
		PEAD	0,03	AREIA	0,46	BRITA	0,08	BRITA	0,06
				AZULEJOS	0,40			AZULEJOS	0,68
				MISTURAS QUÍMICAS	6,54				
<b>TOTAL:</b>	<b>10,13</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>6,21</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>22,86</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>4,34</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>40,49</b>

Obs. 1: Itens sombreados: RMPA.

Obs. 2: Itens não sombreados: outros municípios.

Fonte: Própria.

**ANEXO I - Gastos energéticos em transporte por unidade de área construída, somente a ida dos caminhões (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS).**

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.	COBERTURA	MJ/m <sup>2</sup> área c.
<b>ESTRUTURA</b>		<b>ESTRUTURA</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>		<b>ESTRUTURA E FORRO</b>	
MADEIRA SERRADA (estrutura)	2,39	CIMENTO (estrutura)	0,70	MADEIRA SERRADA (estrutura e forro)	44,25	AÇO (estrutura)	0,34	MADEIRA SERRADA (estrutura)	29,01
AÇO (estrutura)	12,04	AREIA (estrutura)	0,84	MADEIRA AGLOMERADA (estrutura e forro)	0,28	MADEIRA SERRADA (forro)	0,54	MADEIRA SERRADA (forro)	0,49
		BRITA (estrutura)	0,92	MISTURAS QUÍMICAS (estrutura e forro)	0,16			AÇO (conectores de estrutura)	0,19
		AÇO (estrutura)	0,12	AÇO (conectores de estrutura)	0,51				
<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>		<b>TELHAS</b>	
CERÂMICA (telhas)	16,72	CERÂMICA (telhas)	4,11	FIBROCIMENTO (telhas)	0,89	CERÂMICA (telhas)	4,24	FIBROCIMENTO (telhas)	0,68
		AÇO GALVANIZADO (algeroz)	0,67						
<b>TOTAL:</b>	<b>31,15</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>7,38</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>45,69</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>5,12</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>30,36</b>

TIPOLOGIA HABITACIONAL A		TIPOLOGIA HABITACIONAL B		TIPOLOGIA HABITACIONAL C		TIPOLOGIA HABITACIONAL D		TIPOLOGIA HABITACIONAL E	
PAREDES	MJ/m <sup>2</sup> área c.								
BLOCOS CERÂMICOS	1,92	CIMENTO	1,08	MADEIRA SERRADA	21,34	BLOCOS CERÂMICOS	2,42	BLOCOS DE CONCRETO	89,87
AÇO	14,71	AREIA	2,17	MADEIRA COMPENSADA	11,79	AÇO	0,04	AÇO	0,03
CIMENTO	0,78	BRITA	3,24	POLIESTIRENO EXPANDIDO	0,04	CIMENTO	1,20	CIMENTO	0,84
CAL	3,74	AÇO	0,89	AÇO	0,31	CAL	4,96	CAL	2,09
AREIA	1,87	LAJOTAS CERÂMICAS	20,07	CIMENTO	0,85	AREIA	2,89	AREIA	1,51
		PEAD	0,10	AREIA	1,02	BRITA	0,21	BRITA	0,14
				AZULEJOS	0,90			AZULEJOS	1,64
				MISTURAS QUÍMICAS	14,58				
<b>TOTAL:</b>	<b>23,02</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>28,76</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>50,89</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>11,62</b>	<b>TOTAL:</b>	<b>95,92</b>

<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>64,17</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>34,10</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>96,53</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>16,64</b>	<b>TOTAL GERAL:</b>	<b>126,28</b>
---------------------	--------------	---------------------	--------------	---------------------	--------------	---------------------	--------------	---------------------	---------------

Obs. 1: Itens sombreados: RMPA.

Obs. 2: Itens não sombreados: outros municípios.

Obs. 3: área c. = área construída

Fonte: Própria.

**ANEXO J - Quantificação do conteúdo energético e dos gastos energéticos em transporte referentes a todos os materiais de construção de uma das tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre.**

Além da análise dos materiais referentes somente as paredes e coberturas das tipologias habitacionais em estudo nesta dissertação, realizou-se também uma análise de todos os materiais de construção utilizados em uma das tipologias habitacionais da Vila Tecnológica de Porto Alegre, principalmente para fins de discriminar os gastos energéticos associados a extração, produção e transporte de todos os seus materiais. Salienta-se que este anexo não possui o objetivo de realizar uma análise comparativa, mas sim, uma quantificação dos gastos energéticos totais de uma tipologia habitacional.

