

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
NORIE - NÚCLEO ORIENTADO PARA A INOVAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

**AVALIAÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL RURAL,
CONSTRUÍDA COM FARDOS DE PALHA, TERRA E COBERTURA
VERDE, SEGUNDO CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE**

Ingrid Pontes Barata Bohadana

Porto Alegre
novembro 2007

INGRID PONTES BARATA BOHADANA

**AVALIAÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL RURAL,
CONSTRUÍDA COM FARDOS DE PALHA, TERRA E COBERTURA
VERDE, SEGUNDO CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na
modalidade Acadêmico

Porto Alegre
novembro 2007

B767a Bohadana, Ingrid Pontes Barata

Avaliação de habitação de interesse social rural, construída com fardos de palha, terra e cobertura verde, segundo critérios de sustentabilidade / Ingrid Pontes Barata Bohadana. -- 2007.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2007.

Orientação: Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Construção civil. 3. Materiais de construção. I. Sattler, Miguel Aloysio, orient. II. Título.

CDU-691.4(043)

INGRID PONTES BARATA BOHADANA

**AVALIAÇÃO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL RURAL,
CONSTRUÍDA COM FARDOS DE PALHA, TERRA E COBERTURA
VERDE, SEGUNDO CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE**

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, 29 de novembro de 2007

Prof. Miguel Aloysio Sattler
Ph.D. pela University of Sheffield, Grã-Bretanha
Orientador

Prof. Fernando Schnaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Profª Akemi Ino (EESC/USP)
Drª pela Universidade de São Paulo

Prof. Rualdo Menegat (Instituto de Geociências - UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Profª Ana Luíza Raabe Abitante (PPGEC/UFRGS)
Drª pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof. Heitor da Costa Silva (PROPAR/UFRGS)
Ph.D. pela Architectural Association School of Architecture, Grã-Bretanha

Dedico este trabalho a todos aqueles que me apoiaram e me incentivaram nesta caminhada, especialmente a Yure Farias, pelo amor e companheirismo durante o período de seu desenvolvimento, Maria José, Eliana e Mário Barata.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq, pela bolsa de estudos fornecida no período de outubro de 2005 a fevereiro de 2007, que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao meu orientador, professor Miguel Sattler, sempre envolvido na causa ambiental, por tantos ensinamentos e experiências oferecidas durante o mestrado.

À minha família, por todas as oportunidades proporcionadas e pelo apoio e incentivo durante o curso.

À pessoa que se fez presente em todos os momentos durante esta jornada, compartilhando as incertezas, descobertas, alegrias e transformações vivenciadas neste período: meu querido Yure.

À professora Carin, pela atenção destinada no início desta pesquisa, e ao professor Shimbo, pelas sugestões, discussões e observações que enriqueceram o trabalho.

À Eugênia Kuhn, pelas conversas, apoio e estímulo, por se prontificar a ajudar em todas as questões que surgiram ao longo do trabalho, tornando o caminho para sua execução menos árduo, e por ter se mostrado, acima de tudo, uma grande amiga.

À família Volkmann, por sua disposição em participar da pesquisa, pela generosa acolhida e hospitalidade, em especial a João, Helena, e à inestimável dona Alda.

Ao professor Minke e à Kareen por seus ensinamentos, por me mostrarem a alegria de “pôr os pés e as mãos no barro”, e aos amigos dos cursos de bioconstrução, pelas experiências compartilhadas, Consuelo, Raquel, Marli, Ronaldo, Milton, Juarez, Guilherme, Fernando Minto, e especialmente, Edio Dapper (*in memoriam*), com quem tive pouco tempo de convivência, mas muito aprendi.

Aos construtores e fornecedores de materiais, pelas informações disponibilizadas.

Aos amigos do NORIE, Alana, Cíntia, Patrícia, Lisiane, Valcir, Rita, André, Stolte, José Rojas, Leticia, Nauíra, Vivi, Pati, Marcos, Diego, Conceição, Juliana, Caroline e Fernando.

Aos amigos que acreditam em um mundo mais sustentável, que tive a felicidade de conhecer durante esta caminhada, Vika, Carol, Lezinha, Amanda, Beti, Dani, Raphael, Ana Estrella, Eliane, Danilo, Diogo, Maria Edith, Maria Zanin, Francisco, Rodrigo, Celso, Chelah, Luiz e Tomaz.

Aos amigos, familiares e todos aqueles que incentivaram ou colaboraram de alguma forma para realização deste trabalho.

O que chamamos de moderno pode
ser simplesmente o que não merece
permanecer para se tornar antigo.

Dante Alighieri

RESUMO

BOHADANA, I.P.B. **Avaliação de habitação de interesse social rural, construída com fardos de palha, terra e cobertura verde, segundo critérios de sustentabilidade.** 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

Proposta: o setor da construção civil é responsável por grande parte do consumo de energia e recursos e da geração de resíduos, provocando impactos significativos sobre o meio ambiente. Algumas alternativas para se construir, reduzindo os impactos, envolvem o uso de materiais renováveis, como a palha, e de materiais minimamente processados, como a terra. Contudo, estes materiais pouco são referidos nos sistemas de classificação de edifícios ambientalmente amigáveis. Muitos edifícios, rotulados como sustentáveis, apenas refletem esforços para reduzir a energia incorporada e são, em muitos outros aspectos, convencionais.

Objetivo: considerando a lacuna identificada, o objetivo deste trabalho é realizar uma avaliação de sustentabilidade de uma habitação de interesse social, construída no meio rural, com fardos de palha, terra e cobertura verde. **Metodologia de pesquisa:** a estratégia geral de pesquisa utilizada foi o levantamento de um caso. A definição dos critérios de avaliação foi embasada naqueles tradicionalmente incluídos em métodos existentes, porém as formas de caracterização foram adaptadas a dados e procedimentos acessíveis ao contexto nacional. Além de critérios ambientais, foram incluídos outros, econômicos e sociais, devido à importância de uma abordagem pluridimensional. A apresentação dos resultados dos critérios ambientais em três escalas (da edificação, dos subsistemas e dos materiais) permite identificar os subsistemas e materiais com maior potencial de impactos, explicitando os pontos fracos da habitação, além de facilitar a comparação, total ou parcial, com os resultados obtidos em pesquisas semelhantes. **Resultados:** verificou-se a incorporação de grande quantidade de materiais que produzem emissões tóxicas, além de apresentarem um alto consumo energético para transporte. Em contrapartida, devido à utilização, predominante, de recursos pouco processados, identificou-se um baixo dispêndio de energia para manufatura de materiais e um potencial de reaproveitamento satisfatório. Os custos iniciais da edificação são baixos, em relação a habitações de interesse social construídas com materiais convencionais, e medianos, em relação àquelas que empregam materiais não convencionais. Em termos sociais, verificou-se que as soluções adotadas são adequadas para a autoconstrução e para o resgate da capacidade de trabalho em mutirão, e que o projeto não atende requisitos mínimos de acessibilidade.

Palavras-chave: avaliação de sustentabilidade; arquitetura e construção com terra; construção com fardos de palha.

ABSTRACT

BOHADANA, I.P.B. **Avaliação de habitação de interesse social rural, construída com fardos de palha, terra e cobertura verde, segundo critérios de sustentabilidade.** 2007. 178 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.

Assessment of a low-income rural house, built with straw bale, earth and a green roof, according to sustainability criteria

Proposal: the construction industry is responsible for a large consumption of energy and resources, and produces a large amount of wastes, determining considerable environmental impacts. Some alternatives to build in a way to reduce environmental impacts include the use of renewable materials and the use of materials which require minimum amount of processing, such as straw and earth. Nevertheless, these materials are hardly ever referred to in green building classification systems. Many buildings classified as environmentally friendly or green may simply reflect efforts to reduce the embodied energy and are, in most other aspects, conventional. **Objective:** considering the identified gap, this work's aim is to evaluate a low-income rural house, built with straw bales, earth and a green roof. **Methods:** the assessment criteria definition was based on those traditionally included in existent methods, but adapted in accordance to national accessible data and proceedings. Besides environmental criteria, others like social and economics, were included. The results presentation in three analysis scales (of the construction, as a whole, of the subsystems and of the materials) allows the identification of the potentially most impacting materials and subsystems, expliciting the dwelling weak points, and facilitates total or partial comparison with other similar researchs results. **Findings:** a large number of materials that emit toxic gases, besides having a high energy consumption for materials transport, was identified. However, due to the predominant use of materials with a minimum processing, a low energy consumption for materials production and a satisfactory reuse potential was identified. The dwelling's initial costs are low, if compared to low-income houses built with conventional materials, becoming average, in regard to those built with non-conventional materials. In social terms, it was verified that the construction solutions are suitable to self-building and to rescue the ability of working cooperatively, and that the dwelling's design does not supply the minimum requirement for spatial accessibility.

Key-words: sustainability assessment; earth construction; straw bale construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: cadeia de causa e efeito provocada pelo ciclo de vida de edificações	26
Figura 2: estrutura da avaliação do ciclo de vida	37
Figura 3: detalhes de uma parede portante de fardos de palha	51
Figura 4: casa espiral	51
Figura 5: sistema de paredes de fardos de palha não portantes	52
Figura 6: edificação residencial em Punta Ballena	52
Figura 7: diagrama dos diversos sistemas construtivos com terra, elaborado pelo grupo CRATerre	56
Figura 8: exemplares de edificações em adobe	57
Figura 9: exemplares de edificações em taipa de pilão	58
Figura 10: exemplares de edificações em pau-a-pique	58
Figura 11: desenhos esquemáticos e exemplar de edificação em terra empilhada	59
Figura 12: exemplares de coberturas verdes intensivas	60
Figura 13: exemplares de coberturas verdes extensivas	61
Figura 14: esquemas de construção de telhados planos e de telhados levemente inclinados	64
Figura 15: fluxograma da pesquisa	67
Figura 16: fronteiras do estudo	68
Figura 17: mapa de localização do município de Sentinela do Sul	80
Figura 18: figueira, búfalos e parte da produção de arroz da fazenda	81
Figura 19: vistas sudoeste e nordeste da edificação	82
Figura 20: peças gráficas do projeto da edificação	83
Figura 21: produção dos fardos de palha	85
Figura 22: fluxograma da cadeia de produção do subsistema em fardos de palha	85
Figura 23: curva de distribuição granulométrica do solo utilizado na construção da edificação	86
Figura 24: subsistema de fundações	87
Figura 25: imagens da edificação após a construção do subsistema de estrutura	89
Figura 26: subsistema de cobertura	90
Figura 27: subsistema de vedações externas	93
Figura 28: vedações internas executadas até o presente momento	94
Figura 29: subsistema de esquadrias	96
Figura 30: fluxo das etapas principais de construção da edificação	96
Figura 31: atividades iniciais da construção	97
Figura 32: atividades de construção da cobertura verde	98
Figura 33: fluxo da seqüência das atividades de construção da cobertura verde, ocorridas no curso de bioconstrução, em outubro de 2005	98
Figura 34: processo de corte dos fardos	98

Figura 35: processo de construção das vedações externas	99
Figura 36: preparação da mistura para preencher as imperfeições das paredes de fardos de palha	99
Figura 37: fluxo da seqüência das atividades de construção das vedações em fardos de palha, ocorridas no curso de bioconstrução, em outubro de 2005.....	99
Figura 38: processo de produção dos adobes	100
Figura 39: roda de discussões	100
Figura 40: parte do processo de execução do revestimento interno	101
Figura 41: alunas executando desenhos em alto relevo no interior da edificação	102
Figura 42: fluxo da seqüência de execução dos revestimentos internos	102
Figura 43: presença de uma criança na obra	102
Figura 44: execução do revestimento externo com esterco de gado	103
Figura 45: fluxo simplificado de massa e energia da edificação	108
Figura 46: consumo de recursos não reaproveitados.....	110
Figura 47: consumo de energia para transporte de materiais.....	112
Figura 48: emissões de CO ₂ decorrentes do transporte de materiais.....	113
Figura 49: distância dos produtores dos materiais incorporados à edificação	114
Figura 50: consumo de energia para processos de manufatura de materiais.....	118
Figura 51: consumo de recursos com médio ou alto grau de processamento	122
Figura 52: emissão de resíduos perigosos	125
Figura 53: consumo de recursos com baixo potencial de reaproveitamento	128
Figura 54: consumo de madeira nativa não certificada.....	131
Figura 55: dispêndio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município	138

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto brasileiro	29
Quadro 2: índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto internacional	30
Quadro 3: características dos caminhões de carga encontrados em rodovias nacionais	30
Quadro 4: potencial de reaproveitamento de alguns materiais de construção	34
Quadro 5: ferramentas de avaliação unidimensional da sustentabilidade	40
Quadro 6: ferramentas de avaliação bidimensional da sustentabilidade	40
Quadro 7: ferramentas de avaliação pluridimensional da sustentabilidade.....	41
Quadro 8: relação dos critérios de avaliação definidos, com os potenciais impactos e com as etapas do ciclo de vida	69
Quadro 9: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados ao subsistema de fundações	88
Quadro 10: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados ao subsistema de piso	88
Quadro 11: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados ao subsistema de estrutura	89
Quadro 12: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados ao subsistema de cobertura	91
Quadro 13: traços das argamassas de solo incorporadas ao subsistema de vedações externas	92
Quadro 14: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados ao subsistema de vedações externas	93
Quadro 15: traços do adobe e das argamassas de solo, incorporados ao subsistema de vedações internas	94
Quadro 16: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados ao subsistema de vedações internas	94
Quadro 17: quantitativos resumidos e custos dos materiais incorporados ao subsistema de esquadrias ..	95
Quadro 18: quantitativos, em massa, e custos dos materiais incorporados à edificação, por subsistema .	106
Quadro 19: quantitativos globais e custos dos materiais incorporados à edificação	107
Quadro 20: valores de consumo energético para transporte de materiais para subsistemas de vedações, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa	115
Quadro 21: valores de consumo energético para transporte de materiais para subsistemas de cobertura, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa	116
Quadro 22: valores de consumo energético para processos de manufatura de materiais de subsistemas de vedações, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa.....	119
Quadro 23: valores de consumo energético para processos de manufatura de materiais de subsistemas de cobertura, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa.....	119
Quadro 24: comparação, em anos, dos aportes energéticos para fabricação e transporte dos materiais da edificação; em relação ao consumo de energia para uso de edificação de mesmo padrão ..	121
Quadro 25: custos dos materiais incorporados à edificação	132
Quadro 26: custos de materiais empregados em habitações-padrão do DEMHAB, por subsistema	133
Quadro 27: custos de materiais empregados no protótipo Alvorada, por subsistema	134
Quadro 28: custos de materiais empregados na Casa Cerâmica, por subsistema	134
Quadro 29: custos de materiais empregados na Casa 1.0, por subsistema	134

Quadro 30: custos empregados a habitações de interesse social, construídas com materiais considerados não convencionais	136
Quadro 31: síntese dos requisitos mínimos de acessibilidade espacial considerados no presente trabalho	143
Quadro 32: síntese das caracterizações dos critérios de avaliação	146
Quadro 33: valores para conversão, em massa, dos materiais, e para os cálculos de argamassas e concretos	173
Quadro 34: custos dos materiais incorporados à edificação, com conversões para dólar e CUB	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: quantitativos do subsistema de fundações.....	166
Tabela 2: quantitativos do subsistema de piso.....	167
Tabela 3: quantitativos do subsistema de estrutura.....	167
Tabela 4: quantitativos do subsistema de cobertura	168
Tabela 5: quantitativos do subsistema de vedações externas.....	169
Tabela 6: quantitativos do subsistema de vedações internas	171
Tabela 7: quantitativos do subsistema de esquadrias.....	172
Tabela 8: caracterização do subsistema de fundações.....	175
Tabela 9: caracterização do subsistema de piso.....	175
Tabela 10: caracterização do subsistema de estrutura.....	176
Tabela 11: caracterização do subsistema de cobertura.....	176
Tabela 12: caracterização do subsistema de vedações externas	177
Tabela 13: caracterização do subsistema de vedações internas.....	178
Tabela 14: caracterização do subsistema de esquadrias.....	178

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 JUSTIFICATIVA	19
1.2 HIPÓTESES	20
1.3 OBJETIVOS	20
1.4 PRESSUPOSTOS	21
1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	21
1.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA	21
1.7 ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO	22
2 SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO CIVIL	23
2.1 O DEBATE SOBRE SUSTENTABILIDADE E SUAS DIMENSÕES	23
2.2 IMPACTOS GERADOS PELO SETOR DA CONSTRUÇÃO	25
2.2.1 Impactos Ambientais	25
2.2.1.1 Consumo de recursos naturais	27
2.2.1.1.1 <i>Consumo de recursos materiais</i>	27
2.2.1.1.2 <i>Consumo de energia</i>	28
2.2.1.2 Emissões e geração de resíduos	30
2.2.1.2.1 <i>Emissões aéreas</i>	31
2.2.1.2.2 <i>Efluentes</i>	32
2.2.1.2.3 <i>Resíduos sólidos</i>	33
2.2.2 Impactos Sociais e Econômicos	35
2.3 AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE EDIFICAÇÕES	36
2.3.1 Avaliação de Ciclo de Vida para produtos da construção	36
2.3.2 Métodos, instrumentos e ferramentas de avaliação de sustentabilidade de produtos da construção	39
2.3.3 Avaliação de sustentabilidade de produtos da construção no contexto brasileiro	43
2.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO	44
3 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM FARDOS DE PALHA, TERRA E COBERTURAS VERDES	46
3.1 O FARDO DE PALHA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	48
3.1.1 Vantagens e Desvantagens	49
3.1.2 Técnicas de construção com fardos de palha	51
3.2 A TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO	53
3.2.1 Vantagens e Desvantagens	53
3.2.2 Os solos	55
3.2.3 Técnicas de construção com terra	56
3.3 COBERTURAS VERDES	60

3.3.1 Vantagens e Desvantagens	61
3.3.2 Técnicas de construção de coberturas verdes	62
3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO	64
4 MÉTODO DE PESQUISA	66
4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA	66
4.1.1 Pesquisa bibliográfica	67
4.1.2 Definição do método de avaliação	67
4.1.2.1 Definição de escopo e fronteiras	68
4.1.2.2 Definição dos critérios de avaliação	69
4.1.2.3 Definição da forma de apresentação dos resultados	70
4.1.3 Coleta de dados	70
4.1.3.1 Dados relativos à edificação	70
4.1.3.2 Dados para a caracterização dos critérios de avaliação	71
4.1.4 Organização dos dados e quantificações	71
4.1.4.1 Cálculo das quantidades úteis	71
4.1.4.2 Identificação dos custos	72
4.1.5 Apresentação e análise dos resultados	73
4.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E FORMAS DE CARACTERIZAÇÃO	73
4.2.1 Consumo de recursos não reaproveitados	73
4.2.2 Consumo de energia e emissões de CO ₂ relativas a transporte	74
4.2.3 Consumo de energia para processos de manufatura	74
4.2.4 Consumo de recursos com alto ou médio grau de processamento	75
4.2.5 Emissão de resíduos perigosos	75
4.2.6 Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento	76
4.2.7 Consumo de madeira nativa não certificada	76
4.2.8 Custo de aquisição de materiais	76
4.2.9 Dispendio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município	77
4.2.10 Tipo de mão-de-obra utilizada na construção	77
4.2.11 Educação no processo de construção	77
4.2.12 Segurança do trabalho no canteiro de obras	78
4.2.13 Acessibilidade espacial	78
4.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO	78
5 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO	80
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	80
5.2 PROJETO DA EDIFICAÇÃO	82
5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS LOCAIS	84

5.3.1 Os fardos de palha de arroz	84
5.3.2 O solo e a areia utilizados na construção	86
5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSISTEMAS EM ESTUDO	87
5.4.1 Fundações	87
5.4.2 Piso	88
5.4.3 Estrutura	88
5.4.4 Cobertura	89
5.4.5 Vedações Externas	91
5.4.6 Vedações Internas	93
5.4.7 Esquadrias	95
5.5 DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO	96
5.5.1 Atividades iniciais	96
5.5.2 Curso de bioconstrução com Gernot Minke	97
5.5.3 Cursos de bioconstrução com Kareen Herzfeld	101
5.5.4 Execução do revestimento externo	103
5.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO	104
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	105
6.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	105
6.1.1 Consumo de recursos não reaproveitados	109
6.1.2 Consumo de energia e emissões de CO ₂ relativas a transporte	111
6.1.3 Consumo de energia para processos de manufatura	117
6.1.4 Consumo de recursos com alto ou médio grau de processamento	121
6.1.5 Emissão de resíduos perigosos	123
6.1.6 Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento	127
6.1.7 Consumo de madeira	129
6.1.8 Custo de aquisição de materiais	132
6.1.9 Dispêndio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município	137
6.1.10 Tipo de mão-de-obra utilizada na construção	139
6.1.11 Educação no processo de construção	140
6.1.12 Segurança do trabalho no canteiro de obras	142
6.1.13 Acessibilidade espacial	142
6.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A EDIFICAÇÃO	144
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	151
REFERÊNCIAS	155
APÊNDICE A – MATERIAIS INCORPORADOS NOS SUBSISTEMAS DA EDIFICAÇÃO: COMPOSIÇÕES, QUANTIDADES E CUSTOS	165
APÊNDICE B – SÍNTESE DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS	174

1 INTRODUÇÃO

Não existem mais dúvidas de que o planeta está passando por uma crise ambiental de grandes proporções. O modelo de desenvolvimento capitalista, baseado no consumo sem limites, está exercendo uma pressão muito forte sobre os recursos naturais e a capacidade de sustentação da diversidade de vida na Terra está ameaçada. O desenvolvimento industrial convencional, como praticado há cerca de dois séculos, está se mostrando inerentemente insustentável e a degradação ambiental está embutida na paisagem atual, especialmente nas cidades. Lyle (1994) afirma que os seres humanos substituíram os intermináveis ciclos e reciclagens da natureza por um sistema unidirecional, movendo os materiais de suporte à vida, de suas fontes, após o seu consumo, para os depósitos. Segundo o autor, isto configura um padrão de degeneração. Com os materiais tomados da Terra a taxas bem maiores do que podem ser repostos, as fontes, provavelmente, diminuirão, configurando a crise moderna de esgotamento de recursos e degradação. O autor assegura que os dados globais a respeito de desflorestamento, desertificação, salinização, erosão do solo, perdas de hábitat e outras patologias da paisagem descrevem, claramente, esse processo.

A indústria da construção civil é uma das principais responsáveis pelo problema. Praticamente todas as atividades humanas necessitam de um ambiente construído para se desenvolverem, seja direta ou indiretamente. A construção de edifícios e de obras de infra-estrutura gera impactos desde a extração de matérias-primas até a fase de demolição. Segundo John (2000), a cadeia produtiva da construção civil é uma das maiores da economia, sendo esse setor o que mais consome recursos naturais. Além disso, é um dos mais poluentes, grande consumidor de energia e água e, conseqüentemente, gerador de grande impacto.

A maioria dos materiais de construção utilizados nas edificações modernas resulta do uso de processos intensivos em consumo de energia. As indústrias de alumínio, aço, cimento, madeira compensada, vidro e outros materiais consomem grandes quantidades de energia, geradas pela queima de carvão e petróleo, por usinas hidrelétricas ou nucleares. Os procedimentos de manufatura também liberam efluentes tóxicos na água e poluentes químicos no ar. A indústria de cimento, por exemplo, é responsável por emissões significativas de gases que provocam o aquecimento global. Adicionalmente, depois de produzidos, esses materiais dependem de veículos que emitem gases poluentes para o seu transporte até o canteiro de obras, e, ao término da sua vida útil, necessitam de energia para processos de reciclagem ou de aterros sanitários para sua disposição final.

Diante desse cenário, ressalta-se que a busca por construções mais sustentáveis transcende à simples melhoria da eficiência energética da edificação. Para Woolley (2000), em edifícios sustentáveis há esforços para reduzir os impactos relacionados aos materiais no que concerne à energia incorporada e à origem dos mesmos. O autor sugere o uso de materiais renováveis, pois serão naturalmente repostos; o uso de materiais que requeiram

mínimo processamento, energia e transporte; o uso de materiais naturais e saudáveis, que não emitam substâncias tóxicas durante sua produção, instalação ou uso da edificação.

Os impactos ambientais gerados pelo setor da construção são mais mensuráveis, porém não se pode negar os impactos sociais e econômicos. Especialmente nos países em desenvolvimento, onde a demanda por habitação e infra-estrutura é muito grande, os impactos ambientais são potencializados ao serem associados a problemas sociais e econômicos, o que, conseqüentemente, exerce muita pressão sobre os recursos naturais.

Lyle (1994) aponta que, na história da humanidade, o ser humano contou com poucos materiais diferentes para construir suas edificações e que o homem contemporâneo é único na utilização de uma ampla gama de materiais. Vivas (2000) destaca que a cultura, em seu início, era a cultura dos biomateriais. A terra ocupava um lugar privilegiado nesse processo, adquirindo qualidades únicas como material de construção, quando unida com outros materiais biológicos, como palha, ramos e excremento de animais.

Nesta conjuntura, considera-se importante o resgate de materiais e tecnologias construtivas vernaculares. O uso da terra como material de construção foi relegado às construções rurais e de recursos escassos, segundo Claverán (2000), a partir do início do século XX, quando o uso do tijolo queimado e do cimento Portland atingiu o auge. Gradualmente, os bons construtores e os bons especialistas se focaram na construção da vivenda de tijolo e cimento ou nas estruturas metálicas, esquecendo-se das antigas tecnologias de terra. Adicionalmente, ressalta-se a dificuldade de acesso das tecnologias de terra ao meio acadêmico neste momento, pois este se voltara para o desenvolvimento do aço e do cimento, materiais, aparentemente, com potencial infinito e sem limites tecnológicos.

A partir da década de 70, com a crise energética, materiais como concreto, aço e vidro, símbolos do modernismo, passaram a ser vistos como materiais que consomem energia e a terra ressurgiu como possível opção. Passou-se a buscar alternativas de construção de baixo gasto energético e a partir daí, a pesquisa sobre construções com terra foi retomada. De acordo com Alvarenga (1995), isto se deu em um contexto no qual a tecnologia é considerada a partir das relações com o homem e com o meio ambiente, e as técnicas da arquitetura de terra passam a ser novamente estudadas, em função de suas características térmicas, passíveis de criarem edifícios bioclimáticos e adequados ao conforto ambiental humano. No final dos anos 70 e início dos anos 80, ressurgiu também, nos Estados Unidos, a construção com fardos de palha, que surgira no final do século XIX, porém, na época, não se tornara popular. Este renascimento foi motivado, principalmente, por questões ambientais, como energia, poluição, desmatamento e depreciação de recursos naturais.

No entanto, no Brasil, ainda são relativamente reduzidas as ações envolvendo pesquisas acadêmicas sobre construções com terra, além de não terem sido identificados estudos sobre construções com fardos de palha. Isso dificulta a divulgação e a maior utilização das tecnologias, havendo, ainda, muita resistência à sua utilização. Perante esse contexto, considera-se importante o incentivo a estudos e pesquisas relativos a essas

tecnologias, que serão descritas com mais detalhes no capítulo 3, bem como a construção de edificações de referência. Compreende-se que, dentro de uma visão de sustentabilidade, a revitalização do uso destes materiais de construção seja de extrema importância.

1.1 JUSTIFICATIVA

Um grande número de trabalhos (HOWARD *et al.*, 1998 apud WOOLEY, 2000; CROWHURST, 1999 apud WOOLEY, 2000; LIPPIATT, 2002; COLE; LARSSON, 2002) tem discutido como mudar as práticas do setor da construção civil, no sentido de reduzir o consumo energético e a geração de resíduos, e diversos indicadores e critérios têm sido propostos para definir práticas mais sustentáveis na indústria da construção, como os relativos a emissões, água, energia, resíduos, qualidade do ambiente interno, entre outros. Essas discussões, no entanto, na maioria das vezes estão relacionadas a materiais e técnicas convencionais. Ambientalistas, por outro lado, têm tentado construir com materiais naturais, que normalmente não são regulamentados. Esses materiais geralmente envolvem o uso da terra, apesar desse material raramente ser referido nos sistemas de classificação de edifícios verdes (WOOLEY, 2000).

Diversas metodologias têm sido desenvolvidas para avaliar o impacto ambiental dos materiais de construção e para fazer análise de ciclo de vida de produtos e projetos de edifícios. A avaliação de produtos da construção é de grande importância, pois poderá contribuir no processo de tomada de decisão de futuros projetos, por meio da explicitação das consequências de cada produto ou solução, passíveis de serem introduzidas em um projeto, levando a decisões também ambientalmente otimizadas. Entretanto, muitos edifícios classificados como ambientalmente amigáveis ou verdes refletem apenas esforços para reduzir a energia incorporada e são, em muitos outros aspectos, convencionais, tanto na aparência quanto na construção.

Wooley (2000) aponta que é essencial que materiais naturais e métodos construtivos como taipa de pilão, fardos de palha, entre outros, sejam avaliados por essas metodologias. Assim, seria possível a comparação entre materiais genuinamente mais sustentáveis e os convencionais. O autor sugere, ainda, que os valores de desempenho dos materiais potencialmente mais sustentáveis poderiam ser usados como referenciais dos sistemas de avaliação. Assim as pontuações seriam baseadas em materiais que são verdadeiramente eficientes energeticamente, de baixo impacto, não poluentes, saudáveis, disponíveis, duráveis e recicláveis.

Nesse sentido, considerando a importância da avaliação de edificações para tomadas de decisões durante o processo de projeto, e considerando a lacuna identificada na promoção de materiais “alternativos” nos sistemas de avaliação, ocorre a escolha de uma habitação construída com as técnicas de fardos de palha, adobe e cobertura verde, como objeto de avaliação, nesta dissertação. Entre as experiências que vêm sendo

desenvolvidas no estado do Rio Grande do Sul, elege-se o protótipo de habitação de interesse social rural¹, construído no município de Sentinela do Sul, devido ao caráter científico da edificação, desenvolvida pelo Laboratório de Construções Experimentais da Universidade de Kassel, Alemanha, e pela relevância do tipo de edificação, frente à realidade brasileira. A edificação está construída na Fazenda Capão Alto das Criúvas, produtora de arroz orgânico e biodinâmico.

1.2 HIPÓTESES

Como hipótese principal de pesquisa, sustenta-se que a utilização predominante de materiais de construção naturais, pouco processados, e disponíveis no local, tende a aumentar a sustentabilidade de habitações, sob o ponto de vista ambiental, econômico e social.

A partir da hipótese principal, as hipóteses intermediárias do trabalho são:

- a) a utilização predominante de materiais naturais locais, na construção de uma habitação, reduz as cargas ambientais geradas pela edificação;
- b) a utilização predominante de materiais naturais locais reduz os custos da habitação;
- c) a utilização predominante de materiais naturais locais permite um processo de construção que contribui para o fortalecimento das relações sociais.

1.3 OBJETIVOS

A partir das hipóteses de pesquisa, são estabelecidos os objetivos deste trabalho. O objetivo principal da pesquisa é avaliar um exemplar de habitação de interesse social rural, construído com fardos de palha, terra e cobertura verde, a partir de critérios de sustentabilidade.

Para alcançar o objetivo principal, são estabelecidos os seguintes objetivos intermediários:

- a) definir os critérios de avaliação de sustentabilidade, com base nos métodos de avaliação existentes e em dados nacionais disponíveis para essa caracterização;
- b) caracterizar e analisar as cargas ambientais relacionadas aos materiais e subsistemas empregados na edificação;

¹ No Brasil, o termo “interesse social” é constitucionalmente incorporado às políticas habitacionais para os setores de população de baixa renda (LARCHER, 2005). Neste trabalho, adota-se a terminologia interesse social rural para fazer referência a habitações produzidas para ou pela população de baixa renda da zona rural, a exemplo de agricultores familiares de assentamentos rurais.

- c) identificar e analisar os custos de aquisição dos materiais empregados nos subsistemas da edificação em estudo, implantados até o momento;
- d) realizar uma análise qualitativa de aspectos sociais relativos à edificação.

1.4 PRESSUPOSTOS

Esta pesquisa parte dos seguintes pressupostos:

- a) os materiais de construção e subsistemas que compõem uma edificação apresentam, ao longo de seu ciclo de vida, potenciais de impactos positivos e negativos, passíveis de uma caracterização, por meio de critérios de avaliação;
- b) os critérios de avaliação a serem definidos e aplicados deverão estar baseados em dados disponíveis, aplicáveis ao contexto nacional.

1.5 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

Foram estabelecidas as seguintes delimitações para este trabalho:

- a) a avaliação é realizada na escala de subsistemas da edificação, entendidos como um conjunto de materiais interconectados, que desempenham uma função específica;
- b) não são avaliadas as instalações elétricas e hidráulicas da edificação em estudo, por não estarem implantadas, nem possuírem projeto até a realização desta pesquisa;
- c) não são avaliados aspectos relativos ao conforto ambiental, uma vez que seria necessário monitoramento específico para a obtenção de dados de desempenho;
- d) não são avaliadas as perdas decorrentes do processo de construção, pois a obra não contou com tabela de quantitativos de materiais, tampouco os proprietários arquivaram as notas de compras dos materiais;
- e) a análise de custos delimita-se aos custos de aquisição dos materiais dos subsistemas estudados, excluindo-se os custos de mão-de-obra, uma vez que a edificação foi projetada para a autoconstrução e teve sua maior parte construída em cursos de bioconstrução.

1.6 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

A principal limitação deste trabalho concerne à impossibilidade de se avaliar a durabilidade dos materiais e subsistemas incorporados à edificação, por meios que não sejam arbitrários. Dessa forma, a avaliação ambiental e de custos é realizada considerando-se, apenas, os materiais empregados na construção da edificação.

Compreende-se que esta não é a forma ideal de avaliação, por não considerar os potenciais impactos e os custos associados à substituição de materiais, e por conferir restrições à comparação direta entre diferentes habitações. No entanto, foi aquela viável, dentro dos limites de tempo e recursos de uma dissertação de mestrado.

1.7 ESTRUTURA DESTA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação está estruturada em sete capítulos, sendo que neste primeiro apresentou-se o contexto mais amplo no qual a pesquisa está inserida, sua justificativa, as hipóteses, os objetivos, os pressupostos, as delimitações e limitações da pesquisa, além da estrutura da dissertação.

O segundo capítulo, fruto de pesquisa bibliográfica, expõe as relações entre sustentabilidade, construção civil e impactos gerados pela indústria da construção. São apresentados aspectos contextuais ao tema, os principais impactos envolvidos em cada etapa do ciclo de vida de materiais de construção, incluindo dados específicos encontrados para o contexto brasileiro, além de uma abordagem sobre métodos de avaliação de sustentabilidade de edificações.

O capítulo três, também derivado de pesquisa bibliográfica, traz uma abordagem sobre alguns materiais e sistemas construtivos considerados de baixo impacto. Questões sobre o fardo de palha como material de construção, a terra como material de construção, e sobre coberturas verdes são tratadas neste capítulo.

O quarto capítulo apresenta a metodologia de pesquisa, a partir do delineamento da pesquisa, com o detalhamento das etapas, e da descrição do método de avaliação.

No capítulo cinco, descreve-se o objeto de estudo, com uma breve abordagem sobre o local onde está construído, o projeto da edificação, a caracterização dos subsistemas em estudo e a descrição do processo construtivo.

O capítulo seis apresenta os resultados da avaliação e, por fim, o capítulo sete traz as considerações finais e recomendações para futuros trabalhos.

2 SUSTENTABILIDADE E CONSTRUÇÃO CIVIL

Este capítulo, resultante de pesquisa bibliográfica, traz a discussão sobre sustentabilidade, suas dimensões, princípios e a construção sustentável. Além disso, trata de esclarecer os impactos dos produtos da construção civil e traz uma abordagem sobre métodos e ferramentas de avaliação de edificações. Entretanto, não se pretende esgotar o debate, apenas introduzir os conceitos considerados relevantes ao trabalho.

2.1 O DEBATE SOBRE SUSTENTABILIDADE E SUAS DIMENSÕES

A formulação do conceito de desenvolvimento sustentável é, geralmente, atribuída a *Brundtland Report*, relatório publicado em 1987, que o define como aquele que permite o atendimento das necessidades humanas atuais, porém sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem as suas próprias necessidades. Em debate mais atual, Plessis (2002, p.6) define sustentabilidade como “*a condição ou estado que permite a continuidade da existência da espécie humana, e proporciona uma vida segura, saudável e produtiva, em harmonia com a natureza e com os valores culturais e espirituais locais*”.

Das conjecturas de Sachs (1986), sobre o ecodesenvolvimento, considera-se importante o resgate dos conceitos de solidariedade diacrônica para com as gerações futuras e de seu princípio gêmeo de solidariedade sincrônica para com as gerações contemporâneas. O autor aponta que a preocupação ecológica não deve se dissociar da preocupação com a equidade social. Estes princípios sugerem ainda a importância de se preservar a diversidade cultural, atuando no sentido de que todas as culturas coexistam em condições de respeito mútuo.

Silva e Shimbo (2001) apresentam uma síntese das características básicas presentes no conceito de sustentabilidade. Entre outros aspectos, os autores apontam o caráter holístico, destacando que a sustentabilidade é pluridimensional, envolvendo aspectos ambientais, econômicos, sociais, políticos e culturais, sendo que novas dimensões podem ser acrescentadas, se o problema em questão assim o exigir. Além disso, os autores destacam que existe um vínculo indissociável entre esses aspectos e que, a amplitude de interações que são contempladas em suas considerações demanda a confluência de diferentes áreas do conhecimento, tanto para a construção de suas compreensões teóricas como de suas ações práticas.

A partir do estudo dos princípios discutidos por diversos autores, como Sachs (1986), Mitchell *et al.* (1995 apud SILVA; SHIMBO, 2001); Curwell e Cooper (1998 apud SILVA; SHIMBO, 2001) e *Sustainable Seattle* (1998 apud SILVA; SHIMBO, 2001), Silva e Shimbo (2001) propõem as seguintes dimensões da sustentabilidade:

a) ambiental – manutenção da integridade ecológica por meio da prevenção das várias formas de poluição, da prudência na utilização dos recursos naturais, da preservação da diversidade da vida e do respeito à capacidade de carga dos ecossistemas;

b) social – viabilização de uma maior equidade de riquezas e de oportunidades, combatendo-se as práticas de exclusão, discriminação e reprodução da pobreza e respeitando-se a diversidade em todas as suas formas de expressão;

c) econômica – realização do potencial econômico que contemple prioritariamente a distribuição de riqueza e renda associada a uma redução das externalidades socioambientais, buscando-se resultados macrosociais positivos;

d) política – criação de mecanismos que incrementem a participação da sociedade nas tomadas de decisões, reconhecendo e respeitando os direitos de todos, superando as práticas e políticas de exclusão e que promovam o desenvolvimento da cidadania ativa;

e) cultural – promoção da diversidade e identidade cultural em todas as suas formas de expressão e representação, especialmente daquelas que identifiquem as raízes endógenas, propiciando também a conservação do patrimônio urbanístico, paisagístico e ambiental, que referenciem a história e a memória das comunidades.

As discussões atuais enfatizam o caráter de indissociabilidade das dimensões, as quais são dependentes umas das outras, e devem estar relacionadas a um determinado local e tempo. Yuba (2005) ressalta que a visão compartimentada e focalizada em uma dimensão limita uma apropriada exploração da realidade, o que não contribui para a visão de sustentabilidade, de modo que, para uma análise da sustentabilidade, deve-se garantir uma inter-relação entre as dimensões.

O setor da construção civil vem acompanhando o debate. O *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (1999) reconhece que, nos esforços internacionais para o alcance de sociedades mais sustentáveis, provavelmente, nenhum outro setor da indústria tenha um papel tão fundamental quanto o da construção.

Segundo Plessis (2002, p. 8), “*construção sustentável é um processo holístico que aspira a restauração e manutenção da harmonia entre os ambientes natural e construído, e a criação de assentamentos que afirmem a dignidade humana e encorajem a equidade econômica*”. A autora afirma que a construção e o gerenciamento do ambiente construído devem ser encarados dentro da perspectiva de ciclo de vida. Os materiais de construção não apenas devem ser produzidos de forma sustentável, mas também devem atender a novos requisitos ambientais mais holísticos. Além disso, o conceito transcende à sustentabilidade ambiental para abraçar a sustentabilidade econômica e social, que enfatiza a adição possível do valor à qualidade de vida dos indivíduos e das comunidades.

Ao discorrer sobre aspectos tecnológicos, Sachs (1986) aponta certas diretrizes, algumas das quais aplicáveis à construção. Quanto à dimensão ambiental, o autor recomenda a preferência pelos recursos renováveis disponíveis localmente e a economia dos recursos não renováveis. Com relação à dimensão econômica, o autor sugere nível mínimo de produção, minimização dos custos de acesso à tecnologia e preferência por técnicas

intensivas em mão-de-obra e pouco intensivas em capital. E com relação ao aspecto sócio-cultural, adaptação da tecnologia às formas locais de modo de vida e de hábitat.

Diversas são as barreiras que dificultam a efetiva implantação dos conceitos de sustentabilidade no setor da construção. Nos países em desenvolvimento, entre outros entraves, Plessis (2002) destaca a falta de interesse pelos agentes envolvidos, pois se trata de um setor extremamente conservador, em que as empresas seguem os padrões de consumo dos clientes, que geralmente cultuam a modernidade e os modelos de desenvolvimento dos países desenvolvidos. Além disso, a autora aponta como obstáculo a ausência de confiança em soluções e tradições locais, o que acaba gerando dependência tecnológica dos países desenvolvidos e impede a criação e aprimoramento de tecnologias próprias. Ressalta-se que este último empecilho vem de encontro com as soluções adotadas por comunidades sustentáveis internacionalmente reconhecidas, que em sua maioria buscam alternativas construtivas com materiais disponíveis localmente, seja por meio da utilização de materiais naturais, seja por meio da reutilização de materiais e componentes.

2.2 IMPACTOS GERADOS PELO SETOR DA CONSTRUÇÃO

A maioria das atividades humanas que impactam o meio ambiente estão relacionadas à indústria da construção civil. Para Plessis (2002), esses impactos podem ser mitigados por meio de mudanças nas práticas do setor da construção. A autora destaca, ainda, que apesar de os impactos ambientais serem mais mensuráveis, não se pode negar os impactos sociais e econômicos.

2.2.1 Impactos Ambientais

Os impactos das edificações ao meio ambiente se apresentam de várias formas. Enquanto alguns efeitos, tais como os ruídos e a sujeira causados durante o processo de construção, são transitórios, outros podem ter impactos permanentes, como as emissões de dióxido de carbono pela queima de combustíveis (HARRIS, 1999). A diversidade e a complexidade desses impactos são de difícil caracterização.

Em todos os estágios da vida de uma edificação, assim como de outros produtos, há interações com o meio ambiente. A partir desse fato, segundo Lippiatt (2002), surge a abordagem de ciclo de vida, baseada no princípio de que todos os estágios da vida de um produto geram impactos, que devem ser analisados, incluindo a aquisição de matérias-primas, os processos de manufatura, o transporte, a instalação, a operação, a manutenção, a reciclagem e o gerenciamento de resíduos.

O processo de construção inclui uma série de transformações físicas. Cada transformação gera transformações adicionais, e assim sucessivamente, acarretando em uma cadeia de causa e efeito (IEA ANNEX 31, 2004a). Essa seqüência de transformações costuma ser analisada nos estágios de cargas e efeitos ambientais. As cargas ambientais, segundo a IEA ANNEXA 31 (2004a), são intervenções diretas no meio ambiente, apresentando-se em forma de emissões ao ar, ao solo e à água, consumo de recursos naturais, e de geração de ruídos, odores e poluição em geral. Os efeitos ambientais ou efeitos potenciais referem-se às respostas primárias do ambiente circundante, tais como potencial de aquecimento global, potencial de acidificação, potencial de depleção da camada de ozônio. Os impactos ambientais, então, ocorrem como resultado dos efeitos ambientais e envolvem, geralmente, aparente perda ou ganho para a sociedade, para um grupo de pessoas ou para um indivíduo específico. A figura 1 mostra as relações entre o ciclo de vida de uma edificação, suas cargas ambientais, seus efeitos e seus impactos.



Figura 1: cadeia de causa e efeito provocada pelo ciclo de vida de edificações (baseado em IEA ANNEX 31, 2004a, p. 2)

Bare *et al.* (2000 apud *UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, 2003*) afirmam que mensurar os impactos finais das cadeias de causa e efeito é mais complexo do que mensurar os impactos intermediários ou os efeitos das cargas ambientais. Os autores apontam a ausência de dados confiáveis e de modelos robustos que apoiem a previsão dos impactos finais. Desta forma, de acordo com *UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME (2003)*, diversas abordagens baseiam-se na avaliação de impactos potenciais, como a abordagem do ciclo de vida, caracterizando as cargas ambientais de mais fácil previsão e associando-as com possíveis conseqüências ambientais.

Neste trabalho, as principais cargas ambientais associadas a diferentes etapas do ciclo de vida das edificações foram reunidas em dois grupos: consumo de recursos naturais e emissões e geração de resíduos. Essas cargas, bem como os dados nacionais encontrados para sua quantificação são apresentados nos itens seguintes.

2.2.1.1 Consumo de recursos naturais

Segundo Lago e Pádua (1992), recurso natural é a denominação dada aos elementos da natureza em referência ao seu potencial de uso para os seres humanos. Os recursos animais e vegetais são considerados renováveis, enquanto que os minerais e fósseis são considerados não-renováveis. A sobrevivência de uma espécie que necessite desses recursos dependerá da garantia de reprodução dos recursos renováveis e da preservação das reservas de recursos não-renováveis. Essas condições eram facilmente cumpridas pelas comunidades humanas primitivas. Contudo, com o advento da revolução industrial, estabeleceu-se uma economia baseada numa tecnologia altamente consumidora de matérias-primas e de energia, e a vida do homem na Terra foi substancialmente alterada.

2.2.1.1.1 Consumo de recursos materiais

Diversos impactos estão associados à extração de recursos. Essas atividades normalmente envolvem danos a vegetações nativas e cursos d'água, degradação de habitats e conseqüente perda de biodiversidade. Atividades de mineração e extração destroem a camada superficial do solo, de áreas que ainda possuem vegetação nativa, uma vez que ocorrem, usualmente, em áreas com baixo potencial para agricultura. A mineração também afeta a biodiversidade, ao poluir o ar e a água (PREECE; *GREEN INNOVATIONS*, 2005). A principal conseqüência da exploração de recursos materiais, contudo, é a redução da sua disponibilidade na natureza e, num extremo, a exaustão de reservas, de modo que seu uso sustentável está ligado à capacidade do ambiente de reproduzi-los.

Costuma-se classificar os recursos em abundantes e não abundantes, de acordo com sua disponibilidade na superfície terrestre. Contudo, essa classificação é subjetiva, pois exige que seja fixado um tempo mínimo de disponibilidade de reservas, além de ser difícil precisar os estoques da maioria dos recursos. Diversos autores adotam distintos horizontes de tempo. Em nível global, alguns recursos são considerados como não abundantes por Lippiatt (2002): a bauxita, o minério de ferro, o cobre, o zinco, o chumbo e a gipsita, que são necessários à produção de materiais como alumínio, aço e cimento. O Balanço Mineral Brasileiro (DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, 2001), que considera a dimensão econômica, aponta o calcário, necessário para a fabricação de cal, cimento, aço e vidro, e outras rochas, utilizadas na produção de pedra britada, como não abundantes.

Destaca-se, ainda, a importância da análise da procedência dos materiais, a fim de garantir que o produto utilizado seja extraído de maneira criteriosa. Isto é especialmente relevante para recursos renováveis, como a madeira, para garantir sua capacidade de regeneração. Segundo o IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003), com a exaustão das florestas nativas do Sul e do Sudeste, a construção civil brasileira passou a ser abastecida, principalmente, por madeiras da região amazônica, e também, por madeiras de florestas plantadas de *pinus* e eucalipto. Estas, no entanto, apesar de evitarem o uso de madeira da Amazônia,

podem causar estragos, se critérios sócio-ambientais não forem incluídos no plantio, de modo que, a única garantia de que a madeira foi obtida de forma ambientalmente correta é o fato de ter certificação, que pode ser obtida para madeiras tanto de florestas nativas manejadas, quanto de reflorestamentos (*GREENPEACE BRASIL*, 1998; *AMIGOS DA TERRA*, 2003). No Brasil, estão disponíveis os sistemas de Certificação do Inmetro e do *Forest Stewardship Council* (FSC), porém, segundo o Conselho Brasileiro de Manejo Florestal (apud *AMIGOS DA TERRA*, 2003), a produção certificada ainda equivale a menos de 5% do consumo total do país. Ainda no contexto do uso da madeira na construção, o IPT (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2003) elaborou um manual com alternativas para as espécies tradicionais, ameaçadas de extinção. Diante disto, contudo, considera-se ainda não haver solução satisfatória para a madeira na construção brasileira.

2.2.1.1.2 Consumo de energia

A maior parte dos eventos do ciclo de vida de uma edificação envolve consumo energético. Para a IEA ANNEX 31 (2004a), este é o parâmetro mais importante a ser considerado na avaliação de impactos de edificações ao meio ambiente, uma vez que seu consumo está associado a sérios impactos globais, como as mudanças climáticas, e ao esgotamento de recursos naturais. Além desses fatores, Harris (1999) aponta a facilidade com que o consumo energético pode ser mensurado, como fator determinante para a ênfase dada a este critério nas ferramentas de avaliação.

É importante destacar que as implicações ambientais do consumo energético variam de acordo com a fonte de energia. Fontes renováveis como solar, eólica, geotérmica, biomassa e hidrelétrica podem apresentar impactos substancialmente menores e se mostram mais sustentáveis em longo prazo (IEA ANNEX 31, 2004a). Entretanto, conforme aponta Januzzi (2000 apud MIGUEL, 2004) não existe geração de energia sem impacto ambiental e esse impacto só poderá ser reduzido com a diminuição do consumo.

Tradicionalmente, classifica-se a energia consumida por uma edificação em operacional e embutida. Entende-se como energia operacional aquela associada à etapa de uso da edificação, para climatização, iluminação e operação de equipamentos, enquanto que a energia embutida está relacionada aos processos de produção da edificação, da aquisição dos recursos naturais à entrega do produto final (MILNE; REARDON, 2005).