A tecnologia habitacional A foi escolhida, a partir da ampla disponibilidade de informações obtidas durante a coleta de dados descrita no item 5.2.1. desta dissertação, fornecendo dados suficientes para este estudo. Esta tecnologia habitacional selecionada possuía três tipologias habitacionais propostas para a Vila Tecnológica de Porto Alegre, sendo uma térrea, já analisada na presente dissertação, outra com dois pavimentos e uma terceira com três pavimentos. A princípio, desejava-se analisar os quantitativos energéticos totais da tipologia habitacional térrea, porém devido a não disponibilidade dos projetos elétrico e hidrossanitário da mesma, foi analisada neste anexo a tipologia habitacional de dois pavimentos, sendo suas principais características dispostas na Tabela I.

**Tabela I - Principais características da tipologia habitacional A de dois pavimentos.**

1	2	3	4	5
52,62	96,94	40,73	40	Sala/Cozinha; Banho; Um dormitório.

1: ÁREA CONSTRUIDA (m<sup>2</sup>)

2: ÁREA DE PAREDES (já descontados todos os vãos) (m<sup>2</sup>)

3: ÁREA DE PROJEÇÃO HORIZONTAL DA COBERTURA (m<sup>2</sup>)

4: INCLINAÇÃO DA COBERTURA (%)

5: CÔMODOS

Fonte: Própria.

Primeiramente, foram quantificados em unidades de massa (kg) os principais materiais de construção referentes a composição da fundação, contrapiso e piso, estrutura, paredes, cobertura, esquadrias, instalação elétrica, instalação hidrossanitária e complementos hidrossanitários. A seguir salienta-se alguns pontos relevantes desta quantificação.

No Anexo K, observa-se a discriminação dos materiais básicos analisados, assim como seus quantitativos iniciais. Salienta-se que estes quantitativos iniciais, em alguns casos, já representavam quantitativos em unidades de massa. Porém, em outros casos, foram adotadas massas aparentes para obtenção de quantitativos em unidades de massa.

Ainda no Anexo K, observa-se a origem dos quantitativos iniciais utilizados para cada material de construção, existindo três possibilidades de origem dos dados: aqueles fornecidos diretamente pelos responsáveis dos projetos e execução das obras da Tipologia A, sendo estes dados específicos do sistema construtivo; aqueles simplesmente medidos em planta; e por fim, aqueles fornecidos diretamente pelo respectivo fabricante. Salienta-se que alguns materiais de construção utilizados, como as argamassas e concretos, além de serem quantificados inicialmente por uma das três opções citadas, foram finalmente quantificados em unidades de massa através de composições de TCPO 10 (1996), sendo descontados os coeficientes de desperdício de materiais, da mesma forma explicitada anteriormente para a comparação das paredes e coberturas das cinco tipologias. Todas as composições utilizadas de TCPO 10 (1996) estão no Anexo B.

Especificamente quanto a fundação, contrapiso e piso, os quantitativos iniciais dos materiais foram obtidos através de especificações da Tipologia A ou medições diretas em planta, e as massas totais foram obtidas, em alguns casos, através de composições de TCPO 10 (1996).

Quanto a estrutura, os quantitativos iniciais da estrutura de aço foram especificados diretamente pelos responsáveis dos projetos e execução das obras, sendo fornecidos diretamente quantitativos em massa, assim como os quantitativos da escada de aço. Foi considerada a composição de concreto 10 MPa para o preenchimento da estrutura metálica, segundo TCPO 10 (1996). Além disto, para a laje pré-fabricada, utilizou-se quantitativos específicos da Tipologia A, assim como composições de concreto 18 MPa, segundo TCPO 10 (1996).

No caso das paredes e coberturas, para a obtenção dos quantitativos, em unidades massa, das argamassas de assentamento e revestimento, blocos cerâmicos, telhas cerâmicas, dentre outros, foi adotado o mesmo procedimento utilizado para a habitação térrea da Tipologia A, já analisada nesta dissertação. Somente ressalta-se que a chapa de aço galvanizado para algeroz da cobertura foi quantificada primeiramente através de medição em planta e posteriormente através de contato direto com o fabricante da mesma, quantificando-a, por fim, em unidades de massa.

Através de medições em planta, pôde-se obter o número de esquadrias necessárias e as suas dimensões. Para o cálculo dos quantitativos de esquadrias metálicas e de madeira, em unidades de massa, e dos quantitativos iniciais de vidro plano, contactou-se diretamente os fabricantes das esquadrias, obtendo-se valores exatos para cada modelo especificado em projeto. Para a obtenção quantitativos de vidro plano, em unidades de massa, utilizou-se o valor de 2,5 kg por metro quadrado e por milímetro de espessura, especificado por COMPANHIA VIDRARIA SANTA MARINA (1992).

Para as instalações elétricas, primeiramente foram quantificados os eletrodutos e fios condutores, através de medições em planta. Posteriormente, para a obtenção dos quantitativos em unidades de massa, foram considerados para os eletrodutos os valores encontrados em TIGRE (1997), e para os fios condutores os valores de NAMBEI RASQUINI.

Para as instalações hidrossanitárias, o critério de medição em planta utilizado considerou as distâncias entre o centro de cada tubulação. Desta forma, desconsiderou-se a quantificação individual de cada uma das junções, devido ao critério de medição adotado, que já inclui as mesmas durante a sua medição de centro a centro. Posteriormente, para obter os quantitativos em unidades de massa, utilizou-se TIGRE (1997). Os quantitativos referentes a alguns complementos hidrossanitários, como a fossa séptica, o tampo de aço inoxidável e o tanque pré-moldado de concreto, não foram considerados na presente análise devido a dificuldades encontradas em utilizar um valor realmente representativo dos mesmos. Neste sentido, somente foram considerados os seguintes complementos hidrossanitários: caixa d'água de fibrocimento (BRASILIT), bacia sanitária e lavatório sanitário (IDEAL STANDARD).

Após estas quantificações dos materiais de construção em unidades de massa, realizou-se o cálculo dos conteúdos energéticos e dos gastos energéticos em transporte, de forma similar a já adotada para a comparação das paredes e coberturas das cinco tipologias habitacionais. Em resumo, o conteúdo energético, em unidades de energia (MJ), foi calculado através da simples multiplicação matemática de cada quantitativo de material (kg) pelo seu respectivo índice energético (MJ/kg). Somente salienta-se que para os fios condutores, considerou-se só o índice energético do cobre para o cálculo do conteúdo energético, desprezando-se o material de PVC que também compõe os fios condutores. Por sua vez, os gastos energéticos durante o transporte, em unidades de energia (MJ), foram calculados a partir da multiplicação

matemática de cada quantitativo de material (kg) pela sua respectiva distância transportada (km) e pelo seu respectivo coeficiente de gastos energéticos (MJ/kg.km). O Anexo K apresenta todos os conteúdos energéticos calculados, assim como, a localização do produtor de cada material de construção e os respectivos gastos energéticos em transporte.

Como algumas considerações finais sobre a tipologia habitacional A de dois pavimentos analisada neste anexo, inicialmente salienta-se que a quantificação em massa de todos os seus materiais de construção totalizou o valor de 38.151,69 kg, ou seja, 725,04 kg/m<sup>2</sup> área construída. Além disto, observou-se que o conteúdo energético total desta tipologia representou 85.489,93 MJ, que por sua vez equivale ao valor de 1.624,67 MJ/m<sup>2</sup> área construída. O conteúdo energético total atingido por esta tipologia em estudo recebeu uma grande influência do aço estrutural, dos blocos e telhas cerâmicas, do cimento Portland e também das tubulações em PVC utilizadas, conforme pode ser visto na Tabela II a seguir. Ainda nesta Tabela II, pode-se confirmar que a comparação entre as massas de cada material não possui uma relação direta com as comparações em termos de conteúdo energético. Além disto, como pode ser constatado no Anexo K, observou-se que cerca de 77 % do conteúdo energético total está relacionado aos materiais de construção referentes a composição da estrutura, paredes e cobertura.