Milne e Reardon (2005) destacam que enquanto a energia operacional da edificação pode facilmente ser mensurada, a energia embutida na construção é difícil de ser avaliada. A análise desta pode ser efetuada em diferentes níveis. Segundo Harris (1999), em um nível primário, a energia embutida em um produto poderia ser determinada a partir da razão entre a energia despendida na indústria pelo número de peças produzidas. Milne e Reardon (2005) apontam que o cômputo da energia embutida depende das fronteiras estabelecidas no processo de avaliação, podendo incluir a energia utilizada no transporte de materiais e operários ao canteiro de obras; a energia gasta na fabricação dos materiais (apenas do envelope da edificação ou da construção como um todo,

incluindo equipamentos de banheiro e cozinha, pavimentação externa, entre outros); a energia embutida na infra-estrutura urbana. Os autores afirmam que o cálculo ideal da energia embutida deveria incluir todos esses processos e ainda outros, mas reconhecem que isto é usualmente impraticável. Assim sendo, a maior parte das pesquisas se concentra na energia requerida para os processos de manufatura dos materiais, o que é consideravelmente mais simples de quantificar. Isto inclui a energia utilizada no transporte das matérias-primas à fábrica, porém não inclui a energia usada no transporte do produto final ao local da obra.

Dois conceitos básicos são geralmente usados na análise do consumo energético relativo à extração e fabricação de materiais de construção. O índice energético é definido pela energia necessária para a produção de uma unidade de massa de um determinado material, usualmente medido em MJ/kg, e o conteúdo energético incorporado à edificação é determinado por meio da multiplicação do índice energético pela massa total de material utilizada (MILNE; REARDON, 2005).

O quadro 1 apresenta índices energéticos para materiais de construção, disponíveis no Brasil, provenientes de diversas fontes, que adotam distintas fronteiras de análise. Verifica-se que estão disponíveis dados sobre poucos materiais e que alguns estão relacionados a pesquisas realizadas há mais de vinte anos, o que pode ser considerado muito tempo. Além disso, para os materiais cujos dados ainda não foram produzidos ou divulgados no Brasil, considera-se como única alternativa, a utilização de dados estrangeiros. Admite-se que esta não seja a forma ideal, mas uma estimativa aproximada. O quadro 2 apresenta índices energéticos estrangeiros para materiais tradicionalmente utilizados na construção civil brasileira, não encontrados no contexto nacional.

Material	Índice (MJ/kg)	Fonte	Observações
Aço	25,58	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo
Aço galvanizado	32,46	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	
Alumínio	98,82	Brasil (1982 apud SPERB, 2000)	
Areia / Pedra britada	0,07	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	
Bloco de granito	Desprezível	Kuhn (2006)	-
Cal virgem ou hidratada	2,35	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo
Cimento Portland	1,88 ¹	Carvalho (2002)	Não está incluído energia para transporte de matérias primas
Placa Cerâmica esmaltada PI IV	7,45	Pereira (2004)	Valor referente à média de 2 indústrias do estado de SC; incluem processo de embalagem ⁵
Policloreto de vinila (PVC)	74,33	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo
Telha cerâmica não esmaltada	9,73	Manfredini (2003)	Valor referente a uma única indústria
Tijolo cerâmico (maciço)	2,21	Manfredini (2003)	Valor referente à média de três indústrias do estado do RS
Tijolo cerâmico (6 furos)	3,28	Soares; Pereira (2004)	Valores referentes à média de duas indústrias do estado de SC
Vidro plano	27,93	Guimarães (1985 apud SPERB, 2000)	Não há especificação sobre os processos incluídos e excluídos do cômputo

¹ Cimento com adição de 50% de cinza volante (CARVALHO, 2002)

Quadro 1: índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto brasileiro (baseado em KUHN, 2006)

Material	Índice (MJ/kg)	Fonte
Madeira dura seca ao ar livre	0,5	Lawson (1997 apud BARBOSA; INO 2001)
Compensado	10,4	Lawson (1997 apud BARBOSA; INO 2001)
Polietileno (PE)	87,0	Cole e Rosseau (1992 apud SPERB, 2000)

Quadro 2: índices energéticos de materiais de construção disponíveis no contexto internacional (baseado em KUHN, 2006)

As atividades de transporte, durante o ciclo de vida de uma edificação, estão presentes em quase todas as fases. Estas atividades estão relacionadas a diversos impactos ambientais, como emissão de poluentes, problemas de saúde humana devido aos ruídos, alteração de paisagens naturais e ameaça à existência de espécies vegetais e animais (EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2000).

O transporte de cargas, no Brasil, é feito principalmente em veículos rodoviários movidos a diesel, sendo o setor de transportes o maior consumidor de derivados de petróleo e o segundo maior consumidor energético (BRASIL, 2005b). De acordo com Reis (1999 apud SPERB, 2000), dois tipos de caminhões, cujas características estão apresentadas no quadro 3, são os mais utilizados. Entre os dois tipos, o caminhão semipesado de 3 eixos é o mais comumente encontrado. Deste modo, a partir dos valores apresentados pelo autor, dos dados de massa específica (840kg/m^3) e poder calorífico (10.100kcal/kg) do diesel, disponíveis no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005b), e com base no trabalho de Sperb (2000), obteve-se um coeficiente de consumo energético para o transporte de cargas, a partir do qual pode-se estimar o dispêndio de energia para o transporte dos materiais de construção, com base na massa transportada e na distância entre produtor e local da obra.

Tipo de veículo	Peso bruto total combinado (t)	Carga líquida (t)	Rendimento (km/litro)	Produtividade (litro/ t.km)	Consumo energético (MJ/kg.km)
Caminhão semipesado 3 eixos	23	14,3	3,18	0,022	$0,78 \times 10^{-3}$
Cavalo 2 eixos com semi-reboque 2 eixos	41,5	26,4	2,10	0,018	$0,64 \times 10^{-3}$

Quadro 3: características dos caminhões de carga encontrados em rodovias nacionais (baseado em KUHN, 2006)

Com relação à energia consumida durante o uso da edificação, no Brasil, é inferior à gasta nos países desenvolvidos, pois o país não está sujeito aos mesmos rigores climáticos. Para a cidade de Porto Alegre, Hansen (2000) realizou uma pesquisa identificando o consumo de energia elétrica em diferentes tipologias residenciais, sendo que para a tipologia de baixa renda (até três salários mínimos), constatou um consumo médio de $151,70\text{kwh/mês}$ ($546,12\text{MJ}$) ou cerca de 35kwh/mês por habitante. Este dado é apresentado por ser considerado importante para a comparação da energia gasta na produção da edificação em estudo, com relação ao consumo energético para a operação de habitações de padrão semelhante.

2.2.1.2 Emissões e geração de resíduos

As cargas ambientais do ciclo de vida de uma edificação, sob a forma de emissões aéreas, efluentes e resíduos sólidos, são variadas e relacionam-se à capacidade de assimilação e armazenamento dos ecossistemas e

indivíduos afetados. Os conseqüentes impactos podem ser locais ou globais, de diferentes intensidades, de acordo com a substância emitida.

2.2.1.2.1 Emissões aéreas

As emissões gasosas e de partículas no ar, decorrentes das atividades relativas à construção e operação de edificações, podem comprometer o ar exterior, gerando impactos ambientais mais abrangentes, ou o ar interior, afetando diretamente a saúde dos usuários.

Segundo o *Intergovernmental Panel on Climate Change* - IPCC (1996), entre os principais impactos ambientais relativos às emissões ao ar exterior estão a destruição à camada de ozônio, a acidificação, a contaminação do ar por poluentes e o aumento da temperatura global, também conhecido como aquecimento global. Este é um dos efeitos ambientais que mais tem causado preocupações à comunidade internacional e é causado por diversos gases, direta ou indiretamente, sendo o dióxido de carbono (CO₂) o principal contribuinte.

Na construção civil, as emissões de dióxido de carbono e de outras substâncias são oriundas, fundamentalmente, da queima de combustíveis fósseis e dos processos físicos e químicos de transformação de materiais (FISK; MACMATH, 1998). As pesquisas sobre emissões, em sua maioria, concernem às etapas de extração e manufatura dos materiais, sendo que no contexto internacional, buscam quantificar, principalmente, emissões de CO₂. No Brasil, foram identificadas apenas pesquisas sobre as emissões relativas à manufatura de cimento, tijolos e piso cerâmico (CARVALHO, 2002; SOARES; PEREIRA, 2004).

As emissões de CO₂ poderiam ser parcialmente estimadas, por meio de procedimentos de cálculos para determinação daquelas relativas à queima de combustíveis para processos. Contudo, seria necessário que os índices energéticos fossem discriminados, com os percentuais das fontes energéticas que os compõem. No Brasil, foram encontrados índices discriminados apenas para cimento, telhas cerâmicas, tijolos cerâmicos maciços de 6 furos e placas cerâmicas, nos trabalhos de Carvalho (2002), Manfredini (2003) e Pereira (2004).

O transporte de materiais também é uma grande fonte de emissões, pois, em geral, está atrelado ao consumo de combustíveis fósseis. Para o contexto brasileiro, Álvares e Linke (2003 apud KUHN, 2006), recomendam o uso de fatores de emissão de CO₂ para veículos pesados europeus, pois são os que mais se assemelham, em termos de tecnologia, aos utilizados no Brasil. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (1996) apresenta valores de emissões para veículos pesados europeus, com rendimento de 3,3km/l, próximo aos 3,18km/l atingidos pelo caminhão que, segundo Reis (1999 apud SPERB, 2000), é o mais utilizado, no Brasil, para este fim. O índice de emissões de CO₂ corresponde a 74g/MJ.

Com relação às emissões ao ambiente interno, Máté *et al.* (2005) apontam que ambientes internos podem conter mais poluentes do que os externos, pois materiais de construção e mobiliários liberam poluentes continuamente,

e que a exposição a estas substâncias está relacionada a diversos problemas de saúde. Alguns poluentes presentes em materiais utilizados na construção são (MÁTÉ *et al.*, 2005; LIPPIATT, 2002; THORNTON, 2000):

- a) **compostos orgânicos voláteis**, substâncias com moléculas orgânicas que se volatilizam à temperatura ambiente, entre os quais estão,
 - *formaldeído*, liberado por produtos de madeira manufaturados como compensados, aglomerados, revestimentos de paredes, por alguns tecidos e móveis com tratamentos, por alguns produtos para isolamento térmico, pela queima de certos combustíveis, pelo cigarro e por algumas colas;
 - *solventes orgânicos*, substâncias que atuam sobre o sistema nervoso central, como depressoras, entre elas, xileno e tolueno, presentes em tintas, colas e carpetes, e poliuretano;
 - *dicloreto de etileno e monovinil cloreto*, liberados na produção de polivinil cloreto (PVC), presentes em revestimentos vinílicos, persianas, alguns tecidos e tintas;
 - *isocianetos*, encontrados em poliuretanos e colas;
 - *resinas epoxy*, usadas em colas para madeira e metal, cimento e revestimento de superfícies;
- b) **fibras**, utilizadas, principalmente, em produtos de isolamento térmico e acústico, como fibra de vidro, lã mineral. Materiais contendo amianto são especialmente perigosos, lançam fibras que se deterioram e em longo prazo apresentam riscos à saúde, como câncer de pulmão e doenças respiratórias;
- c) **metais pesados**, grupo de materiais situados entre o cobre e o chumbo na tabela periódica, são quimicamente reativos e bio-acumulativos.

Segundo Máté *et al.* (2005), alguns sintomas decorrentes da exposição a estas substâncias, como dores de cabeça e irritações na pele, olhos e garganta podem ser identificados em curto prazo. Outros, como câncer e doenças respiratórias, muitas vezes só são identificados em longo prazo. Com relação ao PVC, segundo Thornton (2000), um dos subprodutos mais gerados em seu ciclo de vida é a dioxina, sendo que estudos toxicológicos não foram capazes de fixar uma dose limite, abaixo da qual a dioxina não causaria impactos biológicos.

2.2.1.2.2 Efluentes

As emissões líquidas ocorrem em diferentes etapas do ciclo de vida de uma edificação e resultam, usualmente, em contaminação do solo, de cursos d'água e do lençol freático. Os efluentes decorrentes dos processos industriais de fabricação de materiais de construção apresentam características distintas daqueles oriundos da etapa de uso da edificação. Com relação aos primeiros, a legislação brasileira, por meio da resolução n° 357 do CONAMA (BRASIL, 2005a), estabelece condições e padrões para o lançamento de efluentes, porém, para indústrias de materiais de construção, não há dados disponíveis sobre o monitoramento de emissões. Além disso, embora a resolução n° 237 do CONAMA (BRASIL, 1997) exija a execução de estudos de impacto ambiental e relatórios de impacto ambiental (EIA-RIMAs), para licenciamento de diversas atividades ligadas à

produção de materiais de construção, na prática, segundo Grigoletti e Sattler (2003), esses estudos quase inexistem.

Quanto aos efluentes gerados durante o uso das edificações, freqüentemente, são classificados em águas cinzas e águas negras. Estas são oriundas de descargas sanitárias e necessitam de tratamento biológico ou químico para a sua desinfecção. As águas cinzas, por outro lado, são oriundas de pias, chuveiros e torneiras, e geralmente possuem menos patogênicos do que as águas negras (FANE; REARDON, 2005). Os potenciais impactos dos efluentes gerados na etapa de uso da edificação, contudo, estão fora do escopo deste trabalho.

2.2.1.2.3 Resíduos sólidos

Diversos problemas ambientais e de saneamento público podem ser associados aos resíduos sólidos gerados pela indústria da construção e pelas atividades desenvolvidas no ambiente construído, como a contaminação do solo e do lençol freático, a geração de gases e a propagação de vetores de doenças (ÂNGULO *et al.*, 2001; COLE; LARSSON, 2002).

A maioria dos processos industriais gera co-produtos e resíduos, os quais nem sempre são passíveis de reutilização. Adicionalmente, é difícil obter-se dados sobre as quantidades exatas e os tipos de resíduos gerados, pois, segundo Grigoletti e Sattler (2003), em geral, as indústrias consideram essas informações confidenciais. Para materiais de construção comumente utilizados no Brasil, identificaram-se, apenas, trabalhos sobre os resíduos da extração e manufatura do aço, da madeira serrada e de placas, telhas e tijolos cerâmicos.

Com relação aos resíduos de construção e demolição, no Brasil, cerca de 50% são provenientes da etapa de construção. Zordan (2005) aponta que a principal causa deste cenário é o alto índice de perdas nos processos construtivos. Na etapa de demolição, o volume de resíduos pode ser reduzido ao se utilizar estratégias para facilitar a reutilização e reciclagem dos materiais. Reardon (2005) propõe a desconstrução, ou demolição seletiva, processo de remoção ou desmontagem de diversos tipos de componentes para a reutilização. No Brasil, raramente a demolição seletiva é adotada, o que gera resíduos muito heterogêneos e de difícil reutilização. Mesmo diante deste cenário, apenas, em 2002, o país recebeu uma legislação específica para a gestão dos resíduos da construção. A resolução nº. 307 do CONAMA (BRASIL, 2002), classifica-os quanto às possibilidades de destinação:

- a) classe A, resíduos reutilizáveis ou recicláveis (argamassas, cerâmicas e concretos). Deverão ser reutilizados, reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a aterros de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;
- b) classe B, resíduos recicláveis para outras destinações, como metais, vidros, plásticos e papel/papelão. Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura;

- c) classe C, resíduos que não podem ser reutilizados diretamente e para os quais ainda não foram desenvolvidas tecnologias de reciclagem ou aplicações economicamente viáveis (ex: produtos do gesso). Deverão ser armazenados, transportados e destinados de acordo com as normas técnicas específicas;
- d) classe D, resíduos perigosos ou tóxicos, oriundos do processo de construção, como, tinta e solventes, ou resíduos contaminados da demolição ou reforma de edificações que lidem com produtos químicos e radiológicos. A destinação deverá seguir normalizações específicas.

O reaproveitamento, segundo Reardon (2005), é uma das melhores soluções tanto para a redução da quantidade de resíduos, quanto para a diminuição da exploração de recursos. A alternativa é especialmente vantajosa para materiais oriundos de recursos não renováveis, para os que possuem um alto custo ambiental na extração, ou para os que demandam grande quantidade de energia na manufatura. Quanto à reciclagem, no geral, são preferíveis materiais com alto conteúdo reciclado em relação àqueles constituídos, apenas, de novos materiais. Contudo, o processo de reciclagem deve ser analisado, para que não se torne mais impactante do que o próprio resíduo antes de ser reciclado. Desta forma, a reutilização é mais ambientalmente benéfica em relação à reciclagem, por não exigir novos processamentos. No Brasil, alguns materiais de construção incorporam insumos reciclados: o aço, que utiliza sucata como um dos principais insumos (GERDAU, 2004); os cimentos CP II-E, CP III e CP IV, com a adição de escória de alto forno ou cinza volante (CARVALHO, 2002); tijolos e telhas cerâmicas que, dependendo da indústria, utilizam resíduos de serraria e madeiras como fonte energética (MANFREDINI, 2003).

O potencial de reaproveitamento de materiais de construção comumente utilizados no Brasil, considerando as características do contexto nacional, é apresentado no quadro 4.

Material	Resíduo Tóxico	Potencial Reuso	Reciclagem		Potencial reaprov.
			Potencial	Fonte	
Aço (estrutura de concreto)	-	baixo	alto	Gerdau, 2004	alto
Aço (perfis separados)	-	alto	alto	Gerdau, 2004	alto
Aço galvanizado	-	baixo	alto	Kuhn, 2006	alto
Alumínio (elementos)	-	Alto	alto	ABAL, 2000 ¹	alto
Argamassas (cimento e areia)	-	nulo	restrito	Zordan, 2005	baixo
Blocos de pedra	-	alto	ato	Kuhn, 2006	alto
Concreto (cimento, areia e brita)	-	nulo	restrito	Zordan, 2005	baixo
Madeira com tratamento alternativo	-	alto	alto	Kuhn, 2006	alto
Madeira não tratada	-	alto	alto	Kuhn, 2006	alto
Madeira tratada com substâncias tóxicas	sim	-	-	Kuhn, 2006	nulo
Placa cerâmica esmaltada e não esmaltada	-	alto	restrito	Zordan, 2005	alto
Telha cerâmica	-	alto	restrito	Zordan, 2005	alto
Tijolo cerâmico maciço	-	alto	restrito	Zordan, 2005	alto
Vidro para construção	-	alto	alto	Zordan, 2005	alto
Telha de fibrocimento com amianto	sim	nulo	restrito	Kuhn, 2006	nulo
Telha de fibrocimento sem amianto	-	alto	restrito	Kuhn, 2006	alto
Gesso	sim	-	alto	Nita <i>et al.</i> , 2004	baixo

¹ Associação Brasileira do Alumínio

Quadro 4: potencial de reaproveitamento de alguns materiais de construção (baseado em KUHN, 2006)

2.2.2 Impactos Sociais e Econômicos

A indústria da construção não causa apenas impactos ambientais, mas também outros de natureza social e econômica. Segundo Plessis (2002), a construção civil é a indústria que mais emprega no mundo, com mais de cem milhões de trabalhadores, dos quais cerca de 74% estão em países pobres. Além disso, a autora aponta que, em quase todos os países do mundo, o ambiente construído é responsável por mais da metade do investimento total de capital nacional e que a construção representa cerca de 10% do produto interno bruto.

No entanto, o setor da construção é associado a práticas de ganância e corrupção, relações de trabalho desonestas e práticas de destruição ambiental (PLESSIS, 2002). Um estudo da Organização Internacional do Trabalho (apud PLESSIS, 2002) constatou que, em quase todos os lugares do mundo, os trabalhadores da construção não vêm o seu emprego sob uma ótica favorável, trabalham no setor por necessidade, e poucos desejam que seus filhos ingressem nessa indústria. O mesmo estudo também constatou grandes índices de discriminação de gênero e assédio sexual, além de altas taxas de acidentes de trabalho, as quais estão relacionadas à falta de treinamento e à contratação informal de trabalhadores.

Segundo Silva (2003), os indicadores de sustentabilidade social mais gerais da sociedade, como redução de pobreza, analfabetismo e PIB, não se enquadram, facilmente, à escala de uma edificação. Nesta escala, convém abordar impactos sociais mais diretamente relacionados à comunidade envolvida, tais como práticas trabalhistas e direitos humanos.

Com relação às atividades específicas de canteiro de obras, para o sub-setor de edificações, Cardoso e Araújo (2006) apontam alguns impactos sociais e econômicos, dos quais destacam-se: geração de emprego e renda, interferência na economia local, alteração nos setores de comércio e serviços locais, alteração no cotidiano da comunidade, choque cultural com a comunidade, acidente de trânsito, importação de doenças, alteração nas condições de saúde e de segurança dos trabalhadores e da vizinhança. Os autores destacam que os canteiros de obras são uma das manifestações mais marcantes das desigualdades existentes no Brasil, pois os trabalhadores possuem dentre os mais baixos índices de desenvolvimento humano, considerando-se os assalariados brasileiros, além da elevada parcela de trabalho informal neles observada.

Para Plessis (2002), a indústria da construção tem potencial para aumentar a sustentabilidade econômica, por meio de sua estrutura, conduta e desempenho, pois desempenha papel importante na criação de pequenas, médias e micro empresas. A autora aponta que, no Brasil, existem cerca de onze mil pequenas empresas produtoras de tijolos cerâmicos e telhas, as quais promovem a economia e o desenvolvimento local de uma forma que as grandes empresas nacionais e multinacionais não o fazem.

Há também uma estreita relação entre a sustentabilidade econômica do setor e seu impacto ambiental. Uma construção civil eficiente economicamente aumenta a sustentabilidade ambiental assegurando métodos menos

custosos, que estimulem uma alocação ótima de recursos e desestimulem o desperdício. Adicionalmente, a sustentabilidade econômica na construção requer que os custos sociais e ambientais sejam internalizados e refletidos no preço do produto final (PLESSIS, 2002).

Para Plessis (2002), uma vez que os produtos da indústria são usados para sustentar e facilitar todas as faces das relações sócio-econômicas, pode-se aumentar a sustentabilidade social a partir do processo de construção. Trata-se da natureza de trabalho-intensivo das atividades do setor, e as oportunidades que isto apresenta para o alívio da pobreza. Destaca-se, ainda, que as tradições fornecem exemplos não só de padrões de construção mais sustentáveis, mas também de processos para a sustentabilidade social, na criação do ambiente construído, o que pode ser devidamente resgatado, em especial nos países em desenvolvimento, onde existe uma forte cultura de solidariedade e ajuda mútua.

2.3 AVALIAÇÃO DE SUSTENTABILIDADE DE EDIFICAÇÕES

É importante reafirmar que, conforme aponta Yuba (2005), a construção sustentável demanda o trabalho com o caráter indissociável das dimensões da sustentabilidade. A autora aponta que a natureza dos temas de sustentabilidade pode ser entendida como uma complexa rede de questões interconectadas, que congrega aspectos mais objetivos, como muitos tópicos ambientais, e outros de caráter subjetivo, resultando na dificuldade de obtenção de dados absolutos.

Para obter subsídios conceituais a fim de nortear a avaliação proposta neste trabalho, tornou-se necessária uma revisão dos principais métodos de avaliação de sustentabilidade de edificações existentes na literatura. Buscaram-se informações que contribuíssem para a visão mais abrangente, porém, desde já, destaca-se que a dimensão ambiental é, sem dúvida, a mais amplamente discutida na bibliografia. Assim, neste item são abordadas questões sobre Avaliação de Ciclo de Vida (ACV), metodologia internacionalmente reconhecida e difundida, que apesar de não incluir aspectos sociais ou econômicos (ABNT, 2001), proporciona uma contribuição para a visão de sustentabilidade. Posteriormente, são apresentados os métodos de avaliação e, por fim, as pesquisas nacionais sobre o assunto.

2.3.1 Avaliação de Ciclo de Vida para produtos da construção

Segundo a IEA ANNEX 31 (2004b), em síntese, a Avaliação de Ciclo de Vida consiste em um rigoroso processo de contabilização dos fluxos de matéria e energia relacionados às etapas do ciclo de vida da edificação. A metodologia típica de ACV, normalizada pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2001), compreende quatro etapas inter-relacionadas e interativas (figura 2), resumidamente descritas a seguir.

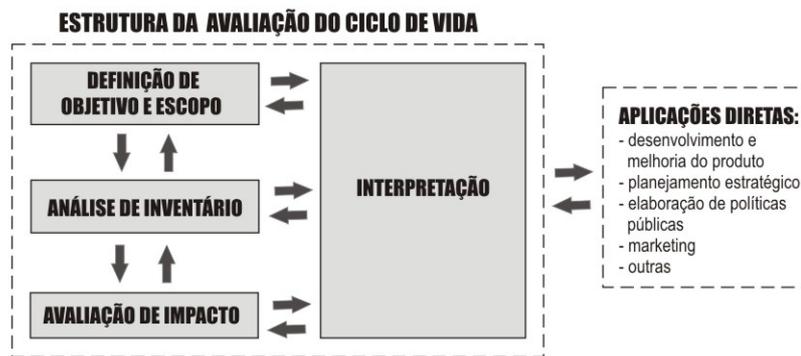


Figura 2: estrutura da avaliação do ciclo de vida (ABNT, 2001)

De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2001), o objetivo de um estudo de ACV deve declarar as razões para conduzir o estudo, a aplicação pretendida e o público-alvo, enquanto que o escopo envolve o estabelecimento da delimitação das fronteiras do estudo e a descrição da unidade funcional do objeto analisado. As fronteiras do sistema, segundo a Norma, determinam quais unidades de processo serão incluídas na ACV. De acordo com a IEA ANNEX 31 (2004c), as fronteiras devem equilibrar a validade dos resultados e a praticidade de obtê-los. Com relação à unidade funcional, a NRB ISO 14040 (ABNT, 2001) a define como uma medida de desempenho das saídas funcionais do sistema, estabelecendo que o escopo determinará a função selecionada para o estudo, a qual deve ser mensurável. Para edificações, que são multifuncionais, a IEA ANNEX 31 (2004b) aponta que estabelecer uma unidade funcional é uma questão delicada, e indica que, para comparações, provavelmente a definição da unidade funcional em m^2 ou m^3 seja a mais informativa.

A segunda etapa de uma ACV é a análise de inventário, que envolve a coleta de dados e procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas do sistema considerado. As entradas e saídas podem incluir o uso de recursos e as emissões de resíduos associados ao sistema. Esta etapa é interativa, pois, a medida em que os dados são coletados, o executante do estudo passa a conhecer mais sobre o sistema e as fronteiras podem ser redefinidas (ABNT, 2001; IEA ANNEX 31, 2004b). Kuhn (2006) ressalta que, em avaliações de edificações, a dificuldade central para o completo inventário do ciclo de vida é a inacessibilidade a diversos dados e as variações da qualidade daqueles disponíveis.

A fase de avaliação de impacto é dirigida à avaliação da significância de impactos ambientais potenciais, utilizando os resultados da análise de inventário. Esta etapa pode incluir, entre outros elementos: a classificação – correlação de dados de inventário por categorias de impacto; a caracterização – modelagem dos dados de inventário dentro das categorias de impacto; a ponderação – possível agregação dos resultados, em casos muito específicos e somente quando significativos (ABNT, 2001). Quanto à ponderação, a IEA ANNEX 31 (2004b) aponta que, freqüentemente, envolve valores éticos e sociais em vez de informações científicas, de modo que, essa arbitrariedade pode frustrar os esforços para assegurar a precisão dos dados tratados até essa etapa.

A etapa de interpretação do ciclo de vida é definida pela NBR ISO 14040 (ABNT, 2001) como aquela em que os resultados do inventário e da avaliação dos impactos são confrontados com os objetivos e o escopo definidos. As constatações desta interpretação podem tomar a forma de conclusões e recomendações para os tomadores de decisão, de forma consistente com o objetivo e o escopo do estudo.

Para os produtos da construção civil, características intrínsecas à metodologia de ACV oferecem vantagens e limitações para sua aplicação. Para Lippiatt (2002), o principal benefício é a implementação de uma análise comparativa, por meio do balanceamento de diferentes alternativas, permitindo alcançar uma real redução de impactos, ao invés de uma simples substituição. Por outro lado, a quantificação de todos os impactos envolvidos, por demandarem ampla variedade de dados, pode tornar-se cara e extensa em termos de tempo, ao se pretender analisar edificações como um todo.

Além disso, a ACV para edificações deve ser diferenciada por tratar com produtos excepcionais, que frustram as aplicações diretas do método. Algumas características das mesmas são citadas por Erlandsson e Borg (2003) e pela IEA ANNEX 31 (2004b):

- a) a expectativa de vida de edificações é longa e desconhecida, o que causa imprecisões;
- b) muitos dos impactos das edificações são locais, o que normalmente não é considerado na ACV tradicional;
- c) componentes e produtos dos edifícios são heterogêneos em composição, portanto, uma série ainda maior de dados é necessária;
- d) o ciclo de vida das edificações inclui fases específicas (construção, uso e demolição), que apresentam conseqüências variáveis para o ambiente;
- e) edificações são multifuncionais, o que torna difícil determinar a unidade funcional apropriada para a análise;
- f) edificações criam ambientes de ocupação internos, que podem ser avaliados em termos de conforto e saúde. Para manter a qualidade desses espaços, são necessários materiais e energia. Portanto, há fortes relações entre os impactos ao ambiente exterior e a qualidade do ambiente interior;
- g) os sistemas de suporte aos serviços oferecidos pela edificação, assim como o contexto ambiental associado, são dinâmicos;
- h) os serviços proporcionados pela edificação apresentam um ciclo de vida, mas seus componentes e produtos apresentam seus ciclos de vida independentes;
- i) ações do setor da construção afetam também outros setores.

Desta forma, em detrimento da aplicação da ACV tradicional, ferramentas voltadas à avaliação de edificações têm sido desenvolvidas, as quais tentam englobar os conceitos da ACV, explícita ou implicitamente. Segundo a IEA ANNEX 31 (2004a), uma ampla gama de ferramentas de avaliação, com diferentes escopos e níveis de

sofisticação, podem ser empregadas para auxiliar o cálculo dos resultados em diferentes estágios do ciclo de vida de edificações.

2.3.2 Métodos, instrumentos e ferramentas de avaliação de sustentabilidade de produtos da construção

Yuba (2005) aponta que, para compreender e avaliar o grau de impacto que o setor da construção civil provoca, diversas iniciativas têm surgido. A contribuição tem sido dada, principalmente, na forma de métodos e ferramentas de avaliação de sustentabilidade: na análise de desempenho de produtos e edificações, na elaboração de requisitos, em avaliações de ciclo de vida, no desenvolvimento de indicadores de sustentabilidade, na caracterização de impactos de materiais de construção e edificações.

Segundo Graham (2000), um método de avaliação ambiental é um conjunto de regras e procedimentos cientificamente orientados à avaliação de produtos da edificação, a exemplo da ACV normalizada. O mesmo autor aponta que instrumentos são procedimentos simples, geralmente sob a forma de listas de checagem, que dão suporte à tomada de decisões na fase de projeto, porém não permitem a inserção de dados específicos, a exemplo do *Handbook of Sustainable Building*, de Anink *et al.* (1996). E as ferramentas, segundo o autor, estabelecem a conexão, geralmente computadorizada, entre a entrada de dados de projeto e a saída dos resultados de avaliação, sendo responsáveis pelas conversões e cálculos previamente estabelecidos, segundo os métodos.

As ferramentas de avaliação de sustentabilidade, usualmente, são classificadas de acordo com o modo como consideram o ciclo de vida, com as questões trabalhadas e com as áreas de aplicação. Trusty (2000) aponta que a escolha da ferramenta mais adequada para cada caso é uma tarefa difícil e determinante para o êxito da avaliação, e classifica-as de acordo com o momento no processo de projeto ou com a avaliação em que são empregadas:

- a) nível 1 – ferramentas que fornecem informações e comparações entre produtos, normalmente utilizadas na fase de aquisição de materiais. Podem incluir dados econômicos, além dos ambientais, e normalmente são baseadas na ACV ou são utilizadas para realizar ACVs. Alguns exemplos dessas ferramentas são: BEES, *Environmental Resource Guide*, LCExplorer, SimaPro, TEAM;
- b) nível 2 – ferramentas de suporte à tomada de decisão durante o processo de projeto, que têm a intenção de serem utilizadas tão cedo quanto possível durante o projeto. Focam em áreas específicas como custos do ciclo de vida, efeitos ambientais do ciclo de vida, energia necessária para a operação do edifício, sendo que poucas abordam mais de uma dessas áreas. São objetivos, propõem-se a geração de dados e procuram aderir a normalizações. São exemplos: ATHENA, EcoQuantum, Envest, DOE2, E10 e Radiance;

- c) nível 3 – sistemas ou estruturas de avaliação de edifícios como um todo. Abordam aspectos ambientais, econômicos, sociais e outras questões relevantes à sustentabilidade. Utilizam uma combinação de dados objetivos e subjetivos, muitos derivados de ferramentas de nível 2. É comum, em ferramentas desse nível, a utilização de pontuações subjetivas ou ponderações para a obtenção de valores globais de desempenho. Podem ser aplicadas tanto na etapa de projeto quanto a edificações já construídas. São exemplos: BREEAM, GBTool, LEED, EcoEffect, ECOPROFILE.

Yuba (2005) classifica as ferramentas em pluridimensionais e unidimensionais. Estas focalizam apenas uma das dimensões da sustentabilidade, enquanto aquelas avaliam, além de questões ambientais, equidade, participação e futuro de aspectos econômicos, sociais e institucionais. Os quadros 5, 6 e 7 apresentam exemplos de algumas ferramentas de avaliação de sustentabilidade de produtos da construção, segundo esta classificação.

Ferramenta	País de origem	Descrição/ Objetivos	
ambiental	Método das preferências (ANINK <i>et al.</i> , 1996)	Holanda	Apresenta uma análise de ciclo de vida simplificada de materiais freqüentemente utilizados na Holanda, para auxiliar o projetista. São analisados: recursos, energia, emissões aéreas e líquidas, danos ao ecossistema, resíduos sólidos, potencial de reutilização, facilidade de manutenção e durabilidade dos materiais. Prevalece o caráter relativo, pela comparação entre 4 alternativas existentes no mercado.
	Ecoprofile (PETTERSEN, 2000)	Noruega	Avalia aspectos sobre: ambiente externo, recursos e ambiente interno, divididos em sub-áreas, totalizando cerca de 90 parâmetros, aos quais são atribuídos valores de 1 a 3. Os resultados são apresentados em gráficos de barras ou diagrama de rosa-dos-ventos.
	Eco-quantum (MAK <i>et al.</i> , 1997 apud SEO, 2002)	Holanda	Ferramenta de simulação, que calcula os efeitos ambientais de todo o ciclo de vida da edificação, considerando os fluxos de energia, materiais e água. São analisadas as fases de extração de matéria-prima, produção, construção, uso e demolição ou reuso.
social	SIA - Social Impact Assessment (MAMBELLI, 2000)	EUA	Avalia os impactos das políticas públicas, planos ou projetos sobre as pessoas, objetivando prevê-los e avaliá-los antes que aconteçam. A principal questão é “quem ganha e quem perde?”. Utiliza métodos e técnicas de pesquisa social, indicadores sociais (objetivos e subjetivos) e é voltado para a fase de projeto.

Quadro 5: ferramentas de avaliação unidimensional da sustentabilidade

Ferramenta	País de origem	Descrição/ Objetivos	
ambiental e econômica	Ecoeffect (ECOFFECT, 2007)	Suécia	Estuda uso de energia, uso de materiais, ambiente interno, ambiente externo e custo do ciclo de vida. Os materiais são trabalhados quanto ao consumo de recursos materiais e energia, e emissões e resíduos. Baseia-se na quantificação do impacto ambiental na forma de indicadores e apresenta os resultados em um gráfico de barras.
	BEES (LIPPIATT, 2002)	EUA	Ferramenta de apoio à tomada de decisão. Propõe um levantamento exaustivo de dados quantitativos para apurar todas as liberações ao ar, solo e água que podem contribuir para os impactos ambientais dos materiais mais utilizados nos EUA. Avalia as diversas etapas do ciclo de vida da edificação. O desempenho econômico é medido pelos custos de investimento inicial, reposição, operação, manutenção e conserto, e disposição final, e então pode ser combinado com o desempenho ambiental.
ambiental e social	Green Globes (GREEN GLOBES, 2007)	Canadá	Desenvolvida para ser utilizada pelo usuário, por meio do preenchimento de questionários. Avalia os itens: energia, transporte, água, recursos, redução da poluição e ambiente interno. Objetiva, além da avaliação da edificação, a criação de uma consciência e a capacitação do usuário para buscar soluções mais adequadas.
	Green Building Digest (GBD ¹ , 1995)	Reino Unido	Objetiva produzir e disponibilizar informações sobre as questões ambientais para projetistas e compradores de materiais. A base é um levantamento de impactos ambientais relevantes ao longo do ciclo de vida dos materiais, de forma qualitativa.

Quadro 6: ferramentas de avaliação bidimensional da sustentabilidade

Ferramenta	País de origem	Descrição/ Objetivos	
ambiental e social	CASBEE (SEO, 2002)	Japão	Analisa consumo de energia, uso cíclico de recursos, ambiente local e ambiente interno. O resultado é apresentado na forma de uma pontuação geral ou representação em gráfico.
	Pimwag (AALTONEN <i>et al.</i> , 1998 apud HUOVILLA <i>et al.</i> , 2001)	Finlândia	Critérios ecológicos criados para avaliar projetos habitacionais experimentais, com relação ao desempenho em 5 aspectos: poluição, recursos naturais, salubridade, biodiversidade da natureza e nutrição. Trabalha questões ambientais e de saúde.
	Twin model (YUBA, 2005)	Holanda	Propõe a suplementação de ferramentas baseadas em ACV com dados qualitativos, abordando aspectos ambientais e de saúde.
econômica e social	SCBA (YUBA, 2005)	comissão composta por vários países europeus	Parte de uma análise de ganhadores e perdedores; identificação dos impactos do projeto; identificação de que impactos são economicamente relevantes e valoração monetária dos efeitos relevantes. Objetiva determinar os efeitos de eficiência e equidade de uma ação proposta, expressando monetariamente os impactos de uma política ou iniciativa, para auxiliar um julgamento sobre a exequibilidade sócio-econômica da ação.

¹ GREEN BUILDING DIGEST

Quadro 6 (cont.): ferramentas de avaliação bidimensional da sustentabilidade

Ferramenta	País de origem	Descrição/ Objetivos	
ambiental, econômica e social	LEED (USGBC ¹ , 2002 apud YUBA, 2005)	EUA	Utiliza um esquema de pontuação, com o uso de uma lista de checagem. Os aspectos analisados são: uso sustentável do solo, eficiência no uso da água, energia, emissões na atmosfera, materiais e recursos, qualidade do ar interno e inovações de projeto.
	EcoProf (HUOVILA <i>et al.</i> , 2001)	Finlândia	Software de gerenciamento de requisitos, para desempenho (ambiente interno, vida útil, adaptabilidade, segurança, conforto, acessibilidade) e impactos ambientais e de custo (custo do ciclo de vida, pressão ambiental das edificações e sobre o uso do solo).
	Ecopoints (HUOVILA <i>et al.</i> , 2001)	Reino Unido	Utiliza uma unidade de medida única, calculada em relação aos impactos sobre o ambiente no Reino Unido. Trabalha os seguintes aspectos: recursos nacionais, poluição, uso do solo, biodiversidade, produção, transporte, acesso, segurança, saúde e bem-estar.
	GBTool (COLE; LARSSON, 2002)	grupo constituído, atualmente, por 24 países	Analisa as edificações sob os aspectos: seleção do terreno, projeto; consumo de energia e recursos; cargas ambientais; qualidade do ambiente interno; funcionalidade; desempenho em longo prazo; aspectos sociais e econômicos (custos, segurança, acessibilidade...).
	BREEAM (HUOVILA <i>et al.</i> , 2001)	Reino Unido	Aborda as questões de gerenciamento global e local, consumo de energia e emissão de gás carbônico, saúde e bem-estar no ambiente interno e externo, poluição, transporte, uso do solo, conseqüências ambientais do uso dos materiais, consumo e eficiência no uso da água. Baseia-se na obtenção de um indicador global.
	SBAT - Sustainable Building Assessment Tool (GIBBERD, 2003)	África do Sul	Considera 15 áreas de avaliação, sob as 3 dimensões básicas: <i>ambiental</i> (água; energia; resíduos; local; materiais e componentes), <i>econômica</i> (economia local; eficiência no uso; adaptabilidade e flexibilidade; custos em andamento; custos financeiros) e <i>social</i> (conforto do usuário; ambientes inclusivos; acesso às vantagens; participação e controle; educação, saúde e segurança).

¹ UNITED STATES GREEN BUILDING COUNCIL

Quadro 7: ferramentas de avaliação pluridimensional da sustentabilidade

Com relação às dimensões da sustentabilidade abordadas, percebe-se que as ferramentas se desenvolveram focando predominantemente a dimensão ambiental, que vem sendo aprimorada continuamente. Yuba (2005) destaca que apesar do aumento das preocupações com princípios de outras dimensões, tal preocupação não se reflete nas ferramentas de avaliação de sustentabilidade. Segundo a autora, mesmo aquelas que se denominam pluridimensionais, utilizam inadequadamente o termo, uma vez que a dita integração de aspectos ambientais, sociais e econômicos apresenta, na maioria das vezes, uma ou duas questões das dimensões social ou

econômica. Em geral, são abordadas as questões de saúde no ambiente interno, custos iniciais e segurança. Acessibilidade universal e aceitação das unidades habitacionais pelos moradores são analisadas somente por alguns métodos.

Diversas outras ferramentas estão disponíveis, porém com aspectos de sustentabilidade abordados semelhantes aos apresentados anteriormente. Verifica-se que grande parte destas ferramentas foi desenvolvida para as realidades de países desenvolvidos. Neste contexto, destaca-se que Silva *et al.* (2003) afirmam que não é possível copiar ou simplesmente aplicar um método estrangeiro no Brasil, pois certos aspectos perdem a validade, além do fato que alguns itens, nem sempre considerados nos métodos internacionais, são importantes no contexto brasileiro e devem ser incluídos na avaliação. Os autores apontam que, para ser tecnicamente consistente, um método de avaliação deve ser adaptado a dados nacionais relevantes, e para ser apropriado ao contexto nacional, deve refletir interesses e prioridades nacionais.

Grande parte dos métodos das ferramentas difundidas até o momento baseia-se em critérios, alguns estritamente qualitativos ou até prescritivos, outros baseados em dados quantitativos e elementos da ACV. A IEA ANNEX 31 (2004c), Harris (1999) e o *GREEN BUILDING CHALLENGE* (2005) apresentam abordagens dos elementos que constituem os métodos de ferramentas de avaliação de edificações. Kuhn (2006) sintetiza essas análises, indicando que a formulação de um método envolve, basicamente, as seguintes definições:

- a) definições gerais, correspondem à definição de para quais propostas a ferramenta será utilizada e quais fronteiras o estudo irá abranger, assemelhando-se à primeira etapa da ACV, em que devem ser estabelecidos o objetivo e o escopo da avaliação;
- b) definição dos critérios de avaliação, envolve a definição das categorias de impactos de interesse para a avaliação e a seleção dos procedimentos, segundo os quais os dados originais serão trabalhados e avaliados. As barreiras para a definição de critérios se devem por ser este um campo relativamente novo e pela dificuldade de se mensurar, quantitativamente, grande parte dos impactos ambientais. O efeito da qualidade do ar interno na saúde dos ocupantes, por exemplo, é um aspecto substancialmente mais difícil de avaliar quantitativamente. Alguns métodos, a exemplo do GBTool (COLE; LARSSON, 2002), definem também uma pontuação de referência para cada um dos critérios avaliados, que corresponde àquela equivalente à prática mínima aceitável, em determinada região, para determinado tipo ou classe de edifício;
- c) definição da forma de apresentação dos resultados, envolve, em alguns métodos, as etapas de agregação (para a obtenção de um valor de desempenho total para a edificação ou para categorias de critérios) e de pesagem. Estas etapas lidam com questões das mais controversas, pois não existe consenso entre os métodos quanto à relativa importância entre os diferentes tipos de impactos, contudo, são formas de facilitar a comunicação dos resultados e a comparação entre diferentes edificações avaliadas. Devido à subjetividade desses procedimentos, alguns métodos optam por apresentar os resultados separadamente. A forma de visualização dos mesmos é particular para cada metodologia, podendo incluir resultados relativos ou absolutos, por meio de gráficos ou de indicadores.

2.3.3 Avaliação de sustentabilidade de produtos da construção no contexto brasileiro

As ferramentas, métodos e instrumentos de avaliação de edificações discutidos até o item anterior, foram propostos e desenvolvidos no contexto internacional. Para a realidade de países em desenvolvimento, identificou-se a ferramenta SBAT, proposta por Gibberd (2003). Entretanto, nenhuma das principais iniciativas acontece no Brasil. No contexto nacional, foram identificadas pesquisas acadêmicas voltadas à avaliação de produtos de edificações.

Com relação a materiais de construção, Grigoletti (2001) realizou uma caracterização dos impactos da indústria de cerâmica vermelha no estado do Rio Grande do Sul, relativos a recursos naturais, energia, resíduos sólidos e líquidos, emissões aéreas, recursos humanos e ao produto acabado, de forma qualitativa. Manfredini (2003) deu continuidade ao estudo, com escopo semelhante, porém acrescentando dados quantitativos em relação a fontes energéticas e energia incorporada, além de alguns aspectos relativos a recursos humanos.

Carvalho (2002) realizou um estudo de ACV, conforme a normalização (ABNT, 2001) para a manufatura de cimento Portland com adição de resíduos, objetivando avaliar os benefícios ambientais da reciclagem. Outro estudo utilizando procedimentos de ACV foi realizado por Pereira (2004), para a avaliação da produção de pisos cerâmicos no estado de Santa Catarina, levantando dados de duas empresas significativas do setor no Estado. Os resultados apresentam dados quantitativos de consumo de água, matérias-primas e combustíveis, além de emissões gasosas e resíduos sólidos associados à produção de 1m² de piso pronto. Este trabalho integra um estudo maior (SOARES; PEREIRA, 2004), que avalia impactos ambientais da produção de pisos e tijolos cerâmicos no Estado, fornecendo resultados quantitativos semelhantes, relativos às duas indústrias produtoras de tijolos.

Yuba (2005) analisou a cadeia produtiva de componentes em madeira de reflorestamento para a habitação, segundo as múltiplas dimensões da sustentabilidade. A autora apresenta uma visão de integração entre as dimensões e trabalha com processos de ganhos e perdas de sustentabilidade em uma dimensão e entre dimensões.

Silva (2007) realizou um estudo comparativo entre o adobe e o bloco cerâmico utilizados em subsistemas de vedações de habitações de interesse social rural, no município de Itapeva, São Paulo. O autor analisa a cadeia de produção dos subsistemas, comparando-as a partir de diferentes variáveis, de acordo com as múltiplas dimensões da sustentabilidade.

Para edificações como um todo, a principal pesquisa identificada foi realizada por Silva (2003), que estabelece diretrizes, base metodológica, e inicia o desenvolvimento de um método de avaliação de edifícios de escritórios

brasileiros. No modelo proposto pela autora, as fronteiras do estudo incluem as etapas de construção e uso da edificação. A autora também considera os agentes envolvidos no processo, iniciando pela empresa construtora.

Para habitações de interesse social, Sperb (2000) realizou uma caracterização de impactos ambientais dos materiais de construção empregados nos subsistemas de cobertura e vedações de cinco tipologias da Vila Tecnológica de Porto Alegre. Com base em ferramentas de avaliação internacionais, a autora definiu seus próprios critérios de avaliação, apresentando caracterizações quantitativas, para conteúdo energético e gastos com transporte, e, qualitativas, para exploração de recursos e potencial de reciclabilidade.

Oliveira (2005) propõe um sistema de avaliação ambiental para subsistemas de cobertura de habitações de interesse social, a partir de um conjunto de oito critérios, baseados na bibliografia. Entretanto, o próprio autor menciona que seu método aborda um rol de critérios restrito, devido às limitações de dados aplicáveis à realidade brasileira.

Kuhn (2006) realizou uma avaliação ambiental e uma análise de custos do protótipo Alvorada, construído no campus da UFRGS². O método de avaliação ambiental é composto por critérios ambientais, baseados na literatura e caracterizados a partir de dados nacionais. Os dados gerados pela autora fornecem valores para o desenvolvimento de referenciais iniciais de desempenho ambiental de edificações de interesse social no contexto brasileiro.

2.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo foram apresentados, inicialmente, conceitos sobre sustentabilidade e suas dimensões, e a inclusão dos princípios no setor da construção civil, que vem acompanhando o debate. Em seguida, foram levantadas questões a respeito dos impactos provocados pela indústria da construção, onde, na seção relativa aos impactos ambientais, discorreu-se sobre as principais cargas ambientais associadas às etapas do ciclo de vida de edificações. Constatou-se que a mensuração dos impactos finais das cadeias de causa e efeito é extremamente complexa, devido à dificuldade de previsão dos mesmos, de modo que as diversas abordagens baseiam-se na caracterização das cargas ambientais, que correspondem a intervenções diretas no meio ambiente e são mais simples de serem quantificadas, e na sua posterior associação com os potenciais impactos ambientais finais.

Identificados os impactos potenciais relacionados às atividades do setor da construção, fez-se uma abordagem sobre os métodos de avaliação de sustentabilidade de produtos da construção, existentes e consolidados, a fim de averiguar como avaliam as edificações. Em geral, foram identificados métodos baseados em critérios de avaliação e métodos fundamentados em dados estritamente quantitativos, com base em ACV, todos

² Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na cidade de Porto Alegre.

desenvolvidos no contexto internacional. Para a realidade brasileira, foram encontradas apenas pesquisas acadêmicas relacionadas à avaliação de sustentabilidade de edificações.

Para a avaliação aqui proposta, compreende-se que seria relevante a quantificação de todas as cargas ambientais indicadas nos itens 2.2.1.1 e 2.2.1.2, para as mais diversas etapas do ciclo de vida da edificação. No entanto, dados para a quantificação dessas cargas nem sempre estão disponíveis. A respeito do *consumo de recursos naturais*, verificou-se que o consumo de recursos materiais deve ser reduzido, sendo mais ambientalmente benéfica a utilização de materiais oriundos de recursos reaproveitados do que o uso daqueles provenientes apenas de novos recursos. Adicionalmente, constatou-se que a extração de recursos renováveis deve ser feita de modo a garantir sua capacidade de regeneração, caso do consumo de madeira. Verifica-se a possibilidade de se identificar e quantificar esses recursos, presentes na edificação a ser avaliada. Ainda na mesma seção, foram identificados dados para a quantificação do consumo energético para manufatura de materiais e do consumo energético e emissões de CO₂ relativos a transportes, passíveis de serem introduzidos na avaliação proposta neste trabalho.