**Tabela II – Conteúdos energéticos e massas totais de cada material básico.**

MATERIAL BÁSICO	CONTEÚDO ENERGÉTICO (MJ)	MASSA TOTAL (kg)
AÇO	31.388,93	1.225,83
CERÂMICA	30.552,89	9.761,31
CIMENTO	12.843,80	3.179,16
PVC	4.016,08	54,03
CAL	1.802,88	767,18
VIDRO	1.079,10	38,64
AREIA	1.066,47	15.235,27
LOUÇA	904,59	23,00
COBRE	653,11	7,45
BRITA	537,29	7.675,51
FIBROCIMENTO	493,45	139,00
MADEIRA	151,34	45,31
<b>TOTAL</b>	<b>85.489,93</b>	<b>38.151,69</b>

Fonte: Própria.

Por sua vez, os gastos energéticos totais em transporte foram responsáveis por 2.982,75 MJ, o que representa 3,49 % do conteúdo energético total desta tipologia. Estes gastos energéticos em transporte também podem ser expressos em termos de 56,68 MJ/m<sup>2</sup> área construída. Além disto, observou-se que cerca de 86 % dos gastos energéticos totais em transporte está relacionado aos materiais de construção constituintes da estrutura, paredes e cobertura da tipologia em questão, assim como uma grande parcela do conteúdo energético já comentada anteriormente.

Observando o Anexo K, salienta-se por fim que o aço da estrutura de pilar, viga e cobertura, assim como o aço da escada caracol, estão relacionados a longas distâncias de transporte, sendo os principais responsáveis pelos gastos energéticos totais em transporte. Além disto, as telhas cerâmicas transportadas por longas distâncias também exerceram uma significativa influência nestes gastos energéticos. Quanto a madeira e a chapa de aço galvanizado utilizados na cobertura, assim como as esquadrias em aço, o vidro, eletrodutos, fios condutores, tubos e complementos hidrossanitários, mesmo estando relacionados a grandes distâncias de transporte, não exerceram uma significativa influência nos gastos energéticos em transporte devido a suas reduzidas massas.

ANEXO K - Tipologia A com dois pavimentos: Conteúdos energéticos e Gastos energéticos em transporte (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS)

ITEM	MATERIAS BÁSICAS	QUANTITATIVO INICIAL	MASSA APARENTE (kg/m³)	MASSA (kg)	CONTEUDO ENERG (MJ)	MUNICÍPIO DO PRODUTOR	DIST (km)	GASTOS ENERG. EM TRANSPORTE (MJ)	ORIGEM DO QUANTITATIVO INICIAL
<b>FUNDAÇÃO</b>									
VERGALHÕES	AÇO	73,56 kg		73,56	1.881,66	Sapucaia do Sul/RS	30	2,49	Especificações da Tipologia A
AREIA	AREIA	0,47 m³	1.200	564,00	39,48	Porto Alegre/RS	10	6,35	Especificações da Tipologia A
CONCRETO 18 MPa		2,74 m³							Especificações da Tipologia A
CIMENTO	CIMENTO	289,00 kg/m³		791,86	3.199,11	Esteio/RS	27	24,09	TCPO10 (1996) (cod.: 050508)
AREIA	AREIA	0,7859 m³/m³	1.200	2.584,04	180,88	Porto Alegre/RS	10	29,12	TCPO10 (1996) (cod.: 050508)
BRITA 1	BRITA 1	0,1900 m³/m³	1.350	702,81	49,20	Porto Alegre/RS	10	7,92	TCPO10 (1996) (cod.: 050508)
BRITA 2	BRITA 2	0,5700 m³/m³	1.350	2.108,43	147,59	Porto Alegre/RS	10	23,76	TCPO10 (1996) (cod.: 050508)
SUB TOTAL:				6.824,70	5.497,93			83,72	
<b>CONTRAPIÇO E PISO</b>									
LASTRO (5cm)	BRITA	24,86 m²	1.350	1.678,05	117,46	Porto Alegre/RS	10	18,91	Medido em planta
CONTRAPIÇO CONCRETO (5cm)		24,86 m²							Medido em planta
CIMENTO	CIMENTO	200,00 kg/m³		248,60	1.004,34	Esteio/RS	27	7,56	TCPO10 (1996) (cod.: 170360)
AREIA	AREIA	0,5883 m³/m³	1.200	877,51	61,43	Porto Alegre/RS	10	9,89	TCPO10 (1996) (cod.: 170360)
BRITA 1	BRITA 1	0,2391 m³/m³	1.350	401,22	28,09	Porto Alegre/RS	10	4,52	TCPO10 (1996) (cod.: 170360)
BRITA 2	BRITA 2	0,5591 m³/m³	1.350	938,20	65,67	Porto Alegre/RS	10	10,57	TCPO10 (1996) (cod.: 170360)
PISO (3cm)		46,56 m²							Medido em planta
CIMENTO	CIMENTO	10,96 kg/m²		510,30	2.061,80	Esteio/RS	27	15,52	TCPO10 (1996) (cod.: 170362)
AREIA	AREIA	0,0364 m³/m²	1.150	1.949,00	136,43	Porto Alegre/RS	10	21,96	TCPO10 (1996) (cod.: 170362)
SUB TOTAL:				6.692,88	3.475,02			88,94	
<b>ESTRUTURA</b>									
VIGA, PILAR, COBERTURA	AÇO	864,02 kg		864,02	22.101,63	Ipatinga/MG	1934	1408,85	Especificações da Tipologia A
CONCRETO (enchimento)		0,87 m³							Medido em planta
CIMENTO	CIMENTO	230,00 kg/m³		200,10	808,40	Esteio/RS	27	6,09	TCPO10 (1996) (cod.: 060366)
AREIA	AREIA	0,8297 m³/m³	1.200	866,21	60,63	Porto Alegre/RS	10	9,76	TCPO10 (1996) (cod.: 060366)
BRITA 1	BRITA 1	0,1900 m³/m³	1.350	223,16	15,82	Porto Alegre/RS	10	2,51	TCPO10 (1996) (cod.: 060366)
BRITA 2	BRITA 2	0,5700 m³/m³	1.350	669,47	46,86	Porto Alegre/RS	10	7,54	TCPO10 (1996) (cod.: 060366)
LAJE PRÉ-FABRICADA (e=10cm)									
CONCRETO 18 MPa		0,93 m³							Especificações da Tipologia A
CIMENTO	CIMENTO	289,00 kg/m³		268,77	1.085,83	Esteio/RS	27	8,18	TCPO10 (1996) (cod.: 060370)
AREIA	AREIA	0,7859 m³/m³	1.200	877,06	61,39	Porto Alegre/RS	10	9,88	TCPO10 (1996) (cod.: 060370)
BRITA 1	BRITA 1	0,1900 m³/m³	1.350	238,55	16,70	Porto Alegre/RS	10	2,69	TCPO10 (1996) (cod.: 060370)
BRITA 2	BRITA 2	0,5700 m³/m³	1.350	715,64	50,09	Porto Alegre/RS	10	8,06	TCPO10 (1996) (cod.: 060370)
TELA	AÇO	52,51 kg		52,51	1.343,21	Sapucaia do Sul/RS	30	1,78	Especificações da Tipologia A
ESCADA CARACOL	AÇO	110,80 kg		110,80	2.829,15	Ipatinga/MG	1934	180,34	Especificações da Tipologia A
SUB TOTAL:				5.088,07	28.419,53			1645,68	

Fonte: Própria.

Continuação ANEXO K - Tipologia A com dois pavimentos: Conteúdos energéticos e Gastos energéticos em transporte (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS)