Com relação às *emissões e geração de resíduos*, foram apresentados dados sobre emissões tóxicas ao ar interior, com a identificação dos materiais usualmente presentes em edificações, que emitem esses resíduos perigosos, além de dados qualitativos sobre o potencial de reaproveitamento de diferentes materiais de construção. Verifica-se a possibilidade de se identificar e quantificar os materiais que emitem resíduos perigosos, incorporados à edificação, além daqueles que possuem baixo ou nulo potencial para reaproveitamento.

Constatada, ainda, a importância da visão pluridimensional da sustentabilidade, partiu-se para a identificação de *quais* itens relativos às demais dimensões são avaliados pelos métodos e ferramentas consolidados, passíveis de caracterização para a avaliação proposta nesta dissertação. Verificou-se que os mesmos possuem critérios relativos a custos, suporte à economia local, segurança, educação e acessibilidade no ambiente construído. Adicionalmente, foram identificadas recomendações para se avaliar aspectos sobre processos de construção inclusivos, por meio da observação do tipo de mão-de-obra utilizada no processo de construção. Destaca-se que, mesmo com análises qualitativas, critérios relativos à dimensão social não podiam deixar de ser incluídos no presente trabalho.

Assim, com base na pesquisa bibliográfica sintetizada neste capítulo, especialmente naquela relativa aos métodos, sobre *o que e como* avaliam as edificações, e com a identificação dos dados disponíveis para a caracterização das cargas ambientais, foram extraídos os critérios para a avaliação proposta nesta dissertação. Os procedimentos para a caracterização dos mesmos, assim como a metodologia de pesquisa, estão apontados no capítulo 4. No entanto, anteriormente à exposição do método, faz-se uma apresentação, no capítulo seguinte, das tecnologias construtivas empregadas na edificação em estudo, considerada relevante a fim de esclarecer aspectos técnicos e conceituais, uma vez que as mesmas ainda são consideradas não convencionais.

3 TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO COM FARDOS DE PALHA, TERRA E COBERTURAS VERDES

Diante do panorama sobre os impactos da indústria da construção civil, apresentado no capítulo anterior, considera-se importante uma abordagem sobre alguns materiais e técnicas construtivas que surgem como alternativa para o cenário. Este capítulo, fruto de pesquisa bibliográfica, traz uma discussão a respeito de materiais de construção naturais.

Dentro do debate sobre edificações sustentáveis, Chiras (2000) afirma que um dos critérios mais importantes para o sucesso dessas edificações é o uso de materiais naturais locais, incluindo fardos de palha e terra, que podem ser adquiridos no local ou nos arredores, diminuindo os custos da construção.

Smith (2002a) aponta que as edificações naturais não são uma novidade, visto que, por milhares de anos, a espécie humana construiu seus abrigos com materiais disponíveis localmente, como terra, pedra, árvores e gramíneas. A habilidade da construção era uma parte do conhecimento tradicional, passada de geração a geração. Com o advento da revolução industrial, a relação do homem com a edificação foi alterada, o que acabou gerando um padrão de degeneração, com os diversos impactos apresentados no capítulo 2. No entanto, Smith (2002a) destaca que algumas pessoas têm desafiado o paradigma da construção industrial, construindo suas próprias habitações e utilizando-se de materiais locais e técnicas tradicionais.

Segundo Kennedy (2002a), considera-se material natural aquele que está o mais próximo possível do estado em que é encontrado na natureza, como terra, pedra, pedregulho, areia, argila, torrão de terra, madeira, bambu, palha, junco, folhagem, fibras, esterco e aditivos orgânicos. A maioria dos construtores e projetistas de edificações naturais prefere o uso apenas desses materiais, no entanto, em alguns casos, é necessário utilizar materiais manufaturados. Segundo o autor, a cal, por exemplo, que foi usada como material de construção por milhares de anos, está sendo redescoberta e utilizada por muitos construtores de edificações naturais, por ser ambientalmente menos danosa do que o cimento Portland, e por originar revestimentos e pinturas permeáveis ao ar e à umidade.

Jones (2002) ressalta que a cal possui um ciclo fechado de carbono. Durante o processo de fabricação, o calcário ou carbonato de cálcio (CaCO_3) é submetido a altas temperaturas, liberando CO_2 na atmosfera e resultando no que se conhece por cal viva ou óxido de cálcio (CaO). No processo de hidratação (adição de H_2O), produz-se hidróxido de cálcio [$\text{Ca}(\text{OH})_2$] e, por fim, durante a secagem, ocorre a liberação de água e a difusão de CO_2 , e a cal retorna à composição química de sua matéria-prima (CaCO_3).

Para Kennedy (2002a), a decisão sobre que materiais utilizar deverá considerar, primordialmente, a disponibilidade local. Além disso, o autor aponta a importância de se estar ciente do processo de extração dos materiais, a fim de tomar conhecimento sobre as consequências de seu uso para o ecossistema local. Isso é especialmente relevante para o problema da madeira, mencionado no item 2.2.1.1.1.

A utilização de materiais naturais e locais na construção conserva energia e recursos. Wanek (2002) afirma que esses materiais possuem características que permitem a criação de edificações confortáveis e eficientes energeticamente. A autora aponta que a terra, por exemplo, que é um material disponível na maior parte dos terrenos, possui grande massa térmica, ou seja, absorve e armazena o calor, liberando-o para o ambiente quando a temperatura do ar esfria. A pedra também apresenta grande massa térmica. A palha, disponível em várias regiões, promove excelente isolamento. Wanek (2002) aponta que, a combinação de massa térmica e isolamento, com um projeto de aquecimento solar passivo, pode criar edificações extremamente confortáveis em climas moderados.

Os materiais naturais são apontados, por diversos autores, como alternativa aos produtos tóxicos que levaram à difusão das doenças ambientais (BAKER-LAPORTE, 2002; KENNEDY, 2002a; SMITH, 2002b). Segundo Baker-Laporte (2002), há milhões de substâncias químicas produzidas pelo homem, das quais cerca de setenta mil estão em uso cotidiano. Pouco se sabe a respeito de seus reais efeitos à saúde humana, e, menos ainda, sobre o que acontece quando interagem entre si, em um ambiente fechado. Entretanto, sabe-se que muitos desses produtos, presentes em materiais de construção, estão deixando as pessoas doentes. Smith (2002b) aponta que materiais como pedra, madeira, palha e terra, por outro lado, não são tóxicos e que a terra, por exemplo, um dos materiais naturais mais utilizados, tem habilidade de absorver toxinas e restituir a saúde.

De acordo com os preceitos da *Bau-Biologie*, ciência que estuda o impacto do ambiente construído sobre a saúde humana, a edificação é considerada a terceira pele do ser humano (sendo a roupa a segunda), interagindo com o mundo natural e facilitando uma troca balanceada de ar e umidade (BAKER-LAPORTE, 2002). Neste sentido, os projetos de edificações devem considerar as condições climáticas locais e as construções devem ser executadas com materiais naturais e não-tóxicos, permeáveis ao ar e à umidade. Baker-Laporte (2002) aponta, ainda, que materiais reciclados, que contém colas tóxicas, podem ser eficientes em termos de uso de recursos, porém não são saudáveis.

Woolley (2000) afirma que, além das vantagens em termos de saúde e energia, os materiais naturais, diferentemente dos materiais sintéticos, podem ser facilmente reciclados ou irão voltar naturalmente ao meio ambiente, quando a construção não for mais utilizada.

Destaca-se, ainda, o crescente interesse por pinturas naturais. Segundo Kennedy (2002b), as pinturas modernas, produzidas industrialmente, com compostos orgânicos voláteis, metais pesados e biocidas, são substâncias das mais tóxicas encontráveis nas edificações atuais. Além disso, são pouco permeáveis e detêm

umidade, o que, freqüentemente, propicia a proliferação de fungos, e conseqüente deterioração. As pinturas tradicionais, por outro lado, eram produzidas com materiais naturais. As mais simples são, geralmente, feitas a base de leite, cal, pigmentos de terra e uma quantidade de cola. Essas pinturas são permeáveis ao vapor, tornando-se apropriadas para diversas técnicas de construção com materiais naturais.

Além das vantagens ambientais, as construções com materiais naturais apresentam benefícios econômicos e sociais. Smith (2002b) destaca que é possível construir uma casa extremamente acessível economicamente, utilizando materiais locais e não processados, construindo casas menores do que as convencionais, e assegurando que grande parte do trabalho será realizada pelo proprietário. Adicionalmente, o autor aponta que as técnicas que dependem do trabalho humano e da criatividade produzem uma dinâmica social diferente daquelas que dependem de materiais processados, maquinário e trabalho especializado. Quando se constrói com fardos de palha, adobe ou taipa, por exemplo, existe a possibilidade de envolvimento de toda a família, inclusive de crianças, pois um canteiro de obras sem a presença de ferramentas perigosas é um ambiente seguro. Além disso, é possível convidar vizinhos e amigos para auxiliarem na construção, oferecendo alimentação e conhecimento, em troca do trabalho. Para o autor, essa prática permite a criação de uma estrutura social onde as pessoas dependem umas das outras para terem suas necessidades básicas atendidas, ao invés de dependerem de governos, corporações e especialistas.

As seções seguintes trazem uma abordagem mais detalhada sobre fardos de palha e terra. Dentre os materiais naturais citados, elegem-se estes por estarem empregados na edificação avaliada neste trabalho. Pelo mesmo motivo, abordam-se questões sobre coberturas verdes. Parte-se da exposição de conceitos gerais sobre os materiais e sistemas, apresentando as vantagens e desvantagens, e as técnicas construtivas com cada material.

3.1 O FARDO DE PALHA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

A palha é um material de construção renovável que cresce todos os anos. É um recurso naturalmente reciclável e que não possui qualquer problema de disposição final, visto que no caso de demolição de uma edificação, pode ser facilmente separada dos demais materiais e usada como um componente para melhorar as propriedades do solo, em jardins ou na agricultura. Consiste de celulose, lignina (substância que dá consistência à madeira) e sílica e possui uma casca que contém cera e é repelente à água. A produção dos fardos de palha e o transporte para o local da construção consomem relativamente pouca energia, se comparados com a produção de outros materiais de construção; portanto, este material quase não apresenta impacto negativo para o meio ambiente (MINKE; MAHLKE, 2005).

A construção com fardos de palha surgiu no final do século XIX, época em que apareceram as primeiras enfardadeiras de palha e com elas os fardos (CHIRAS, 2000; MIRA, 2003; MINKE; MAHLKE, 2005). A primeira

edificação com fardos de palha de que se tem notícia foi erguida em Nebraska, por volta de 1886 (STEEN *et al.*, 1994 apud MINKE; MAHLKE, 2005). Mira (2003) afirma que os fardos, inicialmente, foram utilizados por camponeses, carentes de madeira para construção. Chiras (2000) aponta que estas pessoas a princípio construíram habitações temporárias, contudo ao perceberem que as casas de fardos de palha eram duráveis e excepcionalmente confortáveis, revestiram o exterior das edificações, com argamassa, e estas passaram a ser suas vivendas permanentes. As primeiras edificações de fardos de palha foram construídas sem estrutura de madeira, com as paredes de fardo sustentando diretamente o telhado. Na literatura, esta técnica de paredes autoportantes foi posteriormente denominada de Técnica de Nebraska.

Chiras (2000) comenta que, apesar do seu sucesso inicial, a construção com fardos de palha nunca se tornou popular. Até mesmo em Nebraska, com o tempo, os fardos foram substituídos por produtos de madeira e esse tipo de construção entrou em um período de estagnação. O autor aponta que o renascimento da construção com fardos de palha se deu no final dos anos 70 e início dos anos 80, nos Estados Unidos, motivado principalmente por questões ambientais, como energia, poluição, desmatamento e depreciação de recursos naturais. Minke e Mahlke (2005) destacam que, nessa época, surgiram várias publicações sobre o tema, nos Estados Unidos, e relatam que, entre os anos de 1995 e 2001, o número de edificações de fardos de palha existentes na Europa subiu de aproximadamente quarenta unidades para quatrocentas.

Os fardos de palha são produzidos em diversos formatos. Os menores possuem geralmente 35x50x 50 a 120cm. Entretanto, o que determina a altura e a largura dos fardos são as medidas de secção da enfardadeira. O comprimento mais comum dos fardos é de 80 a 90cm. A densidade varia entre 80 e 120kg/m³, sendo que fardos com densidade menor não são adequados para a construção. Com relação ao conteúdo de umidade, deve estar abaixo de 15% para o uso como material de construção (MINKE; MAHLKE, 2005). Myhrman e MacDonald (1999) afirmam que, quanto mais seco estiver o fardo de palha, mais apto estará para ser usado na construção. Além disso, o fardo deve possuir compactação suficiente para o uso pretendido. Segundo os autores, é muito mais importante os fardos estarem secos e compactados, do que serem de trigo ou de aveia. Outra característica apontada é que os fardos devem possuir dimensões e compactação precisas, para facilitarem a construção de paredes relativamente lisas e de altura uniforme. Minke e Mahlke (2005) destacam, ainda, que os fardos para a construção não devem conter ervas daninhas.

3.1.1 Vantagens e Desvantagens

Chiras (2000) afirma que como todas as tecnologias construtivas que utilizam materiais naturais, e como todas as tecnologias construtivas existentes, há vantagens e desvantagens na utilização de fardos de palha. Algumas desvantagens citadas pelo autor são a dificuldade na obtenção de permissão, financiamento e recursos, por ser

ainda considerada uma tecnologia não convencional; a necessidade de proteção das paredes contra umidade para evitar mofo e apodrecimento; o aumento da complexidade do projeto no que concerne às instalações elétricas e hidráulicas; a impossibilidade de construção de subsolos.

O mesmo autor destaca, ainda, que desviar toda a palha para a construção pode causar prejuízos ao solo, visto que a palha renova o solo para a agricultura, adicionando nutrientes vitais, orgânicos e inorgânicos. Além disso, comenta que as tecnologias de construção com fardos de palha estão em um rápido processo de evolução e que os métodos atuais podem se tornar obsoletos ou mostrarem-se inadequados.

Por outro lado, diversas são as vantagens das edificações de fardos de palha apontadas por Chiras (2000), tais como:

- a) o fato de serem produzidas com um recurso abundante e renovável, um subproduto da produção de grãos, que normalmente é queimado;
- b) facilidade de aquisição em muitos locais;
- c) necessidade reduzida de madeira, podendo reduzir o desmatamento;
- d) baixa energia embutida do material;
- e) aptidão para vários tipos de clima;
- f) isolamento térmico e acústico;
- g) aptidão para sistemas de aquecimento solar passivo;
- h) redução da necessidade de sistemas de aquecimento e resfriamento artificiais;
- i) facilidade de construção, possibilitando o emprego de mão-de-obra não qualificada e participação da comunidade;
- j) flexibilidade, permitindo formas variadas e combinação com outras técnicas e materiais naturais.

Com relação ao risco de incêndio, Minke e Mahlke (2005) apontam que não se pode negar que a palha solta pega fogo facilmente, porém a realidade de que fardos de palha revestidos com argamassa de ambos os lados atingem um índice de resistência ao fogo de 90 minutos, é desconhecida. Quanto aos roedores, os mesmos autores comentam que estes animais não se alimentam de fardos com densidade superior a 90kg/m³. Além disso, se as paredes estiverem revestidas, os animais terão que penetrar por uma camada de cerca de 3cm de revestimento, o que ainda não foi observado. Sobre os cupins, os autores salientam que a maioria das espécies prefere se alimentar de madeira e, com relação ao mofo, destacam que, se bem executadas, as paredes de fardos não serão atingidas por mofo.

3.1.2 Técnicas de construção com fardos de palha

Existem duas técnicas de construção com fardos de palha: sistema de paredes portantes ou técnica de Nebraska e sistema de paredes não portantes. A técnica de paredes portantes consiste na construção de paredes de fardos de palha empilhados, que transmitem a carga do telhado diretamente às fundações. É uma técnica atrativa devido à simplicidade estrutural, ao pouco tempo necessário para a construção e ao baixo custo, respectivamente (MINKE; MAHLKE, 2005). A figura 3 apresenta detalhes de uma parede de fardos portante.

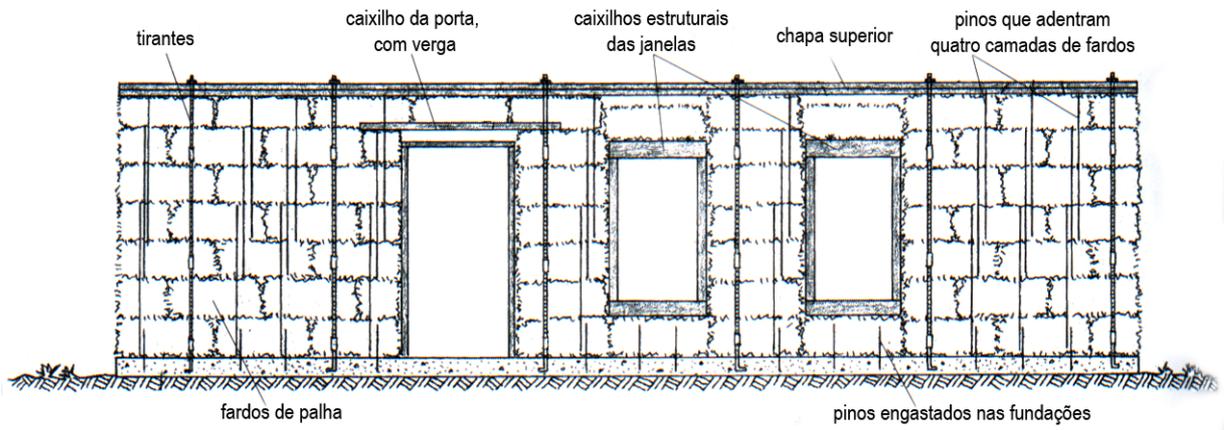


Figura 3: detalhes de uma parede portante de fardos de palha (baseado em CHIRAS, 2000, p. 72)

Na figura 4 pode-se observar a casa espiral, uma residência na Irlanda, construída em 2002, com a técnica de paredes portantes, uma das primeiras edificações com esta técnica a receber permissão oficial na Europa. A casa possui fundações em pedra do local e revestimento em argamassa de cal (MINKE; MAHLKE, 2005).



Figura 4: casa espiral (MINKE; MAHLKE, 2005, p. 94 e 95)

Por outro lado, no sistema de paredes não portantes, de acordo com Minke e Mahlke (2005), a função estrutural não é desempenhada pelos fardos, mas sim por uma estrutura independente, normalmente feita de postes de madeira. Os fardos têm a função de vedação e de isolante térmico e devem ser amarrados aos

elementos estruturais. A estrutura da edificação, normalmente, consiste em troncos de madeira, e a base da parede pode ser de pedra natural local. A figura 5 apresenta um desenho esquemático do sistema de paredes não portantes, com sua respectiva seqüência de construção. A figura 6 mostra um exemplo de uma edificação construída com esta técnica, localizada em Punta Ballena, no Uruguai. A estrutura da edificação consiste em troncos de eucalipto, a base da parede é de pedra natural, e, interiormente, a construção é revestida com argamassa de terra.

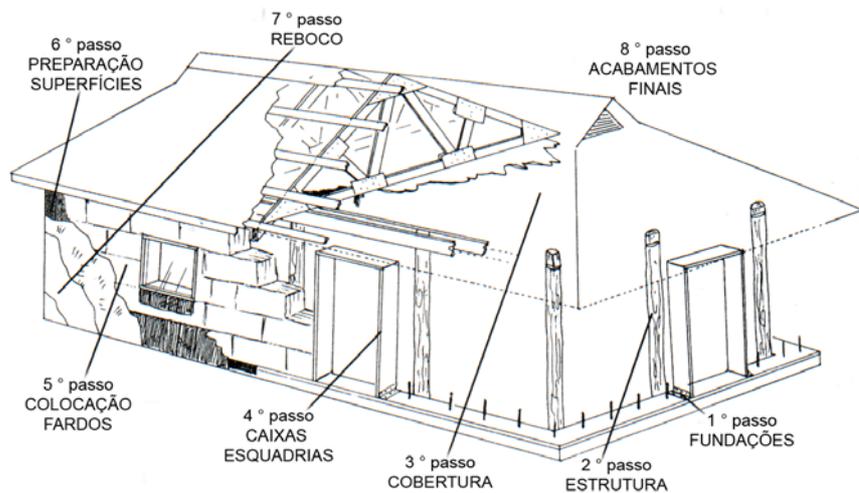


Figura 5: sistema de paredes de fardos de palha não portantes (baseado em MYHRMAN; MACDONALD, 1999, p. 123)



Figura 6: edificação residencial em Punta Ballena (MINKE; MAHLKE, 2006, p. 109)

Quase todas as construções com fardos de palha são revestidas com argamassas mistas de solo, de cal ou de cimento. Segundo King (1996), a argamassa de cimento tem propriedades estruturais e é, geralmente, melhor aceita pelas legislações. Entretanto, por ser rígida e frágil, é a que menos condiz com os fardos de palha. Proprietários e construtores, usualmente, preferem revestimentos de solo ou de cal, por possuírem aparência mais suave, menos problemas de fissuras e permeabilidade à umidade.

Com relação à licença para construção, já é uma realidade em diversos países do hemisfério norte. Segundo Minke e Mahlke (2005), nos Estados Unidos, vários estados possuem normas particulares para a construção com fardos de palha, sendo os códigos da Califórnia e do Arizona os mais detalhados. Adicionalmente, edificações de dois pavimentos com a técnica de paredes portantes já foram aprovadas no Canadá, na Suécia e na Irlanda.

3.2 A TERRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO

O uso da terra³ como material de construção data de épocas remotas, quando o homem sentiu a necessidade de construir seu abrigo, ao invés de usar apenas aqueles oferecidos pela natureza. Segundo Neves (1995), uma das formas mais primitivas para a execução de paredes foi a utilização de blocos de pedras, contudo onde não havia pedra, os muros foram erguidos com os materiais disponíveis, principalmente a madeira e a terra.

Arini e Gallo (2002) apontam que a arquitetura de terra, ao longo do tempo e do uso, foi aprimorando-se e sofisticando-se a partir do contato entre os povos. Essa arquitetura, se devidamente resgatada, pode ser considerada como possível fator de sustentabilidade frente ao quadro das necessidades e carências construtivas dos países em desenvolvimento e dos países pobres. A diversidade de edificações históricas nos diversos continentes, ainda hoje em bom estado de conservação, exemplifica tipologias passíveis de resgate.

3.2.1 Vantagens e Desvantagens

Ao ser utilizada como material de construção, a terra possui vantagens e desvantagens. Em relação aos materiais industrializados, segundo Minke (2005), a terra apresenta as seguintes desvantagens:

- a) não é um material de construção padronizado. Sua composição depende do lugar de onde é extraída, podendo conter diferentes quantidades e tipos de argila, areia e agregados. Por isso, a preparação da mistura correta para uma aplicação específica varia também;
- b) retração. Em consequência da evaporação da água da mistura, necessária para ativar a capacidade aglomerante da argila e para que a terra possa ser manipulada, podem aparecer fissuras nas paredes de terra. A retração linear durante a secagem oscila entre 3 e 12% em técnicas de terra úmida, e entre 0,4 e 2% em técnicas com misturas secas. Entretanto pode-se

³ Segundo Neves (2004), na arquitetura e construção com terra, é a denominação dada a toda produção arquitetônica que emprega o solo como material de construção, podendo receber várias denominações, tais como terra crua, terra sem cozer ou terra para a construção. Neste trabalho, adota-se o termo terra. O termo solo é empregado quando envolve classificações e caracterizações.

diminuir a retração reduzindo a quantidade de água e argila, otimizando a composição granulométrica mediante o emprego de materiais estabilizantes.

- c) permeabilidade alta. As paredes de terra necessitam ser protegidas contra a chuva e as geadas, o que pode ser feito, por exemplo, com a utilização de beirais, barreiras impermeabilizantes e tratamento de superfícies. Barbosa e Mattone (2002) destacam que, segundo um antigo provérbio, o que uma construção com terra precisa é de boas botas e bom chapéu, ou seja, uma boa base e uma boa cobertura, para garantir a durabilidade da edificação.

Por outro lado, diversas são as vantagens apresentadas pela terra como material de construção. Guillaud e Houben (1995) apontam:

- a) do ponto de vista ambiental,
- não contribui para o desmatamento, pois não necessita ser queimada;
 - não consome energia de combustíveis fósseis para a produção de materiais;
 - economiza energia para transporte de materiais;
 - não contribui para a degradação de paisagens naturais, pois a extração é descentralizada;
 - não produz resíduos químicos ou industriais e é inteiramente reciclável;
- b) do ponto de vista econômico,
- é, freqüentemente, mais acessível que as tecnologias convencionais;
 - durante o processo de produção, apresenta potencial para criação de empregos, podendo gerar poder aquisitivo para a população;
- c) do ponto de vista técnico,
- possui propriedades físicas, térmicas e hídricas, que permitem a regulação do conforto térmico e o funcionamento bioclimático da edificação;
 - requer, quase sempre, apenas ferramentas simples na produção e aplicação, acessíveis a grande parte dos pedreiros e construtores;
- d) do ponto de vista psicológico e de saúde,
- é um material não poluente, garantindo a ausência de emissões gasosas e de componentes tóxicos no interior da edificação;
 - contribui para o bem-estar psicológico, a partir da exploração arquitetônica de suas características inerentes – textura, cor, forma e luminosidade;
- e) do ponto de vista cultural e humano,
- continua, ininterruptamente, a herança arquitetônica tradicional de muitos países, que utilizam materiais locais, exercendo um papel importante para a sobrevivência e a atualização do patrimônio cultural, arquitetônico e urbano;
 - é adequada para a autoconstrução, permitindo à população apropriar-se das tecnologias e incumbir-se da produção de seu ambiente construído, contribuindo para o cumprimento dos direitos humanos, relativos à moradia.

Adicionalmente, sob o ponto de vista cultural e humano, ressalta-se que a terra tem potencial para recuperar um método de ocupação nas grandes periferias e, conseqüentemente, regenerar o espírito comunitário urbano.

3.2.2 Os solos

O solo é constituído basicamente por partículas, que podem ser agrupadas de acordo com as dimensões dos grãos. As partículas são classificadas em pedregulho, areia (fina, média ou grossa), silte e argila, cada uma com características particulares que, em função da quantidade predominante em cada solo, irão definir a técnica de construção mais adequada (NEVES *et al.*, 2005). A composição granulométrica do solo é determinada com precisão em laboratório (FARIA, 2002), porém é possível fazer testes em campo, como os testes da queda da bola, do vidro, do cordão, da fita, de exsudação, da resistência seca, do rolo e da caixa, cujos procedimentos são descritos com detalhes no trabalho de Neves *et al.* (2005).

Neves *et al.* (2005) apontam que a terra como material de construção é utilizada, principalmente, de dois modos: embebida em água, constituindo uma massa plástica ou barro; ou uma mistura úmida, compactada ou prensada. No primeiro caso, o produto resultante possui uma porosidade elevada, devido à evaporação da água adicionada, apresentando propriedades mecânicas e de impermeabilidade diferentes e menores que as do material obtido no segundo procedimento.

As características de muitos solos podem ser melhoradas para sua utilização na construção, por meio da adição de substâncias conhecidas como estabilizantes. Existe uma grande quantidade de estabilizadores, os quais são agrupados por Bardou e Arzoumanian (1979), em quatro categorias, de acordo com o efeito que exercem sobre as partículas do solo:

- a) **estabilização por cimentação**, adição, ao solo, de uma substância capaz de solidarizar os grãos de areia e as partículas argilosas. Materiais adequados: cimento Portland; cal virgem ou hidratada; uma mistura de cal e cimento; ou ainda uma mistura de cal com cinzas (de coque, de hulha, entre outras);
- b) **estabilização por armação**, adição, ao solo, de um material de coesão (grãos ou fibras), que permita assegurar, por atrito com as partículas de argila, uma maior resistência ao material. Materiais adequados: fibras vegetais;
- c) **estabilização por impermeabilização**, consiste em se envolver as partículas de argila por uma camada impermeável, tornando-as estáveis e mais resistentes à ação da água. O material mais conhecido para este fim é o asfalto (ou betume), utilizado em emulsão. Podem ser utilizadas outras substâncias, como o óleo de coco, seivas de algumas plantas oleaginosas, o látex e os resíduos da prensagem do azeite de oliva;

- d) estabilização por tratamento químico, adição, ao solo, de substâncias capazes de formar compostos estáveis com os elementos da argila. Materiais adequados: cal (que forma compostos pozolânicos), soda cáustica e urina de gado.

3.2.3 Técnicas de construção com terra

As possibilidades técnicas, construtivas e arquitetônicas da terra são muito amplas. Guillaud e Houben (1995) apontam que o estudo das tradições populares e do conhecimento tradicional possibilitou a identificação de dezoito métodos diferentes de utilização do material, cada um capaz de ser utilizado de diversas formas. A figura 7 apresenta um diagrama de divisão das técnicas, elaborado pelo CRATerre, (*Centre de Recherches de la Construction en Terre*), grupo criado na França, com a finalidade de estudar profundamente o uso da terra na antiguidade e aplicar este conhecimento em construções atuais.

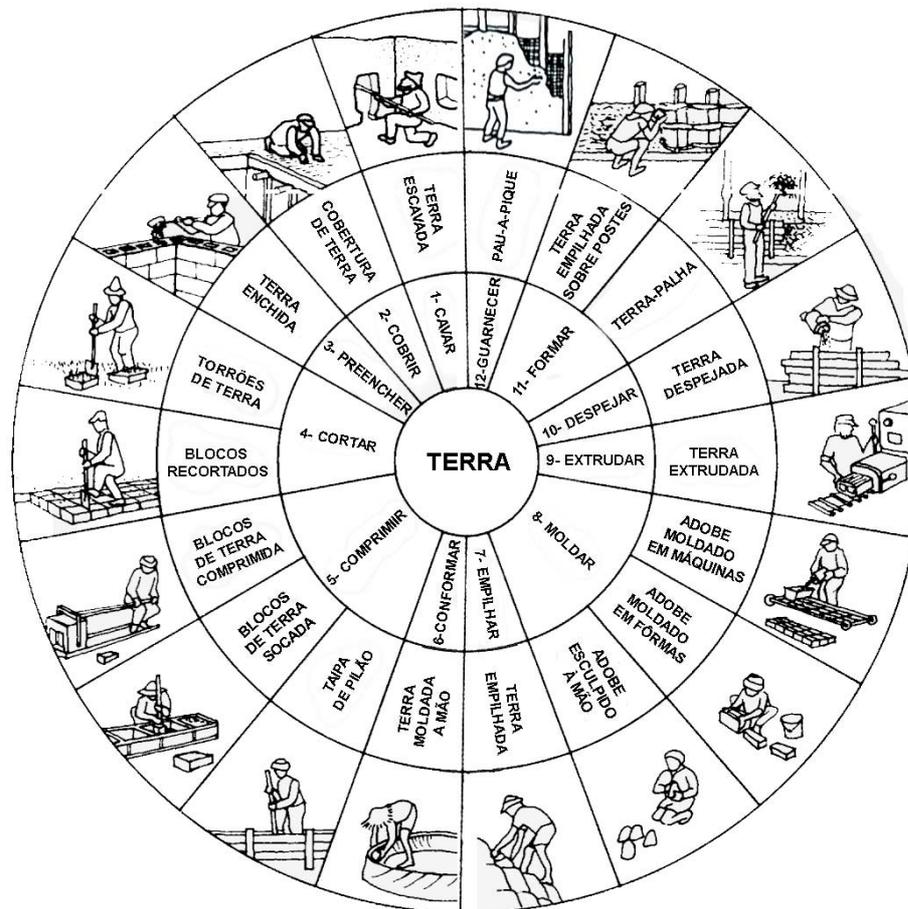


Figura 7: diagrama dos diversos sistemas construtivos com terra, elaborado pelo grupo CRATerre (baseado em GUILLAUD, 1986, p. 48; CRATERRE; 2006)

Algumas das técnicas mencionadas no diagrama ainda são utilizadas em vários países, outras foram abandonadas. As técnicas mais amplamente utilizadas são conhecidas com as denominações de: adobe, taipa

de pilão, pau-a-pique, terra-palha, terra empilhada e bloco de terra comprimida (GUILLAUD; HOUBEN, 1995).

De acordo com DOAT *et al.* (1979), a técnica do adobe consiste em moldar, sem compactar, tijolos de terra, deixando-os secarem ao sol. Os autores apontam que o adobe é utilizado por milênios, e é um dos primeiros materiais de construção elaborados pelo homem. Faria (2002) aponta que a terra, de preferência pouco argilosa e muito arenosa, é misturada com água até que se obtenha uma mistura plástica, o barro, ao qual pode ser adicionada palha picada ou outras fibras. O amassamento, geralmente, é feito com os pés, e, em seguida, o barro é moldado à mão, em fôrmas de madeira ou metálicas. Posteriormente, os adobes são desenformados e, segundo Minke (2005), devem ser postos a secar ao ar livre.

Segundo Neves (2004), a execução da alvenaria de adobe é semelhante à da alvenaria convencional, estando a particularidade relacionada, principalmente, ao tipo de argamassa, em geral preparada com os mesmos materiais utilizados no componente de terra. Costuma-se acrescentar algum estabilizante no revestimento, para a proteção contra as intempéries.

Os adobes também são adequados para a construção de abóbadas e cúpulas, sendo que as formas abobadadas tornaram-se célebres, principalmente, pelo trabalho do arquiteto Hassan Fathy (FATHY, 1980), que resgatou a técnica da abóbada núbica no Egito. A figura 8 apresenta uma creche infantil, na Alemanha, construída com cúpulas de adobes, e uma residência em adobe, no Novo México, Estados Unidos.

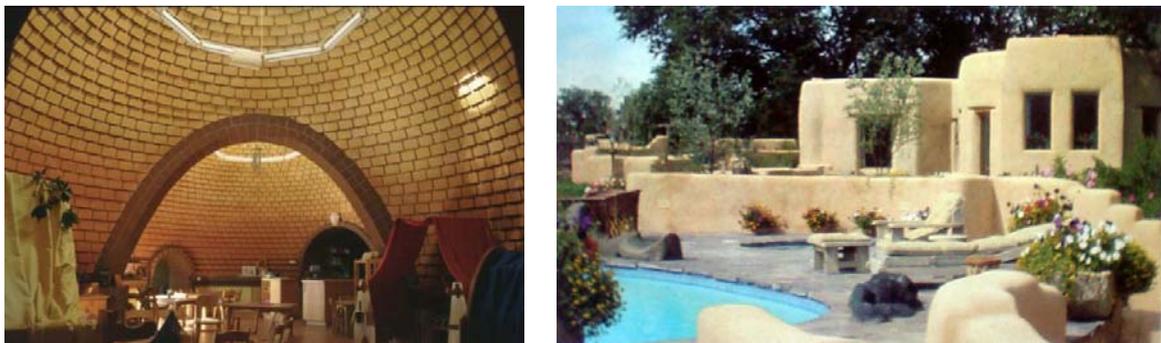


Figura 8: exemplares de edificações em adobe (MINKE, 2005, p. 202; DETHIER, 1986, p. 202)

A taipa de pilão, segundo DOAT *et al.* (1979), é um método no qual paredes de terra são construídas sem estruturas permanentes de madeira, e sem se misturar a terra a palhas ou fibras. Consiste em socar a terra entre pranchas de madeira, camada por camada, formando paredes monolíticas, com espessura semelhante a de paredes de pedra. A terra, extraída diretamente do solo arenoso, é muito seca para fornecer adequada coesão, necessitando ser socada, o que é feito com o auxílio de um pilão. Faria (2002) destaca que a regra geral para a espessura das paredes de taipa é que devem ter em torno de 10% do pé-direito. A figura 9 apresenta uma

edificação histórica e outra moderna, construídas com esta técnica. À esquerda, um rancho na França, e à direita uma casa de campo na Alemanha.

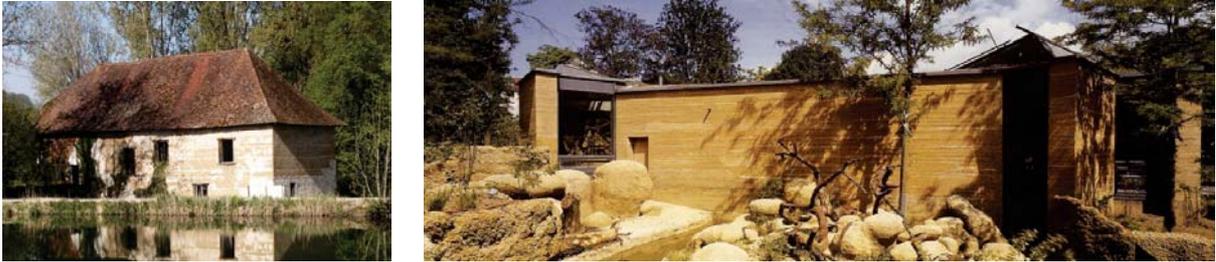


Figura 9: exemplares de edificações em taipa de pilão (CRATERRE, 2006)

Na técnica do pau-a-pique (ou taipa-de-mão ou técnica mista), segundo Guillaud (1986), a terra argilosa, que pode ser misturada com palha ou outras fibras vegetais, é utilizada para o preenchimento de uma estrutura entramada de madeira, a ossatura. Entre os montantes da estrutura, é construído o engradamento de madeira. Este, de acordo com Alvarenga (1995), é feito com esteios na vertical (a pique) e varas na horizontal, trançados entre si e presos com fibras vegetais, cipó, ou tiras de couro. A trama é preenchida com barro, que, em geral, é jogado por pessoas, colocadas uma em cada lado da trama.

Esta técnica tem uso freqüente no Brasil, porém é associada a construções pobres e transitórias. Alvarenga (1995) aponta que, em geral, os construtores são os próprios moradores, e que a idéia de se construir no futuro uma casa de tijolo ou de blocos de concreto faz com que as habitações sejam construídas sem os devidos cuidados técnicos. Por outro lado, Lopes e Ino (2003) afirmam que vários exemplos de edificações em taipa de mão, construídos em tempos remotos, persistem até os dias atuais, demonstrando o potencial de seu uso e sua durabilidade. As autoras ressaltam, ainda, que diversas edificações contemporâneas, nas quais foram respeitados procedimentos construtivos, atestam a versatilidade e o excelente desempenho da técnica. A figura 10 apresenta um pequeno Museu de História Natural, construído com a técnica, e um estúdio de arquitetura, que possui uma parede em pau-a-pique (cor amarelo-palha, à esquerda), revestida com argamassa de cal, areia e terra, ambas edificações localizadas no interior do estado de São Paulo.



Figura 10: exemplares de edificações em pau-a-pique (PIVA, 2006, p. 2 e 4)

Na técnica da terra-palha, segundo Faria (2002), utiliza-se solo extremamente argiloso, com pouca ou nenhuma areia. A terra é dispersada em água, até se obter um líquido espesso e homogêneo, que deve ser misturado à palha, gerando uma mescla composta por mais palha do que terra. A mistura é moldada em fôrmas, compactada, cuidadosamente desenformada, e, em seguida, posta a secar. Quando seco, o material pode ser utilizado em vedações de estruturas de madeira ou empregado em paredes monolíticas. O autor destaca que o material produzido é extremamente leve (com massa específica de 250kg/m^3) e possui ótimas características térmicas e acústicas. No entanto, por ser um material frágil, necessita receber proteção mecânica contra as intempéries, como reboco ou lambris de madeira.

A técnica da terra empilhada, ou *bauge*, permite modelar a terra diretamente, sem a ajuda de moldes ou fôrmas, aproveitando a plasticidade dos solos úmidos (DOAT *et al.*, 1979). Segundo Guillaud (1986), a terra suficientemente plástica, adicionada de água, amassada e misturada com palha, grama, ou às vezes galhos finos, é modelada em pacotes ou bolas grosseiras, que são sucessivamente empilhadas e ligeiramente comprimidas, até que se obtenha espessas paredes monolíticas. A figura 11 apresenta desenhos esquemáticos do emprego da técnica na construção de paredes circulares, em Gana, e um exemplar de edificação em terra empilhada, uma casa de campo, na Inglaterra.



Figura 11: desenhos esquemáticos e exemplar de edificação em terra empilhada (MINKE, 2005, p. 87; CRATERRE, 2006)

O bloco de terra comprimida, segundo Guillaud (1986), é a versão moderna do tijolo cru moldado, porém empregando solo com características semelhantes ao utilizado na técnica da taipa de pilão, apenas um pouco mais argiloso. O material é compactado em prensas, em estado pouco úmido. Segundo Faria (2002), atualmente existe uma variedade muito grande de prensas, manuais e mecânicas, que são utilizadas para a fabricação de tijolos de solo-cimento, uma mistura de solo arenoso com cimento, na proporção de 10 a 14:1, com baixo teor de umidade. O autor aponta que, após a prensagem, os tijolos passam por um período de cura e secagem, e posteriormente, são assentados com argamassa de terra ou cal.

3.3 COBERTURAS VERDES

As coberturas verdes são caracterizadas pela utilização de vegetação sobre o telhado, com o uso de grama ou outras espécies. Também são conhecidas como telhados verdes, coberturas vivas, coberturas ecológicas, entre outras denominações. Segundo Köhler *et al.* (2001), estas coberturas possuem uma longa tradição mundial. Os famosos jardins suspensos da Babilônia, uma das sete maravilhas do mundo antigo, servem como exemplo.

Köhler *et al.* (2001) classificam as coberturas verdes em intensivas e extensivas, de acordo com a espessura da camada de substrato, o tipo vegetação a ele associada e a necessidade de manutenção. Segundo Krebs (2005), esta classificação é importante para que se conheçam as principais diferenças de implementação e manutenção de cada uma.

As coberturas verdes intensivas, de acordo com Köhler *et al.* (2001), caracterizam-se por apresentarem um substrato com altura maior que 50 centímetros, irrigação artificial e uma ampla variedade de vegetação. Minke (2004) destaca que estas coberturas devem ser abastecidas regularmente com água e nutrientes e que a variedade de plantas utilizadas somente é possível em telhados planos. O autor aponta que a própria denominação intensiva remete à necessidade de cuidados intensivos e custos especiais. Köhler *et al.* (2001) salientam que estas coberturas são mais comuns em edifícios representativos e hotéis luxuosos. A figura 12 apresenta dois exemplares destas coberturas, os terraços da Biblioteca Pública de Vancouver e do Ministério da Educação e Cultura, no Rio de Janeiro.



Figura 12: exemplares de coberturas verdes intensivas⁴ (KREBS, 2005, p. 35)

Krebs (2005) aponta que, apesar dos cuidados necessários, as coberturas verdes intensivas admitem o trânsito de pessoas, podendo funcionar como praças ou até pequenos parques nos topos das construções, o que poderia transformar estes espaços em reservas verdes, artificialmente produzidas, para a obtenção de novas áreas verdes nos centros urbanos.

⁴ Imagem da Biblioteca de Vancouver extraída da apresentação sobre Coberturas Vivas, realizada pela engenheira agrônoma Rita Antochévis, na disciplina de paisagismo sustentável, NORIE, 2005.

As coberturas verdes extensivas, por outro lado, não necessitam de cuidados nem de irrigação. Köhler *et al.* (2001) apontam que essas coberturas funcionavam primeiramente como uma pele climática e têm suas origens em edificações residenciais na Islândia e em armazéns de vinho na Hungria. Simples telhados de grama eram usados para isolar o interior contra o calor no verão e o frio no inverno. Os autores destacam que, em 1990, o telhado verde extensivo foi aprimorado, na Alemanha, para o uso em edifícios residenciais contemporâneos. Em muitas cidades alemãs, foi usado para a proteção contra incêndio. Este tipo de telhado provou ser durável, quase não necessitando de manutenção.

Para Minke (2004), as coberturas extensivas são caracterizadas por um tipo de plantação que cresce naturalmente, sem ser semeada, que se resolve com uma pequena espessura de substrato, de 3 a 15 centímetros, sem água e nutrientes, e forma uma durável e fechada camada de plantas. O autor afirma que o peso não ultrapassa 160kg/m². A vegetação de musgos, suculentas ou relva de diferente composição pode sobreviver sem cuidados e é resistente à seca e às geadas. Por este motivo, elegem-se geralmente plantas silvestres. O autor afirma que, são consideradas coberturas verdes extensivas, aquelas que possuem inclinação a partir de 5%. A figura 13 apresenta exemplos deste tipo de cobertura, em um projeto de urbanização e em uma residência, ambos na Alemanha.

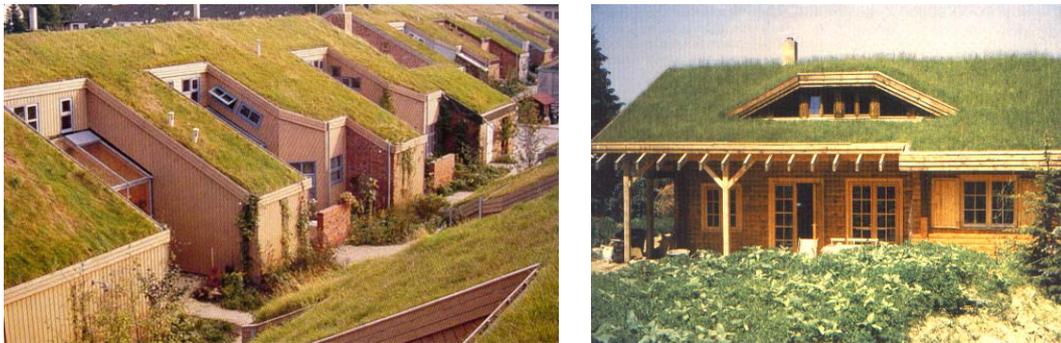


Figura 13: exemplares de coberturas verdes extensivas (MINKE, 2004, p. 22 e 30).

3.3.1 Vantagens e Desvantagens

Krebs (2005) realizou uma pesquisa em dez exemplares de coberturas verdes, em Porto Alegre e na Serra Gaúcha, e constatou alguns problemas de infiltração. Entretanto, isto ocorreu nos casos em que a impermeabilização não foi corretamente executada, e por isso, não é considerado uma desvantagem do sistema. Considera-se, neste trabalho, que a principal desvantagem das coberturas verdes é a utilização de plásticos, em alguns sistemas de impermeabilização. Os plásticos são materiais altamente consumidores de energia para sua produção (ver quadros 01 e 02, no capítulo 2), quando recicláveis, também acarretam em consumo de energia, e

conseqüentes emissões aéreas, e, em algumas situações, como é o caso do PVC (THORNTON, 2000), provocam sérios danos à saúde humana.

Por outro lado, diversas são as vantagens do uso das coberturas verdes. Köhler *et al.* (2001) apontam a melhoria do conforto térmico da edificação e a retenção de águas pluviais como as principais vantagens. Minke (2004) afirma que as coberturas verdes conduzem, em sua essência, a uma construção ecológica e econômica e aponta outras vantagens, tais como redução das superfícies impermeáveis; produção de oxigênio e absorção de gás carbônico; filtragem das partículas de pó e sujeira e absorção de substâncias nocivas ao homem; longa vida útil, se executadas corretamente; isolamento acústico; proteção contra incêndio; produção de aromas agradáveis; abrigo para a biodiversidade; beleza estética e influência positiva no bem-estar das pessoas; integração com a paisagem.

Com relação à melhoria do conforto térmico, Minke (2004) aponta que as coberturas verdes regulam a temperatura e a umidade, são isolantes térmicos e protegem a edificação no verão contra a intensa radiação solar. Para Köhler *et al.* (2001), o principal argumento para a utilização dos telhados verdes é a redução da temperatura superficial da cobertura. Minke (2004) afirma que por meio da evaporação da água e da fotossíntese, as plantas retiram o calor do seu entorno. O autor afirma que as plantas podem reduzir a amplitude de oscilação de temperatura, a partir da evapotranspiração e da condensação da água. A vegetação também reduz as variações de umidade, pois quando o ar está seco, as plantas evaporam uma quantidade considerável de água, elevando a umidade do ar, e quando o ar está úmido, as plantas formam o orvalho, diminuindo a umidade.

Quanto à capacidade de retenção de águas pluviais, pesquisas realizadas pela Universidade de Kassel mostraram que uma cobertura verde com 12° de inclinação e 14cm de espessura de substrato, depois de uma forte chuva de 18 horas de duração, apresentou um retardo de 12 horas no deságüe pluvial, sendo que a chuva só acabou de desaguar 21 horas depois que havia deixado de chover (MINKE, 2004). Em outro ensaio, realizado em *Veitshöchheim*, um telhado verde com apenas 10cm de substrato, para uma intensidade de chuva de 20l/m² em 15 minutos, deixa desaguar apenas 5l/m² contra 16l/m² de um telhado convencional (MINKE, 2004). Essas pesquisas mostram que as coberturas verdes podem aliviar as redes de esgoto pluvial das cidades, bem como reduzir as enchentes urbanas.

3.3.2 Técnicas de construção de coberturas verdes

Antes da diferenciação dos sistemas de construção, é importante abordar, brevemente, alguns aspectos construtivos das coberturas verdes. Quanto à estrutura, todos os telhados que possam suportar a carga podem servir de estrutura para uma cobertura verde. Estas coberturas são formadas por várias camadas, cada uma com função específica (POUEY, 1998; CORREA; GONZÁLEZ, 2002; MINKE, 2004):

- a) de impermeabilização, para impedir a infiltração de água na edificação;
- b) de proteção contra a perfuração das raízes, para impedir danos na impermeabilização e para retenção de água e nutrientes. Geralmente, a proteção contra raízes e a impermeabilização se conseguem com o mesmo material. Minke (2004) cita diversos exemplos de membranas destinadas a esse fim, e afirma que, na Europa, o material mais seguro e mais econômico é uma membrana de poliéster, revestida com PVC, com 2mm de espessura. Para a realidade da América Latina, o autor sugere a utilização de polietileno de alta densidade (PEAD). O autor destaca uma alternativa mais aceitável do ponto de vista ecológico, porém mais cara, encontrada na Europa: uma membrana de tecido revestida com poliolefino, livre de halógenos e cloro;
- c) de proteção contra danos mecânicos, necessária quando a base para a membrana de proteção contra raízes é rugosa ou irregular. Corresponde a um feltro ou uma camada de areia, abaixo da membrana;
- d) de drenagem, tem como objetivo tanto direcionar a água excedente como, até certo ponto, armazenar água. São aptos, principalmente, os materiais minerais porosos e leves;
- e) de filtragem, para impedir a passagem do substrato à camada de drenagem, o que prejudicaria o sistema e a circulação do ar. Geralmente, utilizam-se mantas geotêxteis, que costumam ser fabricadas com fibras plásticas, porém há autores (SCHIMITZ-GÜNTER, 1999 apud CORREA; GONZÁLEZ, 2002) que, dentro de uma visão de construção sustentável, apontam como alternativa a utilização de materiais naturais, como juta ou estopa;
- f) de substrato, corresponde à camada de suporte da vegetação, onde se produz o trabalho das raízes, e que serve de nutriente para a vegetação e para armazenamento de água;
- g) de vegetação, consiste na cobertura vegetal propriamente dita e vai depender do tipo de telhado, sendo que plantas nativas são mais indicadas para o sistema extensivo, e plantas que requerem maior cuidado quanto à composição do solo, irrigação e drenagem, para o sistema intensivo.