ITEM	MATERIAIS BÁSICOS	QUANTITATIVO INICIAL	MASSA APARENTE (kg/m3)	MASSA (kg)	CONTEÚDO ENERG. (MJ)	MUNICÍPIO DO PRODUTOR	DIST. (km)	GASTOS ENERG. EM TRANSPORTE (MJ)	ORIGEM DO QUANTITATIVO INICIAL
<b>PAREDES (vedação)</b>									
BLOCOS CERÂMICOS	CERÂMICA	80,73 m2	1.100	7.806,27	24.433,82	Porto Alegre/RS	10	87,96	Medido em planta
ARGAMASSA ASSENTAMENTO		64,52 m2							Medido em planta
CIMENTO	CIMENTO	2,5480 kg/m2		164,40	664,16	Esteio/RS	27	5,00	TCPO10 (1996) (cod.: 070119)
CAL	CAL	2,5480 kg/m2		164,40	386,33	Caçapava do Sul/RS	263	36,45	TCPO10 (1996) (cod.: 070119)
AREIA	AREIA	0,0170 m3/m2	1.150	1.261,37	88,30	Porto Alegre/RS	10	14,21	TCPO10 (1996) (cod.: 070119)
ARGAMASSA ASSENTAMENTO		16,21 m2							Medido em planta
CIMENTO	CIMENTO	4,9140 kg/m2		79,66	321,81	Esteio/RS	27	2,42	TCPO10 (1996) (cod.: 070123)
CAL	CAL	4,9140 kg/m2		79,66	187,19	Caçapava do Sul/RS	263	17,66	TCPO10 (1996) (cod.: 070123)
AREIA	AREIA	0,0328 m3/m2	1.150	611,44	42,80	Porto Alegre/RS	10	6,89	TCPO10 (1996) (cod.: 070123)
ARGAMASSA CHAPISCO		161,46 m2							Medido em planta
CIMENTO	CIMENTO	2,4300 kg/m2		392,35	1.585,09	Esteio/RS	27	11,94	TCPO10 (1996) (cod.: 150101)
AREIA	AREIA	0,0061 m3/m2	1.150	1.132,64	79,28	Porto Alegre/RS	10	12,76	TCPO10 (1996) (cod.: 150101)
ARGAMASSA MASSA ÚNICA		161,46 m2							Medido em planta
CIMENTO	CIMENTO	3,2400 kg/m2		523,13	2.113,45	Esteio/RS	27	15,92	TCPO10 (1996) (cod.: 150209)
CAL	CAL	3,2400 kg/m2		523,13	1.229,36	Caçapava do Sul/RS	263	116,00	TCPO10 (1996) (cod.: 150209)
AREIA	AREIA	0,0243 m3/m2	1.150	4.512,00	315,84	Porto Alegre/RS	10	50,84	TCPO10 (1996) (cod.: 150209)
SUB TOTAL:				17.250,43	31.447,22			378,05	
<b>COBERTURA (vedação)</b>									
TELHAS	CERÂMICA	40,73 m2	48,00 kg/m2	1.955,04	6.119,28	Santa Maria/RS	292	481,31	Medido em planta
FIXAÇÃO DAS TELHAS	MADEIRA	0,06 m3	550	30,31	101,24	Sinop/MT	2707	69,18	Especificações da Tipologia A
ALGEROZ	AÇO GALV.	1,17 m2	4,00 kg/m2	4,68	151,91	Volta Redonda/RJ	1437	5,67	Medido em planta
SUB TOTAL:				1.990,03	6.372,43			556,16	
<b>ESQUADRIAS</b>									
PORTA (0,60 X 2,10)	MADEIRA	1,00 un.	15,00 kg/un.	15,00	50,10	Porto Alegre/RS	10	0,17	Medido em planta
PORTA BAT.8 (0,87 X 2,17)	AÇO	1,00 un.	25,40 kg/un.	25,40	649,73	Marília/SP	1165	24,95	Medido em planta
PORTA BAT.8 (0,87 X 2,17)	AÇO	1,00 un.	26,06 kg/un.	26,06	666,81	Marília/SP	1165	25,60	Medido em planta
JANELA BAT.11 (1,20 X 1,20)	AÇO	2,00 un.	22,80 kg/un.	45,60	1.166,45	Marília/SP	1165	44,79	Medido em planta
JANELA BAT.8 (1,20 X 1,20)	AÇO	1,00 un.	13,90 kg/un.	13,90	355,56	Marília/SP	1165	13,65	Medido em planta
JANELA BAT.2,5 (0,60 x 0,80)	AÇO	2,00 un.	4,75 kg/un.	9,50	243,01	Marília/SP	1165	9,33	Medido em planta
VIDRO PLANO 3mm	VIDRO	4,13 m2	2,5 kg/m2.mm	30,98	865,18	Jacareí/SP	1191	31,10	Fornecido pelo fabricante
VIDRO PLANO 4mm	VIDRO	0,77 m2	2,5 kg/m2.mm	7,66	213,94	Jacareí/SP	1191	7,69	Fornecido pelo fabricante
SUB TOTAL:				174,10	4.210,57			157,28	

Fonte: Própria.

Continuação ANEXO K - Tipologia A com dois pavimentos: Conteúdos energéticos e Gastos energéticos em transporte (0,001127 MJ/kg.km - RMPA e 0,000843 MJ/kg.km - OUTROS)

ITEM	MATERIAIS BÁSICOS	QUANTITATIVO INICIAL	MASSA APARENTE (kg/m3)	MASSA (kg)	CONTEÚDO ENERG. (MJ)	MUNICÍPIO DO PRODUTOR	DIST. (km)	GASTOS ENERG. EM TRANSPORTE (MJ)	ORIGEM DO QUANTITATIVO INICIAL
<b>INSTALAÇÃO ELÉTRICA</b>									
<b>ELETRODUTOS</b>									
20mm	PVC	71,80 m	0,201 kg/m	14,43	1.072,72	Joinville/SC	640	7,79	Medido em planta
25mm	PVC	5,10 m	0,272 kg/m	1,39	103,11	Joinville/SC	640	0,75	Medido em planta
<b>FIOS CONDUTORES</b>									
1,5 mm2	COBRE	189,70 m	0,0187 kg/m	3,55	310,93	Sorocaba/SP	1092	3,27	Medido em planta
2,5 mm2	COBRE	32,80 m	0,0308 kg/m	1,01	88,55	Sorocaba/SP	1092	0,93	Medido em planta
6 mm2	COBRE	12,80 m	0,0629 kg/m	0,79	69,47	Sorocaba/SP	1092	0,73	Medido em planta
10 mm2	COBRE	20,40 m	0,1030 kg/m	2,10	184,17	Sorocaba/SP	1092	1,93	Medido em planta
<b>SUB TOTAL:</b>				<b>23,27</b>	<b>1.828,94</b>			<b>15,40</b>	
<b>INSTALAÇÃO HIDROSSANITÁRIA</b>									
TUBO DN 20 mm (água fria)	PVC	22,95 m	0,137 kg/m	3,14	233,70	Joinville/SC	640	1,70	Medido em planta
TUBO DN 40 mm (esg. e vent.)	PVC	8,60 m	0,241 kg/m	2,07	154,06	Joinville/SC	640	1,12	Medido em planta
TUBO DN 50 mm (esg. e vent.)	PVC	5,40 m	0,401 kg/m	2,17	160,95	Joinville/SC	640	1,17	Medido em planta
TUBO DN 75 mm (esg. e vent.)	PVC	1,80 m	0,632 kg/m	1,14	84,56	Joinville/SC	640	0,61	Medido em planta
TUBO DN 100 mm (esg. e vent.)	PVC	20,55 m	0,872 kg/m	17,92	1.331,96	Joinville/SC	640	9,67	Medido em planta
TUBO DN 100 mm (pluvial)	PVC	13,50 m	0,872 kg/m	11,77	875,01	Joinville/SC	640	6,35	Medido em planta
CAIXA D'ÁGUA (1000l)	FIBROCIMENTO	139,00 kg		139,00	493,45	Esteio/RS	27	4,23	Fornecido pelo fabricante
<b>SUB TOTAL:</b>				<b>177,21</b>	<b>3.333,70</b>			<b>24,85</b>	
<b>COMPLEMENTOS HIDROSSANITÁRIOS</b>									
BACIA SANITÁRIA	LOUÇA	17,20 kg		17,20	676,48	Jundiá/SP	1169	16,95	Fornecido pelo fabricante
LAVATÓRIO SANITÁRIO	LOUÇA	5,80 kg		5,80	228,11	Jundiá/SP	1169	5,72	Fornecido pelo fabricante
<b>SUB TOTAL:</b>				<b>23,00</b>	<b>904,59</b>			<b>22,67</b>	
<b>TOTAL GERAL:</b>				<b>38.151,69</b>	<b>85.489,93</b>			<b>2.982,76</b>	

Fonte: Própria.