Uma forma de se diferenciar os telhados verdes é por sua inclinação. Telhados com inclinação de até 3° são considerados telhados planos. Segundo Minke (2004), nestes telhados, a vegetação fica mais exposta às variações de umidade do que nos inclinados e, por isso, faz-se necessária a presença de uma camada de drenagem especial para desviar a água, separada do substrato por meio de um feltro, conforme pode ser visualizado na figura 14. Este tipo de telhado configura uma solução muito mais custosa que as seguintes.

Aos telhados com inclinação entre 3° e 20°, denominam-se telhados de leve inclinação. Este declive possibilita construções fáceis e econômicas de telhados verdes, que podem ser executados sem o feltro de separação da camada de drenagem (figura 14). O substrato tem, ao mesmo tempo, as funções de armazenar e de desviar o excesso de água. Para isto, deve-se agregar a este, partículas de material mineral poroso, que aumentam o isolamento térmico, reduzem o peso do substrato e facilitam a respiração das raízes (MINKE, 2004).

Denominam-se telhados de forte inclinação aqueles que possuem inclinação de 20° a 40°. Apresentam estrutura semelhante aos telhados de leve inclinação, porém a particularidade é que necessitam de dispositivos

contra o deslizamento, conforme a inclinação do telhado e a altura do substrato, como, por exemplo, sarrafos de madeira (MINKE, 2004).

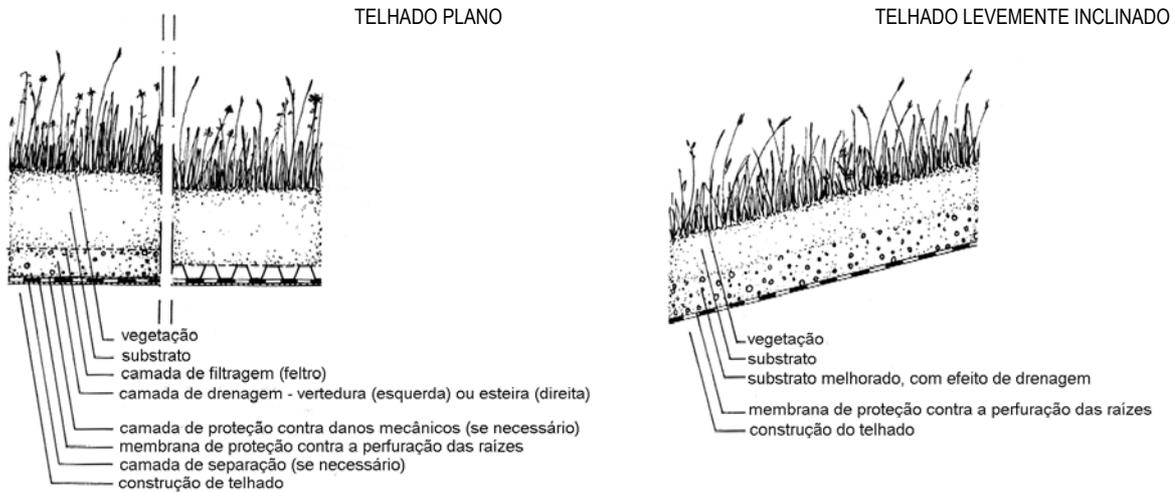


Figura 14: esquemas de construção de telhados planos e de telhados levemente inclinados (baseado em MINKE, 2004, p. 32)

Segundo Minke (2004), garagens são lugares onde se podem instalar telhados verdes simples, principalmente por se poder utilizar as membranas de proteção na sua largura total, sem solda. Se o telhado possuir uma inclinação menor que 3%, deve-se colocar uma camada de drenagem. Para projetos novos, é razoável prever uma inclinação de 5 a 15%. Um sistema especialmente econômico, citado pelo autor, é o telhado de uma edificação do Movimento Sem Terra, em Viamão, RS, proposto pelos arquitetos Iazana Guizzo, Viviane Martins e Márcio D'Ávila, e colaboradores. A cobertura possui 5° de inclinação, base em varas de bambu, uma lona, uma camada de areia de 4cm, impermeabilização em geomembrana de PEAD, e sobre esta, o substrato, em terra e areia, e as leivas de grama.

3.4 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO

Apresentados, no capítulo anterior, os impactos potenciais associados aos produtos da construção, com a discussão das principais cargas ambientais relacionadas, além dos métodos e ferramentas de avaliação de sustentabilidade de edificações, neste capítulo, fez-se uma abordagem sobre materiais de construção naturais, que surgem como alternativa para o cenário de degradação ambiental provocado pela construção civil convencional. Foram apresentadas questões sobre fardos de palha e terra como materiais de construção, e sobre coberturas verdes, por estarem empregados na edificação objeto de avaliação desta dissertação, a fim de esclarecer aspectos técnicos sobre esses sistemas construtivos.

Foram expostas as vantagens e desvantagens de cada material, além das principais técnicas construtivas. Neste sentido, ressaltam-se os benefícios em termos de saúde e energia dos materiais naturais. Além de possuírem baixa energia embutida, a terra e os fardos de palha, por exemplo, apresentam potencial para a criação de edificações eficientes energeticamente, por meio das propriedades de massa térmica da terra, e isolamento da palha. Com relação ao fardo de palha, destaca-se, ainda, a vantagem de ser produzido com um recurso renovável e reaproveitado. Adicionalmente, ao término da vida útil da edificação, os materiais naturais podem ser facilmente reutilizados ou irão voltar naturalmente ao meio ambiente, sem necessidade de aterros para disposição final ou consumo energético para reciclagem. Com relação às coberturas verdes, além das vantagens relativas à melhoria do conforto térmico das edificações e à capacidade de retenção de águas pluviais, constatou-se que apresentam outros benefícios, como a produção de aromas agradáveis, abrigo para a biodiversidade, beleza estética e integração com a paisagem.

Quanto à durabilidade de edificações executadas com as técnicas construtivas tratadas neste capítulo, deve-se ressaltar todas as técnicas apresentam potencial para a criação de edificações duráveis, desde que associadas a adequado detalhamento construtivo, e cuidados no momento da execução. Com relação à terra, a diversidade de edificações históricas nos diversos continentes, construídas com o material, ainda hoje em bom estado de conservação, exemplifica essa questão.

Verificou-se que, além das vantagens ambientais, as técnicas de construção com materiais naturais possuem benefícios econômicos e sociais, uma vez que há possibilidade da construção de edificações mais acessíveis economicamente, e do envolvimento de toda a família, de amigos e vizinhos, no processo de construção. Além disso, técnicas de construção com terra e com fardos de palha, por exemplo, permitem a criação de uma dinâmica social diferenciada, em que as pessoas dependem umas das outras para terem suas necessidades básicas de moradia e alimentação atendidas, ao invés de dependerem de governos e grandes corporações.

Conforme exposto no capítulo anterior, não foram identificados métodos de avaliação de sustentabilidade, no contexto nacional, aplicáveis a este objeto de estudo, surgindo a necessidade da elaboração de um método específico para realizar a avaliação proposta nesta dissertação. No presente capítulo, constatou-se que um dos aspectos-chave para a criação de edificações mais sustentáveis é a **utilização de materiais naturais, pouco processados e disponíveis no local**, de modo que se considera importante a inclusão de um critério que avalie esse aspecto da edificação. Assim, apresentados, neste capítulo, os aspectos técnicos e conceituais sobre os materiais e sistemas construtivos empregados na edificação a ser avaliada, o capítulo seguinte expõe a metodologia de pesquisa e define o método de avaliação de sustentabilidade utilizado neste trabalho.

4 MÉTODO DE PESQUISA

Para atingir o objetivo principal desta pesquisa, foi necessário, inicialmente, definir como avaliar a edificação em estudo. Para isso, partiu-se para a pesquisa bibliográfica, a qual, conforme apresentado no capítulo 2, não apontou métodos de avaliação de sustentabilidade de edificações no contexto nacional, aplicáveis ao objeto de estudo deste trabalho. Paralelamente, constatou-se que os métodos internacionais não são aplicáveis no Brasil, uma vez que podem gerar resultados distorcidos, além de necessitarem de um inventário exaustivo, com informações nem sempre disponíveis no âmbito nacional.

Partiu-se, então, para o estudo de métodos de ferramentas baseadas em critérios de avaliação, combinando dados quantitativos e dados qualitativos. Essas ferramentas, no entanto, geralmente apresentam muitos critérios, nem todos aplicáveis nem relevantes à avaliação proposta nesta dissertação.

Desta forma, para realizar a avaliação da edificação em estudo, foi necessária a definição de um método específico, baseado em critérios de sustentabilidade relevantes e passíveis de caracterização a partir de dados disponíveis no contexto brasileiro. O método foi baseado em critérios tradicionalmente incluídos em ferramentas de avaliação de sustentabilidade de edificações, a fim de possibilitar que os resultados sejam comparáveis aos obtidos em outras avaliações. Especificamente com relação aos critérios ambientais, foram utilizados procedimentos semelhantes aos estabelecidos por Kuhn (2006). Além disso, os valores obtidos pela autora na avaliação do protótipo Alvorada foram utilizados como referenciais de desempenho para a avaliação proposta nesta dissertação.

Nos próximos itens, são apresentados o delineamento da pesquisa, com o detalhamento de cada uma das etapas do trabalho, e o método definido para a avaliação da edificação.

4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A estratégia geral de pesquisa utilizada neste trabalho foi o levantamento de um caso. Os procedimentos da pesquisa foram estruturados conforme exposto na figura 15, apresentando etapas seqüenciais e, em certos momentos, interativas. Estes procedimentos estão detalhados nos próximos itens.



Figura 15: fluxograma da pesquisa

4.1.1 Pesquisa bibliográfica

A pesquisa bibliográfica foi uma atividade constante durante todo o trabalho. Inicialmente, foi realizada uma revisão sobre sustentabilidade, impactos da indústria da construção e métodos de avaliação de sustentabilidade de edificações. Considerou-se igualmente importante uma revisão de literatura sobre os materiais e técnicas construtivas empregados na edificação em estudo, por serem considerados não convencionais, a fim de esclarecer aspectos técnicos e conceituais.

Esta etapa do trabalho forneceu embasamento para a definição da metodologia de estudo, uma vez que os critérios de avaliação foram fundamentados na literatura. Além disso, a identificação de dados disponíveis no contexto nacional, que possibilitassem a caracterização dos critérios, também foi realizada com base na bibliografia.

4.1.2 Definição do método de avaliação

Esta etapa ocorreu simultaneamente à pesquisa bibliográfica e à coleta de dados. Os critérios de avaliação foram selecionados com base em critérios normalmente incluídos em ferramentas de avaliação de sustentabilidade de edificações e que fossem aplicáveis a este objeto de estudo. Paralelamente, verificava-se a possibilidade de caracterização dos critérios a partir de dados disponíveis ou aplicáveis à realidade brasileira, de forma que diversos critérios necessitaram ser abandonados do estudo, devido à indisponibilidade de dados para sua caracterização.

4.1.2.1 Definição de escopo e fronteiras

O objetivo da avaliação é a estimativa dos impactos ambientais negativos resultantes das alternativas adotadas na seleção e emprego dos materiais de construção incorporados à edificação em estudo. Adicionalmente, busca-se realizar uma análise de aspectos econômicos e sociais relativos à edificação, que, no entanto, limitam-se mais a uma abordagem qualitativa do que quantitativa.

O objeto avaliado nesta dissertação corresponde a uma habitação de interesse social rural, construída com fardos de palha, terra e cobertura verde. Para identificar os pontos fracos da edificação, a serem aprimorados, decidiu-se realizar a avaliação por subsistemas. Partindo dessas definições, são estabelecidas as fronteiras do estudo, descritas a seguir, e apresentadas na figura 16:

- com relação aos subsistemas, elegem-se para a avaliação aqueles subsistemas já construídos até o presente momento, denominados de fundações, piso, estrutura, cobertura, vedações externas, vedações internas e esquadrias. Os subsistemas de instalações elétricas e hidráulicas foram excluídos do estudo por não haver projeto para os mesmos até o momento;
- com relação aos materiais de construção, não foram contabilizados materiais como pregos, parafusos, ferragens, fechaduras de esquadrias. Também não foram contabilizadas as perdas de materiais durante o processo de construção;
- com relação ao consumo de energia, não foram contabilizados o consumo energético para a manufatura de aditivos e produtos químicos utilizados na edificação, para a fabricação e transporte de materiais reutilizados, para a fase de execução da obra, para a etapa de uso da edificação, para a etapa de demolição e para o transporte de materiais e resíduos ao final da vida útil da edificação;
- com relação à geração de resíduos, não foram contabilizados os resíduos sólidos, líquidos e emissões aéreas decorrentes da fabricação dos materiais, assim como os resíduos sólidos e líquidos das etapas de construção e uso da edificação.

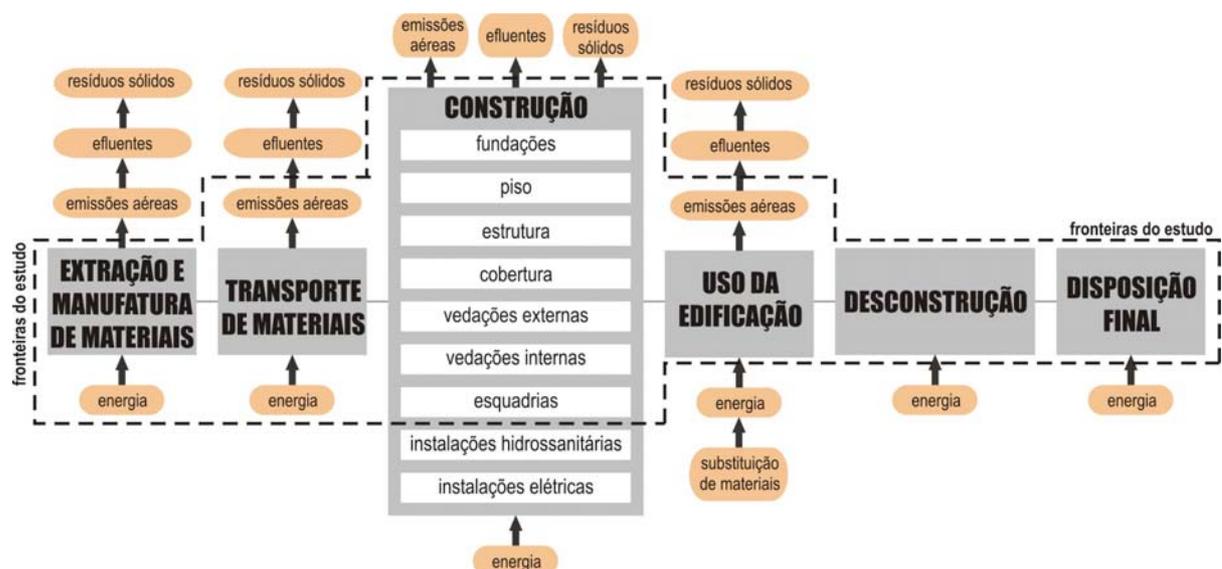


Figura 16: fronteiras do estudo

Com relação à definição de uma unidade funcional, conforme já citado, trata-se de uma questão delicada, pois edificações são produtos multifuncionais (IEA ANNEX 31, 2004b). No entanto, uma vez que parte dos resultados obtidos nesta avaliação é submetida à comparação, define-se a unidade funcional em m² de área construída, por ser considerada a mais informativa, apesar de compreender-se que não é realmente satisfatória.

4.1.2.2 Definição dos critérios de avaliação

Os critérios de avaliação foram extraídos da literatura. Compreende-se que seriam relevantes a quantificação e avaliação de todas as cargas ambientais apresentadas nos itens 2.2.1.1 (Consumo de recursos naturais) e 2.2.1.2 (Emissões e geração de resíduos), para as diversas etapas do ciclo de vida da edificação. No entanto, a seleção foi feita, de acordo com os dados disponíveis, de critérios que pudessem ser quantificados ou qualificados, procurando abranger as mais distintas fases do ciclo de vida da edificação. O quadro 8 apresenta uma síntese dos critérios de avaliação adotados neste trabalho e suas relações com os potenciais impactos associados e com as etapas do ciclo de vida da edificação em que ocorrem esses impactos. As formas de caracterização dos critérios de avaliação são apresentadas no item 4.2.

CRITÉRIO	POTENCIAIS IMPACTOS ASSOCIADOS	ETAPA DO CICLO DE VIDA EM QUE OCORREM
Consumo de recursos não reaproveitados	Indiretamente relacionado a todos os impactos ambientais. Diretamente, à depleção de recursos bióticos e abióticos.	Extração, manufatura, disposição final.
Consumo de energia e emissões de CO ₂ relativas a transportes	Aquecimento global, acidificação, toxicidade humana, toxicidade a ecossistemas, depleção de recursos abióticos.	Produção de energia, transporte.
Consumo de energia para processos de manufatura	Dependente da fonte de energia: aquecimento global, acidificação, toxicidade humana, toxicidade a ecossistemas, depleção de recursos bióticos e abióticos, uso do solo.	Produção de energia, extração, manufatura.
Consumo de recursos com alto ou médio grau de processamento	Dependente da fonte de energia: aquecimento global, acidificação, toxicidade humana, toxicidade a ecossistemas, depleção de recursos bióticos e abióticos, uso do solo.	Produção de energia, extração, manufatura.
Emissão de resíduos perigosos	Toxicidade humana, toxicidade a ecossistemas, depleção de recursos bióticos.	Extração, manufatura, construção, uso, demolição seletiva, disposição final.
Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento	Indiretamente relacionado a todos os impactos ambientais. Diretamente, à depleção de recursos e ao uso do solo.	Extração, manufatura, disposição final.
Consumo de madeira nativa não certificada	Depleção de recursos bióticos. Indiretamente relacionado ao uso do solo e ao aquecimento global.	Extração.
Dispêndio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município	Geração de emprego e renda, promoção do desenvolvimento da economia local, alteração nos setores de comércio e serviços locais.	Extração, manufatura.
Tipo de mão-de-obra utilizada na construção	Geração de emprego e renda, empoderamento de pessoas e comunidades, resgate da capacidade de trabalho em mutirão, discriminação de gênero.	Construção.
Educação no processo de construção	Promoção de conscientização ambiental, disseminação de princípios de sustentabilidade.	Construção.
Segurança do trabalho no canteiro de obras	Alteração nas condições de saúde e segurança de trabalhadores, invalidez de trabalhadores, morte de trabalhadores.	Construção.
Acessibilidade espacial	Garantia de igualdade e não discriminação entre os cidadãos.	Uso.

Quadro 8: relação dos critérios de avaliação definidos, com os potenciais impactos e com as etapas do ciclo de vida (baseado em Kuhn, 2006)

4.1.2.3 Definição da forma de apresentação dos resultados

Os resultados deste trabalho são apresentados em gráficos, exibindo o desempenho da habitação na escala da edificação, dos subsistemas e dos materiais. Além disso, apresentam-se, em alguns momentos, os resultados por unidade de área construída, visto que são comparados com os resultados obtidos em pesquisas semelhantes.

Não foram propostos sistemas de agrupamento ou ponderação, devido às imprecisões intrínsecas a esses procedimentos, de forma que os resultados de cada critério são apresentados e discutidos separadamente, explicitando os pontos críticos da edificação a serem aprimorados.

4.1.3 Coleta de dados

A coleta de dados pode ser dividida em duas categorias. A primeira consiste nos dados relativos à edificação em estudo e, a segunda, em dados para a caracterização dos critérios selecionados para a avaliação.

4.1.3.1 Dados relativos à edificação

A coleta de dados relativos à edificação buscou identificar e quantificar os materiais constituintes dos subsistemas avaliados: fundações, piso, estrutura, cobertura, vedações externas, vedações internas e esquadrias, sendo um subsistema entendido como um grupo de materiais que desempenha função específica.

Inicialmente, foi realizada consulta ao material gráfico do projeto: plantas, cortes e elevações. Posteriormente, foi realizado levantamento no local para identificar as alterações de construção em relação ao projeto original. Foi elaborada uma planta atualizada e um modelo tridimensional da edificação para facilitar a avaliação. Com relação à etapa de construção, a maior parte do processo ocorreu durante a realização de cursos de bioconstrução, em que o pesquisador esteve presente. Isso permitiu a documentação do processo por meio de registro fotográfico, filmagens e anotações. Quanto à fase inicial, em que foram executadas as fundações, o piso e a estrutura da cobertura, foi cedido material fotográfico do acervo particular dos proprietários.

É importante ressaltar que esta obra não contou com planilha de quantitativos. Além disso, os proprietários não arquivaram as notas de compras dos materiais. Assim, algumas informações tiveram que ser levantadas a partir de entrevistas semi-estruturadas com o proprietário da fazenda, com os construtores e com os fornecedores de materiais.

4.1.3.2 Dados para a caracterização dos critérios de avaliação

Os dados para a caracterização dos critérios foram coletados na bibliografia. Dados nacionais foram identificados principalmente em dissertações específicas sobre algum material de construção. Priorizou-se o uso de dados nacionais para a caracterização dos critérios, porém em alguns momentos em que estes não estavam disponíveis, admitiu-se a utilização de dados estrangeiros, desde que aplicáveis à realidade brasileira. Priorizou-se também o uso de dados atuais, porém não houve delimitação temporal para os mesmos.

Devido às características peculiares da edificação em estudo, alguns dados para a caracterização dos critérios ambientais, relativos aos materiais, foram coletados especificamente sobre a edificação, o que contribui para reduzir as imprecisões da avaliação. Foi o caso dos fardos de palha, da terra e da areia média utilizados para a construção.

Com relação à terra e à areia, para a conversão dos quantitativos de materiais em unidade de massa, foram realizados ensaios de massa específica e massa unitária, segundo os procedimentos das seguintes normas: NBR 6508 (ABNT, 1984a), NBR 9776 (ABNT, 1987) e NM 45:95 (CMN, 1996).

Com relação ao fardo de palha, o índice energético foi calculado a partir de informações obtidas em entrevista com o proprietário da Fazenda. Com base nas informações sobre os equipamentos necessários para a produção dos fardos, com relação ao consumo energético e à produtividade, bem como sobre os dados de massa e dimensões dos fardos, chegou-se a um valor. A partir de dados de densidade e poder calorífico do diesel, disponíveis no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005b), foi possível calcular o índice energético do material fardo de palha em MJ/kg.

4.1.4 Organização dos dados e quantificações

A partir dos dados coletados, partiu-se para a quantificação dos materiais empregados na edificação em estudo, e para a identificação dos custos de aquisição dos mesmos. As fontes de dados disponíveis não permitiram o cálculo de perdas de materiais.

4.1.4.1 Cálculo das quantidades úteis

As quantidades úteis de materiais foram calculadas com base nas plantas atualizadas da edificação (figura 20, capítulo 5) e no modelo tridimensional elaborado. Foram identificadas as composições de cada subsistema, para, então, partir para a quantificação dos materiais incorporados. Os procedimentos adotados estão descritos a seguir:

- a) argamassas de cimento e concretos, foram quantificados, inicialmente, em volumes e, posteriormente, em massa, a partir da fórmula do consumo teórico de cimento (ALVES, 1987 apud KUHN, 2006);
- b) blocos cerâmicos, a quantidade útil foi estimada segundo as fórmulas apresentadas em Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO 12, 2003), além de observações no local. A transformação em unidade de massa apresenta imprecisões decorrentes da adoção de massa específica extraída da literatura;
- c) adobes e argamassas de terra, foram quantificados, inicialmente, em volumes e, posteriormente, em massa, a partir das massas unitárias dos materiais empregados;
- d) fardos de palha, foram quantificados por meio do cálculo em unidade de área, com posterior identificação do número de componentes utilizados e quantificação das massas;
- e) substrato e vegetação da cobertura verde, foram quantificados, inicialmente, a partir do cálculo em unidade de área, com posteriores cálculos de volume e massa, com base na massa específica média de solos humíferos (KIEHL, 1979 apud HOPPE, 2003);
- f) materiais componentes das esquadrias, foram elaborados modelos tridimensionais para o cálculo de volume e, posteriormente, os valores foram convertidos em unidades de massa;
- g) impermeabilizantes e produtos para tratamento e proteção de materiais, foram quantificados a partir das indicações de uso apontadas pelos fabricantes;
- h) telas e lonas, foram quantificadas inicialmente por meio do cálculo em unidade de área, com posteriores cálculos de volume e massa;
- i) demais materiais, como pedras de grês, aço, peças de madeira, varas de bambu, grampos de arame galvanizado e borracha, foram quantificados, inicialmente, a partir do número de peças utilizadas, com posterior cálculo de volume e massa.

Os valores obtidos, por subsistema, são apresentados nas tabelas de 1 a 7, do apêndice A. Os dados para a conversão, em massa, dos materiais estão apresentados no quadro 33 do apêndice A. Para materiais como aço, arame galvanizado e barbante de sisal, as massas lineares são apresentadas diretamente nas tabelas de composições de materiais.

4.1.4.2 Identificação dos custos

A partir do cálculo das quantidades úteis, partiu-se para a identificação dos custos unitários dos materiais incorporados à edificação. Este levantamento foi realizado por meio do contato direto com cada fornecedor específico. Posteriormente, foram calculados os custos relativos a cada subsistema e à edificação como um todo. Este cálculo considerou os custos unitários de materiais referentes a abril de 2007.

4.1.5 Apresentação e análise dos resultados

Na última etapa do trabalho, os resultados obtidos segundo os procedimentos estabelecidos neste capítulo são apresentados, analisados e confrontados com os resultados obtidos em pesquisas semelhantes. Nesta etapa, ainda, são estabelecidas algumas sugestões para a melhoria do projeto da edificação, visando a redução dos impactos gerados pelos materiais de construção utilizados.

4.2 CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO E FORMAS DE CARACTERIZAÇÃO

Neste item, são descritos os critérios de avaliação selecionados para este trabalho, bem como os procedimentos adotados para a obtenção dos resultados quantitativos ou qualitativos. Compreende-se que existem imprecisões na forma de caracterização de alguns critérios, entretanto estes foram os procedimentos possíveis, dentro das limitações do estudo, visto que a avaliação de sustentabilidade de edificações ainda é uma área do conhecimento em pleno desenvolvimento no Brasil.

Com relação aos critérios econômicos e sociais, é importante ressaltar que nem sempre é possível realizar uma abordagem quantitativa dos mesmos, assim como, em alguns momentos não se faz uma distinção entre subsistemas para a avaliação. Todavia, considera-se importante a inclusão de critérios de avaliação relativos a estas dimensões, mesmo que do ponto de vista qualitativo, a fim de garantir a indissociabilidade das dimensões e proporcionar uma visão mais integrada do desempenho da edificação.

4.2.1 Consumo de recursos não reaproveitados

Para a caracterização deste critério, seguem-se os mesmos procedimentos adotados nos trabalhos de Oliveira (2005) e Kuhn (2006). Contabilizam-se os materiais reaproveitados ou que possuam em sua composição insumos reciclados, em relação aos materiais oriundos apenas de novos recursos, incorporados à edificação. Este critério prioriza a redução do consumo de recursos naturais e, por isso, são considerados mais impactantes os subsistemas com maior massa total de recursos incorporados, sem insumos reaproveitados.

Na avaliação global da edificação, são feitas distinções entre o tipo de reaproveitamento dos recursos utilizados. Materiais residuais provenientes da construção ou de outras atividades, que não necessitam de processos para serem incorporados à edificação, são denominados reutilizados. Por outro lado, materiais que apresentam apenas parte de sua composição oriunda de recursos reaproveitados e que exigiram novos processos de manufatura são considerados materiais com conteúdo reciclado. A identificação destes materiais, cujos

processos de fabricação freqüentemente incorporam insumos reaproveitados, foi realizada a partir de informações apresentadas pelos fabricantes e por trabalhos específicos sobre os mesmos.

Destaca-se que a caracterização do critério baseia-se, apenas, na quantificação das massas de materiais não reutilizados ou que não possuam insumos reciclados, sem quantificar a massa de resíduos incorporados nos materiais com conteúdo reciclado.

4.2.2 Consumo de energia e emissões de CO₂ relativas a transporte

Para a caracterização deste critério, adotam-se procedimentos semelhantes aos utilizados por Kuhn (2006). Inicialmente, foram identificados os locais de produção de cada material, identificando-se as distâncias até os fornecedores e destes à Fazenda. As distâncias entre os produtores e os fornecedores foram extraídas do site Guia Quatro Rodas (2007) e consideram os percursos mais curtos entre os centros das cidades. Não foram computados, neste critério, os percursos dos materiais dentro dos limites da fazenda, bem como os gastos energéticos para o transporte de materiais reutilizados.

Após a identificação da distância percorrida por cada material, o cálculo da energia consumida foi realizado por meio do produto da massa de material consumido (kg), pela distância transportada (km), pelo coeficiente de consumo energético para transporte (MJ/kg.km). Este coeficiente é obtido a partir dos valores de produtividade de caminhões semi-pesados de 3 eixos, apontado por Reis (1999 apud SPERB, 2000) como sendo o mais utilizado para o transporte de cargas no Brasil (quadro 3), além dos valores de massa específica e poder calorífico do óleo diesel, disponibilizados pelo Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005b).

Ao resultado, em MJ, aplicou-se o índice de emissões de CO₂ geradas pela queima de óleo diesel em veículos europeus pesados de transporte de carga, que, segundo o *INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE* (1996) corresponde a 74g/MJ. A adoção deste índice deve-se às recomendações de Álvares e Linke (2003 apud KUHN, 2006), mencionadas no item 2.2.1.2.1, relativas à utilização de índices referentes a veículos europeus, para estimativas no Brasil, uma vez que dados nacionais não estão disponíveis.

4.2.3 Consumo de energia para processos de manufatura

A caracterização deste critério é realizada a partir do produto do índice energético dos materiais empregados na edificação por suas respectivas massas. Esta forma de caracterização segue os mesmos procedimentos adotados por Sperb (2000) e Kuhn (2006).

A maior parte dos índices energéticos adotados foi obtida na literatura, o que confere certo grau de imprecisão ao critério. Além disso, deve-se esclarecer que não foram computados os aportes energéticos para manufatura dos materiais reutilizados, bem como de produtos químicos e para tratamentos e proteção de materiais.

4.2.4 Consumo de recursos com médio ou alto grau de processamento

Uma vez que um dos requisitos básicos para edificações sustentáveis é o uso de materiais naturais, provenientes do local e minimamente processados, considerou-se importante a inclusão de um critério que avaliasse esse aspecto da edificação.

A caracterização deste critério é realizada por meio da **quantificação das massas dos recursos incorporados na edificação que passaram por processos de beneficiamento e industrialização**, identificados a partir dos índices energéticos levantados para a caracterização do critério anterior. Consideram-se mais impactantes os subsistemas com maior massa de materiais com alto ou médio grau de processamento. Os materiais minimamente processados e provenientes do local são considerados menos impactantes. Os materiais minimamente processados, que, no entanto, necessitaram de transporte, ocupam uma posição intermediária neste critério.

4.2.5 Emissão de resíduos perigosos

Para a caracterização deste critério, adotam-se os mesmos procedimentos tomados nas pesquisas de Oliveira (2005) e Kuhn (2006). Identificam-se os materiais incorporados na edificação cujos processos de manufatura, uso ou disposição final emitam resíduos perigosos, de acordo com as definições da NBR 10.004 (ABNT, 2004b). A norma define como resíduos perigosos aqueles que possuam propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas que possam apresentar riscos à saúde humana ou ao meio ambiente, se manuseados ou destinados de forma inadequada. Além disso, são incluídos os resíduos que apresentem características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade, segundo a norma.

A caracterização é feita a partir da **quantificação das massas dos materiais que emitem resíduos perigosos em alguma das etapas do seu ciclo de vida**, não havendo diferenciação quanto ao grau de periculosidade do resíduo.

4.2.6 Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento

Para a caracterização deste critério, identificam-se os materiais incorporados à edificação que apresentem baixo ou nulo potencial de reutilização ou de reciclagem, assim como nos trabalhos de Oliveira (2005) e Kuhn (2006), partindo do pressuposto que, ao final de sua vida útil, a edificação passe por um processo de desconstrução ou demolição seletiva.

A caracterização, então, é realizada a partir da quantificação das massas de materiais que possuam baixo ou nulo potencial para reaproveitamento, em relação aos que apresentem médio ou alto potencial.

4.2.7 Consumo de madeira nativa não certificada

A caracterização deste critério também segue os procedimentos adotados por Oliveira (2005) e Kuhn (2006). Considerando-se que até o momento não há disponibilidade de madeira certificada para atender a demanda da construção civil e que, conseqüentemente, não há solução satisfatória quanto ao tipo de madeira a ser utilizada, convencionou-se considerar o uso de madeira proveniente de florestas naturais potencialmente mais impactante do que o uso de madeira de florestas plantadas. Eucalipto, *pinus* e bambu são considerados oriundos de florestas plantadas, enquanto que o cedrinho é considerado madeira de florestas naturais.

A caracterização do critério consiste na quantificação das massas de madeira de espécies nativas e não certificada, em relação às massas de madeira de florestas plantadas incorporadas à edificação.

4.2.8 Custo de aquisição de materiais

Por se tratar de uma edificação prototípica de habitação de interesse social, considerou-se importante a inclusão de um critério relativo aos custos dos materiais incorporados à mesma. Gibberd (2003) sugere a análise de custos em avaliações de sustentabilidade, uma vez que as edificações são, em geral, o bem mais valioso que as pessoas possuem, e que estas não dispõem dos mesmos recursos financeiros despendidos com a habitação, para áreas como saúde, educação e criação de pequenos negócios.

Neste trabalho, a caracterização deste critério consiste na identificação dos custos de aquisição dos materiais de construção com cada fornecedor específico, com posteriores cálculos de custos relativos a cada subsistema e à edificação como um todo. Uma vez identificados, os custos são comparados aos de outras alternativas de habitação de padrão semelhante.

Não foram computados os custos de materiais provenientes do próprio terreno, como terra, areia, bambu e outros. Com relação aos fardos de palha, considerou-se o custo de produção dos componentes. Destaca-se que

apesar de se considerar importante uma análise de perdas, sob o ponto de vista da alocação de recursos e da minimização dos resíduos, as fontes de dados disponíveis sobre a edificação não permitiram que se desenvolvesse esta análise.

4.2.9 Dispendio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município

Este critério está diretamente relacionado ao suporte à economia local. Para a caracterização do mesmo, utilizam-se dados sobre a identificação dos municípios produtores de cada material, levantados no critério sobre transportes (item 4.2.2), e os dados sobre os custos de aquisição dos materiais.

A caracterização é realizada, então, a partir da quantificação das despesas com aquisição de materiais de construção produzidos fora da região econômica à qual pertence o município de Sentinela do Sul, que, de acordo com a FAMURS (2007), corresponde à região Centro-Sul do Rio Grande do Sul⁵. Este critério busca encorajar a aquisição de um número significativo de bens provenientes da região econômica. Está baseado no critério de suporte à economia local da ferramenta GBTool (COLE, LARSSON, 2002), porém abrangendo apenas a fase de aquisição dos materiais.

4.2.10 Tipo de mão-de-obra utilizada na construção

Este critério, de abordagem qualitativa, baseia-se na identificação do tipo de mão-de-obra utilizada na construção, se especializada ou não-especializada, objetivando analisar a adequação das técnicas utilizadas para a autoconstrução e a possibilidade apresentada pelas mesmas para o resgate da capacidade de trabalho em mutirão. Aborda-se, ainda, o envolvimento da mão-de-obra feminina no processo de construção, com base nas recomendações de Gibberd (2003), relativas à importância de se garantir processos de construção inclusivos.

4.2.11 Educação no processo de construção

A inclusão deste critério baseia-se nas recomendações de Gibberd (2003) relativas à educação para os construtores, a partir da verificação de que há oportunidade de educação durante o processo de construção. A caracterização baseia-se numa abordagem qualitativa a respeito das trocas de saberes que ocorreram

⁵ Municípios pertencentes à região Centro-Sul do Rio Grande do Sul: Amaral Ferrador, Arambaré, Barra do Ribeiro, Camaquã, Cerro Grande do Sul, Chuvisca, Cristal, Dom Feliciano, Guaíba, Mariana Pimentel, Sentinela do Sul, Sertão Santana e Tapes (FAMURS, 2007).

durante o processo de construção da edificação em estudo, com destaque para o processo de apropriação das tecnologias pelas pessoas que trabalharam na obra.

4.2.12 Segurança do trabalho no canteiro de obras

A inclusão deste critério fundamenta-se na presença de um critério sobre redução dos acidentes na construção, na ferramenta GBTool (COLE; LARSSON, 2002), e nas indicações de Gibberd (2003), para a ferramenta SBAT, sobre práticas de construção seguras e saudáveis. A caracterização do critério é feita de maneira qualitativa, a partir da identificação da ocorrência ou não de acidentes, durante a construção da edificação, e da presença ou ausência de EPIs (equipamentos de proteção individual) para os trabalhadores durante o processo.

4.2.13 Acessibilidade espacial

Tendo em vista que um dos princípios da sustentabilidade social é garantir o acesso à edificação e o uso da mesma por pessoas com mobilidade reduzida, considerou-se importante a inclusão de um critério sobre acessibilidade espacial. A caracterização é feita, de forma qualitativa, por meio de uma análise da adequação do projeto arquitetônico da edificação às determinações da NBR 9050 (ABNT, 2004a).

4.3 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO

Neste capítulo, foi apresentado o método de pesquisa, com o detalhamento de cada uma das etapas, e foram definidos os critérios de avaliação, com base nos métodos, ferramentas e estudos, apresentados no capítulo 2, e nos dados nacionais identificados para a caracterização desses critérios. Conforme já mencionado, entende-se que seriam relevantes a quantificação e avaliação de todas as cargas ambientais indicadas no capítulo 2, as quais foram agrupadas em consumo de recursos naturais e emissões e geração de resíduos, para as diversas etapas do ciclo de vida da edificação. Contudo, a seleção foi feita, de acordo com os dados disponíveis, de critérios que pudessem ser caracterizados de forma quantitativa ou qualitativa. Adicionalmente, buscou-se incluir critérios relativos às dimensões econômica e social, a fim de extrapolar a avaliação ambiental para a avaliação de sustentabilidade, uma vez constatada a importância da visão pluridimensional.

Com relação aos critérios ambientais, foram adotados procedimentos de caracterização semelhantes aos estabelecidos em pesquisas nacionais anteriores, a fim de submeter os resultados de desempenho à comparação, e identificar a posição da edificação em relação a outras habitações de interesse social. Quanto

aos critérios sociais, realiza-se uma análise qualitativa, especialmente sobre atividades ocorridas durante o processo de construção da edificação.

Para a apresentação dos resultados da avaliação, sistemas de agrupamento ou ponderação foram excluídos do trabalho, devido às imprecisões intrínsecas a esses procedimentos. Assim, os resultados são apresentados e discutidos separadamente.

Ressalta-se que, mesmo com um número reduzido de critérios de avaliação, se comparado a métodos e ferramentas de avaliação consolidados, o método de avaliação proposto nesta pesquisa procurou incluir critérios relativos às mais distintas fases do ciclo de vida de uma edificação, discutindo aspectos de sustentabilidade relevantes à construção civil no contexto nacional, e já permite obter um indicativo do desempenho da edificação, explicitando seus pontos fortes e os pontos fracos a serem aprimorados.

Anteriormente à apresentação e discussão dos resultados da aplicação dos critérios de avaliação definidos no presente capítulo, descreve-se, no capítulo seguinte, o objeto de estudo desta dissertação, com a caracterização dos subsistemas, por meio dos quantitativos de materiais e custos de aquisição dos mesmos, identificados conforme procedimentos explicitados neste capítulo, e com a descrição do processo de construção da edificação, além de uma apresentação inicial do projeto e da caracterização do local onde a habitação está construída e dos materiais locais utilizados.

5 DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Este capítulo apresenta o objeto empírico analisado nesta dissertação. Apresenta-se o local onde a edificação está construída e a contextualização do processo que levou à construção, o projeto da edificação, a caracterização do material local que foi utilizado na construção, a caracterização dos subsistemas em estudo e a descrição do processo de construção.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A edificação analisada nesta dissertação é um modelo destinado à população de baixa renda da zona rural e está construída na fazenda Capão Alto das Criúvas, município de Sentinela do Sul, Rio Grande do Sul, a 120km de Porto Alegre (figura 17).

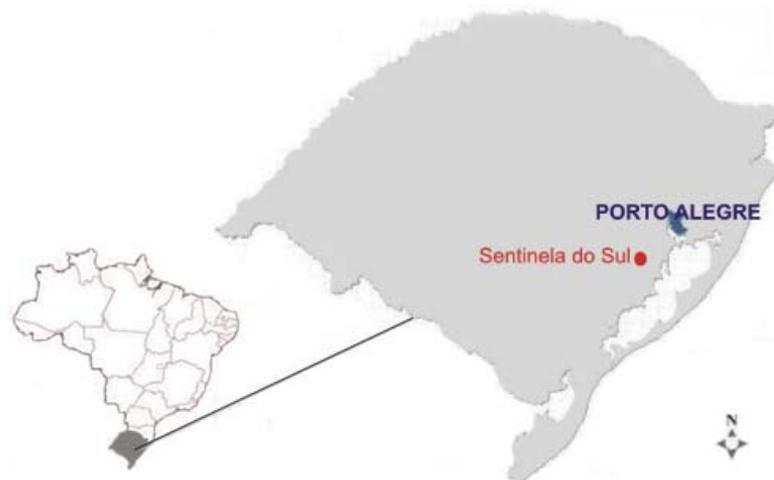


Figura 17: mapa de localização do município de Sentinela do Sul

A propriedade é produtora de arroz biodinâmico e é considerada um Centro de Referência em agricultura biodinâmica, recebendo visitantes de vários lugares do Brasil e do mundo. A área total da fazenda corresponde a 570 hectares, dentre os quais 140 são utilizados para o cultivo do arroz e 200 correspondem a área de mata nativa, resultante da reposição florestal realizada no local há mais de quarenta anos. Destaca-se que a reposição florestal é uma necessidade e uma exigência para restabelecer o equilíbrio ambiental e ajudar a cultivar ecologicamente o arroz. A produção de arroz é certificada pelo instituto biodinâmico de Botucatu, entidade reconhecida internacionalmente. Além do cultivo do arroz, a propriedade possui criação de búfalos e gado bovino.

Na agricultura biodinâmica, as doses maciças de fertilizantes químicos e agrotóxicos, utilizados na agricultura convencional, dão lugar a doses mínimas de adubo, todas regidas pela interação dos elementos da natureza e pelo aproveitamento da energia. Segundo o proprietário da fazenda, João Batista Volkmann, o princípio científico que rege este tipo de agricultura é muito diferente do da agricultura convencional, que prejudicou o equilíbrio ambiental e empobreceu o agricultor. De acordo com a agricultura biodinâmica, a produção retira muito mais do sol e do ar do que da terra. Além disso, este tipo de agricultura apresenta uma visão holística da natureza, observando o mundo mineral, o mundo vegetal, o mundo animal e o homem, e trabalha os quatro elementos da natureza: a terra, o ar, a água e o fogo. É este o trabalho que se faz na lavoura de arroz da Fazenda.

A propriedade apresenta diversas formas de vida, especialmente nos pontos de encontro entre a lavoura e a mata. O proprietário relata que isso comprova que a produção biodinâmica estimula o equilíbrio ambiental e destaca que toda a borda da lavoura necessita da produção de mata nativa, uma vez que isso é o que proporciona o equilíbrio ambiental. A presença de pássaros na lavoura reflete que, além do elemento vegetal na produção, o elemento animal está se expressando, demonstrando que não há produtos que os prejudiquem.

A fazenda em questão é uma propriedade biodinâmica, que busca reciclar todos os seus resíduos dentro de seus limites. Segundo o proprietário, este é um princípio fundamental da agricultura biodinâmica: que a propriedade seja um organismo fechado e que venda somente seus excedentes. A figura 18 apresenta algumas imagens do local.



Figura 18: figueira, búfalos e parte da produção de arroz da fazenda

Em abril de 2005, foi estabelecida uma parceria entre a fazenda Capão Alto das Criúvas e o Laboratório de Construções Experimentais da Universidade de Kassel (UniK), por meio do professor Gernot Minke e de seu doutorando Márcio D'Avila, para a construção de um protótipo de habitação de baixo custo na Fazenda, com materiais locais, dentre os quais a palha do arroz. Segundo informações obtidas com o proprietário, a estimativa inicial de custos da habitação estava em torno de R\$6.000,00 (7,00 CUB), dos quais a UniK se responsabilizaria por R\$4.000,00, além das passagens internacionais de Gernot Minke e Márcio D'Avila, e o restante ficaria a cargo dos proprietários da fazenda.

A edificação fez parte da tese de doutorado (D'ÁVILA, 2005) sobre o tema Sustentabilidade, Inclusão Social e Formação Cooperativista no Cooperativismo Habitacional do Rio Grande do Sul. Além disso, foi estudada em uma monografia de especialização (DAUDT, 2006), que analisou as construções com terra crua realizadas pelo professor Gernot Minke no Estado. No início do ano de 2005, uma edificação com planta semelhante foi construída no município de São Leopoldo, porém com paredes duplas de adobe.

5.2 PROJETO DA EDIFICAÇÃO

A habitação em estudo, projetada por Márcio D'Ávila e Gernot Minke, configura uma edificação térrea e isolada. Segundo Minke e Mahlke (2006), buscou-se adaptar um projeto de uma habitação de interesse social, porém construída com materiais naturais do lugar. A edificação foi projetada para a autoconstrução, e teve sua execução predominantemente em cursos de bioconstrução, sendo o primeiro ministrado pelo professor Gernot Minke e por Márcio D'Ávila, e os dois subseqüentes ministrados pela arquiteta uruguaia Kareen Herzfeld. As fachadas externas da edificação estão representadas na figura 19.



(a)



(b)

Figura 19: vistas sudoeste (a) e nordeste (b) da edificação (Fotos: outubro 2006)

A habitação possui planta aproximadamente quadrada (figura 20), na qual estão contemplados dois dormitórios, uma sala, um banheiro e uma cozinha. A área construída corresponde a 49,61m² e a área útil 29,12m². Os espaços de maior permanência foram voltados para norte e leste, entretanto, a localização das aberturas não se deu de acordo com a orientação solar mais favorável, especialmente no dormitório 2, que possui sua maior abertura voltada para sul e apenas uma pequena janela a leste. A edificação possui cobertura de duas águas e pé-direito variando de 2,55 a 3,25 metros. A figura 20 apresenta as peças gráficas do projeto, elaboradas com base em levantamento realizado no local, em outubro de 2006.

O local escolhido para a construção da edificação de fardos de palha, dentro dos limites da propriedade, consiste de uma área da fazenda que ficou estabelecida como uma área comum, após a divisão da herança. Neste local, a visual mais bonita encontra-se a leste.

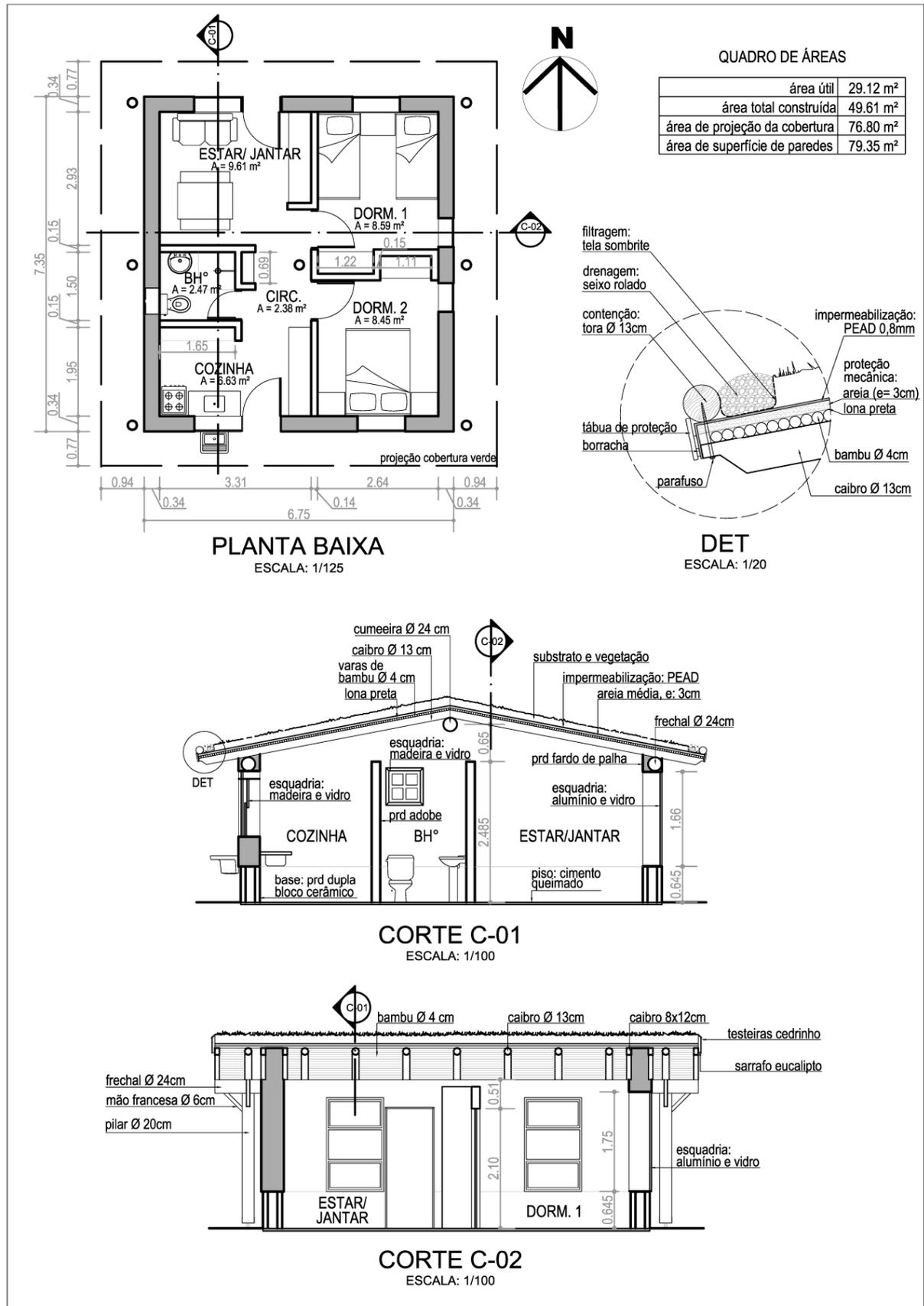


Figura 20: peças gráficas do projeto

No projeto original, estavam previstas janelas nas fachadas norte e sul e apenas pequenas aberturas superiores nas fachadas leste e oeste. Entretanto, aberturas maiores foram solicitadas pelos proprietários na face leste da edificação, devido à visual. Segundo informações obtidas com os proprietários, os projetistas permitiram apenas a colocação de janelas de 60cm de largura na face leste para não comprometer o custo final da edificação.

Os sistemas de instalações elétricas e hidrossanitárias, até o presente momento, não foram instalados, nem possuem projeto, sendo assim, foram excluídos do escopo deste estudo.

5.3 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS LOCAIS

O projeto desta edificação priorizou o uso de materiais provenientes do local, entendido, nesta dissertação, como a Fazenda onde a edificação está construída. Materiais como terra, bambu, areia, palha, leivas de grama para o telhado e parte da madeira de eucalipto foram todos retirados de dentro dos limites da propriedade. Para a realização da avaliação, faz-se necessária a caracterização de alguns desses materiais.

5.3.1 Os fardos de palha de arroz

Os fardos de palha utilizados na construção da edificação em estudo foram produzidos na fazenda onde a edificação está construída, com a palha excedente da produção de arroz, entre março e abril do ano de 2005, sete meses antes de sua utilização para a construção. Durante este período, os fardos ficaram armazenados em um galpão coberto, sobre *pallets* de madeira, para a proteção contra a umidade. Os equipamentos utilizados na produção dos fardos foram um trator com enfardadeira acoplada. A enfardadeira é de propriedade da fazenda Capão Alto das Criúvas, em conjunto com o Instituto de Permacultura e Ecovilas da Pampa, situado no município de Bagé, RS.

A produtividade das máquinas era de 50 fardos de 15kg e dimensões 35x50x84cm, por hectare, por hora, com gasto energético de 8 litros de óleo diesel. Assim, para cada quilograma de fardo de palha produzido, consumia-se 0,011 litros de óleo diesel. A partir de dados de densidade (840kg/m^3) e poder calorífico do diesel (10.100kcal/kg), disponíveis no Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2005b), foi possível calcular o índice energético do material fardo de palha: $E=0,39\text{MJ/kg}$. Considerando-se as dimensões dos fardos em questão, em 1m^2 de parede tem-se uma massa de 35,71kg, com gasto energético para manufatura de $13,93\text{MJ/m}^2$. A figura 21 apresenta uma imagem da produção dos fardos.



Figura 21: produção dos fardos de palha (Foto: Helena Volkmann, julho 2005)

Na figura 22, apresenta-se a decomposição do ciclo de produção do subsistema de vedações construído com o componente fardo de palha. A palha utilizada na construção é um resíduo do processo de produção agrícola de arroz. Os destinos dados a esta palha são alimentação do gado, compostagem e produção de fardos. Percebe-se que o processo de fabricação dos fardos de palha é uma atividade que não gera resíduos sólidos. Segundo informações obtidas com o proprietário, a eficiência da máquina não é 100%, o que significa que no momento da produção dos fardos, a máquina não corta a palha toda. Entretanto, isso não é considerado resíduo, nem uma desvantagem do processo, pois ainda resta palha na lavoura, inclusive a raiz, e com isso o solo retém matéria orgânica e é protegido contra a erosão. Conforme citado no item 3.1.1 do capítulo 3, segundo Chiras (2000), uma das desvantagens da construção com fardos de palha seria a perda de fertilidade do solo, se toda a palha fosse utilizada para a construção. No caso em estudo, isso não acontece.

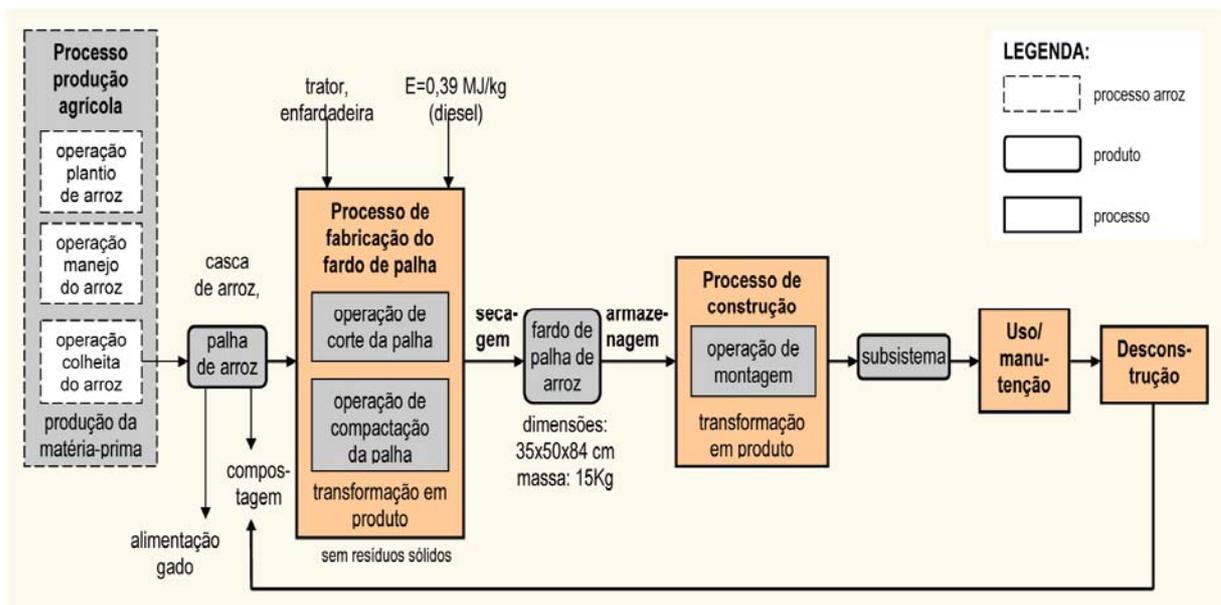


Figura 22: fluxograma da cadeia de produção do subsistema em fardos de palha

5.3.2 O solo e a areia utilizados na construção

O solo utilizado para a produção dos adobes foi retirado da própria área onde a edificação está construída, sendo que para a produção dos primeiros adobes o solo utilizado foi aquele proveniente das atividades de terraplanagem e o restante, foi produto da escavação das fundações.

Para a caracterização do material para esta avaliação, foi realizado ensaio de granulometria, de acordo com os procedimentos estabelecidos pela NBR 7181 (ABNT, 1984b), com uma amostra inicial de aproximadamente 500g de solo, destorroadado, passado na peneira #40, com umidade de 8,26%. A amostra de solo foi preparada de acordo com as determinações da NBR 6457 (ABNT, 1986). A curva de distribuição granulométrica está representada na figura 23. Os resultados mostram um solo com 30,10% de argila, 23,51% de silte, 45,14% de areia fina e 1,25% de areia média. A massa específica real dos grãos foi determinada segundo os procedimentos da NBR 6508 (ABNT, 1984a) e corresponde a 2,58g/cm³.

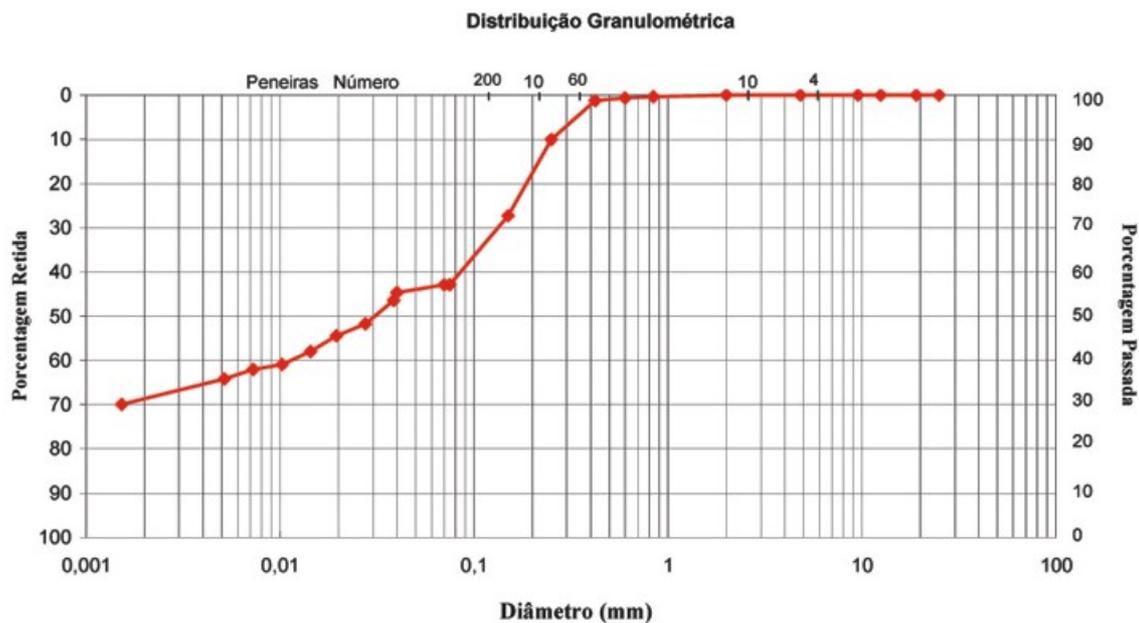


Figura 23: curva de distribuição granulométrica do solo utilizado na construção da edificação

A areia média utilizada na construção, nos adobes, nas argamassas de assentamento e revestimento, nas fundações, nos pisos e na cobertura, foi retirada dos arroios da fazenda, com a utilização de um trator. Devido à necessidade de se converter todo o material gasto na obra em unidade de massa, realizou-se ensaio de massa específica desta areia, segundo procedimentos estabelecidos na norma NBR 9776 (ABNT, 1987), com resultado de $\gamma = 2,59\text{g/cm}^3$. Para a determinação da massa unitária, foi realizado ensaio de acordo com o método C da norma NM 45:95 (CMN, 1996), obtendo-se o valor de 1,42g/cm³.

5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS SUBSISTEMAS EM ESTUDO

Para a realização da avaliação, a edificação em estudo foi dividida em subsistemas, entendidos como grupos de materiais que desempenham função específica. Estes subsistemas estão descritos nos próximos itens.

5.4.1 Fundações

As fundações da edificação em estudo foram executadas em pedras de grês, vigas de concreto e sapatas de concreto. Inicialmente, foi executada uma camada de 3cm de areia média compactada, para a regularização do fundo das valas.

Ao longo das linhas das paredes externas, as fundações foram executadas em quatro fiadas de pedras de grês, de dimensões 15x25x45cm, assentadas com argamassa de cimento e areia, nas proporções de 1 volume de cimento: 4 volumes de areia média, com espessura das juntas de aproximadamente 2cm. Ao longo das linhas das paredes internas, foram executadas vigas de concreto armado com seção de 15x25cm. Nos pontos correspondentes ao apoio dos sete pilares de madeira, foram executadas sapatas de concreto armado, de 40x40cm, por 60cm de profundidade. Utilizou-se um traço usual na região, registrado de modo informal, segundo a proporção: 1 volume de cimento: 2 volumes de brita: 2,5 volumes de areia média.

As estruturas de aço das vigas e sapatas foram executadas com vergalhões de bitolas 8mm e 4,2mm. A impermeabilização das fundações foi feita com a aplicação de duas demãos de emulsão asfáltica elastomérica.

A figura 24 apresenta imagens do subsistema de fundações e o quadro 9 apresenta os quantitativos resumidos e os custos incorporados ao subsistema.



Figura 24: subsistema de fundações (Fotos (a) e (b): Helena Volkmann, julho 2005)

Material	Quantidade de Materiais ¹ (kg)		Procedência		Custo final (R\$) ²
	não reutilizado	reutilizado	Cidade	Dist. (km)	
Pedras de grês	28.728,00	–	Taquara – RS	205	1.155,20
Areia tipo média	3.568,20	–	fazenda	0	–
Pedra britada 1	924,00	–	Eldorado do Sul – RS	108	19,14
Cimento Portland CP IV-32	697,97	–	Esteio – RS	139	251,27
Aço	53,48	–	Sapucaia do Sul – RS	145	191,72
Emulsão asfáltica (impermeável)	23,63	–	São Paulo – SP	1.265,5	207,24
Total	33.995,29	–			1.824,56

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam na tabela 1 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007.

Quadro 9: quantitativos resumidos e custo dos materiais incorporados ao subsistema de fundações

5.4.2 Piso

O subsistema de piso da edificação corresponde a um piso do tipo cimento queimado. Inicialmente, foi executada uma camada de 10cm de areia compactada, nas dimensões de 7,35x6,75m. Em seguida, executou-se o contrapiso, de 4cm de espessura, composto de cimento e areia média, nas proporções, em volume, de 1:4.

Os quantitativos resumidos e os custos incorporados ao subsistema de piso estão apresentados no quadro 10.

Material	Quantidade de Materiais ¹ (kg)		Procedência		Custo final (R\$) ²
	não reutilizado	reutilizado	Cidade	Dist. (km)	
Areia tipo média	9.659,10	–	fazenda	0	–
Cimento Portland CP IV-32	532,26	–	Esteio – RS	139	191,61
Total	10.191,36	–			191,61

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam na tabela 2 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007.

Quadro 10: quantitativos resumidos e custo dos materiais incorporados ao subsistema de piso

5.4.3 Estrutura

O subsistema de estrutura da edificação foi executado em madeira de eucalipto roliça e corresponde a sete pilares e pequenas peças de amarração (mão francesa). Os pilares de eucalipto possuem diâmetro de 20cm e alturas de 2,33m (quatro unidades) e 3,01m (três unidades). Estes pilares foram doados por uma empresa situada no município de Guaíba, RS, e são tratados com CCA (arseniato de cobre cromatado), por processo de autoclavagem. As mãos francesas consistem em madeira de eucalipto roliça, de 6cm de diâmetro, não tratada e proveniente da fazenda.

A estrutura da edificação é independente das vedações, de forma que seis pilares foram posicionados na parte externa da edificação e o sétimo pilar foi localizado no interior da edificação, em posição central (figura 20). Na figura 25 apresentam-se imagens do subsistema de estrutura, onde pode ser visualizada a distribuição dos pilares independente das vedações.

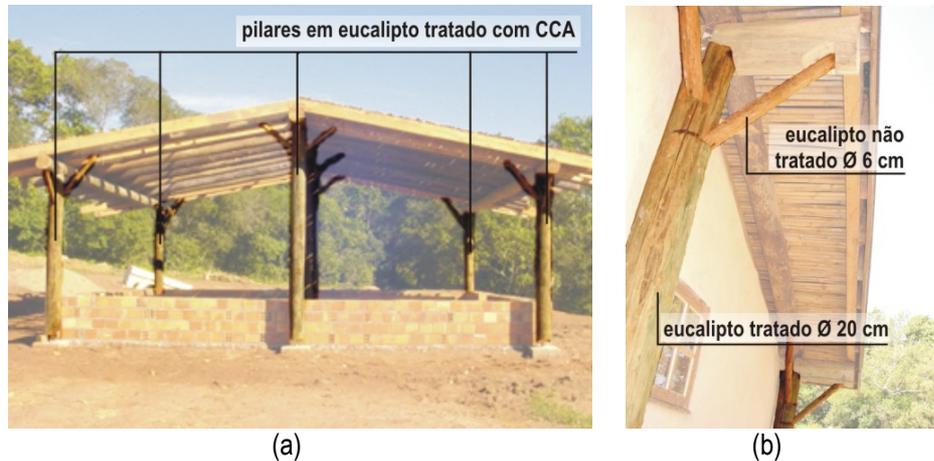


Figura 25: subsistema de estrutura (Fotos: (a) Helena Volkmann, agosto 2005; (b) Ingrid Bohadana, outubro 2006)

No quadro 11, apresentam-se os quantitativos resumidos e custos incorporados ao subsistema de estrutura. Destaca-se que, devido à análise de custos, decidiu-se levantar e considerar os preços dos materiais doados.

Material	Quantidade de Materiais ¹ (kg)		Procedência		Custo final (R\$) ²
	não reutilizado	reutilizado	Cidade	Dist. (km)	
Madeira de eucalipto roliça tratada	519,14	–	Guaíba – RS	83	367,40
Madeira de eucalipto roliça não tratada	27,27	–	fazenda	0	–
Total	546,41	–			367,40

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam na tabela 3 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007.

Quadro 11: quantitativos resumidos e custo dos materiais incorporados ao subsistema de estrutura

5.4.4 Cobertura

O subsistema de cobertura da edificação configura uma cobertura verde extensiva (definição no item 3.3 do capítulo 3), de duas águas, com orientação norte-sul, 11° de inclinação e área de projeção horizontal de 76,80m². Sobre a estrutura da edificação, foram instaladas uma cumeeira e dois frechais de madeira de eucalipto roliça, tratados por processo de autoclavagem, com 24cm de diâmetro e 8,275m de comprimento. Sobre os frechais e a cumeeira, foram instalados caibros de madeira de eucalipto. Ao longo das linhas das

paredes externas leste e oeste e nas extremidades da cobertura, os caibros consistem em peças de madeira de 8x12cm de seção, totalizando 8 peças de 3,73m de comprimento e 4 peças de 4,55m. Os demais caibros correspondem a postes de eucalipto de 12cm de diâmetro, com 4,55m de comprimento.

Acima dos caibros, foi construída a base da cobertura verde, em varas de bambu de 8,435m de comprimento e aproximadamente 4 cm de diâmetro. O bambu utilizado na construção foi extraído de dentro dos limites da propriedade, no mês de junho de 2005, por trabalhadores da lavoura e por um dos filhos do proprietário. Os instrumentos utilizados foram machado para o corte, facão para a retirada das folhas e serrinha para o corte das varas no tamanho exato, não havendo necessidade de energia, além da energia humana. Para o tratamento do bambu, utilizou-se tanino, substância alternativa, de origem vegetal.

Sobre a base de bambu, foi colocada uma lona plástica de polietileno de baixa densidade e uma camada de 3cm de areia média, para a regularização da superfície. A impermeabilização da cobertura foi executada com geomembrana de 0,8mm de polietileno de alta densidade. Sobre a membrana, foram colocadas a camada de substrato, de 10cm de espessura, e as leivas de grama, retirados da fazenda.

As proteções laterais da cobertura foram executadas com sarrafos de eucalipto de seção de 2,5x4cm e varas de bambu de 4cm de diâmetro e 4,55m de comprimento. O acabamento das faces leste e oeste foi executado em tábuas de madeira de cedrinho de 1,5x9cm de seção. Com relação à drenagem, o sistema foi executado com faixas de seixo rolado, localizadas nas extremidades norte e sul da cobertura. Sob o seixo, foi colocado um filtro, de tela sombrite, para evitar o deslizamento do substrato. A contenção foi realizada com madeira de eucalipto de 13cm de diâmetro. Para os acabamentos das faces norte e sul, foram utilizados pedaços de borracha, reaproveitados de mangueiras, e tábuas de cedrinho.

A figura 26 apresenta imagens do subsistema de cobertura e o quadro 12 apresenta os quantitativos resumidos e os custos incorporados ao subsistema.



Figura 26: subsistema de cobertura (Fotos: (a) outubro 2005; (b) outubro 2006)

Material	Quantidade de Materiais ¹ (kg)		Procedência		Custo final (R\$) ²
	não reutilizado	reutilizado	Cidade	Dist. (km)	
Substrato e vegetação	10.163,48	–	fazenda	–	–
Areia tipo média	3.266,00	–	fazenda	–	–
Bambu	1.560,88	–	fazenda	–	–
Madeira de eucalipto roliça não tratada	1.034,76	–	fazenda	–	–
Seixo rolado	1.020,00	–	Camaquã – RS	24,5	30,60
Madeira de eucalipto roliça tratada	969,54	–	Guaíba – RS	83	729,05
Madeira de eucalipto serrada	426,41	–	Cerro Grande do Sul – RS	52	143,75
Geomembrana de PEAD	61,78	–	Sapucaia do Sul – RS	145	709,86
Madeira de cedrinho	60,53	–	Sinop – MT	2.780	402,62
Lona preta	12,05	–	Esteio – RS	139	41,48
Tela sombrite	5,71	–	Alphaville – SP	1.263,5	16,05
Tanino	3,24	–	Montenegro – RS	177	10,37
Borracha	–	0,07	recurso reaproveitado	–	–
Total	18.584,38	0,07			2.083,78

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam na tabela 4 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007.

Quadro 12: quantitativos resumidos e custo dos materiais incorporados ao subsistema de cobertura

5.4.5 Vedações externas

As vedações externas da edificação foram construídas com a técnica de paredes de fardos de palha não portantes, sobre uma base de parede dupla de blocos cerâmicos de seis furos. Esta base foi executada com quatro fiadas de blocos de 8,5x14x19,5cm, assentados com argamassa de cimento, cal e areia média, segundo traço usual na região, com proporções, em volume, de 1:1:5, e espessura das juntas de 1,5cm. A base foi revestida interna e externamente com argamassa de cimento, cal e areia fina, com espessura de 1cm.

Sobre a base, foram assentados os fardos de palha de arroz, de dimensões 35x50x84cm, horizontalmente e contrafiados. Alguns fardos necessitaram ser cortados, o que foi realizado no próprio canteiro de obras, com o auxílio de uma agulha especial e barbante de sisal. O reforço das paredes foi executado com varetas de bambu, de 1m de comprimento e com pontas afiadas, que foram empurradas verticalmente para dentro dos fardos.

Para a amarração das paredes, varas de bambu, de 4cm de diâmetro, e sarrafos de madeira de cedrinho, de 2,5x5cm de seção, foram posicionados em pares, do lado exterior e interior da edificação, respectivamente. Foram conectados com arame galvanizado, o qual foi colocado com o auxílio da mesma agulha utilizada para o corte dos fardos. Apenas na sala, utilizou-se bambu na parte interna da edificação. O arame utilizado era proveniente de sobra de cercas, caracterizando-se como um recurso reaproveitado.

Após a colocação dos elementos de amarração das paredes, foram assentadas as últimas fiadas de fardos de palha, sendo que para as paredes leste e oeste, os fardos foram cortados em formato trapezoidal. Para os acabamentos, os espaços entre os fardos foram preenchidos com uma mistura de palha com barro e alguns espaços maiores foram preenchidos com palha solta.

O revestimento interno foi executado em argamassas mistas de solo e areia, e solo, areia e palha. Na primeira camada, aplicou-se uma mistura de solo e areia média. As interfaces entre a argamassa e os elementos de amarração das paredes foram executadas com a utilização de tela de juta, de 20cm de largura, molhada em uma mistura de solo com água e fixada com grampos de arame galvanizado. Nos ambientes sala, cozinha e banheiro, a segunda camada foi executada com argamassa mista de solo e areia fina, enquanto que nos dormitórios, utilizou-se argamassa de solo, areia média e palha. O quadro 13 apresenta os traços utilizados nos revestimentos das vedações em fardos de palha.

O revestimento externo foi executado em argamassa mista de solo, cimento e cal. A interface entre a palha e a argamassa foi realizada com a colocação de uma tela plástica, fixada com grampos de arame galvanizado. A execução da primeira camada do revestimento ocorreu de forma semelhante ao interior da edificação. A segunda camada foi executada com argamassa de cimento, cal hidratada, solo e areia média, e a terceira camada foi executada de forma semelhante, porém substituindo a areia média por areia fina. Os traços das argamassas mistas com cimento, bem como aqueles correspondentes aos revestimentos internos foram determinados pela arquiteta Kareen Herzfeld. Em parte da fachada norte, executou-se um revestimento sem a utilização de cimento, a pedido do proprietário, utilizando esterco de gado com estabilizante, com traço empírico estabelecido pelo mestre de obras responsável pela execução.

ARGAMASSAS	TRAÇO (volume)	MATERIAIS
Revestimento interno		
1ª camada	1:1	solo/ areia média
argamassa com areia 2ª camada	1:3	solo/ areia fina
argamassa com palha 2ª camada	3:1:2	solo/ areia média/ palha
Revestimento externo		
1ª camada	1:1	solo/ areia média
argamassa com cimento 2ª camada	1:1 ¾:1 ¾:5 ½	cimento/ cal hidratada/ solo/ areia média
3ª camada	1:1 ¾:1 ¾:5 ½	cimento/ cal hidratada/ solo/ areia fina
argamassa com esterco 2ª camada	1 ½:3:1	solo/ areia média/ esterco
3ª camada	¾:1 ½:1	solo/ areia fina/ esterco

Quadro 13: traços das argamassas de solo incorporadas ao subsistema de vedações externas

A base das paredes de fardos, externamente, recebeu pintura natural, assim como alguns detalhes no interior da edificação. As misturas foram preparadas com água de cactus e terras de cores variadas, provenientes da própria fazenda.

É importante ressaltar que, em dezembro de 2005, aplicou-se um revestimento de argamassa de solo na fachada leste externa da edificação. Este, no entanto, foi lavado pelas chuvas, o que acarretou na incorporação do cimento no revestimento externo.

A figura 27 apresenta imagens do subsistema de vedações externas e o quadro 14 apresenta os quantitativos resumidos e os custos incorporados ao subsistema.



Figura 27: subsistema de vedações externas (Fotos: (a) Ronaldo Rodrigues, outubro 2005; (b) Ingrid Bohadana, outubro 2006)

Material	Quantidade de Materiais ¹ (kg)		Procedência		Custo final (R\$) ²
	não reutilizado	reutilizado	Cidade	Dist. (km)	
Bloco cerâmico de seis furos	2.747,36	–	Sentinela do Sul - RS	25	195,89
Areia tipo fina	1.889,12	–	Barra do Ribeiro - RS	82	55,35
Palha	–	1.619,15	fazenda	0	30,99
Areia tipo média	1.241,02	–	fazenda	0	–
Terra	–	882,20	fazenda	0	–
Cimento Portland CP IV-32	259,75	–	Esteio - RS	139	93,51
Cal hidratada CH-II	168,60	–	Caçapava do Sul - RS	344	40,47
Bambu	80,68	–	fazenda	0	–
Madeira de cedrinho	62,74	–	Sinop – MT	2.780	450,84
Tela plástica	8,74	–	Alphaville – SP	1.263,5	95,00
Arame galvanizado	–	5,21	recurso reaproveitado	0	–
Tela de juta	2,89	–	Castanhal – PA	3.948	53,56
Barbante de sisal	1,86	–	São Domingos – BA	3.228	5,57
Tanino	0,17	–	Montenegro – RS	177	0,54
Óleo de linhaça	0,09	–	Gravataí – RS	142	0,66
Total	6.463,02	2.506,56			1.022,38

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam na tabela 5 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007.

Quadro 14: quantitativos resumidos e custo dos materiais incorporados ao subsistema de vedações externas

5.4.6 Vedações internas

O subsistema de vedações internas da edificação foi executado em adobe, sobre uma fiada de blocos cerâmicos de seis furos, de dimensões 8,5x14x19,5cm, assentados com argamassa de cimento, cal hidratada e areia média, com proporção, em volume, de 1:1:5.

Os adobes foram produzidos com solo local e areia média, caracterizadas no item 5.3.2, e possuem dimensões de 10x14x30cm. Foram assentados com argamassa de solo e areia média, com espessura das juntas de 2cm. A argamassa de revestimento foi executada em solo e areia fina, com 2mm de espessura, apenas para a

regularização das superfícies. O quadro 15 apresenta os traços do adobe, determinado pelo arquiteto Márcio D'Ávila, e das argamassas, determinados pela arquiteta Kareen Herzfeld.

	TRAÇO (volume)	MATERIAIS
Adobe	1:2	solo/ areia média
Argamassa de assentamento	3:2	solo/ areia média
Argamassa de revestimento	1:3	solo/ areia fina

Quadro 15: traços do adobe e das argamassas de solo, incorporados ao subsistema de vedações internas

As vedações internas da edificação não foram concluídas até o presente momento. Atualmente, encontram-se construídas parte da parede que divide a sala e o dormitório 1 (figura 28-b) e parte da parede que divide os dois dormitórios (figura 28-a). Contudo, na avaliação, consideram-se todas as paredes construídas até a altura de 2,485m, para o cálculo da massa de materiais e da composição de custos, sendo os primeiros 8,5cm de blocos cerâmicos e o restante de adobes. Na figura 28, apresentam-se imagens das vedações internas.



Figura 28: vedações internas executadas até o presente momento (Fotos (a) e (b): outubro 2006)

No quadro 16 são apresentados os quantitativos resumidos e custos associados ao subsistema de vedações internas.

Material	Quantidade de Materiais ¹ (kg)		Procedência		Custo final (R\$) ²
	não reutilizado	reutilizado	Cidade	Dist. (km)	
Areia tipo média	4.297,10	–	fazenda	0	–
Terra	–	2.161,50	fazenda	0	–
Bloco cerâmico de seis furos	183,87	–	Sentinela do Sul – RS	25	13,11
Areia tipo fina	139,13	–	Barra do Ribeiro – RS	82	5,04
Cimento Portland CP IV-32	3,75	–	Esteio – RS	139	1,35
Cal hidratada CH-II	1,95	–	Caçapava do Sul – RS	344	0,47
Total	4.625,80	2.161,50			19,97

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam na tabela 6 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007.

Quadro 16: quantitativos resumidos e custo dos materiais incorporados ao subsistema de vedações internas

5.4.7 Esquadrias

A edificação em estudo apresenta esquadrias de tamanho padronizado e esquadrias que necessitaram ser executadas sob medida. As esquadrias padronizadas correspondem a cinco portas, duas janelas e um balancim e são constituídas de madeira de cedrinho. As demais esquadrias, que totalizam quatro janelas, foram fabricadas em alumínio.

É importante ressaltar que as esquadrias de alumínio não constavam no projeto original da edificação. Segundo informações obtidas com o proprietário, o motivo da colocação dessas esquadrias, nas aberturas voltadas para norte e leste foi a exigência da arquiteta Kareen de ter a casa completamente fechada, na ocasião de seu curso ocorrido em maio de 2006. O proprietário relata que, devido à necessidade de as esquadrias serem fabricadas sob medida, não foi possível executá-las em madeira, dentro de um prazo viável para o início do curso.

As duas janelas de madeira apresentam folhas envidraçadas, subdivididas por peças de madeira, em formato retangular, e possuem abertura do tipo guilhotina. Além disso, foram introduzidas venezianas nas janelas, com abertura para o lado externo da edificação. O balancim possui folha envidraçada, subdividida por peças de madeira e com abertura do tipo projetante. As janelas de alumínio apresentam três subdivisões horizontais, sendo as folhas superiores e inferiores do tipo projetante e as folhas centrais fixas.

As janelas e balancim foram instalados em molduras de madeira compensada, de 15mm de espessura e 33,5cm de largura. Para a proteção das esquadrias de madeira e das molduras, aplicou-se apenas óleo de linhaça. Para o envidraçamento das janelas, foram utilizados 5,40m² de vidro transparente de 3mm de espessura.

As portas internas da edificação ainda não foram instaladas, entretanto, para efeito desta avaliação, consideram-se portas de madeira de cedrinho, semelhantes às externas, para a quantificação das massas de materiais e para a análise de custos, sendo que os preços foram levantados com o mesmo fornecedor das demais esquadrias de madeira.

O quadro 17 apresenta os quantitativos resumidos e os custos associados ao subsistema de esquadrias, e a figura 29 apresenta imagens do subsistema.

Material	Quantidade de Materiais ¹ (kg)		Procedência		Custo final (R\$) ²
	não reutilizado	reutilizado	Cidade	Dist. (km)	
Madeira de cedrinho	603,50	–	Sinop – MT	2780	1.067,79
Vidro	40,50	–	São Paulo – SP	1.265,5	167,40
Alumínio	13,08	–	Alumínio – SP	1.247,5	755,00
Madeira compensada	11,45	–	Curitiba – PR	856,5	248,04
Óleo de linhaça	1,61	–	Gravataí – RS	142	11,90
Total	670,13				2.250,13

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam na tabela 7 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007.

Quadro 17: quantitativos resumidos e custo dos materiais incorporados ao subsistema de esquadrias



Figura 29: subsistema de esquadrias (Fotos: outubro 2006)

5.5 PROCESSO DE CONSTRUÇÃO

A construção da edificação em estudo ocorreu basicamente em quatro momentos, descritos nos itens seguintes. A figura 30 apresenta um fluxo simplificado dessas principais etapas da construção, com os tempos de duração de cada etapa.

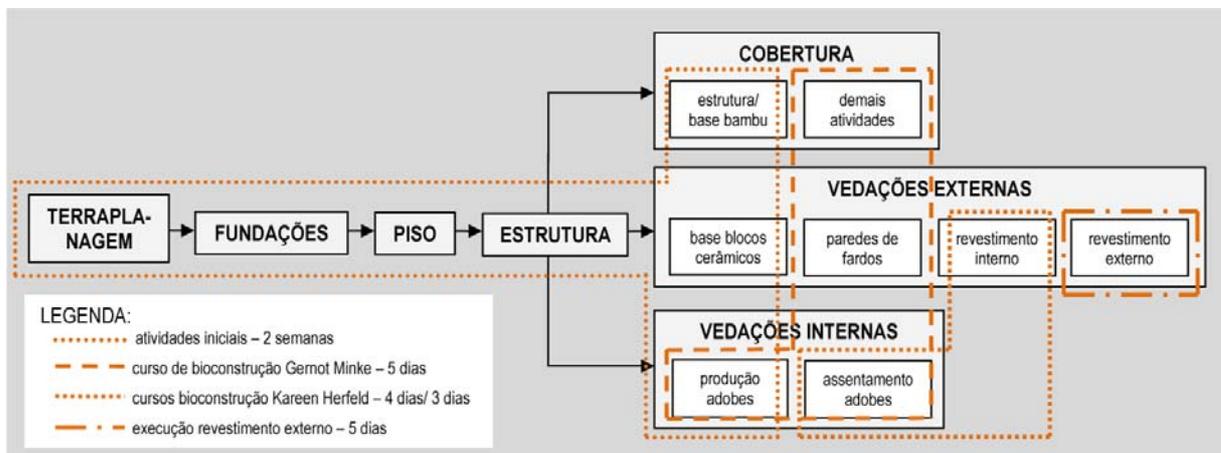


Figura 30: fluxo das etapas principais de construção da edificação

5.5.1 Atividades iniciais

As atividades de construção da edificação iniciaram em julho de 2005, com a terraplanagem do local. Posteriormente, foram executadas as fundações, o piso e a estrutura da cobertura da edificação, por operários da região e trabalhadores da fazenda, coordenados pelo arquiteto Márcio D'Ávila. Segundo informações obtidas com o proprietário, esta etapa da construção durou cerca de duas semanas.

A terra retirada pela atividade de terraplanagem foi utilizada para a fabricação dos primeiros adobes. Estes foram produzidos por trabalhadores da lavoura de arroz e por um filho do proprietário, no inverno de 2005, e ficaram armazenados no galpão dos tratores da fazenda. A figura 31 apresenta parte das atividades iniciais da construção.



Figura 31: atividades iniciais da construção (Foto: Helena Volkmann, julho 2005)

5.5.2 Curso de bioconstrução com Gernot Minke

No mês de outubro de 2005, realizou-se um curso de bioconstrução com o professor Gernot Minke e com seu doutorando Márcio D'Ávila para a construção da casa de fardos de palha. O curso teve duração de cinco dias e contou com dezesseis alunos, entre arquitetos, biólogos, estudantes, funcionários da prefeitura de Sentinela do Sul e operários da construção. Além dos alunos, alguns trabalhadores da lavoura de arroz e alguns membros da família dos proprietários participaram das atividades de construção da edificação. Durante o curso, concluiu-se a construção da cobertura verde e das vedações em fardos de palha, restando as vedações internas e os revestimentos a serem finalizados.

Com relação à cobertura, a primeira atividade do grupo foi a disposição da lona preta sobre as ripas de bambu. A lona foi coberta com uma camada de areia, que foi transportada por sistema de corrente humana: enchiam-se baldes de areia e estes passavam por várias pessoas até chegarem ao telhado, conforme pode ser visualizado na figura 32. Após a colocação da areia, um grupo menor se dedicou à execução das proteções das laterais do telhado. No dia seguinte, com a areia seca, a geomembrana de PEAD foi posta na cobertura, por uma equipe de alunos (figura 26). Posteriormente, distribuiu-se, na superfície da cobertura, terra preta e leivas de grama, transportadas com o auxílio de um trator e uma retroescavadeira, para tornar o trabalho mais ágil. Uma vez em cima do telhado, as leivas eram transportadas por sistema de corrente humana, até chegarem às extremidades, onde eram dispostas. Paralelamente, de duas a três pessoas colocavam terra entre as leivas. A execução do sistema de drenagem, bem como os acabamentos e contenções foram executados durante o curso, pelos

alunos e operários. A figura 32 mostra parte destas atividades e a figura 33 apresenta um fluxo da seqüência das atividades de construção da cobertura verde, ocorridas durante o curso.



Figura 32: atividades de construção da cobertura verde (Fotos: (a) Helena Volkmann e (b) Ronaldo Rodrigues, outubro 2005)



Figura 33: fluxo da seqüência das atividades de construção da cobertura verde, ocorridas no curso de bioconstrução, em outubro de 2005

As atividades relacionadas à construção do subsistema de vedações externas ocorreram em sete turnos de trabalho, com uma média de quatro participantes por turno, sendo metade para o corte de fardos e metade para a construção das paredes. Para o corte dos fardos, necessitava-se de duas pessoas, uma agulha especial, barbante e tesoura. A figura 34 apresenta a seqüência do processo de corte dos fardos de palha.



Figura 34: processo de corte dos fardos (Fotos: Thalita Mazzilli, outubro 2005)

Após o corte, iniciou-se a colocação dos fardos. Posteriormente, os alunos e operários colocaram os bambus e os sarrafos de madeira, e, por fim, as últimas fiadas de fardos. Os espaços entre os fardos foram preenchidos com uma mistura de palha com barro. A figura 35 mostra algumas atividades de construção das paredes de fardos, a figura 36 mostra a preparação da mistura para preencher as imperfeições das paredes, e a figura 37

apresenta o fluxo da seqüência das atividades de construção das vedações em fardos de palha, ocorridas durante o curso de bioconstrução. Em geral, observou-se uma maior participação das mulheres no corte dos fardos e na execução dos acabamentos, enquanto que os homens envolviam-se mais nas atividades de colocação dos fardos, reforços e amarrações.



Figura 35: processo de construção das vedações externas (Fotos (a) e (b): outubro 2005)



Figura 36: preparação da mistura para preencher as imperfeições das paredes de fardos de palha (Fotos: (a) Ingrid Bohadana e (b) Thalita Mazzilli, outubro 2005)

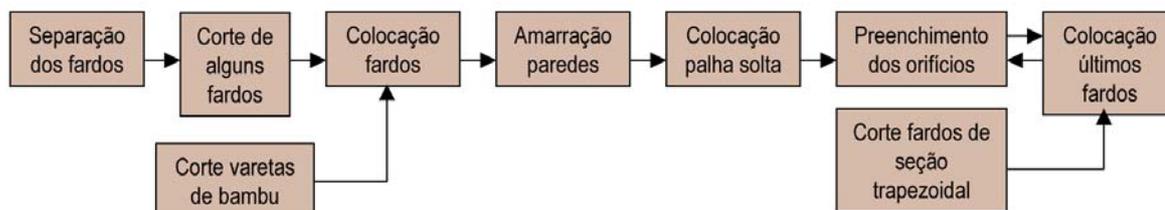


Figura 37: fluxo da seqüência das atividades de construção das vedações em fardos de palha, ocorridas no curso de bioconstrução, em outubro de 2005

Com relação às vedações internas, a principal atividade desenvolvida pelos alunos, no curso, foi a produção dos adobes. Inicialmente, houve uma demonstração do processo pelo professor Gernot Minke, que pode ser visualizado na figura 38, com a seqüência de formação de bolas, lançamento no molde, uniformização com

paleta e retirada do molde. Posteriormente, uma equipe se dedicou à produção dos adobes. A fôrma metálica dupla dificultou o processo para a mão-de-obra feminina, devido ao excesso de peso. Desta forma, para a produção dos adobes, as mulheres se encarregaram das etapas de pisar e amassar o barro e os homens da produção dos blocos propriamente ditos. A execução da alvenaria ficou a cargo de um operário da região, no último dia de curso, apenas a título ilustrativo para os alunos, com adobes que haviam sido produzidos anteriormente ao curso. Foi possível observar que a execução da alvenaria de adobes ocorre de forma semelhante à alvenaria convencional, estando a particularidade relacionada à argamassa de assentamento, preparada com os mesmos materiais utilizados na produção do componente de terra.



Figura 38: processo de produção dos adobes (Fotos: outubro 2005)

Ao término das atividades práticas do curso, houve uma rodada de discussões sobre as atividades realizadas durante a semana para comentários, discussões e esclarecimento de dúvidas. Destacou-se a importância da rotatividade das equipes, o que possibilitou a todos os participantes experimentarem as diversas técnicas abordadas.

Considerou-se uma vantagem do processo o fato de o grupo ter visto a casa sendo construída, ao invés de se executar uma parede de cada técnica, pois isto possibilitou que fossem visualizadas as soluções empregadas, à medida que iam surgindo problemas na obra. No momento de discussões, surgiu o questionamento sobre como ficariam os revestimentos da edificação e a arquiteta Kareen Herzfeld se ofereceu para finalizar a obra, em outros cursos. Na figura 39, pode-se visualizar o grupo no momento das discussões.



Figura 39: roda de discussões (Foto: Consuelo Daudt, outubro 2005)

5.5.3 Cursos de bioconstrução com Kareen Herzfeld

Em dezembro de 2005, houve um curso de bioconstrução ministrado pela arquiteta uruguaia Kareen Herzfeld, para a continuidade dos trabalhos de construção da casa. Anteriormente ao curso, foi aplicada uma mistura de terra argilosa com água, de consistência líquida, diretamente sobre a palha (interna e externamente), com o auxílio de uma mangueira, por um operário da região. Durante o curso, que contou com sete alunas e apenas um aluno, executou-se a primeira camada de revestimento na maior parte do interior da edificação.

A primeira atividade realizada foi a uniformização da superfície, a partir do corte da palha excedente com uma tesoura de poda. Posteriormente, iniciou-se a preparação da argamassa de revestimento. A massa era preparada pelas próprias alunas, misturada em uma betoneira, e levada para o interior da edificação, em baldes, também pelas alunas. A argamassa era aplicada com a mão, com colher de pedreiro ou com desempenadeira. Além das equipes de preparação e aplicação, havia um grupo que se responsabilizava pela execução da interface com os elementos de amarração, que foi feita com a utilização de tela de juta. A figura 40 mostra imagens da execução da interface, no momento do alisamento da juta com a mão para a retirada do ar (a), e da execução do revestimento de argamassa com desempenadeira (b).



Figura 40: parte do processo de execução do revestimento interno (Fotos (a) e (b): dezembro 2005)

Em maio de 2006, realizou-se outro curso com a mesma arquiteta, que contou com dez alunos, entre homens e mulheres, quando foi executada a segunda camada de revestimento no interior da edificação e parte da construção das paredes de adobe. Além dos alunos, estagiários da fazenda participaram desta etapa da construção. Em alguns ambientes o revestimento foi executado com terra e areia fina, e em outros, com terra e palha. Em todos os ambientes foram feitos desenhos em alto relevo com a mesma mistura de terra com palha, pelos próprios alunos, que ficaram livres para exercitar sua criatividade. Iniciou-se também a pintura dos ambientes, com pigmentos naturais, de cores variadas, provenientes do local. Na figura 41 podem ser observadas duas alunas trabalhando na execução dos desenhos em relevo, na cozinha da edificação, e, na figura 42, apresenta-se o fluxo das atividades de execução dos revestimentos internos.



Figura 41: alunas executando desenhos em alto relevo no interior da edificação (Fotos (a) e (b): maio 2006)

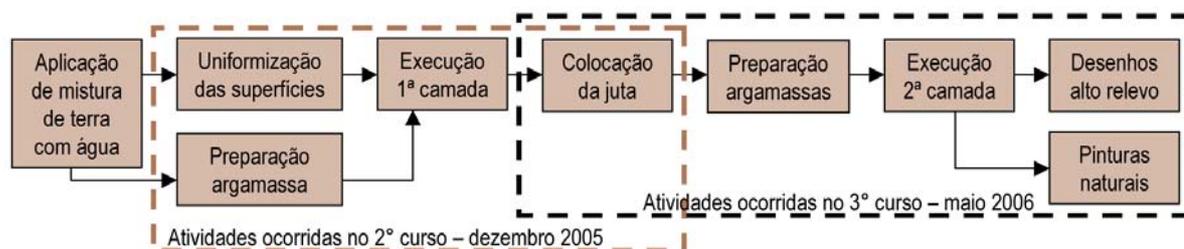


Figura 42: fluxo da seqüência de execução dos revestimentos internos

Neste curso, foram erguidas parte da parede divisória dos dormitórios e parte da parede divisória da sala e do dormitório 1. Os adobes foram assentados com argamassa de terra, pelos próprios alunos, porém com a coordenação de um operário experiente neste tipo de trabalho, que integrava a equipe.

Nos dois cursos ministrados pela arquiteta Kareen, houve também a participação dos membros da família dos proprietários, inclusive uma criança no segundo curso (figura 43), demonstrando que o canteiro de obras era um ambiente seguro e saudável, sem a presença de ferramentas e equipamentos perigosos.



Figura 43: presença de uma criança na obra (Foto: maio 2006)

Com relação às técnicas abordadas nos cursos ministrados pela arquiteta Kareen, observou-se a facilidade de execução do revestimento, desde a etapa de preparação da mistura até as etapas de aplicação da argamassa nas paredes, apesar de a qualidade final não ter sido profissional. Quanto à execução das paredes de adobe, no entanto, percebeu-se a necessidade da presença de, pelo menos, um operário da construção civil experiente, coordenando os trabalhos.

É importante ressaltar que em todos os cursos os alunos ficavam em imersão na fazenda Capão Alto das Criúvas. Isto possibilitou momentos de integração entre os participantes e de troca de experiências, além dos períodos de obra, que ocorriam principalmente durante e após as refeições coletivas.

5.5.4 Execução do revestimento externo

Cerca de duas semanas após o segundo curso de Kareen Herzfeld, foi executado o revestimento externo da edificação, com um traço deixado pela arquiteta. Considerou-se importante executar o revestimento antes do início do inverno de 2006. Os trabalhos foram coordenados por um mestre de obras que participara do curso com a arquiteta e já experiente no trabalho com terra.

Esta etapa do processo foi realizada em cinco dias, em alguns momentos com a ajuda do proprietário e de trabalhadores da lavoura. A maior parte da edificação foi revestida com argamassa de solo, cimento e cal, com exceção de parte da fachada norte, que recebeu revestimento de argamassa de solo e esterco de gado. A figura 44 mostra parte da execução do revestimento na fachada norte da edificação.



Figura 44: execução do revestimento externo com esterco de gado (Foto: junho 2006)

5.6 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O CAPÍTULO

Apresentou-se, neste capítulo, a edificação objeto de estudo do trabalho, por meio da caracterização dos subsistemas e da descrição do processo de construção, além de uma apresentação inicial da área de estudo, do projeto e da caracterização dos materiais locais utilizados.

A edificação está erigida em uma propriedade rural, produtora de arroz orgânico e biodinâmico, com disponibilidade de diversos materiais naturais propícios à construção, como palha, terra, bambu, entre outros. Parte dos mesmos foi caracterizada neste capítulo, principalmente para obtenção de dados para a conversão, em massa, dos materiais, e, no caso dos fardos de palha, para o cálculo do índice energético do material.

A habitação foi construída com técnicas e sistemas construtivos considerados não convencionais, cujas bases teóricas foram apresentadas no capítulo 3. As vedações externas foram executadas com a técnica de fardos de palha não portantes, as vedações internas com a técnica do adobe e o telhado da edificação configura uma cobertura verde extensiva. Esses subsistemas e os demais, instalados até o presente momento, foram apresentados neste capítulo, com os quantitativos resumidos e custos de aquisição dos materiais incorporados, além da identificação das distâncias percorridas por cada material.

Descreveu-se, ainda, o processo construtivo da edificação, que ocorreu predominantemente em cursos de bioconstrução. Verificou-se a predominância de mão-de-obra não-especializada, com apenas uma ou duas pessoas experientes coordenando os trabalhos, a possibilidade de participação igualitária da mão-de-obra feminina, e que o canteiro de obras não continha ferramentas e equipamentos perigosos.

Uma vez apresentado o objeto de estudo, com suas particularidades, o capítulo seguinte traz os resultados da avaliação desta edificação, realizada de acordo com os procedimentos definidos no capítulo anterior, relativo ao método de pesquisa.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, o método definido no capítulo 4 é aplicado para a caracterização dos critérios de avaliação, seguido de discussões a respeito dos resultados obtidos. Em uma segunda seção, são estabelecidas considerações gerais sobre a edificação avaliada.

6.1 RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Com relação aos critérios ambientais, os resultados são expostos nas escalas da edificação, dos subsistemas e dos materiais de construção, nos gráficos apresentados nas figuras 46 a 54. As caracterizações dos critérios por subsistema estão apresentadas no apêndice B, nas tabelas 8 a 14. Porém, para as discussões realizadas neste capítulo, os resultados foram agrupados por critério de avaliação.

Os resultados de desempenho ambiental da edificação são comparados com aqueles apresentados por Kuhn (2006), na avaliação do protótipo Alvorada. Esta comparação é possível, pois os resultados obtidos nesta pesquisa derivam dos mesmos procedimentos adotados pela autora, conforme já exposto no capítulo 4. Uma ressalva deve ser feita com relação às perdas de materiais, contabilizadas pela autora e não computadas nesta dissertação, devido à indisponibilidade de fontes de dados. Entretanto, há de se considerar que muitos dos materiais incorporados à edificação avaliada neste trabalho são pouco processados, não acarretando em gastos energéticos significativos, além de retornarem naturalmente ao meio ambiente, não se transformando em entulho, de maneira que os potenciais impactos associados às perdas de materiais são reduzidos.

O desempenho do protótipo de habitação de interesse social Alvorada é tomado como referencial, uma vez que a edificação foi concebida e construída segundo princípios de sustentabilidade. Este protótipo foi desenvolvido pela linha de pesquisa de Edificações e Comunidades Sustentáveis, do Núcleo Orientado à Inovação da Edificação (NORIE), e reflete os esforços do grupo com relação ao planejamento de edificações para populações carentes, que minimizem os impactos sobre o meio ambiente e, ao mesmo tempo, atendam às necessidades dos moradores. Estratégias como desenho bioclimático da edificação, utilização de materiais cerâmicos fabricados por pequenas empresas do estado, utilização de esquadrias em madeira de reflorestamento, acessibilidade universal, entre outras, foram adotadas. A edificação prototípica está construída no campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, na cidade de Porto Alegre, e até o presente momento, já foi objeto de estudo de seis dissertações de mestrado e uma tese de doutorado, cujos focos têm sido a avaliação e o aprimoramento das soluções propostas para a habitação.

Os resultados da aplicação dos critérios ambientais são comparados, ainda, com os obtidos em outras pesquisas semelhantes, quando encontradas. Entretanto, as comparações realizadas nesta dissertação referem-se apenas aos aspectos ambientais relativos aos materiais de construção que compõem os subsistemas das edificações, que provavelmente, não apresentam, entre si, os mesmos desempenhos térmicos, acústicos e estruturais.

Além das comparações, a análise dos critérios ambientais engloba discussões a respeito dos materiais e subsistemas responsáveis pelos maiores impactos potenciais, visando identificar os pontos críticos da edificação, a serem aprimorados. Apresentam-se, ainda, as limitações e imprecisões de cada forma de caracterização, para explicitar os aspectos considerados e desconsiderados nas análises.

Com relação aos critérios econômicos, realiza-se uma análise dos reflexos financeiros das soluções adotadas, discussões a respeito dos materiais e subsistemas que demandaram maiores investimentos, e dos aspectos relativos ao suporte à economia local na aquisição dos materiais. Os resultados são, ainda, comparados com os custos de habitações de padrão semelhante.

Quanto aos critérios sociais, devido à dificuldade de se trabalhar com quantificação, realiza-se uma análise qualitativa dos aspectos selecionados no capítulo 4, especialmente dos processos ocorridos na fase de construção da edificação.

Os quantitativos de materiais, calculados segundo os procedimentos relatados no capítulo de método, com suas conversões para unidades de massa e seus custos, estão apresentados no apêndice A. Os quadros 18 e 19 apresentam um resumo desses dados, por subsistema e por material, respectivamente.

Subsistema	Quantidade total de materiais ¹ (kg)	Materiais não reutilizados (kg)	Materiais reutilizados (kg)	Custo final (R\$) ²
Fundações	33.995,29	33.995,29	–	1.824,56
Piso	10.191,36	10.191,36	–	191,61
Estrutura	546,41	546,41	–	367,40
Cobertura	18.584,45	18.584,38	0,07	2.083,78
Vedações Externas	8.969,58	6.463,02	2.506,56	1.022,38
Vedações Internas	6.787,30	4.625,80	2.161,50	19,97
Esquadrias	670,13	670,13	–	2.250,13
Total	79.744,52	75.076,39	4.668,13	7.759,83

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam nas tabelas de 1 a 7 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,85; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Quadro 18: quantitativos, em massa, e custos dos materiais incorporados à edificação, por subsistema

Material	Quantidade total de materiais ¹ (kg)	Materiais não reutilizados (kg)	Materiais reutilizados (kg)	Custo final (R\$) ²
Pedra de grês	28.728,00	28.728,00	–	1.155,20
Areia tipo média	22.031,42	22.031,42	–	–
Substrato e vegetação	10.163,48	10.163,48	–	–
Terra	3.043,70	–	3.043,70	–
Bloco cerâmico de 6 furos	2.931,23	2.931,23	–	209,00
Areia tipo fina	2.028,25	2.028,25	–	60,39
Bambu	1.641,56	1.641,56	–	–
Palha	1.619,15	–	1.619,15	30,99
Cimento Portland CP IV-32	1.493,73	1.493,73	–	537,74
Madeira de eucalipto roliça tratada	1.488,68	1.488,68	–	1.096,45
Madeira de eucalipto roliça não tratada	1.062,03	1.062,03	–	–
Seixo rolado	1.020,00	1.020,00	–	30,60
Pedra britada 1	924,00	924,00	–	19,14
Madeira de cedrinho	726,77	726,77	–	1.921,25
Madeira de eucalipto serrada	426,41	426,41	–	143,75
Cal Hidratada CH-II	170,55	170,55	–	40,93
Geomembrana de PEAD	61,78	61,78	–	709,86
Aço	53,48	53,48	–	191,72
Vidro	40,50	40,50	–	167,40
Emulsão asfáltica	23,63	23,63	–	207,24
Alumínio	13,08	13,08	–	755,00
Madeira compensada	11,45	11,45	–	248,04
Lona preta	12,05	12,05	–	41,48
Tela plástica de galinheiro	8,74	8,74	–	95,00
Tela sombrite	5,71	5,71	–	16,05
Arame galvanizado	5,21	–	5,21	–
Tanino	3,41	3,41	–	10,91
Tela de juta	2,89	2,89	–	53,56
Barbante de sisal	1,86	1,86	–	5,57
Óleo de linhaça	1,70	1,70	–	12,56
Borracha	0,07	–	0,07	–
Total	79.744,52	75.076,39	4.668,13	7.759,83

¹ Quantitativos em massa para a avaliação, as unidades de orçamento constam nas tabelas de 1 a 7 do apêndice A.

² Valores referentes a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,85; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Quadro 19: quantitativos globais e custos dos materiais incorporados à edificação

A seguir, apresenta-se um desenho esquemático dos fluxos de matéria e energia incorporados à edificação (figura 45), elaborado a partir dos dados encontrados para a quantificação das cargas ambientais associadas à edificação. Posteriormente, as discussões dos resultados da aplicação dos critérios.

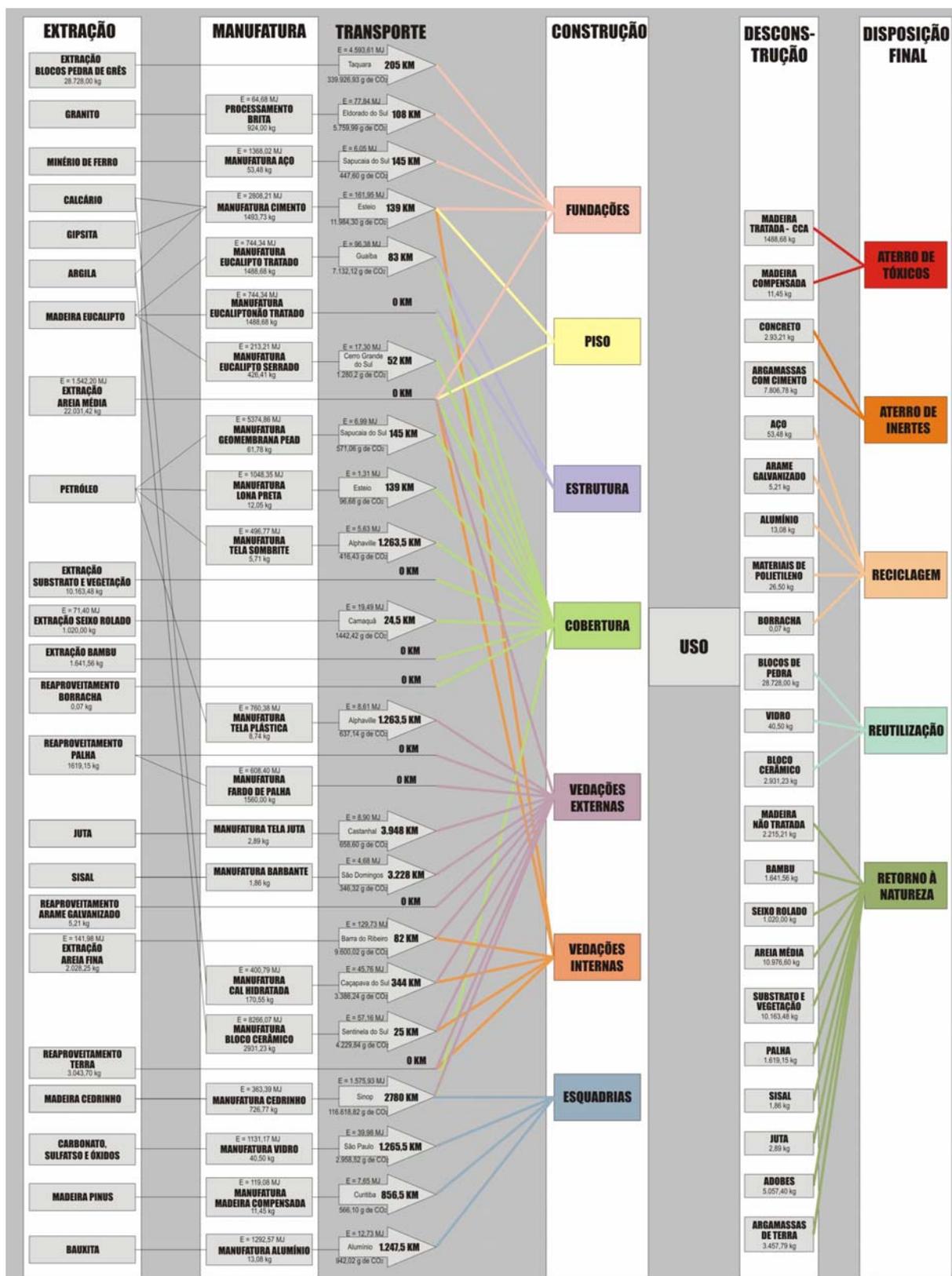


Figura 45: fluxo simplificado de massa e energia da edificação

6.1.1 Consumo de recursos não reaproveitados

A forma de caracterização adotada para este critério considera mais impactantes os subsistemas com maior massa total de recursos sem insumos reaproveitados, pois se prioriza a redução da exploração de recursos, a fim de minimizar os impactos potenciais associados e evitar o esgotamento de reservas.

Optou-se por diferenciar os materiais reutilizados dos materiais com conteúdo reciclado. Os primeiros apresentam toda a sua massa correspondente a recursos reaproveitados. Esta diferenciação ocorre porque a reutilização não exige consumo energético para processamentos e está associada a impactos significativamente menores. Os resultados obtidos indicam que apenas 5,85% da massa de materiais incorporada à edificação corresponde a recursos reutilizados e 1,94% corresponde a recursos com conteúdo reciclado, totalizando 7,79% (figura 46). Contudo, não sendo prática corrente na construção civil, o mérito da reutilização de materiais deve ser destacado.

Os recursos reutilizados empregados na edificação não são resíduos de construção, mas são materiais disponíveis no local da construção. A terra, oriunda das atividades de terraplanagem e da escavação das fundações, é o principal recurso reutilizado presente na edificação, assim considerado, nesta avaliação, por não ter sido necessária a exploração de novas reservas. O segundo material reutilizado incorporado à edificação é a palha, resíduo da lavoura local de arroz, utilizada nos componentes das vedações externas e em parte do revestimento interno. A palha empregada na produção dos fardos é considerada um recurso reutilizado por corresponder à quase totalidade da massa do componente, além do barbante ter sido contabilizado como recurso não reaproveitado. Os demais materiais reaproveitados são outros resíduos encontrados no local: restos de mangueira (borracha) e sobras de cercas (arame).

Como materiais que apresentam conteúdo reciclado, foram identificados o cimento, devido ao uso de cinzas volantes no tipo de cimento utilizado na construção, e o aço, devido à prática de reciclagem de sucata.

A massa total de recursos não reaproveitados incorporada à edificação equivale, então, a 73.529,18kg ou 1.482,14kg/m² (figura 46). Os subsistemas que apresentaram pior desempenho neste critério foram aqueles com maior massa total de recursos incorporados: fundações e cobertura. Da mesma maneira, os subsistemas com melhores desempenhos são aqueles com menor massa total de recursos incorporados: piso e esquadrias.

Com relação aos gráficos de apresentação dos resultados, convencionou-se representar na cor vermelha os materiais com potenciais de maiores impactos, e na cor branca os materiais com bom desempenho no determinado critério. Aqueles representados na cor cinza obtiveram desempenho mediano. Os gráficos de pizza, no canto superior esquerdo da figura, representam a caracterização da edificação como um todo, os gráficos de barras, a caracterização dos subsistemas, para comparação entre os mesmos, e, os sete gráficos menores contêm a explicitação da contribuição de cada material para o desempenho dos subsistemas.

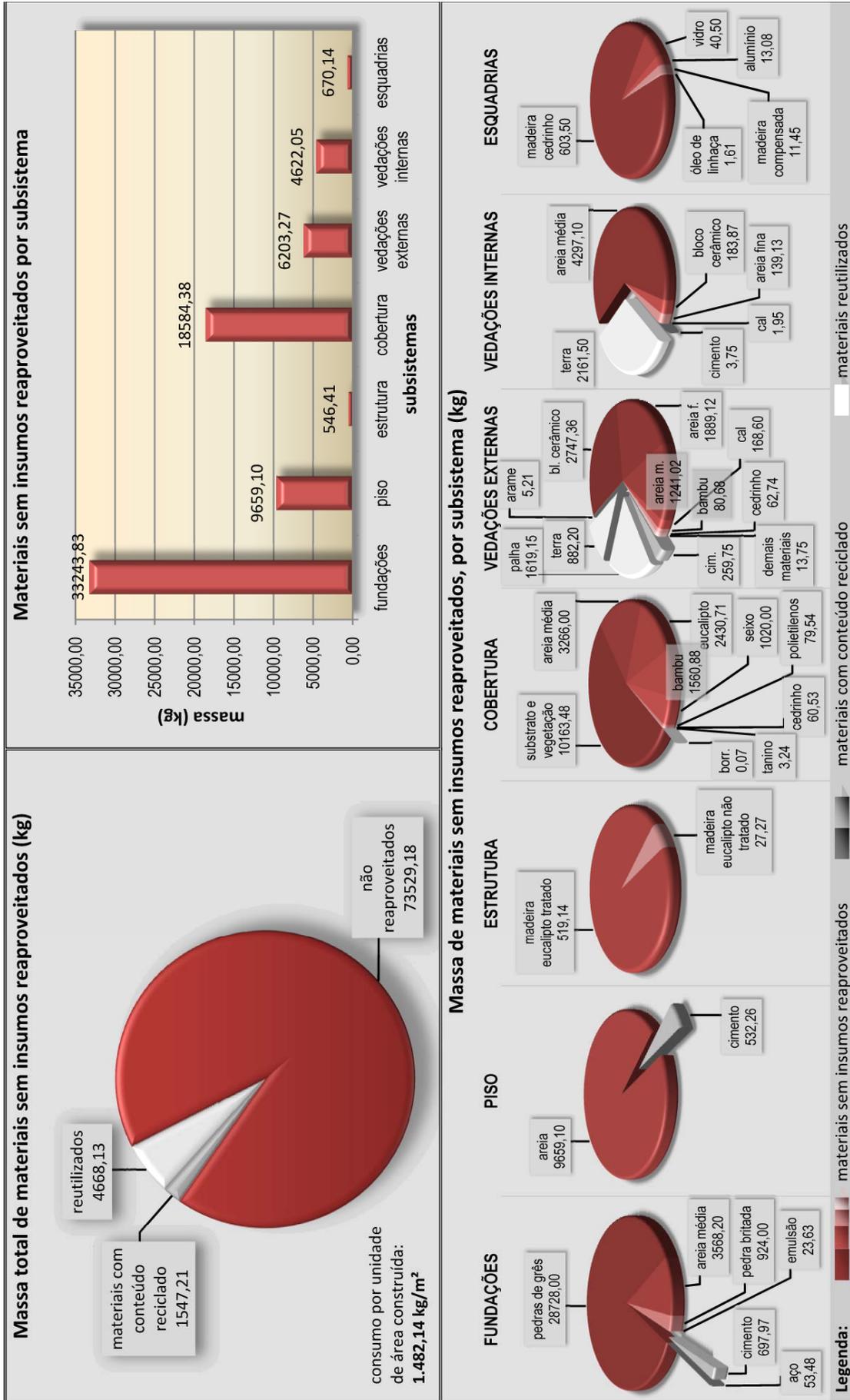


Figura 46: consumo de recursos não reaproveitados

Os dados apresentados por Kuhn (2006) apontam que foram consumidos 1.931,85kg/m² de recursos não reaproveitados na construção do protótipo Alvorada, valor 30% superior ao obtido no presente trabalho. Embora, proporcionalmente, o protótipo avaliado pela autora incorpore mais recursos reaproveitados, a forma de caracterização adotada indica que a edificação avaliada nesta dissertação apresenta melhor desempenho neste critério.

As imprecisões relativas à caracterização deste critério concernem, principalmente, aos materiais com conteúdo reciclado, pois os benefícios da reciclagem de cada tipo de insumo não foram analisados, assim como não foram determinadas as quantidades específicas de resíduos incorporados. Adicionalmente, foram considerados materiais com conteúdo reciclado apenas aqueles para os quais o setor tem como prática a incorporação de resíduos, não tendo sido avaliados os processos das indústrias específicas.

6.1.2 Consumo de energia e emissões de CO₂ relativas a transporte

Conforme apresentado no capítulo 4, para a caracterização deste critério, foram adotados o coeficiente de consumo energético calculado para caminhões semi-pesados de 3 eixos, que equivale a 0,00078MJ/kg.km, e o índice de emissões de CO₂ geradas por veículos europeus, que corresponde a 74g/MJ.

A partir da observação dos dados apresentados nas figuras 47 e 48, verifica-se que a edificação apresentou um consumo energético para transporte de 6.901,64MJ, com equivalente emissão de 510.721,30g de CO₂. Ao se dividir estes valores pela área total da edificação, obtém-se um resultado de consumo energético para transporte de 139,12MJ/m² e emissão 10.294,72g de CO₂ por unidade de área construída.

O pior desempenho foi apresentado pelo subsistema de fundações, devido à distância percorrida pelas pedras de grês (205km), material com maior massa incorporada na habitação, responsável por 66,6% do total dos aportes energéticos para transporte de materiais da edificação. Quanto ao subsistema de esquadrias, com segundo pior desempenho, o principal material contribuinte para os gastos energéticos e emissões relativas ao transporte foi a madeira de cedrinho, proveniente do estado de Mato Grosso, e responsável por 22,8% do total da referida demanda energética. Neste subsistema, apenas o óleo de linhaça, equivalente a 0,24% da massa dos materiais do subsistema, provém do Rio Grande do Sul.

O subsistema que apresentou melhor desempenho neste critério foi o de vedações internas, que possui menor massa de materiais não locais incorporada.

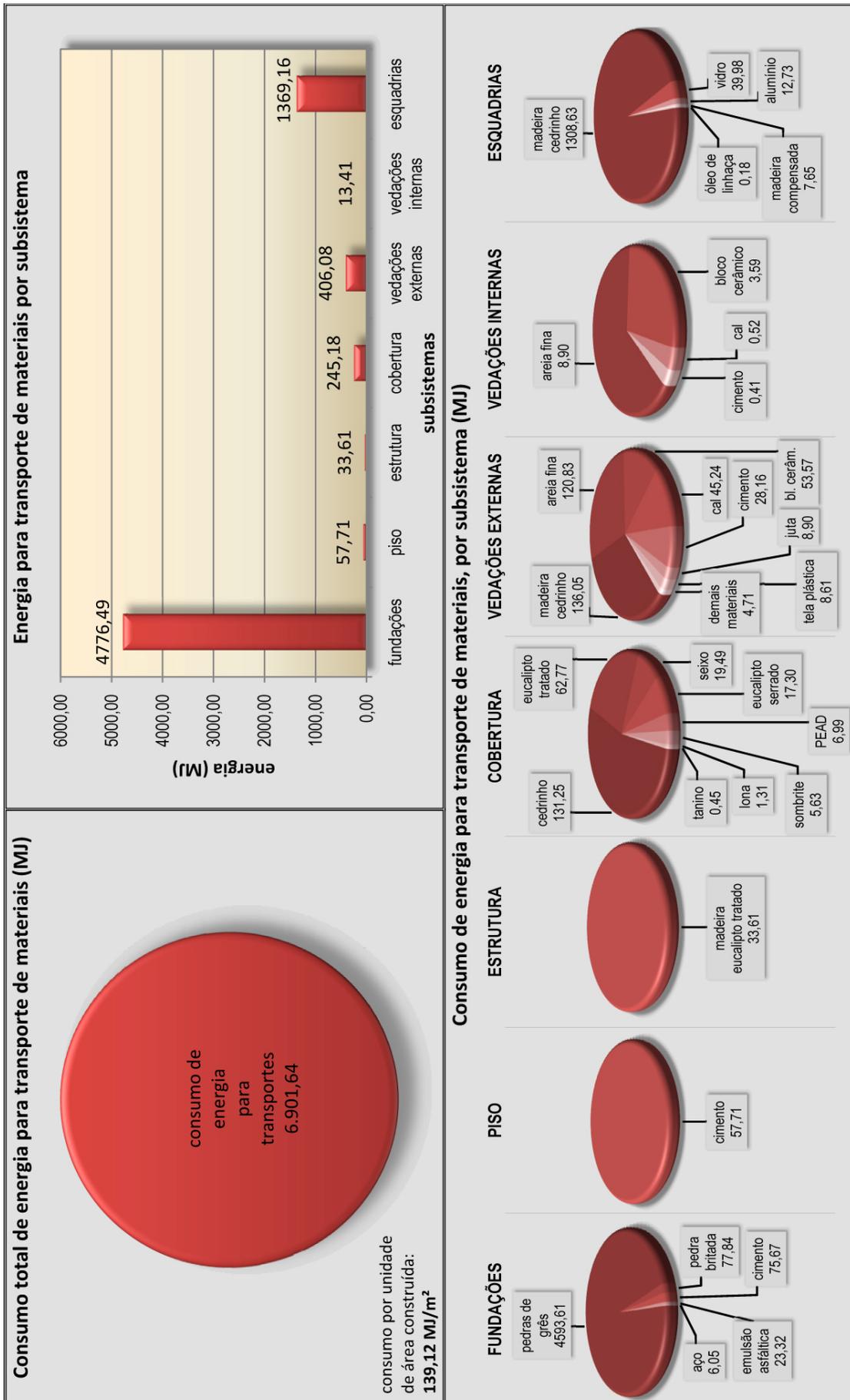


Figura 47: consumo de energia para transporte de materiais

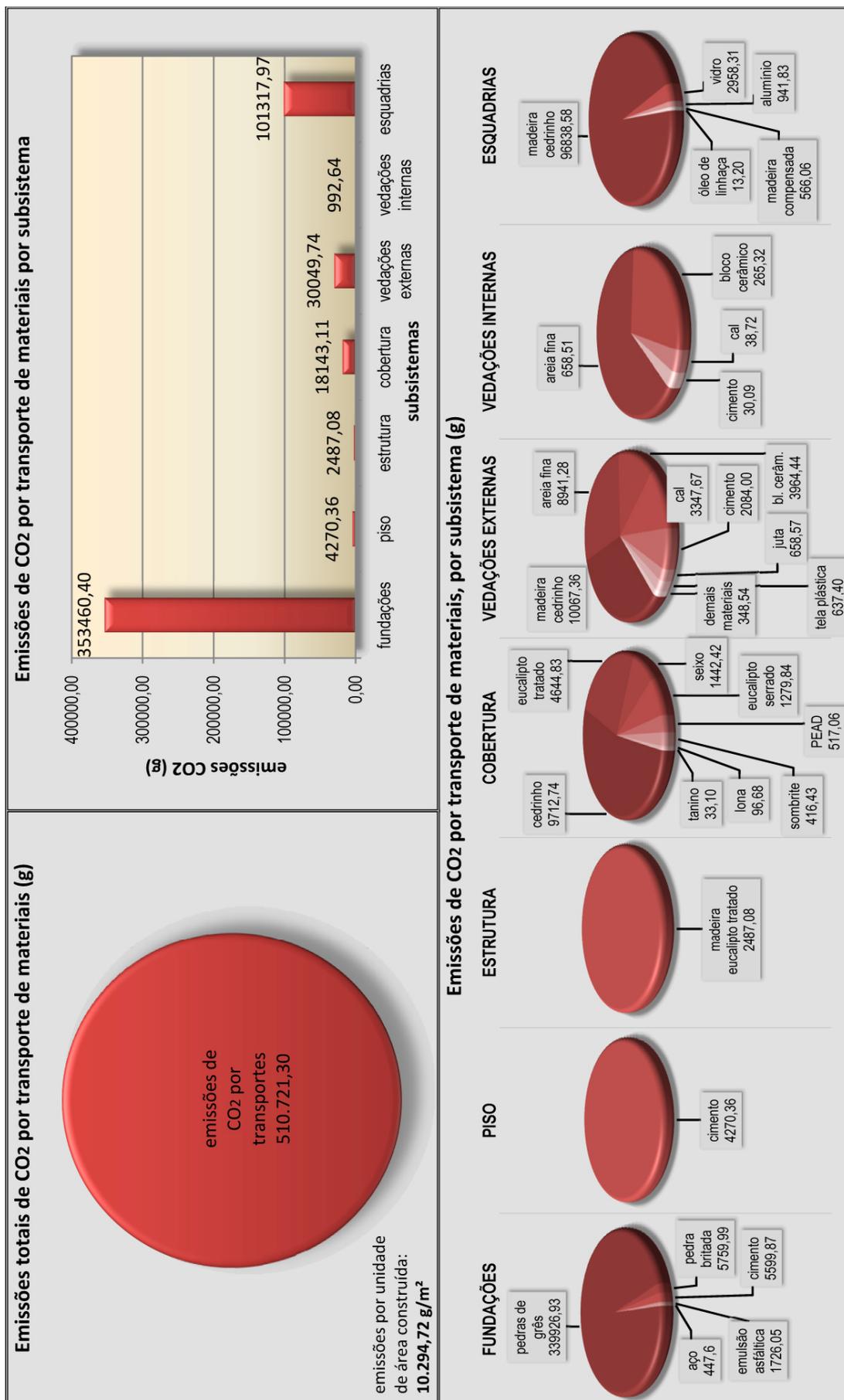


Figura 48: emissões de CO2 decorrentes do transporte de materiais

Diversos são os materiais oriundos de outros estados empregados na edificação: madeira de cedrinho, vidro, emulsão asfáltica, alumínio, madeira compensada, tela plástica, tela sombrite, barbante de sisal e tela de juta, cuja origem de produção localiza-se no estado do Pará, sendo a mais distante do local da construção. A figura 49 apresenta as distâncias dos produtores dos materiais à fazenda onde a edificação está construída.

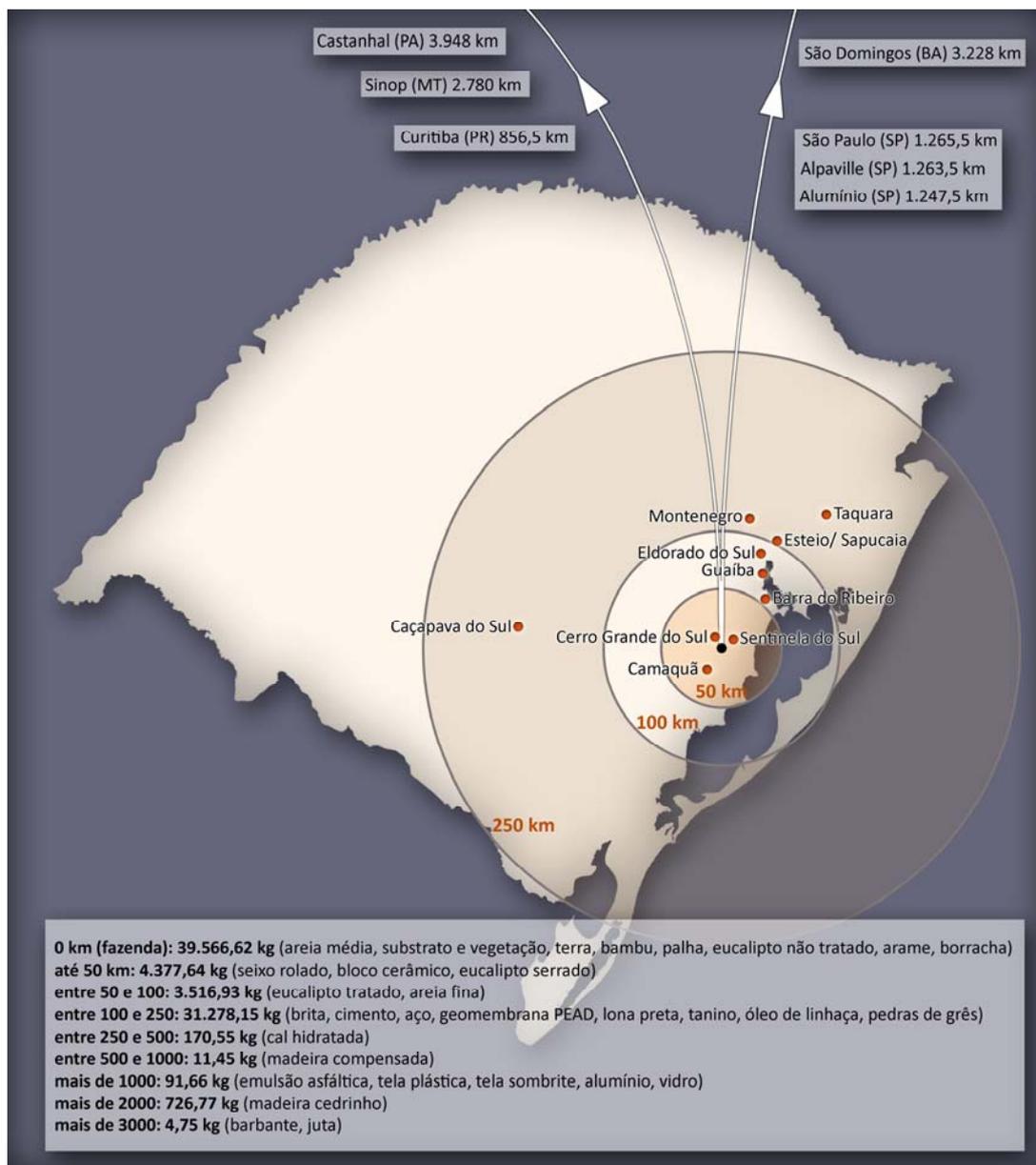


Figura 49: distância dos produtores dos materiais incorporados à edificação

A partir da observação da figura 49, verifica-se que 39.566,62 kg dos materiais são oriundos da própria fazenda, o que equivale a 49,6% do total de materiais, em massa, incorporados à edificação, e para os quais não foram computados aportes energéticos para transporte nem as conseqüentes emissões de CO₂.

De acordo com os dados apresentados por Kuhn (2006), na construção do protótipo Alvorada foram gastos 5.001,27MJ de energia para o transporte dos materiais. Subtraindo-se deste valor, o correspondente ao transporte das fôrmas das fundações, contabilizado pela autora e não computado neste trabalho, obtém-se um valor de aportes energéticos para transportes de 97,69MJ/m², contra 139,12MJ/m² obtidos na presente pesquisa.

Conforme discutido no capítulo 3, um dos requisitos de edificações sustentáveis é o uso de materiais locais, que oferecem vários benefícios, dentre os quais a redução dos potenciais impactos associados à energia e às emissões por transportes. Os valores resultantes da caracterização deste critério são considerados altos, principalmente ao se levar em conta que a habitação está construída em um local com disponibilidade de diversos materiais apropriados para a construção, mas apresentou maior demanda de energia para transportes que um protótipo construído na cidade, sem a mesma abundância de materiais disponíveis no próprio terreno. O consumo energético para transportes apresentado pela edificação foi 42,4% superior ao do protótipo Alvorada. Assim, pelos motivos apresentados, considera-se que, neste critério, o desempenho da edificação avaliada foi especialmente crítico.

Para os subsistemas de vedações e cobertura, foram identificados dados comparáveis também no trabalho de Sperb (2000), que analisou cinco tipologias da Vila Tecnológica de Porto Alegre. Os quadros 20 e 21 apresentam os valores obtidos pela autora, aqueles obtidos por Kuhn (2006) e os relativos a esta pesquisa, a fim de facilitar a comparação.

Edificação	Composição do subsistema de vedações	Consumo de energia para transportes	
		por unidade de área construída (MJ/m ²)	por unidade de área de paredes (MJ/m ²)
Tipologia A vila tecnológica	Blocos cerâmicos; revestimento com argamassa	23,02	10,13
Tipologia B vila tecnológica	Lajotas cerâmicas, concreto e aço; revestimento de placas cerâmicas	26,75	9,21
Tipologia C vila tecnológica	Madeira serrada e compensada; revestimento com argamassa epoxídica	50,63	22,69
Tipologia D vila tecnológica	Blocos cerâmicos; revestimento com argamassa	11,52	4,34
Tipologia E vila tecnológica	Blocos de concreto; revestimento com argamassa	95,92	39,49
Protótipo Alvorada	Tijolos cerâmicos maciços; revestimento com argamassa nas paredes sul e oeste	19,91	6,87
Residência de fardos de palha	Externas ¹ : fardos de palha sobre blocos cerâmicos; revestimento em argamassas		6,76
	Internas ¹ : adobes; revestimento em argamassa de terra		0,37
	Total	8,46	4,37

¹ Descritos detalhadamente no capítulo anterior, itens 5.4.5 e 5.4.6.

Quadro 20: valores de consumo energético para transporte de materiais para subsistemas de vedações, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa

Edificação	Composição do subsistema de cobertura	Consumo de energia para transportes	
		por unidade de área construída (MJ/m ²)	por unidade de área de projeção de cobertura (MJ/m ²)
Tipologia A vila tecnológica	Estrutura de madeira e aço; telhas cerâmicas; sem forro	31,15	22,02
Tipologia B vila tecnológica	Estrutura de concreto; telhas cerâmicas; sem forro	7,36	5,87
Tipologia C vila tecnológica	Estrutura e forro de madeira; telhas e fibrocimento	45,89	32,31
Tipologia D vila tecnológica	Estrutura de aço, forro de madeira, telhas cerâmicas	5,12	3,95
Tipologia E vila tecnológica	Estrutura e forro de madeira; telhas de fibrocimento	30,36	22,33
Protótipo Alvorada	Estrutura em concreto e madeira; forro de madeira, telhas cerâmicas	52,48	39,79
Residência de fardos de palha	Cobertura verde extensiva ¹ : estrutura de madeira; base de bambu; grama	4,94	3,19

¹ Descrito detalhadamente no capítulo anterior, item 5.4.4.

Quadro 21: valores de consumo energético para transporte de materiais para subsistemas de cobertura, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa

As informações dos quadros 20 e 21 demonstram que apenas o subsistema de paredes da tipologia D da Vila Tecnológica apresentou desempenho ligeiramente superior à edificação avaliada neste trabalho. O bom desempenho dos subsistemas de vedações e cobertura da edificação deve-se às técnicas construtivas utilizadas, que priorizam o uso de materiais disponíveis no local. Os materiais com maior massa incorporados à cobertura e às paredes internas são oriundos da própria fazenda e, quanto às vedações externas, também possuem uma quantidade considerável de materiais do local incorporada.

A respeito das emissões de CO₂ geradas pelo transporte dos materiais de construção desta edificação, que correspondem a cerca de 0,5 tonelada, segundo cálculos apresentados pelo site *THE GREEN INITIATIVE* (2007), esta quantidade de carbono pode ser retirada da atmosfera por uma média de três árvores em crescimento, no período de um ano.

As imprecisões relativas à forma de caracterização deste critério decorrem das variáveis de produtividade dos caminhões de carga, cujo índice energético foi adotado, como a idade da frota e a frequência da manutenção preventiva. Além disso, consideraram-se os veículos transportando 100% da sua capacidade e, contabilizou-se, apenas, a energia relativa ao transporte dos materiais analisados, admitindo-se que as transportadoras otimizem suas viagens. Apesar das possíveis distorções, tenta-se aproximar, ao máximo, do que realmente possa ocorrer. Quanto às emissões, compreende-se que, idealmente, deveria se contabilizar as emissões de NO_x, CH₄, CO, N₂O e particulados, além de CO₂, todas a partir de dados nacionais. Porém, dentro das limitações do estudo, esta foi a forma viável de caracterização.

6.1.3 Consumo de energia para processos de manufatura

A caracterização deste critério consistiu do produto das massas de materiais por seus respectivos índices energéticos, extraídos da literatura. A maior parte dos índices foi produzida no contexto nacional, exceto aqueles relativos à madeira e ao polietileno. Porém, a variabilidade das fontes de dados, bem como os aspectos relativos às datas em que foram produzidos, conferem certo grau de imprecisão quantitativa à forma de caracterização. Adicionalmente, existe uma limitação qualitativa, ao não se distinguir os tipos de fontes energéticas utilizadas em cada processo. No entanto, esta foi a forma de caracterização possível, e permite obter uma estimativa dos potenciais impactos associados ao uso de energia para os processos de manufatura dos materiais incorporados à edificação avaliada.

Os resultados apontam um consumo total de energia para processos de 27.346,88MJ, equivalendo a 551,24MJ por unidade de área construída (figura 50). Pode-se afirmar que a edificação apresenta bom desempenho neste critério, ao ser comparada com o protótipo Alvorada (KUHN, 2006), cujo consumo energético para manufatura de materiais corresponde a 2.218,20MJ/m², cerca de 4 vezes o demandado na edificação avaliada. O principal material responsável pelos aportes energéticos para manufatura, no referido protótipo, é o tijolo cerâmico, devido à quantidade de material incorporada. Na edificação avaliada nesta dissertação, o consumo de energia para a manufatura dos materiais dos subsistemas de vedações foi reduzido, devido à utilização de fardos de palha e adobes, que apresentam índices energéticos significativamente menores que o tijolo.

Com relação à contribuição de cada subsistema e material para o desempenho global da edificação, destacam-se as cargas geradas pelos subsistemas de cobertura e vedações externas. O bloco cerâmico de seis furos, utilizado como base das paredes de fardos de palha, é responsável por 30,2% do total da energia necessária para manufatura dos materiais empregados na edificação. Embora a altura desta base seja de apenas 64,5cm, as paredes são duplas, o que acarretou em maior consumo de material. Quanto ao subsistema de cobertura, a geomembrana de polietileno de alta densidade, necessária para a impermeabilização do telhado verde, é o segundo material com maior consumo de energia, correspondendo a 19,6% do conteúdo energético total da edificação. Isto porque, apesar de a geomembrana não estar entre os materiais incorporados em maior quantidade, o polietileno possui alto índice energético, representando, ainda, 8,43% dos aportes energéticos para processos, relativos à fabricação da lona preta e da tela sombrite, incorporadas ao subsistema de cobertura, e da tela plástica, empregada no subsistema de vedações externas.

Destacam-se, também, as cargas geradas pelo cimento e pelo alumínio. O cimento, apesar de possuir um índice energético relativamente baixo, devido à quantidade utilizada, foi o terceiro material com maior conteúdo energético incorporado à edificação, correspondendo a 10,3%, sendo que seu uso se concentrou nos subsistemas de fundações e piso. Com relação ao alumínio (4,73%), embora tenha sido empregado em menor quantidade, é o material presente na edificação com o mais alto índice energético.

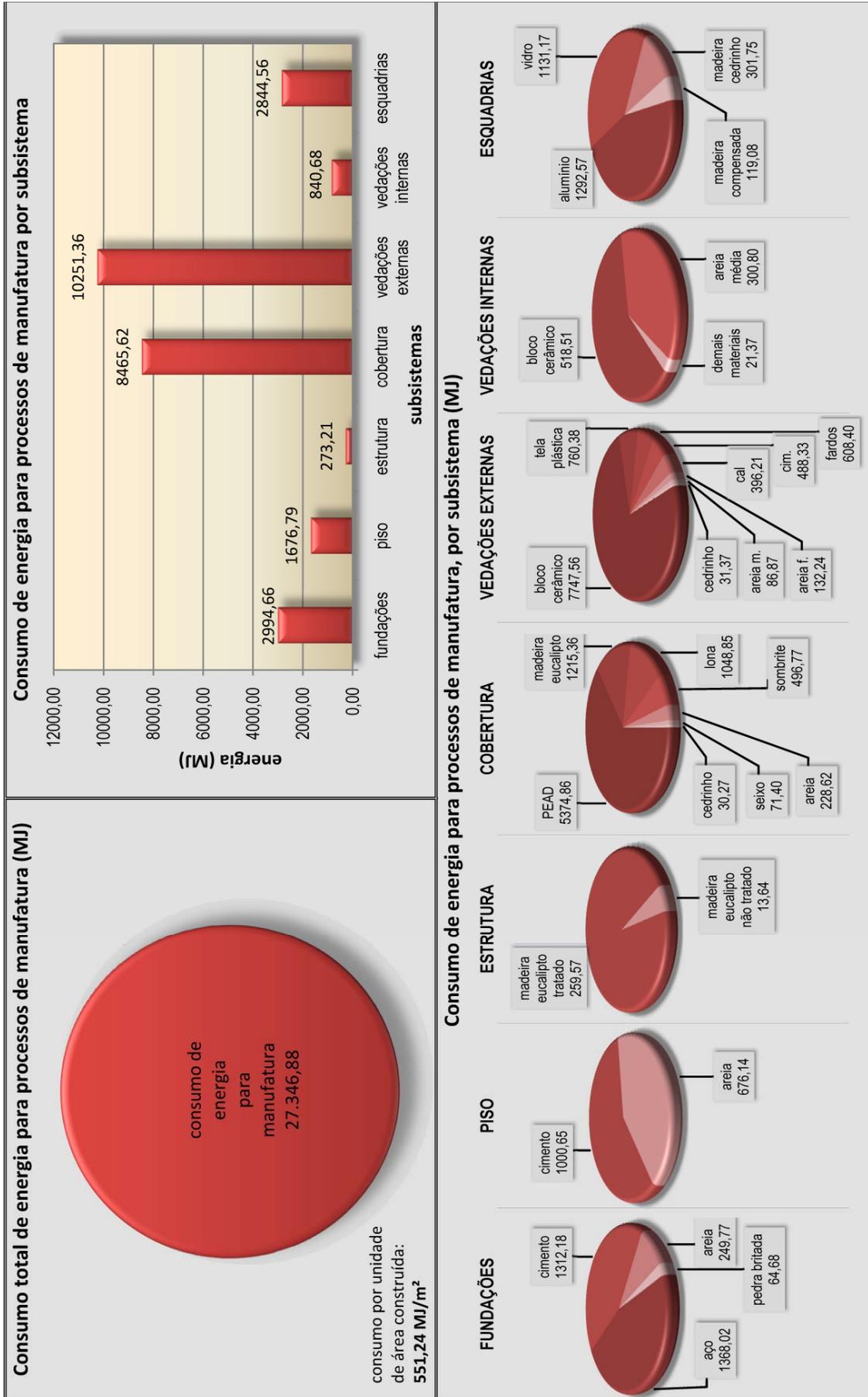


Figura 50: consumo de energia para processos de manufatura de materiais

Para os subsistemas de vedações e cobertura, também Sperb (2000) apresenta dados comparáveis aos obtidos neste critério. Para a melhor visualização e comparação das informações, foram elaborados os quadros 22 e 23, contendo os dados alcançados pela autora, aqueles apresentados por Kuhn (2006), relativos ao desempenho do protótipo habitacional Alvorada, e os obtidos no presente trabalho.

Edificação	Composição do subsistema de vedações	Consumo de energia para processos	
		por unidade de área construída (MJ/m ²)	por unidade de área de paredes (MJ/m ²)
Tipologia A vila tecnológica	Blocos cerâmicos; revestimento com argamassa	919,28	404,50
Tipologia B vila tecnológica	Lajotas cerâmicas, concreto e aço; revestimento de placas cerâmicas	1.435,72	494,59
Tipologia C vila tecnológica	Madeira serrada e compensada; revestimento com argamassa epoxídica	629,55	282,12
Tipologia D vila tecnológica	Blocos cerâmicos; revestimento com argamassa	935,25	351,97
Tipologia E vila tecnológica	Blocos de concreto; revestimento com argamassa	514,33	211,74
Protótipo Alvorada	Tijolos cerâmicos maciços; revestimento com argamassa nas paredes sul e oeste	1.004,01	365,10
Residência de fardos de palha	Externas ¹ : fardos de palha sobre blocos cerâmicos; revestimento em argamassas		170,54
	Internas ¹ : adobes; revestimento em argamassa de terra		23,44
	Total	223,58	115,58

¹ Descritos detalhadamente no capítulo anterior, itens 5.4.5 e 5.4.6.

Quadro 22: valores de consumo energético para processos de manufatura de materiais de subsistemas de vedações, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa

Edificação	Composição do subsistema de cobertura	Consumo de energia para processos	
		por unidade de área construída (MJ/m ²)	por unidade de área de projeção de cobertura (MJ/m ²)
Tipologia A vila tecnológica	Estrutura de madeira e aço; telhas cerâmicas; sem forro	405,01	286,24
Tipologia B vila tecnológica	Estrutura de concreto; telhas cerâmicas; sem forro	399,37	318,50
Tipologia C vila tecnológica	Estrutura e forro de madeira; telhas e fibrocimento	198,27	139,60
Tipologia D vila tecnológica	Estrutura de aço, forro de madeira, telhas cerâmicas	463,68	358,10
Tipologia E vila tecnológica	Estrutura e forro de madeira; telhas de fibrocimento	138,80	102,09
Protótipo Alvorada	Estrutura em concreto e madeira; forro de madeira, telhas cerâmicas	811,58 ¹	615,42
Residência de fardos de palha	Cobertura verde extensiva ² : estrutura de madeira; base de bambu; grama	170,64	110,23

¹ Adotando-se o mesmo índice utilizado por Sperb (2000), este valor seria de 366,39 MJ/m² (KUHN, 2006).

² Descrito detalhadamente no capítulo anterior, item 5.4.4.

Quadro 23: valores de consumo energético para processos de manufatura de materiais de subsistemas de cobertura, obtidos por Sperb (2000), Kuhn (2006) e nesta pesquisa

Observando-se o quadro 22, verifica-se que as vedações da edificação avaliada neste trabalho apresentam melhor desempenho que as demais. Ressalta-se o baixo conteúdo energético incorporado às paredes de adobe,

que, ao ser comparado com os referentes às demais edificações, por meio do consumo energético por unidade de superfície de paredes, corresponde a pouco mais do que 10% da energia necessária para manufatura dos materiais utilizados na edificação que apresenta o menor valor, dentre as encontradas para comparação: a tipologia E, da Vila Tecnológica. Com relação ao conteúdo energético total das vedações (externas e internas), equivale a 55% do conteúdo da referida tipologia E.

Quanto ao subsistema de cobertura, a partir da observação do quadro 23, percebe-se que a cobertura verde, implantada na habitação avaliada neste trabalho, apresentou conteúdo energético ligeiramente superior à tipologia E, avaliada por Sperb (2000), porém inferior a todas as demais alternativas. Diversos são os benefícios oferecidos por uma cobertura com vegetação, conforme abordado no capítulo 3, e, a partir da análise deste quadro, verifica-se que, apesar do material utilizado para impermeabilização apresentar alto índice energético, pode-se afirmar que o subsistema, como um todo, apresentou desempenho satisfatório.

Com relação aos percentuais da energia embutida inicial da edificação avaliada, de acordo com os dados das figuras 47 e 50, verifica-se que 20,2% correspondem ao transporte de materiais e 79,8% equivalem à manufatura. Estes valores diferem, significativamente, dos encontrados na literatura. Os percentuais apresentados para o transporte de materiais, em pesquisas nacionais, correspondem a 5,40% (GUIMARÃES, 1985 apud SPERB, 2000), 4,27% (KUHN (2006) e 1,38% (MASCARÓ; MASCARÓ, 1992 apud KUHN, 2006). Conclui-se que isto ocorre por dois motivos principais. Primeiramente, pelo consumo energético para transportes relativamente alto, apresentado pela edificação avaliada, conforme discutido no critério anterior. Adicionalmente, pelo baixo consumo energético para os processos de manufatura dos materiais, devido à natureza das técnicas construtivas utilizadas.

Compreende-se que a energia embutida inicial deveria englobar, também, a energia gasta durante o processo de construção. Entretanto, alguns autores consideram-na como sendo insignificante. Os percentuais encontrados em pesquisas nacionais equivalem a 0,1% (GUIMARÃES, 1985 apud SPERB, 2000) e 1,81% (MASCARÓ; MASCARÓ, 1992 apud KUHN, 2006). Ressalta-se que, embora não mensurada, a energia consumida na etapa de construção desta edificação correspondeu basicamente àquela necessária à operação de uma betoneira, para a mistura de certas argamassas, uma moto-serra, para acabamentos, e um trator com retroescavadeira, para a colocação de terra e leivas de grama na cobertura.

Para se estabelecer uma estimativa da relação entre a energia embutida inicial da edificação e a energia elétrica necessária à operação da mesma, buscaram-se dados sobre o consumo energético na etapa de uso, em habitações de padrão semelhante. Hansen (2000) realizou uma pesquisa quantificando o consumo de energia elétrica em diferentes tipologias residenciais, em Porto Alegre. O modelo que mais se assemelha à edificação avaliada nesta dissertação apresentou consumo médio mensal de 546,12MJ, referente aos usos de equipamentos de iluminação, aquecimento de água, refrigeração, climatização (ventiladores) e entretenimento. Relacionando este valor com os expostos nas figuras 47 e 50, verifica-se que os aportes energéticos para

manufatura e transporte dos materiais incorporados à edificação avaliada equivalem à energia elétrica requerida ao longo de 5 anos e 3 meses de uso de uma edificação de mesmo padrão. Estas relações estão apresentadas no quadro 24.

	Energia para processos de manufatura	Energia para transportes	Energia manufatura e transportes
Equivalência em anos	4,17	1,05	5,22

Quadro 24: comparação, em anos, dos aportes energéticos para fabricação e transporte dos materiais da edificação; em relação ao consumo de energia para uso de edificação de mesmo padrão

No entanto, é importante destacar que os materiais empregados na edificação avaliada neste trabalho apresentam potencial para criar edificações eficientes energeticamente. As propriedades de massa térmica da terra, e de isolamento da palha e da cobertura verde, se associadas a um bom projeto bioclimático, podem contribuir para reduzir a demanda de energia na fase de uso da edificação, no que concerne à iluminação e climatização.

6.1.4 Consumo de recursos com médio ou alto grau de processamento

Uma vez que a literatura aponta que um dos requisitos de edificações sustentáveis é o uso de materiais naturais, minimamente processados e disponíveis no local, considera-se importante, em uma avaliação de sustentabilidade, a inclusão de um critério que contemple esse aspecto. Os materiais de construção, quando utilizados da forma mais próxima possível ao estado em que são encontrados na natureza, são potencialmente menos impactantes do que quando passam por processos de beneficiamento de industrialização.

Assim, a forma de caracterização deste critério consiste na identificação e quantificação das massas dos materiais com médio ou alto grau de processamento empregados na edificação. São considerados potencialmente mais impactantes os subsistemas que incorporam maior quantidade desses materiais. Este critério, cujo objetivo é explicitar os materiais muito processados utilizados na edificação, pode ser visto como um complemento ao critério anterior.

Os resultados de caracterização do critério, expostos na figura 51, apontam um consumo total de 6.319,89kg de materiais com médio ou alto grau de processamento, ou 127,39kg/m², o que equivale a 7,93% do total de materiais incorporados à edificação. Estes resultados, de certa forma, estão relacionados àqueles referentes ao critério anterior. A diferença concerne à contabilização, neste critério, das madeiras tratadas por autoclavagem.

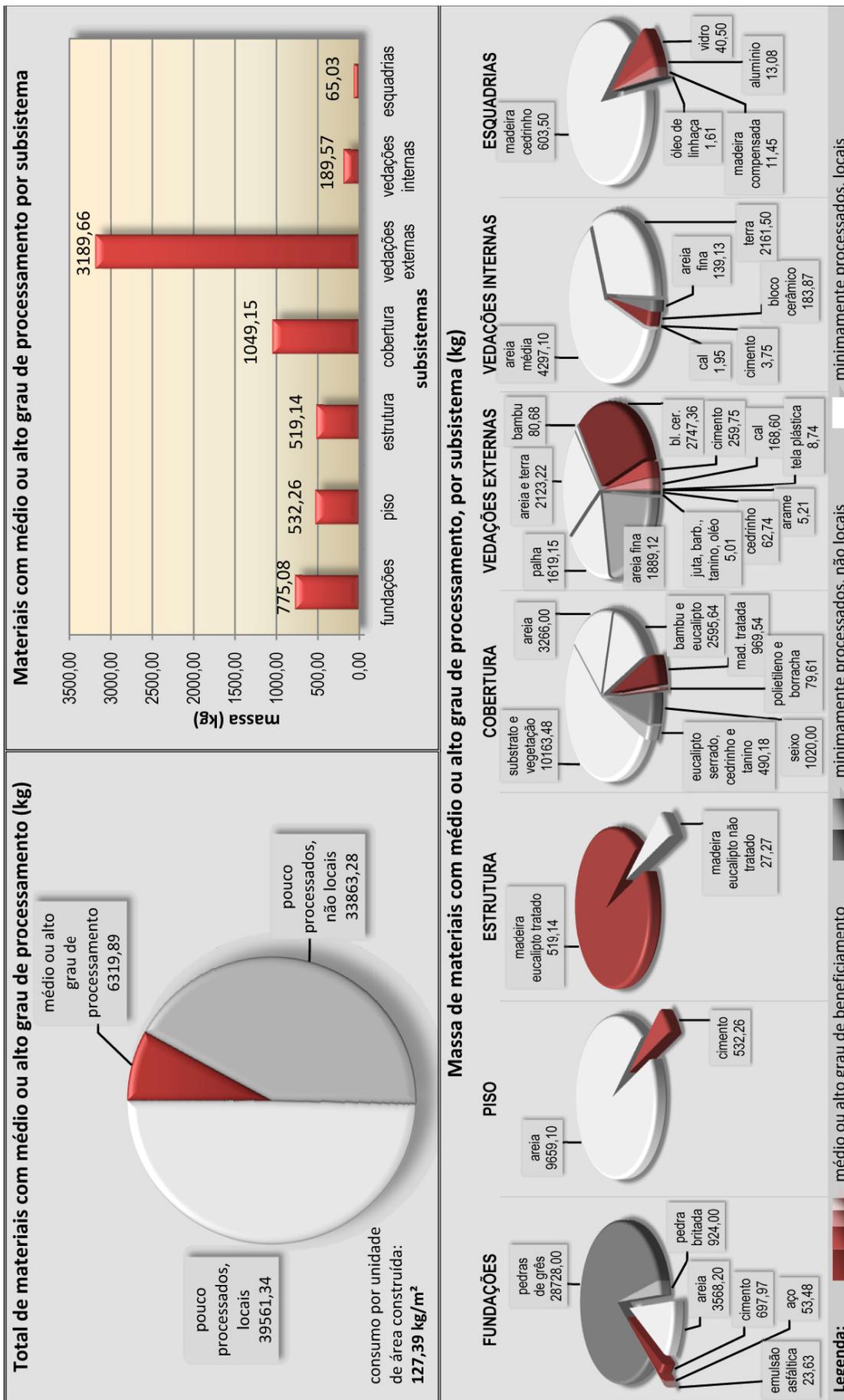


Figura 51: consumo de recursos com médio ou alto grau de processamento

Com relação à contribuição de cada material para o desempenho global da edificação, verifica-se que o bloco cerâmico (46,4%), o cimento (23,64%) e a madeira tratada (23,56%) foram os principais materiais com médio ou alto processamento incorporados. Destacam-se também, as cargas geradas pelo alumínio e pelos materiais de polietileno, cujos índices energéticos foram os mais altos identificados. Quanto ao desempenho por subsistema, verifica-se que o pior desempenho foi apresentado pelo subsistema de vedações externas, devido à utilização do bloco cerâmico.

Por outro lado, é importante salientar que a maior parte dos materiais incorporados à edificação é pouco processada, com índices energéticos de até 0,5MJ/kg. Do total de materiais empregados, 49,6% correspondem a materiais naturais, oriundos da própria fazenda, dos quais 32,7% são renováveis, como substrato e vegetação, palha, bambu e madeira de eucalipto não tratada. Identificam-se, neste critério, pontos onde o desempenho da edificação poderia ser melhorado. Este é o caso, principalmente, das madeiras tratadas e das esquadrias de alumínio. Entretanto, o mérito das soluções construtivas que priorizam a utilização de materiais pouco processados deve ser destacado, pois esta prática contribui para a redução dos potenciais impactos associados à etapa de manufatura dos materiais.

Com relação à comparação com o protótipo Alvorada, embora Kuhn (2006) não inclua um critério como este em sua avaliação, os dados apresentados pela autora permitem caracterizar o desempenho do protótipo, segundo os mesmos procedimentos adotados no presente trabalho. O consumo de recursos com médio ou alto processamento empregados na construção do protótipo corresponde a 562,37kg/m². Constata-se que a edificação avaliada nesta dissertação apresenta melhor desempenho no critério, entretanto, deve-se destacar que, materiais com alto conteúdo energético, como alumínio e polietileno, não estão incorporados ao protótipo.

6.1.5 Emissão de resíduos perigosos

A forma de caracterização deste critério consiste na identificação e quantificação das massas de materiais incorporados à edificação que emitem, em alguma etapa de seu ciclo de vida, resíduos perigosos, segundo as disposições da NBR 10.004 (ABNT, 2004b). Não são feitas distinções entre os tipos e quantidades de resíduos emitidos, devido à dificuldade de obtenção de informações. Contudo, apesar das limitações na forma de caracterização, considera-se essencial a inclusão de um critério como este em uma avaliação de sustentabilidade, pois permite identificar os materiais cujos processos geram resíduos que afetam os ecossistemas e o homem, e, em última instância, desencorajar a utilização dos mesmos. Este critério, além de ambiental, possui cunho social, ao estar diretamente relacionado à saúde dos usuários da edificação, e daqueles que participam dos processos de extração, manufatura e aplicação dos materiais.

A figura 52 apresenta os resultados da caracterização do critério. Foram identificados 1.660,18kg de materiais incorporados à edificação que emitem resíduos perigosos em alguma etapa de seu ciclo de vida, dos quais 89,7% correspondem à madeira de eucalipto tratada com CCA (arseniato de cobre cromatado). Segundo Townsend *et al.* (2003), o CCA tem sido o preservante químico mais utilizado no tratamento da madeira, entretanto, os três metais pesados presentes (cromo, cobre e arsênio) provocam impactos potenciais à saúde humana e ao meio ambiente. Stumpp *et al.* (2006) afirmam que, ultimamente, o produto tem sofrido sérias restrições e está sendo proibido em diversos países, como Alemanha, França, Inglaterra e, recentemente, Estados Unidos.

A NBR 10.004 (ABNT, 2004b) aponta o arsênio e o cromo como substâncias tóxicas, que conferem periculosidade aos resíduos, de forma que os efluentes líquidos e resíduos originados nos processos de preservação da madeira, que utilizam conservantes inorgânicos contendo essas substâncias, são considerados resíduos perigosos. Segundo Townsend *et al.* (2003), estudos apontam que tanto o arsênio quanto o cromo são considerados cancerígenos e o cobre apresenta risco de toxicidade crônica e toxicidade a ecossistemas aquáticos. Destacam-se, ainda, as preocupações com relação à lixiviação do arsênio e quanto à eliminação dos resíduos da madeira tratada com CCA (BRAND *et al.*, 2006). Ao final de sua vida útil, a madeira tratada necessita de aterros especiais. O produto não pode ser queimado, uma vez que libera substâncias tóxicas na fumaça e nas cinzas.

A madeira compensada, incorporada ao subsistema de esquadrias, também foi identificada como material responsável por emissões perigosas. A periculosidade deve-se à presença de formaldeído nas colas utilizadas nos processos de fabricação, substância apontada como tóxica pela NBR 10.004 (ABNT, 2004b).

Segundo Oliveira (2001), a emissão de formaldeído no meio ambiente pode ter graves conseqüências, como lixiviação para águas subterrâneas e toxicidade para a vida aquática. Com relação aos riscos oferecidos à saúde humana no ambiente interno, deve-se ressaltar que o formaldeído é um composto orgânico volátil, liberado pela madeira compensada e por outros produtos da construção. Segundo *AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION* (2007), o formaldeído pode causar doenças respiratórias e irritações nos olhos e nariz, além de existirem fortes suspeitas de que a substância cause câncer.

Os demais materiais incorporados à edificação, identificados como responsáveis por resíduos perigosos, apresentam emissões durante seus processos de fabricação: aço, alumínio, arame galvanizado e materiais de polietileno (geomembrana de PEAD, lona preta, tela plástica e tela sombrite). Entretanto, estes materiais posteriormente tornam-se inertes, não acarretando riscos à saúde dos usuários durante a etapa de uso da edificação, e não necessitando de disposição especial em aterros tóxicos ao final de sua vida útil. Estes materiais correspondem a 9,64% do total de materiais que emitem resíduos perigosos.

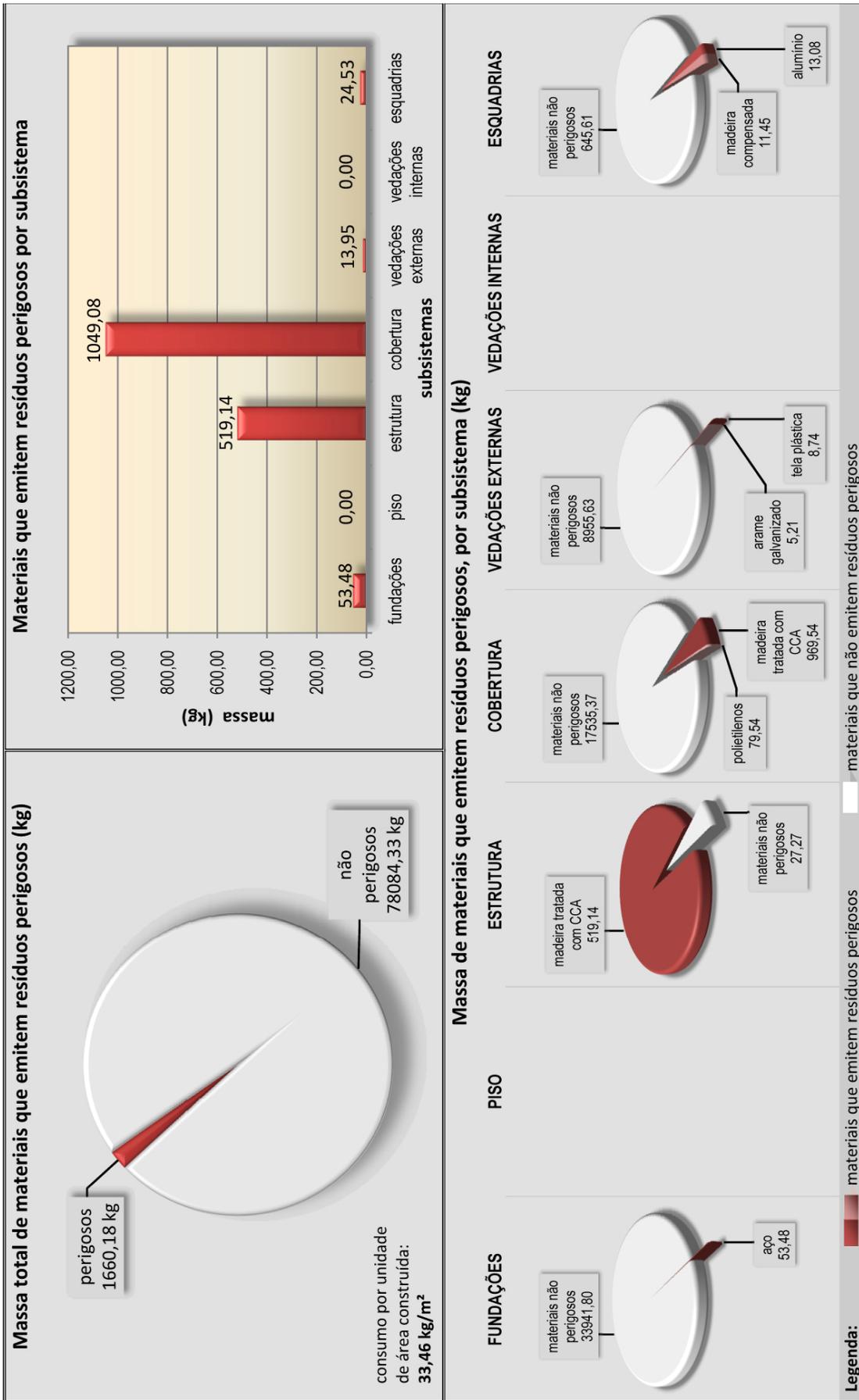


Figura 52: emissão de resíduos perigosos

Com relação ao aço, destacam-se os efluentes líquidos originados dos processos de coqueria, alto-forno e sinterização (GRIGOLLETI; SATTLER, 2003). Dependendo do tipo de aço produzido, a composição química das escórias pode, ainda, conter teores de metais pesados e de substâncias que as classificam como perigosas (GEYER *et al.*, 1997 apud KUHN, 2006). Ao arame galvanizado, que é um arame revestido com zinco, são atribuídas as emissões da indústria do zinco, como lodos provenientes do tratamento de efluentes, identificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004b) como resíduos tóxicos.

A produção de alumínio primário também gera resíduos que, de acordo com a NBR 10.004 (ABNT, 2004b) apresentam componentes tóxicos. O resíduo perigoso gerado pela indústria do alumínio é conhecido como lama vermelha, sendo que são geradas de duas a quatro toneladas de resíduo para cada tonelada de alumínio primário produzido (ABAL, 2000; SILVA FILHO *et al.*, 2007). A lama vermelha pode constituir um perigo para populações vizinhas, devido à presença de elevados valores de cálcio e hidróxido de sódio, além de causar diversos outros problemas, tais como formação de poeira alcalina, contaminação de águas superficiais e subterrâneas, danos à fauna e à vegetação (SILVA FILHO *et al.*, 2007).

Aos materiais de polietileno são atribuídas todas as emissões decorrentes do refino do petróleo, classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 2004b) como tóxicos e/ou inflamáveis, e das indústrias petroquímicas. O *INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION* (2005), em relatório de análise ambiental de indústria petroquímica aponta água pluvial potencialmente contaminada, das vias internas e áreas de tancagem, no efluente orgânico da indústria.

Com relação ao desempenho por subsistema, verifica-se que os subsistemas de cobertura e estrutura foram os que apresentaram piores desempenhos, devido à utilização da madeira tratada. Ao subsistema de cobertura, também estão atribuídas as cargas decorrentes do uso do polietileno. Os melhores desempenhos foram apresentados pelos subsistemas de piso e vedações internas, aos quais não estão relacionadas emissões perigosas. Ao subsistema de fundações, atribuem-se as cargas decorrentes da utilização do aço, ao subsistema de esquadrias, aquelas referentes à madeira compensada e ao alumínio e, às vedações externas, as cargas relacionadas à tela plástica e ao arame galvanizado.

Especialmente neste critério, considera-se que a comparação por unidade funcional é mais delicada. O valor de 1.660,18kg de materiais que emitem resíduos perigosos, incorporados à edificação, é muito superior ao apresentado por Kuhn (2006), relativo ao protótipo Alvorada, de 688,77kg. Destes, apenas 1,86kg são responsáveis por emissões durante a etapa de uso da habitação, enquanto que na edificação avaliada no presente trabalho, estão incorporados 1.500,13kg desses materiais. Kuhn (2006) ressalta que, com relação à etapa de uso, não foram utilizados tintas, vernizes, revestimentos, materiais ou produtos que contivessem compostos orgânicos voláteis, fibras ou metais pesados, que apresentassem riscos à saúde, no protótipo Alvorada. A cola para a madeira, empregada na mistura para o tratamento dos caibros da cobertura, foi o único

material identificado pela autora como passível de liberar substâncias tóxicas. Entretanto, há de se considerar que existe um sistema de ventilação interno na cobertura, e, abaixo das peças, um forro sem tratamento.

O desempenho do protótipo Alvorada demonstra a preocupação, por parte da equipe de projeto, com a saúde humana, principalmente a do usuário da habitação, ao evitar materiais que acarretam emissões perigosas. Em contrapartida, os resultados refletem que não houve preocupação semelhante com relação à edificação avaliada neste trabalho, a qual, apesar de todos os materiais naturais e saudáveis incorporados, apresenta uma quantidade significativa de materiais que emitem resíduos tóxicos. Considera-se, então, que também neste critério, a edificação avaliada apresenta desempenho crítico.

6.1.6 Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento

São considerados materiais com médio ou alto potencial de reaproveitamento aqueles para os quais se identifica possibilidade de reutilização ou reciclagem. Assim como no trabalho de Kuhn (2006), 100% das massas desses materiais são consideradas reaproveitáveis, de modo que não se contabiliza as perdas referentes à demolição seletiva, assim como, não se estima a parcela de materiais que não poderão ser reaproveitados, por deixarem de cumprir exigências de desempenho, devido à deterioração.

Com relação às argamassas e concretos, ressalta-se que, embora a resolução n° 307 do CONAMA (BRASIL, 2002) classifique-os como recicláveis, verifica-se que, no Brasil, a heterogeneidade dos resíduos de construção e demolição acaba por dificultar a sua utilização (ZORDAN, 2005). Além disso, apesar das crescentes pesquisas acadêmicas relativas à incorporação desses resíduos como agregados, na prática, ainda são reduzidas as ações efetivas de utilização do material. Por isso, decidiu-se considerar, neste trabalho, as argamassas e concretos como recursos com baixo potencial de reaproveitamento.

Os resultados de caracterização do critério, expressos na figura 53, apontam um consumo total de 11.423,75kg de materiais com baixo ou nulo potencial de reaproveitamento, ou 230,27kg/m², o que equivale a 14,3% do total de materiais empregados na edificação. Verifica-se que os piores desempenhos, apresentados pelos subsistemas de fundações, pisos e vedações externas, estão diretamente vinculados à utilização do cimento. Do total de materiais com baixo potencial de reaproveitamento, 86,9% equivalem aos materiais incorporados ao concreto e às argamassas com cimento. Os demais materiais identificados neste critério são a madeira tratada com CCA e a madeira compensada, cujos potenciais de reaproveitamento são nulos, devido aos motivos expostos nas discussões do critério anterior, havendo necessidade de disposição final em aterros especiais de tóxicos.

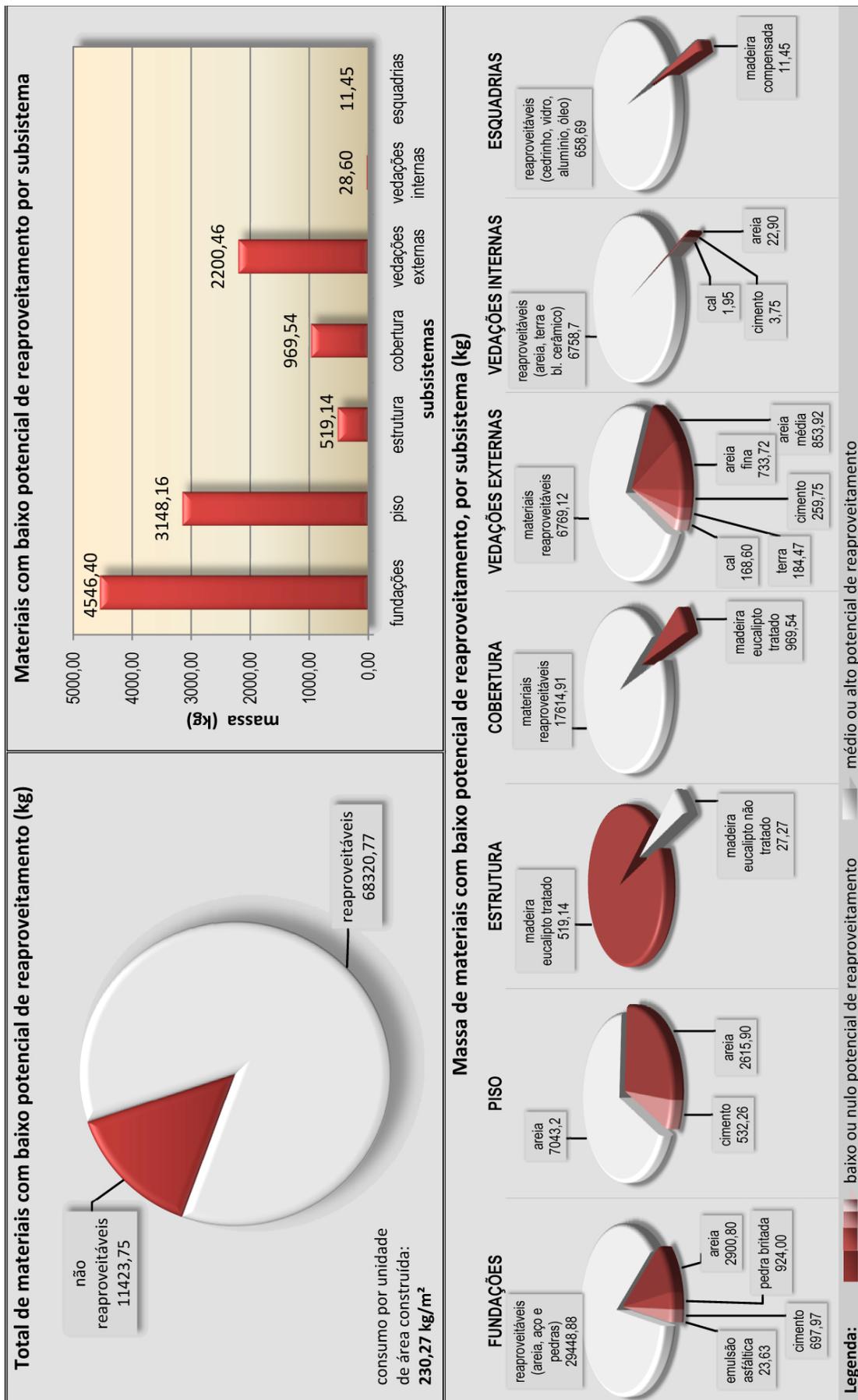


Figura 53: consumo de recursos com baixo potencial de reaproveitamento

Por outro lado, 85,7% dos recursos presentes na edificação são reaproveitáveis, dos quais 0,23% são mais propícios à reciclagem do que à reutilização: aço, alumínio e plásticos. Deve-se destacar, ainda, que diversos materiais, em momento algum, serão considerados entulho. A palha poderá ser utilizada para melhorar as propriedades do solo, o bambu e a madeira não tratada poderão gerar energia ou irão se decompor naturalmente, o substrato e a vegetação poderão ser reincorporados ao solo, e a terra, exceto aquela utilizada nas argamassas com cimento, apenas necessita ser triturada e umedecida para ser reutilizada. Os demais materiais poderão ser reutilizados na sua forma presente. Frente à quantidade de resíduos gerados pelo setor da construção, estes fatores devem ser considerados.

Com relação à construção do protótipo Alvorada, houve um consumo de 835,65kg/m² de materiais com baixo potencial de reaproveitamento (KUHN, 2006). Em comparação com esse valor, a edificação em estudo apresenta melhor desempenho, pois a forma de caracterização do critério considera mais impactantes os subsistemas e edificações com maior incorporação de recursos sem potencial de reaproveitamento. Entretanto, deve-se ressaltar que o protótipo não incorpora recursos que necessitem de aterros de tóxicos.

6.1.7 Consumo de madeira

A inclusão deste critério, no presente trabalho, deu-se devido à importância da análise da procedência dos produtos de madeira utilizados no setor da construção. Diversos autores apontam o uso da madeira na construção civil como benéfico, especialmente devido ao seqüestro de carbono atmosférico e à redução do consumo de recursos não renováveis. Entretanto, o material deve ser extraído de maneira criteriosa, a fim de garantir a sua capacidade de regeneração. Além disso, deve-se considerar a distância percorrida pelo material.

Conforme mencionado no capítulo 2 (item 2.2.1.1.1), o Brasil não possui madeira certificada que atenda à demanda da construção civil. Neste sentido, considera-se que ainda não há uma alternativa segura com relação à procedência de madeira para o setor, uma vez que não apenas a exploração de florestas naturais é considerada impactante, mas também a existência de vastas áreas de plantio de espécies exóticas, como *pinus* e eucalipto, tem sido polêmica, especialmente no Rio Grande do Sul. No entanto, embora exista um debate sobre o assunto, não se pretende esgotá-lo neste trabalho. Para esta avaliação, convencionou-se considerar, assim como nos trabalhos de Oliveira (2005) e Kuhn (2006), o uso da madeira nativa sem certificação potencialmente mais impactante.

Os resultados da caracterização do critério, apresentados na figura 54, apontam um consumo total de madeira para a construção da edificação, incluindo o consumo de bambu, de 5.356,90kg, ou 107,98kg/m². Destes, 55,6% são de madeira de eucalipto, 30,6% de bambu, 0,21% de madeira compensada e 13,6% de madeira de cedrinho. A madeira compensada não é considerada nativa, pois, segundo informações do setor de madeira

processada mecanicamente (ABIMCI, 2005), a produção de compensado de *pinus* já ocupa posição de destaque, equivalendo a 2/3 da produção nacional. As espécies de *pinus*, eucalipto e bambu são consideradas provenientes de florestas plantadas, enquanto que a madeira de cedrinho é considerada nativa, de ocorrência amazônica.

O consumo total de madeira nativa demandado para a construção da edificação avaliada corresponde a 726,77kg ou 14,65kg/m². A partir dos dados apresentados nos gráficos da figura 54, verifica-se que esta madeira foi empregada predominantemente no subsistema de esquadrias (83%). A madeira de eucalipto foi utilizada principalmente em estruturas, e o bambu teve seu uso concentrado na base da cobertura verde.

Para realizar a comparação com o desempenho do protótipo Alvorada, subtraiu-se do valor total apresentado por Kuhn (2006), a quantidade correspondente à madeira consumida para a produção das fôrmas das fundações, não computadas no presente trabalho. Desta forma, obtém-se um valor de consumo de madeira de 62,65kg/m², dos quais 22,55kg/m² correspondem à madeira nativa não certificada. Este valor é 53,9% superior ao obtido no presente trabalho. A partir das análises da autora, verifica-se que a maior parte da madeira nativa utilizada na construção do protótipo foi consumida na cobertura. Apesar de as técnicas construtivas dos dois subsistemas diferirem entre si, conclui-se que a utilização do bambu conferiu à edificação avaliada no presente trabalho um melhor desempenho, uma vez que esta apresenta maior quantidade total de madeira incorporada do que o protótipo.

Neste sentido, considera-se que a investigação das possibilidades e alternativas do uso do bambu na construção civil deve ser incentivada. Shaw (2007)⁶ aponta que o bambu absorve cerca de 4 vezes mais carbono do que outras espécies. Além disso, a rápida propagação e o crescimento acelerado são qualidades da planta. Vélez (2001 apud CASAGRANDE; UMEZAWA, 2004) destaca que o bambu cresce 30% mais rápido do que as espécies de árvores consideradas como de rápido crescimento.

Com relação ao consumo de madeira no subsistema de esquadrias, observou-se a utilização predominante de madeira nativa na edificação avaliada. Por outro lado, ressalta-se que o protótipo Alvorada, cujos valores de desempenho são tomados como referência nesta dissertação, apresenta esquadrias fabricadas em madeira de reflorestamento, sem a incorporação de espécies nativas ao subsistema. Dentre outros, este é um dos pontos críticos da edificação avaliada, a ser aperfeiçoado. No item 6.2 são estabelecidas considerações gerais sobre a edificação, com sugestões de melhorias para o projeto.

⁶ Informação oral obtida em aula com Michael Shaw, no módulo ecológico do curso Educação Gaia Brasil, São Paulo, maio de 2007.

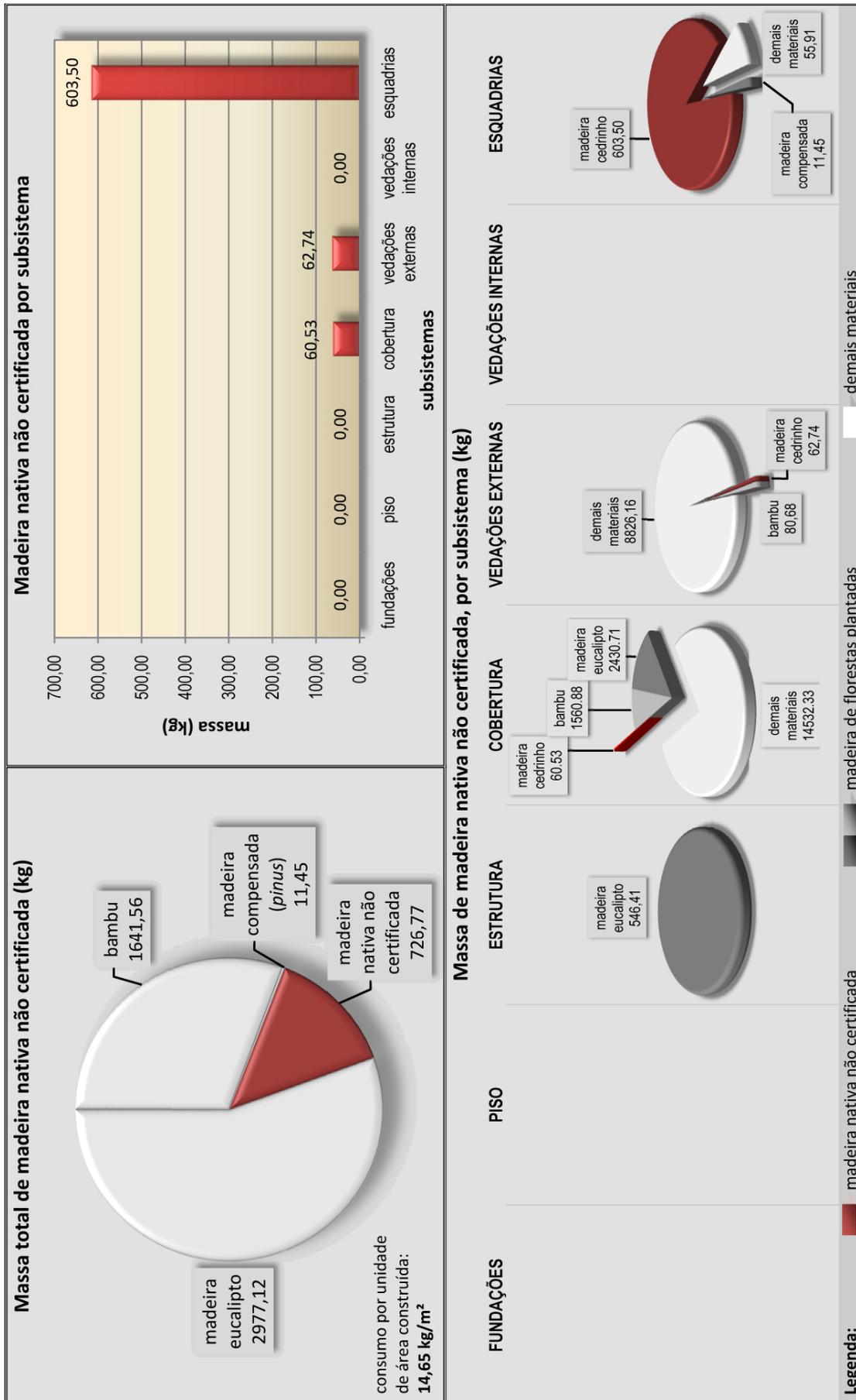


Figura 54: consumo de madeira nativa não certificada

6.1.8 Custo de aquisição dos materiais

Com base no cálculo das quantidades úteis de materiais incorporados à edificação, são identificados os custos da habitação, como um todo, e por subsistema, os quais estão sintetizados no quadro 25. É importante salientar que todos os custos apresentados neste item, e no subsequente, concernem ao mês de abril de 2007, e que as fontes de dados disponíveis não permitiram o cômputo das perdas de materiais. Adicionalmente, a principal ressalva a ser feita é que todas as análises realizadas neste critério estão baseadas nos custos iniciais da edificação, devido à impossibilidade de se avaliar a durabilidade dos materiais, e conseqüentes custos de manutenção, por meios que não fossem arbitrários. No entanto, compreende-se que uma abordagem ideal deveria considerar, também, as substituições de materiais ao longo da vida útil da edificação.

Subsistema	Custo total (R\$) ¹	Custo por unidade de área construída (R\$/m ²) ¹	Custo total (CUB) ¹	Custo por unidade de área construída (CUB/ m ²) ¹
Fundações	1.824,56	36,78	2,0075	0,0405
Piso	191,61	3,86	0,2108	0,0042
Estrutura	367,40	7,41	0,4042	0,0081
Cobertura	2.083,78	42,00	2,2928	0,0462
Vedações externas	1.022,38	20,61	1,1249	0,0227
Vedações internas	19,97	0,40	0,0220	0,0004
Esquadrias	2.250,13	45,36	2,4758	0,0499
Total	7.759,83	156,42	8,5381	0,1721

¹ Valores referentes a abril de 2007 (neste período CUB/RS = 908,85).

Quadro 25: custos dos materiais incorporados à edificação

Ressalta-se, ainda, que não foram contabilizados os custos referentes aos materiais disponíveis no terreno, como varas de bambu, terra, areia média, madeira de eucalipto roliça não tratada, substrato e leivas de grama. Com relação aos fardos de palha, considerou-se o custo de produção do material, com base no valor do óleo diesel do mês de abril de 2007. Em contrapartida, consideraram-se os custos dos materiais doados, como os postes de eucalipto tratados.

Com relação à participação de cada subsistema no dispêndio de recursos financeiros, verifica-se que o subsistema de esquadrias foi aquele que demandou maiores investimentos, representando 29% do custo total da edificação. Os materiais com maior contribuição são a madeira de cedrinho e as esquadrias de alumínio, equivalendo, respectivamente, a R\$1.067,79 (1,17 CUB) e R\$755,00 (0,83 CUB).

O segundo subsistema com custo mais elevado foi o de cobertura, seguido pelo subsistema de fundações. A madeira de eucalipto tratada, com valor de R\$729,05 (0,80 CUB) e a geomembrana de PEAD, com custo de R\$709,86 (0,78 CUB), foram os materiais que mais demandaram recursos financeiros para a construção do subsistema de cobertura. O referido subsistema representa 26,8% do valor total da edificação. Quanto ao subsistema de fundações, 63,3% das despesas financeiras são relativas às pedras de grês.

No subsistema de vedações externas, o maior investimento se deu nos sarrafos de cedrinho, utilizados para a amarração dos fardos de palha, equivalendo a R\$450,84 (0,50 CUB). Com relação ao piso, deve-se considerar que não estão incorporados materiais de revestimento ao subsistema, e, por isso, o mesmo não envolveu grande consumo de recursos financeiros.

O subsistema de vedações internas foi aquele que exigiu menores investimentos: 0,26% do custo total da edificação, o que corresponde a R\$19,97 (0,40 CUB). A utilização predominante de materiais disponíveis no local conferiu ao subsistema um bom desempenho, não apenas em diversos critérios ambientais, mas também sob o ponto de vista econômico. Estes valores evidenciam a adequação da solução construtiva empregada ao subsistema, aos postulados de técnica intensiva em mão-de-obra e pouco intensiva em capital, relativos à dimensão econômica da sustentabilidade.

Considerou-se a importância da identificação dos custos de materiais de construção de outros exemplares de habitações de interesse social, a fim de confrontá-los com os valores obtidos no presente trabalho. Para a cidade de Porto Alegre, identificaram-se os custos relativos a dois modelos-padrão de habitações implantadas pelo Departamento Municipal de Habitação – DEMHAB, entre os anos de 2001 e 2002 (DEMHAB, 2006 apud KUHN, 2006), expostos no quadro 26, e dos materiais empregados no protótipo Alvorada (KUHN, 2006), apresentados no quadro 27. No contexto nacional, verificaram-se os custos de habitações propostas ao governo federal por duas associações de materiais de construção, aceitas como adequadas para a reprodução em larga escala no país (FIESP, 2006 apud KUHN, 2006; ABCP, 2004 apud KUHN, 2006), os quais são apresentados nos quadros 28 e 29.

Subsistema	Descrição simplificada	Custos modelo A ¹ Área: 40,40 m ²		Custos modelo B ¹ Área: 23,37 m ²	
		Total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)	Total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	Blocos grês; vigas de baldrame de concreto armado	1.227,54	30,38	877,48	37,55
Piso	Cimento queimado; placas cerâmicas de revestimento nos banheiros	793,05	19,63	581,67	24,89
Vedações	Blocos cerâmicos de 21 furos; reboco; pintura	3.765,87	93,22	3.794,88	162,39
Esquadrias	Portas internas de madeira, portas e janelas externas de ferro	3.937,79	97,47	2.284,68	97,76
Cobertura	Estrutura de madeira; telhas de fibrocimento, forro de madeira (cedrinho)	3.077,42	76,17	2.390,20	102,28
Total		12.801,66	316,87	9.928,92	424,85

¹ Custos convertidos para abril de 2007 a partir do CUB (neste período CUB/RS = R\$ 908,85), a partir dos dados sobre as edificações apresentados no trabalho de Kuhn (2006).

Quadro 26: custos de materiais empregados em habitações-padrão do DEMHAB, por subsistema (baseado em KUHN, 2006)

Subsistema	Descrição simplificada ¹	Custo ¹ Área: 50,51 m ²	
		Custo total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	Blocos de granito; vigas de baldrame de concreto armado	3.501,34	69,35
Piso	Pedra britada; contrapiso; revestimento em placas cerâmicas	1.842,51	36,44
Vedações	Tijolos cerâmicos maciços; revestimento com argamassa nas paredes sul e oeste	3.178,34	62,89
Esquadrias	Portas e janelas de madeira de eucalipto de diversas espécies	3.003,84	59,44
Cobertura	Estrutura em concreto e madeira; forro de madeira, telhas cerâmicas	5.807,64	114,97
Pergolados	Mourões e linhas de madeira de eucalipto não tratada	832,51	16,45
Total		18.166,28	359,63

¹ Custos convertidos para abril de 2007 a partir do CUB (neste período CUB/RS = R\$ 908,85).

Quadro 27: custos de materiais empregados no protótipo Alvorada, por subsistema (baseado em KUHN, 2006)

Subsistema	Descrição simplificada	Custo ¹ Área: 50,54 m ²	
		Custo total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	Radier	1.899,42	37,58
Piso	Regularização de base; placas cerâmicas de revestimento	602,75	11,92
Vedações	Blocos de cerâmica estrutural; revestimento de argamassa; pintura	3.524,53	69,73
Esquadrias	Portas internas de madeira, portas e janelas externas de ferro	1.257,64	24,89
Cobertura	Lajes treliçadas; estrutura metálica; telhas cerâmicas	3.588,95	71,01
Total		10.873,28	215,14

¹ Custos convertidos para abril de 2007 a partir do CUB (neste período CUB/RS = R\$ 908,85), a partir dos dados sobre a edificação apresentados no trabalho de Kuhn (2006).

Quadro 28: custos de materiais empregados na Casa Cerâmica, por subsistema (baseado em KUHN, 2006)

Subsistema	Descrição simplificada	Custo ¹ Área: 42,30 m ²	
		Custo total (R\$)	Por unidade de área construída (R\$/m ²)
Fundações	Radier	1.786,47	42,23
Piso	Cimentado; placas cerâmicas de revestimento nos banheiros	37,19	0,87
Vedações	Blocos de concreto estrutural; revestimento de argamassa industrializada; pintura	3.542,77	83,76
Esquadrias	Portas internas de madeira; portas e janelas externas de ferro	1.387,97	32,82
Cobertura	Estrutura de madeira; telhas de concreto (tipo tégula), forro de madeira (<i>pinus</i>)	2.631,70	62,22
Total		9.386,08	221,89

¹ Custos convertidos para abril de 2007 a partir do CUB (neste período CUB/RS = R\$ 908,85), a partir dos dados sobre a edificação apresentados no trabalho de Kuhn (2006).

Quadro 29: custos de materiais empregados na Casa 1.0, por subsistema (baseado em KUHN, 2006)

A partir da análise dos valores apresentados entre os quadros 25 e 29, percebe-se que o custo total da edificação avaliada e o custo por unidade de área construída são inferiores aos relativos a todas as alternativas encontradas para a comparação. Entretanto, verificam-se diferenças quanto à contribuição de cada subsistema no custo total das habitações. Com relação ao subsistema de esquadrias, por exemplo, que na edificação avaliada neste trabalho foi aquele que demandou maiores investimentos, observa-se que as soluções empregadas na Casa Cerâmica e na Casa 1.0 envolveram menores custos. Deduz-se que estas diferenças se devam, principalmente, ao emprego das esquadrias de alumínio.

Quanto ao subsistema de piso, verificou-se que os materiais empregados na Casa 1.0 representaram investimentos significativamente menores que aqueles utilizados na edificação avaliada, enquanto os incorporados ao protótipo Alvorada apresentaram custos bastante superiores, devido à utilização, em todos os ambientes, de placas cerâmicas de revestimento. Com relação ao subsistema de fundações da edificação avaliada, observa-se que apresentou custos semelhantes aos subsistemas da Casa Cerâmica e da Casa 1.0, e superiores ao modelo de habitação de dois dormitórios do DEMHAB.

Os subsistemas de vedações da edificação avaliada apresentaram custos significativamente inferiores aos das habitações identificadas para comparação. Conclui-se que isto se deva ao fato de terem sido concebidos para a utilização, predominante, de materiais disponíveis no terreno. Com relação à cobertura verde implantada na edificação, comprovou-se ser uma solução construtiva que envolveu menores custos do que os subsistemas de cobertura das demais habitações. Neste sentido, considera-se que a adoção da alternativa poderia ser estudada para implantação no meio urbano, após acompanhamento sobre sua durabilidade e necessidades de manutenção, pois proporcionaria o aumento das áreas verdes nos empreendimentos de interesse social, assim como as demais vantagens apresentadas na literatura (item 3.3.1), como o isolamento térmico e a retenção de águas pluviais.

Considerou-se importante, também, a identificação dos custos de habitações de interesse social, cujos materiais empregados são considerados “não convencionais” pelo setor da construção civil. Entretanto, os padrões de apresentação dos dados encontrados diferem entre si. Na maioria das vezes, os custos não estão discriminados por subsistema e, em alguns casos, os autores não fazem menção, no texto, se foram computados os custos relativos aos subsistemas de instalações hidráulicas e elétricas, não contabilizados nesta dissertação. Ainda assim, considera-se importante a apresentação destes dados, cuja síntese pode ser visualizada no quadro 30.

Deve-se destacar que os exemplos encontrados estão implantados em diferentes estados do Brasil. Das quatro tipologias identificadas, apenas uma está construída no Rio Grande do Sul. Assim, para que os dados pudessem ser confrontados com os custos da edificação em estudo, os valores identificados foram convertidos aos custos unitários básicos de seus respectivos estados, e, posteriormente, em reais, por meio do CUB/RS de abril de 2007.

A partir dos valores expostos no quadro 30, e dentro das limitações da forma de comparação, observa-se que os custos empregados na edificação são intermediários àqueles relativos aos demais modelos de habitação encontrados. Os investimentos financeiros foram inferiores àqueles correspondentes ao protótipo da cooperativa de São Leopoldo e ao protótipo de habitação em madeira. Em contrapartida, foram superiores aos recursos despendidos nas residências em adobe, construídas em Itapeva e no interior da Bahia. É importante salientar que, quanto ao custo por unidade de área construída, foi significativamente superior ao equivalente à residência

do assentamento Pirituba II, cujos custos correspondem a pouco mais de 50% daqueles incorporados à habitação avaliada.

Edificação	Descrição simplificada	Custo total (R\$) ¹	Por unid. de área construída (R\$/m ²) ¹
Protótipo de habitação em madeira de <i>pinus</i> Campos do Jordão/ SP Área: 54,00 m ² Conclusão: mar 1998 (YUBA <i>et al.</i> , 2002)	Área úmida: alvenaria estrutural de blocos de concreto, com revestimento de argamassa; cobertura de telhas de fibrocimento e forro de pinus, piso de cimento queimado colorido; Área seca: à exceção das esquadrias, todas as peças em madeira de <i>pinus spp.</i>	9.006,70 ²	166,79 ²
Protótipo Cooperativa Habitacional ³ São Leopoldo/ RS Área: 62,00 m ² Conclusão: jan 2005 (D'ÁVILA, 2005)	Fundações: pedras de grês, concreto, ferragem; Contrapiso: brita, membrana de proteção contra umidade; Estrutura: postes de eucalipto reaproveitados da Companhia Elétrica Estadual; Vedações: adobes, argamassa de terra, pintura com cal; Cobertura: bambus, membrana de proteção, 10 cm de substrato e vegetação	11.315,18	182,50
Residência em adobe no assentamento rural Pirituba II - Itapeva/ SP Área: 75,00 m ² Ano: 2005 (SILVA <i>et al.</i> , 2006)	Fundações: sapata corrida, com blocos de concreto, armada e grauteada; Vedações: paredes estruturais em adobe, revestimento em argamassa de cimento ⁴ ; Esquadrias: em madeira, com barras de aço (vergas); Cobertura: estrutura em vigas de madeira de <i>Pinus sp.</i> , telhas cerâmicas	6.198,36	82,65
Projeto Piloto – Casa de Terra Crua ⁵ Banzaé/BA Área: 44,72 m ² (FIGUEIREDO; CASBUR, 2006)	Fundação: solo-cimento e pedras; Contrapiso: concreto magro; Piso: cimento; Vedações: adobe, revestimento em argamassa de cal, cimento e terra; Estrutura: vergas de concreto armado sobre os vãos das esquadrias; Cobertura: estrutura de madeira de lei, telhas cerâmicas; Esquadrias: portas e janelas de madeira maciça.	4.825,99 ⁶	107,92 ⁶

¹ Custos convertidos para abril de 2007 a partir do CUB/RS (neste período CUB/RS = R\$ 908,85).

² Excetuando-se os custos dos materiais elétricos e hidrossanitários.

³ Não apresenta custos discriminados por materiais ou subsistemas. Apenas está explícito que não foram computados os custos referentes aos postes de eucalipto, por terem sido doados.

⁴ Decisão do morador/ executor, contrariando as especificações técnicas dos pesquisadores.

⁵ Para o cálculo de conversão de custos, considerou-se o CUB/BA médio do ano de publicação do artigo (2006), por não haver referência, no texto, da data em que a obra foi concluída.

⁶ Inclui custos das instalações elétricas e hidrossanitárias.

Quadro 30: custos empregados a habitações de interesse social, construídas com materiais considerados não convencionais

Uma análise global dos custos empregados na edificação permite concluir que as soluções adotadas visando a utilização de materiais disponíveis no local da construção, especialmente aquelas relativas às vedações, representaram uma redução de custos, se comparadas às alternativas tomadas para as habitações construídas com materiais convencionais. O sistema construtivo de cobertura verde implantado na edificação também não envolveu custos adicionais, se confrontado com as demais soluções.

Em geral, conclui-se que os custos relativos aos materiais empregados na edificação são baixos, em relação às habitações de interesse social convencionais, e medianos, se confrontados com custos de habitações construídas com materiais “não convencionais”. Assim, embora existam pontos críticos relativos ao dispêndio de recursos financeiros na edificação, passíveis de melhorias, considera-se que o projeto tem o mérito de refletir esforços para minimizar os custos de acesso à habitação.

6.1.9 Dispendio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município

A caracterização deste critério consiste na identificação dos materiais incorporados à edificação, produzidos fora da região econômica à qual pertence o município de Sentinela do Sul, e na contabilização dos recursos financeiros despendidos com os mesmos. Sob o ponto de vista da sustentabilidade econômica, deve-se garantir maior fluxo de capital dentro da região e minimizar os custos com insumos provenientes de outras regiões, a fim de fortalecer a economia local. Adicionalmente, incentiva-se o atendimento das necessidades dentro da região, de modo que se deve buscar soluções construtivas com materiais produzidos localmente. Desta forma, são considerados mais impactantes os subsistemas com maior quantidade de recursos despendidos em materiais produzidos fora da região centro-sul do Rio Grande do Sul.

Na figura 55, estão expostos os resultados de caracterização do critério. Optou-se por apresentar os resultados fazendo uma distinção entre a aquisição de materiais produzidos fora da região econômica, mas dentro do estado do Rio Grande do Sul, e dos materiais produzidos em outros estados. Isto porque, na ausência de produtores de certos materiais, indispensáveis à construção, na região, considera-se que a aquisição dos mesmos deve ser feita, preferencialmente, em outros municípios do próprio estado.

Verifica-se que apenas 20,3% dos gastos financeiros com aquisição de materiais de construção ocorreu com materiais produzidos dentro da região econômica à qual pertence o município de Sentinela do Sul. Com relação à aquisição de materiais produzidos nos demais municípios do estado, equivale a 35%. Por fim, a maior parte das despesas financeiras corresponde à compra de materiais produzidos em outros estados (44,7%).

Quanto à contribuição de cada subsistema e material para estes resultados, observa-se que o pior desempenho foi apresentado pelo subsistema de esquadrias, seguido pelas fundações. A madeira de cedrinho, utilizada predominantemente no subsistema de esquadrias, e produzida no estado de Mato Grosso, foi o material que mais demandou investimentos financeiros para a construção da edificação, equivalendo a 24,8% do custo total da habitação e a 31% do custo dos materiais produzidos fora da região. As esquadrias de alumínio, cuja produção ocorre no estado de São Paulo, também envolveram custos significativos, correspondendo a 12,2% das despesas com materiais não produzidos na região.

Com relação ao subsistema de fundações, deve-se salientar que as pedras de grês, oriundas do município de Taquara, foram os materiais com segunda maior representatividade no custo total da habitação. Entretanto, apesar de serem consideradas, neste critério, impactantes, o são menos do que a madeira de cedrinho e o alumínio, produzidos fora do estado do Rio Grande do Sul.

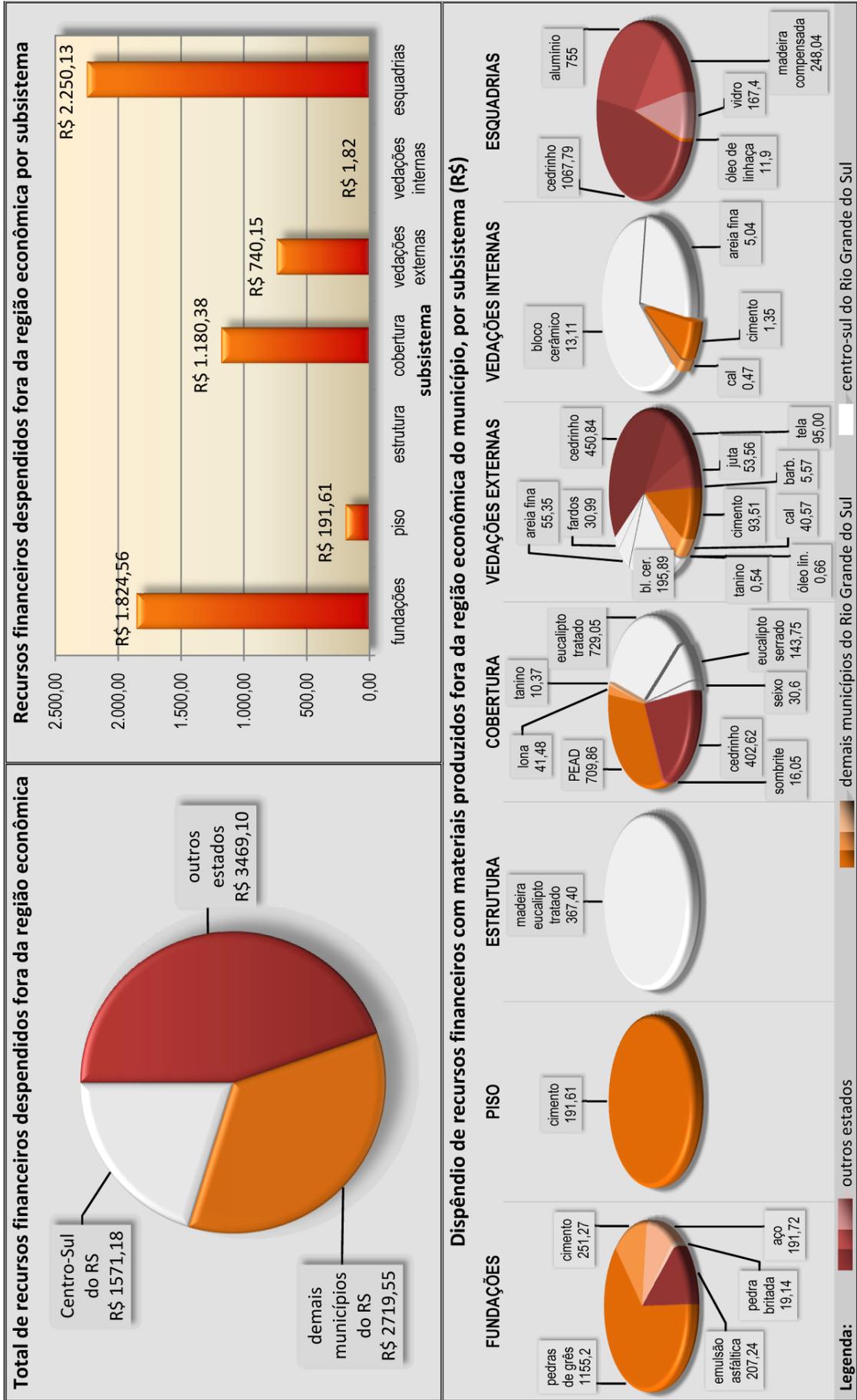


Figura 55: dispêndio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município

A respeito dos materiais incorporados à edificação, produzidos dentro da região econômica, os maiores investimentos correspondem à madeira de eucalipto tratada, proveniente do município de Guaíba. No entanto, considerando-se o caráter indissociável da sustentabilidade, a eficiência econômica não deve ser avaliada isoladamente. Conforme discutido nos resultados dos critérios anteriores, este material possui um alto custo ambiental, além de causar danos à saúde humana, de forma que, apesar de ter apresentado bom desempenho neste critério, não se aconselha a sua utilização.

Compreende-se que uma abordagem econômica mais completa deveria incluir outros aspectos, especialmente sobre a geração de empregos nas indústrias produtoras dos materiais. No entanto, a pesquisa assumiria uma proporção maior do que aquela proposta para uma dissertação de mestrado. Adicionalmente, verifica-se que, mesmo nos métodos de avaliação internacionais, a dimensão econômica ainda encontra-se menos desenvolvida que a dimensão ambiental. Portanto, considera-se a importância da abordagem realizada, a qual, em futuros trabalhos, poderá ser extrapolada a outros critérios.

6.1.10 Tipo de mão-de-obra utilizada na construção

Devido à dificuldade de se trabalhar com quantificações na esfera social, este critério e os subseqüentes possuem abordagens basicamente qualitativas. No entanto, ainda assim, considerou-se que, na busca por uma visão pluridimensional, critérios relativos à dimensão social da sustentabilidade não poderiam deixar de ser incluídos no presente trabalho.

A caracterização consiste na identificação do tipo de mão-de-obra utilizada no processo de construção, se especializada ou não-especializada, e em posteriores análises sobre a adequação das soluções adotadas para a autoconstrução, sobre a possibilidade do envolvimento de mulheres e jovens no processo, e sobre o potencial apresentado pelas técnicas para o resgate da capacidade de trabalho em mutirão.

As fontes de evidência demonstram, durante todo o processo de construção, a presença predominante de mão-de-obra não-especializada, que passava por um breve treinamento inicial, com apenas uma ou duas pessoas experientes coordenando os trabalhos. Mesmo no princípio da construção, em que foram executadas as fundações e foram produzidos os primeiros adobes, identificou-se a presença de trabalhadores da lavoura, estagiários da fazenda e membros da família. Além disso, verificou-se a utilização, basicamente, de ferramentas simples e econômicas.

A partir das experiências que se sucederam, neste processo, verificou-se que as soluções adotadas são adequadas para a autoconstrução, confirmando as vantagens apresentadas na literatura sobre a terra e o fardo de palha como materiais de construção, a respeito da possibilidade de execução por mão-de-obra não-especializada. Percebeu-se, também, que as técnicas são intensivas em mão-de-obra e, que, atividades como o

transporte de materiais por sistema de corrente humana, ocorridas desde o primeiro dia de curso, possibilitaram uma forte integração entre os participantes da construção.

As soluções empregadas à edificação avaliada mostraram-se adequadas, também, para a oportunidade de participação igualitária da mão-de-obra feminina na produção do ambiente construído, e podem contribuir para o combate à discriminação de gênero no setor da construção. Na maior parte do processo, verificou-se a presença de mulheres no canteiro de obras, inclusive, o segundo curso oferecido para a construção da edificação, contou com a participação de sete alunas e apenas um aluno. No entanto, observou-se a importância da divisão do trabalho, ficando a cargo da mão-de-obra feminina, os serviços mais leves como corte de fardos de palha, acabamentos, revestimentos e pinturas. Com relação à presença de adolescentes, neste processo, não foi muito significativa, entretanto, deve-se destacar que as tecnologias utilizadas são apropriadas para o emprego de mão-de-obra de diversas faixas etárias.

Uma análise geral do processo permite afirmar, ainda, que as soluções adotadas se mostraram adequadas para o resgate da capacidade de trabalho em mutirão, o que diz respeito, também, à dimensão cultural da sustentabilidade. As técnicas utilizadas não exigiram especialização da mão-de-obra e possibilitaram a participação de mão-de-obra masculina e feminina, de diferentes idades, incluindo os alunos dos cursos, os trabalhadores da fazenda e os integrantes da família. As soluções construtivas implantadas permitiram, ainda, a divisão do trabalho em equipes, o que facilitou o entrosamento das pessoas envolvidas na construção. Adicionalmente, não foram necessários equipamentos sofisticados. Utilizaram-se ferramentas simples, e houve pouca necessidade de aparelhos dependentes de energia elétrica, durante a construção.

É importante destacar que, embora neste processo não tenham ocorrido trocas solidárias, uma vez que a construção aconteceu em cursos, que demandaram investimentos financeiros por parte dos alunos, as soluções construtivas empregadas à edificação permitem a criação de uma dinâmica social onde as pessoas dependem umas das outras (e não de governos e grandes corporações) para terem suas necessidades básicas atendidas, como abrigo e alimentação, por meio da troca da força de trabalho por alimento. Neste mesmo contexto, uma vez que as técnicas são adequadas para a autoconstrução, e dependentes menos de recursos financeiros e mais de trabalho intensivo, existe a possibilidade de apropriação das tecnologias, com conseqüente viabilização do acesso à moradia e de uma maior equidade de oportunidades entre as pessoas.

6.1.11 Educação no processo de construção

Este critério baseia-se em uma abordagem qualitativa a respeito das trocas de saberes que ocorreram durante o processo de construção da edificação. Destaca-se que a própria proposta de construção da edificação, em cursos, já pressupunha a transferência de conhecimentos, entretanto, o processo favoreceu, ainda, trocas de experiências entre os participantes.

Nos três cursos oferecidos para a construção da edificação, houve momentos de explicação teórica sobre os materiais e as técnicas. A base conceitual, com exemplos, foi fornecida por parte dos ministrantes, os quais se colocaram à disposição para o esclarecimento de dúvidas. Vídeos sobre construções com terra também foram apresentados. No entanto, os momentos mais intensos de transmissão do saber construtivo ocorreram no canteiro de obras, com a aplicação prática dos conhecimentos teóricos.

Destacam-se, além dos conhecimentos transmitidos pelos ministrantes, as trocas de experiências ocorridas entre os participantes, visto que alguns já possuíam certo domínio das técnicas. As trocas de informações ocorriam durante e após as refeições coletivas, e no canteiro de obras. Em alguns momentos, proporcionava-se oportunidade para os mais experientes demonstrarem sua maneira de trabalhar com os materiais, de modo que se aprendia, também, com os demais participantes.

Considera-se importante, ainda, mencionar exemplos de apropriação das tecnologias, que ocorreram por parte de alguns participantes do processo. Como evidências, tem-se a construção de duas coberturas verdes, nas proximidades da fazenda, pelo mestre de obras que participou do início da construção e dos dois primeiros cursos. Além disso, o operário, presente no terceiro curso, passou a utilizar as receitas de pinturas naturais ensinadas, em suas obras na serra gaúcha.

Entretanto, o maior exemplo de apropriação de tecnologias identificado, aconteceu por parte de um pesquisador da área ambiental, da prefeitura de São Manuel, interior de São Paulo. O primeiro contato do participante com as tecnologias de construção com terra, fardos de palha e coberturas verdes ocorreu no curso ministrado pelo professor Gernot Minke. No retorno ao seu município, o pesquisador apresentou uma proposta e obteve apoio da prefeitura municipal para a construção de um exemplar de habitação de interesse social, em adobes e cobertura verde. Esta edificação, cujo objetivo era ser testada e investigada, atualmente, está sendo concluída. Um relatório de resistência está sendo elaborado, junto ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas, para possibilitar, posteriormente, a implantação do projeto no município, em maior escala⁷.

Em geral, observou-se que a construção da edificação ocorreu em um ambiente propício à aprendizagem. Além da oportunidade de experimentar e aprender a executar as técnicas, os participantes passam a refletir sobre, e questionar as soluções, entendendo os benefícios e potenciais de cada tecnologia. Considera-se que este tipo de processo é favorável à promoção da conscientização ambiental.

⁷ Informações obtidas por e-mail, com o pesquisador.

6.1.12 Segurança do trabalho no canteiro de obras

A caracterização do critério é feita de maneira qualitativa, basicamente, a partir da identificação da ocorrência ou não de acidentes, durante a construção da edificação. A relevância em se analisar esse aspecto, especialmente em países em desenvolvimento, deve-se ao fato de o setor da construção apresentar altas taxas de acidentes de trabalho, em geral, devido à contratação informal, podendo levar à morte ou invalidez de trabalhadores.

Com relação à natureza de acidentes, daquelas apresentadas por Guimarães *et al.* (2003), verificou-se que o canteiro de obras da edificação avaliada não apresentava riscos quanto à prensagem ou aprisionamento; exposição ao ruído; contato com substância nociva; choque elétrico; abrasão; contato com temperatura extrema. Quanto aos agentes de lesão, é importante destacar que havia empenho, por parte dos participantes da construção, em manter o ambiente de trabalho limpo e organizado. Elementos como peças soltas de madeira, ferramentas, tijolos, fôrmas, varas de bambu, entre outros, eram constantemente dispostos de forma a reduzir os riscos de impactos sofridos por esses agentes. Outros como ruído, entulho, material eletrizado, substâncias químicas e substâncias em alta temperatura, não foram identificados no canteiro.

A presença de equipamentos de proteção individual não foi observada, neste processo de construção. Entretanto, também não foram constatados acidentes. O sistema de transporte de materiais por corrente humana, por exemplo, além de possibilitar integração entre os participantes, contribuiu para a redução dos esforços. A ausência de ferramentas perigosas e substâncias nocivas também contribuiu para tornar o canteiro de obras, deste processo de construção, um ambiente seguro e saudável para os participantes.

Embora não tenham sido identificados acidentes, neste processo, considera-se importante a existência de fichas de controle de acidentes de trabalho, no canteiro de obras. Adicionalmente, compreende-se que uma abordagem ideal sobre segurança do trabalho, deveria contemplar, também, a investigação sobre a etapa de manufatura dos materiais de construção, verificando as condições a que estão sujeitos os trabalhadores das indústrias produtoras dos materiais incorporados à edificação.

6.1.13 Acessibilidade espacial

A inclusão de um critério sobre acessibilidade espacial⁸ em avaliações de sustentabilidade de edificações deve-se à importância do respeito à diversidade e do combate às práticas de exclusão. A garantia do uso equitativo do espaço oferecerá às pessoas a possibilidade de exercerem o direito à moradia e de ampliarem seu convívio social. No caso específico de habitações de interesse social, Santos (2001 apud SANTOS *et al.*, 2005) aponta que, no Brasil, cerca de 50% dos portadores de deficiência situam-se na faixa de renda de menos de três

⁸ O termo acessibilidade é bastante abrangente e envolve inúmeros conceitos e definições. Os trabalhos específicos sobre acessibilidade do ambiente construído utilizam o termo acessibilidade espacial para fazer referência ao acesso, utilização, e interação com o espaço e seus equipamentos.

salários mínimos, porém, a maioria das habitações projetadas para essa parcela da população não tem incluído a acessibilidade como requisito mínimo de projeto. No entanto, deve-se salientar que, conforme destacam Szücs *et al.* (2006), os usuários de habitações de interesse social, em geral, têm baixo poder aquisitivo, e conseqüente dificuldade em promover correções de eventuais problemas a que estão sujeitas. Por isso, a preocupação com a acessibilidade espacial deveria comparecer na fase de concepção das edificações.

A caracterização do critério consiste na análise das peças gráficas do projeto e na verificação de sua adequação aos requisitos de acessibilidade mínima, determinados pela NBR 9050 (ABNT, 2004a). A análise é baseada no layout proposto na concepção do projeto da edificação, de forma que não considera aspectos como alturas de bancadas, mesas, camas, sofás e cadeiras, acionamento de portas de armários, entre outros. Também não se verifica a existência de dispositivos de tecnologia assistiva⁹, visto que não se tem a pretensão de realizar uma avaliação detalhada de acessibilidade da edificação. O objetivo do critério é verificar se as dimensões da habitação atendem aos requisitos mínimos, e se há possibilidade de adaptação da edificação, a partir da posterior instalação de dispositivos, para assegurar o uso da mesma por pessoas com mobilidade reduzida. Os requisitos mínimos de acessibilidade espacial considerados neste trabalho, definidos com base na NBR 9050 (ABNT, 2004a), estão sintetizados no quadro 31.

Pisos	Devem ter superfície regular, firme, estável e antiderrapante sob qualquer condição, que não provoque trepidação em dispositivos com rodas (como cadeira de rodas e carrinho de bebê).
Desníveis	De qualquer natureza, devem ser evitados em rotas acessíveis.
Circulações	Devem possuir largura mínima de 0,90 m.
Portas	Devem ter um vão livre mínimo de 0,80 m.
Janelas	Devem considerar os limites de alcance visual; cada folha ou módulo deve poder ser operado com um único movimento, utilizando apenas uma das mãos.
Boxes para bacia sanitária	Devem garantir as áreas para transferência e área de manobra para rotação de 180°; quando a porta instalada for do tipo de eixo vertical, ela deve abrir para o lado externo do boxe.
Boxes para chuveiro	Deve ser prevista área de transferência externa ao boxe, de forma a permitir a aproximação paralela, sendo que o local de transposição da cadeira de rodas para o banco deve estar livre de barreiras ou obstáculos. As dimensões mínimas dos boxes devem ser de 0,90 x 0,95 m.
Dormitórios	Devem possuir pelo menos uma área com diâmetro mínimo de 1,50 m para rotação de 360°.
Cozinhas	Devem possuir garantia de circulação, aproximação e alcance dos utensílios.

Quadro 31: síntese dos requisitos mínimos de acessibilidade espacial considerados no presente trabalho (ABNT, 2004a)

Verificou-se que o tipo de piso implantado na edificação é adequado para o trânsito de cadeiras de rodas e carrinhos de bebê, pois apresenta superfície lisa e antiderrapante, conforme determinado pela Norma. Além disso, destaca-se que não foram identificados desníveis no interior da edificação. Em contrapartida, foram

⁹ Tecnologia assistiva: conjunto de técnicas, aparelhos, instrumentos, produtos e procedimentos que visam auxiliar a mobilidade, percepção e utilização do meio ambiente e dos elementos por pessoas com deficiência (ABNT, 2004a, p. 4).

detectados diversos problemas relativos às dimensões da edificação, a partir da análise das peças gráficas do projeto.

Inicialmente, constatou-se a inexistência de áreas livres com diâmetro de 1,50m, que oferecessem a possibilidade de um giro de 360° por pessoas em cadeiras de rodas, em todos os ambientes da edificação. Adicionalmente, verificou-se a predominância de circulações com largura inferior àquela estabelecida pela Norma, de modo que a passagem livre e as demais manobras da cadeira de rodas não são garantidas.

Com relação ao banheiro, observa-se, primeiramente, que a porta apresenta abertura para dentro, e vão livre inferior a 0,80m. Adicionalmente, não existem espaços de transferência para a bacia sanitária e para o boxe, as dimensões do boxe são inferiores à mínima aceita pela Norma, e não há possibilidade de acesso ao lavatório pelo cadeirante. Quanto aos demais ambientes, em geral, verifica-se que a distribuição do mobiliário proposta e as dimensões das peças não permitem o acesso aos equipamentos, espaços e móveis por pessoas em cadeira de rodas, além de não possibilitarem um giro de 360°.

Com relação às janelas, constatou-se o desrespeito às dimensões de alcance vertical e horizontal; bem como uma relação entre interior e exterior deficiente, com janelas pequenas e altas, em alguns ambientes, e com comandos fora do alcance do cadeirante.

Deve-se ressaltar que, embora a inclusão de requisitos de acessibilidade espacial não seja prática corrente nos projetos de habitações de interesse social no Brasil, foi considerada uma premissa pela equipe de projeto do protótipo Alvorada, tomado como referencial de sustentabilidade, neste trabalho. A habitação foi concebida para contemplar, em primeiro lugar, ao ser humano, e apresenta relações espaciais que permitem sua utilização por pessoas portadoras de deficiência física e idosos.

Em geral, conclui-se que, apesar da existência da demanda por habitações adequadas para cadeirantes e idosos, o projeto da edificação avaliada foi concebido para usuários livres de deficiências, pois não atende requisitos mínimos de acessibilidade espacial. Na forma presente, o projeto não permite a independência no uso do espaço por cadeirantes, visto que este tipo de usuário não acessa todos os ambientes da habitação e não dispõe de espaço para giro da cadeira. Verifica-se, por fim, que não há possibilidade de adaptações qualitativas, para garantir a mobilidade e independência de usuários em cadeiras de rodas, sem a necessidade de demolições e reconstruções, o que é considerado extremamente problemático.

6.2 CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE A EDIFICAÇÃO

Apesar das imprecisões e limitações do estudo, além do número restrito de critérios de avaliação, os aspectos avaliados conseguem caracterizar cargas ambientais potenciais e imediatas, em diversos estágios do ciclo de

vida da edificação, decorrentes das práticas adotadas. A forma de apresentação dos resultados, em três escalas, permitiu identificar os subsistemas e materiais responsáveis pelas maiores cargas e com potencial de maiores impactos. Além disso, o conjunto de gráficos permite que sejam feitas, rapidamente, associações entre os resultados. A apresentação desagregada permite, ainda, que o usuário, o projetista ou o responsável pela tomada de decisão defina as prioridades da escolha.

Entretanto, embora a avaliação realizada nesta dissertação tenha excluído aspectos de ponderação e agrupamento, devido às imprecisões intrínsecas a esses procedimentos, uma análise global das soluções implantadas na edificação merece ser feita. Inicialmente, são feitas considerações sobre certos aspectos não contemplados na avaliação, porém importantes de serem mencionados, e, posteriormente, apresenta-se um quadro síntese dos treze critérios (quadro 32) e as discussões gerais sobre os resultados da avaliação da edificação.

Destaca-se que, apesar de a edificação ter sido concebida para a população de baixa renda da zona rural, não era objetivo do trabalho discutir se o projeto é, realmente, adequado para o meio rural, se os ambientes contemplados estão de acordo com as necessidades dos moradores desse meio.

Além disso, não se entrou na discussão sobre a aceitação dos materiais e sistemas construtivos, empregados na edificação avaliada nesta dissertação, pela população de baixa renda. Não foi possível realizar tal análise, pois não há exemplares da edificação construídos em cooperativas, assentamentos ou comunidades, que pudessem subsidiar uma pesquisa junto aos usuários, apesar de se considerar extremamente importante a inclusão de um critério que contemple esse aspecto, em uma avaliação de sustentabilidade. Neste sentido, deve-se destacar a experiência do Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade – HABIS (Escola de Engenharia de São Carlos – USP/ Universidade Federal de São Carlos), em pesquisa realizada junto ao assentamento rural Pirituba II, em Itapeva, São Paulo. No momento de escolha do material construtivo para o subsistema de vedações externas das habitações, em que foi dada a oportunidade para as famílias de fazerem a opção entre adobe e bloco cerâmico, apenas uma, de um total de quarenta e duas famílias, optou pelo adobe (SILVA, 2007).

Também não se avaliou a durabilidade dos materiais, conforme já mencionado, devido a impossibilidade de fazê-lo, por meios que não fossem arbitrários. No entanto, retomam-se os pontos discutidos no capítulo 3, de que as técnicas de construção com terra, fardos de palha e coberturas verdes apresentam potencial para a criação de edificações duráveis, desde que associadas a adequado detalhamento construtivo, e cuidados no momento da execução.

A seguir, apresenta-se o quadro síntese dos critérios de avaliação (quadro 32), com os pontos principais de cada critério, para proporcionar uma visão global dos resultados da avaliação da edificação. Pelo mesmo motivo, foi incluída uma coluna de avaliação qualitativa do desempenho da edificação em cada critério.

CRITÉRIO	FORMA DE CARACTERIZAÇÃO	RESULTADOS	DESEMPENHO
Consumo de recursos não reaproveitados	Identificação e quantificação das massas de materiais não reutilizados ou sem insumos reciclados, incorporados à edificação.	Incorporação de recursos reutilizados: terra da escavação das fundações e palha excedente da lavoura. Recursos não reaproveitados: 1.482kg/m ² .	bom, se comparado ao protótipo Alvorada
Consumo de energia e emissões de CO ₂ relacionadas a transportes	Produto: massa de material x distância transportada x coeficiente de consumo energético para transporte. Aplicação, ao resultado, do índice de emissões de CO ₂ .	Pedra de grês, material com maior massa incorporada, apresentou maior consumo. Embora 49,6% dos materiais, em massa, estivessem disponíveis no local, diversos materiais oriundos de outros estados.	ruim
Consumo de energia para processos de manufatura	Produto das massas de materiais por seus respectivos índices energéticos.	Uso de materiais com baixa energia embutida: adobes e fardos de palha. Alguns materiais com alto conteúdo energético: alumínio e polietileno.	bom, com potencial para melhora
Consumo de recursos com alto ou médio grau de processamento	Identificação e quantificação das massas dos materiais com médio ou alto grau de processamento incorporados à edificação.	7,93% do total de materiais incorporados à edificação. Restante: materiais pouco processados, com índices energéticos de até 0,5 MJ/kg, muitos disponíveis no local.	bom, com potencial para melhora
Emissão de resíduos perigosos	Identificação e quantificação das massas de materiais incorporados à edificação que emitem, em alguma etapa de seu ciclo de vida, resíduos perigosos, segundo as disposições da NBR 10.004 (ABNT, 2004b).	1.660 kg, dos quais 90% oferecem riscos à saúde dos usuários da edificação (madeira tratada com CCA e madeira compensada). Os demais materiais (alumínio, polietileno, aço e arame galvanizado) emitem esses resíduos na etapa de fabricação.	crítico
Consumo de recursos sem potencial de reaproveitamento	Identificação e quantificação das massas de materiais que possuam baixo ou nulo potencial para reutilização ou reciclagem.	Diversos materiais retornam naturalmente ao ambiente. Os piores desempenhos estão vinculados à utilização do cimento, seguidos pela madeira tratada com CCA.	bom, com potencial para melhora
Consumo de madeira nativa não certificada	Identificação e quantificação das massas de madeira de espécies nativas e não certificada, incorporadas à edificação.	Uso predominante de bambu e eucalipto na cobertura. Por outro lado, esquadrias em madeira de cedrinho, sem certificação.	médio, apresenta potencial para melhora
Custo de aquisição dos materiais	Identificação dos custos de aquisição dos materiais, com os fornecedores específicos.	Cedrinho, alumínio e eucalipto tratado: demandaram maiores investimentos. Soluções que visaram o uso de materiais locais: possibilitaram redução de custos.	bom, com potencial para melhora
Dispêndio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica do município	Identificação dos materiais produzidos fora da região econômica do município, e contabilização dos recursos financeiros despendidos com os mesmos.	A maior parte das despesas financeiras corresponde à compra de materiais produzidos em outros estados (44,7%), seguida pelos materiais produzidos nos demais municípios do RS (35%).	ruim
Tipo de mão-de-obra utilizada na construção	Identificação do tipo de mão-de-obra utilizada no processo de construção, especializada ou não-especializada.	Predominância de mão-de-obra não especializada; participação igualitária da mão-de-obra feminina.	bom
Educação no processo de construção	Abordagem qualitativa das trocas de saberes ocorridas no processo de construção da edificação.	Trocas de experiências entre participantes. Apropriação de tecnologias: coberturas verdes, pinturas naturais, adobes.	bom
Segurança do trabalho no canteiro de obras	Identificação da ocorrência ou não de acidentes de trabalho durante a construção da edificação.	Ausência de equipamentos, ferramentas e substâncias perigosas. Não foram constatados acidentes de trabalho.	bom
Acessibilidade espacial	Análise das peças gráficas do projeto e verificação da adequação a requisitos mínimos de acessibilidade, definidos com base na NBR 9050 (ABNT, 2004a).	Não há possibilidade de adaptação qualitativa da edificação, para o uso livre do espaço por pessoas com mobilidade reduzida, sem a necessidade de demolições e reconstruções.	ruim

Quadro 32: síntese das caracterizações dos critérios de avaliação

A madeira de eucalipto tratada, empregada nos subsistemas de estrutura e cobertura, apenas obteve bom desempenho na análise de suporte à economia local, por ter sido produzida na mesma região econômica à qual pertence o município de Sentinela do Sul. Entretanto, o tratamento com CCA apresenta potencial de impactos tanto em relação ao meio ambiente, quanto em relação à saúde humana, de modo que sua utilização deve ser evitada. O tratamento, ainda, anula o potencial de reaproveitamento da madeira, havendo necessidade de aterros especiais de tóxicos para a disposição final do material. Com relação aos custos, destaca-se que a madeira tratada foi o terceiro material incorporado à edificação que demandou maiores investimentos.

Neste sentido, verifica-se que uma alternativa mais segura e menos custosa seria a utilização de postes de eucalipto não tratados, nas estruturas e cobertura. Esta substituição acarretaria em uma redução de custo, com o material, de aproximadamente 70%, considerando os preços de mercado, no estado, além de eliminar, na edificação, as cargas decorrentes da utilização do CCA. Com relação à durabilidade da madeira, deve-se ressaltar a existência de produtos alternativos para o tratamento, como aqueles pesquisados por Stumpp *et al.* (2006), além da importância do cuidado com o detalhamento construtivo. Os prováveis custos com as substâncias alternativas não foram levantados.

A utilização de madeira de cedrinho, incorporada, principalmente, ao subsistema de esquadrias, é considerada impactante, visto que é uma espécie nativa, de ocorrência amazônica, e sem certificação. Ao subsistema de esquadrias estão relacionadas, ainda, as cargas decorrentes da utilização do alumínio, e as emissões de compostos orgânicos voláteis devido à incorporação de madeira compensada. O referido subsistema foi o segundo maior responsável pelo consumo de energia e emissões de CO₂ relativos a transportes. Adicionalmente, foi aquele que envolveu maiores custos, além de maiores investimentos financeiros com materiais produzidos fora da região centro-sul do Rio Grande do Sul e fora do estado. Destaca-se que, a madeira de cedrinho foi o material empregado na edificação mais representativo em custos. Quanto ao alumínio, foi o quarto material que demandou maiores investimentos.

Com relação às cargas ambientais, verifica-se a substituição das esquadrias, por peças fabricadas no Rio Grande do Sul, em madeira de reflorestamento, como uma alternativa. Não foram levantados valores de mercado atualizados, para esquadrias de eucalipto. Com base nos valores em CUB, sobre as esquadrias do protótipo Alvorada, apresentados no trabalho de Fernandes (2004), estima-se que as esquadrias em eucalipto apresentariam custos superiores às de cedrinho, porém inferiores àquelas fabricadas em alumínio.

O cimento, incorporado, principalmente, nos subsistemas de fundações e piso, conferiu aos mesmos os piores desempenhos no que concerne ao potencial de reaproveitamento dos materiais. Com relação, ainda, ao subsistema de fundações, destaca-se que as pedras de grês são os materiais com maior massa incorporada à edificação, associando-se ao maior consumo de recursos, à maior demanda energética para transporte e ao segundo maior dispêndio de recursos financeiros com materiais produzidos fora da região econômica.

A cobertura da edificação foi o segundo subsistema que envolveu maiores investimentos. Entretanto, quando comparado com outras alternativas, apresentou custos inferiores. Adicionalmente, a construção da cobertura verde apresentou possibilidade do emprego de mão-de-obra não-especializada, o que é considerado vantajoso do ponto de vista social. Em termos ambientais, verificou-se, nesta avaliação, que a utilização do bambu reduziu o consumo de madeira nativa não certificada. Os materiais incorporados ao subsistema, com potenciais de maiores impactos, foram a madeira tratada e aqueles derivados de polietileno. Não se verificou, na literatura, uma alternativa mais segura para a substituição da geomembrana de PEAD. Os demais materiais apresentados para impermeabilização são uma membrana revestida com PVC, que envolveria potenciais de impactos mais significativos, e uma membrana de tecido revestida com poliolefino, que, entretanto, só é encontrada na Europa e, além de apresentar custos significativos, apresentaria cargas decorrentes do transporte. Com relação à tela sombrite, utilizada para a filtragem, verifica-se que poderia ser substituída por tela de juta, conforme aponta Schimitz-Günter (1999 apud CORREA; GONZÁLEZ, 2002), citado no item 3.3.2, do capítulo 3.

Os dados gerados na avaliação permitem que sejam feitas simulações de substituição de materiais, identificando as conseqüências em termos de custos e potencial de impactos. Com relação ao material utilizado para a filtragem na cobertura verde, por exemplo, verifica-se que tanto a tela de juta quanto a tela sombrite são materiais produzidos fora do estado, e, portanto, a aquisição de ambos não dá suporte à economia local. Caberia decidir, então, com base nos potenciais impactos ambientais e nos custos do material. A substituição acarretaria em aumento de 181% no custo com o material¹⁰. Em contrapartida, apesar do aumento na energia necessária para transporte, a redução da energia embutida do material seria de 98,5%. Aliada a esses fatores, estaria a redução do consumo de petróleo, matéria-prima para a fabricação de plásticos, recurso não abundante e não renovável, com conseqüente redução de todas as cargas relacionadas.

Com relação ao subsistema de vedações externas, verificou-se que apresentou desempenho médio, em relação aos demais subsistemas. O fardo de palha não teve seus benefícios tão explicitados devido à utilização dos blocos cerâmicos na base das paredes, material com maior conteúdo energético incorporado à edificação, e do emprego do cimento em argamassas, o que reduz o potencial de reaproveitamento dos materiais. Os sarrafos de cedrinho, utilizados para a amarração das paredes de fardos, corresponderam aos maiores investimentos financeiros relativos a este subsistema. Verifica-se que algumas peças poderiam ter sido substituídas por varas de bambu, sem comprometer o desempenho do subsistema. É importante destacar que, em comparação com outras alternativas de vedações, este subsistema envolveu menores aportes energéticos para manufatura e transporte de materiais, além de menores custos. Além disso, a solução construtiva adotada é de fácil execução, possibilitando o emprego de mão-de-obra não-especializada e o trabalho em mutirão.

¹⁰ Ressalta-se que a tela sombrite está entre os materiais que envolveram menores investimentos financeiros, equivalendo a 0,2 % do custo total da edificação.

O subsistema de vedações internas foi aquele que demandou menores investimentos financeiros. Envolve, também, menor potencial de impactos ambientais. Conclui-se que este desempenho se deva à utilização da terra como material de construção, reaproveitada da escavação das fundações, disponível no local, pouco processada, saudável, e reutilizável. Além disso, o componente utilizado, adobe, permite o emprego de mão-de-obra não-especializada, sendo adequado para a autoconstrução e para o trabalho em mutirão.

Outra relação que merece ser feita diz respeito aos custos da edificação e à acessibilidade espacial. Compreende-se que a viabilidade econômica seja uma questão importante, no entanto, não deve ser analisada isoladamente. O aumento da área da edificação, visando atender, também, usuários com mobilidade reduzida, acarretaria em um aumento dos custos iniciais da edificação, porém apresentaria benefícios como a garantia do uso equitativo do espaço e o respeito à diversidade.

Estas associações e simulações são exemplos do quanto avaliações como esta facilitam e esclarecem os responsáveis por tomadas de decisões, em processos de projeto de edificações. No caso específico da habitação avaliada neste trabalho, o mérito da utilização de materiais naturais, pouco processados, e disponíveis no local da construção, deve ser reconhecido, no entanto, a pesquisa demonstrou que a visão de sustentabilidade deve ser muito mais ampla, envolvendo diversos outros aspectos.

Neste sentido, considera-se que as principais contradições da edificação são a incorporação de madeira tratada com CCA e de esquadrias de alumínio¹¹, seguidas pelo emprego de esquadrias de madeira nativa, sem certificação, e da madeira compensada. A utilização predominante de materiais naturais, muitos dos quais, disponíveis no local, que apresentaria potencial para a redução de diversas cargas ambientais, avaliadas no decorrer deste capítulo, além da redução de custos, na edificação avaliada, acabou por ter seus benefícios diluídos.

Destaca-se, ainda, que não foi oferecida a oportunidade, aos proprietários da fazenda, de se envolverem no processo de projeto da edificação. Em parte, provavelmente, devido ao fato de parte dos custos terem sido financiados pela Universidade de Kassel. A grande justificativa, por exemplo, com relação à colocação de esquadrias na fachada leste, solicitada pelos proprietários, foi que o objetivo era testar soluções de baixo custo, para a população carente. Assim, por se tratar de uma edificação prototípica, com possibilidade de construção em maior escala, entende-se que os resultados desta avaliação devem acarretar em propostas para o aprimoramento das soluções.

Verificam-se diversas possibilidades de melhoria para o projeto da edificação. Embora não tenham sido realizadas análises de conforto ambiental, uma rápida observação das peças gráficas permite notar que a disposição dos ambientes e o posicionamento das aberturas não são os mais favoráveis às condições climáticas

¹¹ Conforme mencionado no capítulo 5, as esquadrias de alumínio não constavam no projeto original da edificação.

do estado do Rio Grande do Sul, de modo que uma revisão sobre esses aspectos constitui-se em uma primeira recomendação. Neste sentido, deve-se ressaltar que um bom projeto bioclimático para um sistema construtivo não convencional pode melhorar o conforto da edificação, e conseqüentemente reduzir os custos com climatização e iluminação artificiais, revertendo em economia a médio e longo prazo, além de reduzir os potenciais impactos ambientais decorrentes do consumo de energia elétrica na fase de uso da edificação.

Adicionalmente, propõe-se o aumento mínimo das dimensões da edificação, de forma a permitir o uso independente do espaço por pessoas com mobilidade reduzida, e possibilitar adaptações qualitativas, sem necessidade de demolições e reconstruções. Especificamente, com relação aos materiais de construção, sugerem-se as seguintes melhorias para o projeto:

- a) utilização de esquadrias de madeira de reflorestamento, fabricadas no RS;
- b) não utilização de madeira compensada;
- c) utilização de postes de eucalipto com tratamento alternativo, nas estruturas e cobertura;
- d) pesquisa sobre outras rochas, disponíveis na região, propícias à utilização nas fundações, ou seleção de fornecedor mais próximo para as pedras de grês;
- e) menor utilização de concreto e maior utilização de pedras, nas fundações;
- f) redução da utilização de sarrafos de cedrinho para amarração das paredes de fardos, priorizando a utilização do bambu;
- g) não utilização de tela plástica para interface com o revestimento externo.

As propostas b e g estão baseadas na literatura sobre construções com fardos de palha. Minke e Mahlke (2005) apresentam diversos exemplos de edificações, nas quais não foram utilizadas molduras de madeira para a instalação das esquadrias. Da mesma forma, os autores não demonstram a necessidade de tela plástica para interface entre a palha e o revestimento de argamassa. As sugestões apontadas anteriormente são as de mais simples execução, e já reduziriam substancialmente os potenciais impactos da edificação. Entretanto, outros pontos merecem ser estudados e avaliados, como:

- h) aumento do beiral da edificação, visando a não utilização de cimento na argamassa de revestimento externo, desde que comprovada a sua eficiência na chuva dirigida;
- i) utilização de pedras naturais na base das paredes de fardos.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término do trabalho, volta-se para a identificação das respostas encontradas para cada um dos objetivos e das hipóteses estabelecidos no princípio da pesquisa. As considerações iniciais referem-se aos objetivos intermediários, que tiveram que ser superados para o alcance do objetivo principal.

O primeiro objetivo a ser atingido correspondeu à definição dos critérios de avaliação de sustentabilidade, uma vez que o objetivo principal do estudo demandou, na fase inicial da pesquisa, a resposta ao seguinte questionamento: *como avaliar a edificação?* Para superar esta etapa, partiu-se para a pesquisa, na literatura, sobre métodos de avaliação de sustentabilidade de edificações, existentes e consolidados, no contexto internacional e nacional, e sobre como avaliam as edificações. A síntese das informações obtidas nesta etapa está apresentada no item 2.3, do capítulo 2. A partir da pesquisa sobre os métodos, foi possível extrair critérios de avaliação, cujas formas de caracterização foram adaptadas para dados e procedimentos acessíveis ao contexto nacional. Embora restrito a um pequeno número de critérios, se comparado a métodos consolidados, o estudo tentou abranger aspectos fundamentais de sustentabilidade. A busca por uma abordagem pluridimensional acarretou na inclusão de critérios econômicos e sociais na avaliação, além daqueles relativos à dimensão ambiental. Entretanto, se a avaliação ambiental, no contexto nacional, é uma área do conhecimento em fase inicial de investigação, a avaliação de sustentabilidade conta com um número ainda inferior de estudos científicos, de modo que os critérios econômicos e sociais incluídos, nesta dissertação, foram baseados em ferramentas internacionais, e apresentaram abordagens, basicamente, qualitativas.

Compreende-se que as formas de caracterização dos critérios apresentam imprecisões, as quais estão citadas nas análises de resultados de cada critério, e referem-se, principalmente, à indisponibilidade de dados. Com relação aos dados sobre os processos de manufatura de materiais, por exemplo, idealmente deveriam ser analisados os processos particulares de cada indústria, que tornam a seleção de fornecedores um aspecto importante para o desempenho da edificação como um todo. No entanto, os procedimentos adotados foram aqueles possíveis, dentro das limitações da pesquisa, e permitiram apresentar uma estimativa aproximada do desempenho da edificação.

O segundo objetivo intermediário correspondeu à caracterização e análise das cargas ambientais relacionadas aos materiais e subsistemas empregados na edificação. A caracterização foi realizada a partir dos quantitativos, em massa, dos materiais, e dos dados e informações para a quantificação dessas cargas, obtidos na pesquisa bibliográfica, aplicáveis ao contexto nacional. Com relação aos potenciais de maiores impactos, verificou-se uma grande quantidade de materiais que emitem resíduos perigosos, em alguma etapa de

seu ciclo de vida, incorporados à edificação, além de alto consumo de energia para transporte de materiais de construção.

O terceiro objetivo intermediário do trabalho foi a identificação e análise dos custos de aquisição dos materiais, empregados nos subsistemas implantados até o momento. Esta etapa foi atingida após a quantificação dos materiais incorporados à edificação, por meio do contato direto com os fornecedores, e os resultados estão apresentados no apêndice A. A partir da análise comparativa com os custos empregados aos materiais de construção de outros exemplares de habitações de interesse social, verificou-se que os custos relativos aos materiais incorporados à edificação são baixos, em relação às habitações convencionais, e medianos, se confrontados com custos de habitações construídas com materiais não convencionais.

Quanto à análise qualitativa de aspectos sociais relativos à edificação, observou-se, com relação ao processo de construção, que as soluções empregadas são adequadas para a autoconstrução, para a participação igualitária da mão-de-obra feminina na produção do ambiente construído, e para o resgate da capacidade de trabalho em mutirão. Percebeu-se, ainda, que a construção ocorreu em um ambiente propício à aprendizagem, seguro e saudável. Com relação à acessibilidade espacial, constatou-se que a edificação foi concebida para usuários livres de deficiência, e que não permite a independência no uso do espaço por pessoas com mobilidade reduzida.

Com relação ao objetivo principal da pesquisa, avaliar um exemplar de habitação de interesse social rural, construído com fardos de palha, terra e cobertura verde, a partir de critérios de sustentabilidade, deve-se ressaltar que, considerando as limitações do estudo, seria impraticável apontar, nesta dissertação, uma resposta única e absoluta quanto ao desempenho da edificação. A avaliação excluiu aspectos de ponderação e agrupamento, devido às imprecisões intrínsecas a esses procedimentos.

Os resultados da avaliação estão apresentados no item 6.1, deste trabalho, de forma desagregada, em três escalas, e sua análise permite a identificação dos materiais empregados e subsistemas com potencial de impactos mais significativos. Na análise de cada critério, é feita essa identificação, e, no item 6.2, realiza-se uma análise global da edificação, com algumas associações entre os resultados, e sugestões para melhoria do projeto da edificação. A comparação com os resultados obtidos em pesquisas semelhantes foi uma atividade constante durante toda a fase de análise de resultados. Esta comparação foi realizada, basicamente, com os dados de desempenho do protótipo habitacional Alvorada, gerados em trabalho anterior, e fundamentais para indicar a posição da edificação avaliada, em relação a outra tipologia de habitação de interesse social. As demais pesquisas identificadas para comparação restringiram-se ao consumo de energia, de subsistemas de vedações e cobertura.

Apresentadas às respostas aos objetivos, retomam-se as hipóteses do trabalho. Como primeira hipótese intermediária, tinha-se: a utilização predominante de materiais naturais locais, na construção de uma

habitação, reduz as cargas ambientais geradas pela edificação. Na edificação avaliada neste trabalho, verificou-se que as soluções construtivas que priorizaram a utilização desses materiais, em geral, estão relacionadas a menores cargas, se comparadas a soluções empregadas em habitações convencionais. Entretanto, o baixo desempenho de alguns subsistemas demonstra a importância da escolha correta dos demais materiais e da preocupação com a seleção de fornecedores.

Quanto à segunda hipótese intermediária do trabalho, a utilização predominante de materiais naturais locais reduz os custos da habitação, concluiu-se que, na edificação objeto deste estudo, as soluções adotadas visando a utilização de materiais disponíveis no local da construção, ou seja, vedações e cobertura, representaram menores investimentos financeiros, se comparadas às alternativas tomadas para as habitações construídas com materiais convencionais, o que acarretou na redução do custo total da habitação.

Com relação à terceira hipótese intermediária do trabalho, a utilização predominante de materiais naturais locais permite um processo de construção que contribui para o fortalecimento das relações sociais, verificou-se, a partir das análises do processo de construção da edificação avaliada, que as técnicas utilizadas possibilitaram o emprego de mão-de-obra não-especializada, e uma forte integração entre os participantes da construção.

Retoma-se, então, a hipótese principal, que motivou a realização da pesquisa: a utilização predominante de materiais de construção naturais, pouco processados, e disponíveis no local, tende a aumentar a sustentabilidade de habitações, sob o ponto de vista ambiental, econômico e social. Apesar das limitações expostas no decorrer do trabalho, considera-se que o método de avaliação proposto discutiu aspectos relevantes de sustentabilidade e permitiu obter um indicativo de desempenho da edificação, testando e comprovando a hipótese da pesquisa. No entanto, verificou-se que a edificação avaliada apresenta problemas, que não podem ser ignorados. Com relação à comparação com o protótipo Alvorada, ao término das análises, constatou-se que a edificação avaliada nesta dissertação apresentou melhor desempenho em um número superior de critérios. Entretanto, a apresentação desagregada dos resultados permitiu identificar pontos fortes e fracos das duas edificações. O protótipo Alvorada oferece vantagens em alguns critérios, que merecem ser consideradas e que, inclusive, embasaram algumas sugestões de melhoria para o projeto da habitação avaliada no presente trabalho.

Uma análise global do processo permite apontar como principal obstáculo para a realização da pesquisa, a dificuldade de obtenção de dados, devido à inexistência de análises de ciclo de vida (ACV) para muitos materiais de construção. Isso restringiu o número de critérios de avaliação, de modo que muitos definidos, em um esboço inicial, foram abandonados do estudo, devido à impossibilidade de caracterização. Adicionalmente, a decisão de realizar a avaliação na escala da edificação, e não do subsistema ou do material de construção, acarreta em um número de critérios ainda mais restrito, devido à necessidade de maior quantidade e diversidade de dados. No entanto, proporciona uma visão mais global de desempenho.

A segunda dificuldade diz respeito à inclusão de critérios econômicos e sociais na avaliação. O rol de critérios definidos, neste trabalho, acabou focando, predominantemente, a dimensão ambiental, que contou com número superior de critérios, além de quantificações, refletindo o que acontece em muitos métodos internacionais.

Espera-se que este estudo tenha sido uma contribuição na construção de informações que subsidiem a tomada de decisão de futuros projetos, devido à explicitação das conseqüências das soluções adotadas nesta edificação, principalmente daquelas relativas aos materiais e técnicas considerados não convencionais. Com relação à pesquisa sobre métodos de avaliação, a inclusão de critérios econômicos e sociais neste trabalho, ainda que de forma incipiente, reflete esforços iniciais de se extrapolar a avaliação ambiental para a avaliação de sustentabilidade, uma vez que se constatou e se considera necessária uma real abordagem pluridimensional.

No decorrer da pesquisa, foram encontradas várias limitações, principalmente devido à carência de disponibilidade de dados. Isso indica que o tema encontra-se em fase inicial de investigação, apresentando, ainda, muitas lacunas. A partir dessas constatações, observam-se diversas possibilidades de avanços para a área de estudo, com base nas quais, seguem-se algumas recomendações para futuros trabalhos:

- a) realizações de ACVs sistematizadas para materiais de construção, de forma que permitam a atualização periódica dos dados, a fim de compor uma base de dados a respeito de cargas ambientais relativas a produtos da construção;
- b) desenvolvimento de um método de avaliação de sustentabilidade de edificações para o contexto nacional, que inclua, no mínimo, as dimensões ambiental, econômica e social, de forma equilibrada, a partir de um esforço interdisciplinar;
- c) avaliação de outros exemplares de habitações de interesse social, construídos com distintas tecnologias e materiais, a fim de gerar dados para comparação.

Especificamente sobre a edificação avaliada nesta dissertação, sugerem-se as seguintes possibilidades de prosseguimento dos estudos:

- a) ampliação e aprofundamento da avaliação realizada, incluindo os demais subsistemas, quando instalados, e substituindo os dados utilizados por outros mais representativos. Sugere-se o aperfeiçoamento da forma de caracterização dos critérios e a inclusão de novos, que contemplem as demais fases do ciclo de vida da edificação, na medida em que novas informações estejam disponíveis;
- b) realização de uma avaliação de conforto ambiental, fundamental em termos de sustentabilidade, que contemple aspectos de desempenho térmico, lumínico e acústico;
- c) reprojeto da edificação, e posterior reavaliação das soluções adotadas;
- d) acompanhamento da durabilidade dos materiais e subsistemas, nos próximos cinco a dez anos, de modo a fornecer subsídios à avaliação dos custos de manutenção, e assim possibilitar uma comparação mais consistente com outras habitações de interesse social, construídas com diferentes tecnologias.

REFERÊNCIAS

AIR & WASTE MANAGEMENT ASSOCIATION (AWMA). *Indoor Air: a fact sheet for homeowners*. Pittsburgh. 2007. Disponível em: <http://www.awma.org/enviro_edu/fact_sheets/indoor_air1.html>. Acesso: 29 set 2007.

ALVARENGA, Maria Auxiliadora Afonso. A arquitetura de terra como instrumento de desenvolvimento social. In: *WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA*, 1995, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo /FAU/USP, 1995.

AMIGOS DA TERRA. *Certificação Florestal*. 2003. Disponível em: <http://www.manejoflorestal.org/index2.cfm?cat_id=59>. Acesso: 21 ago 2007.

ÂNGULO, Sérgio Cirelli; ZORDAN, Sérgio Eduardo; JOHN, Vanderley Moacir. Desenvolvimento sustentável e a Reciclagem de resíduos na construção civil. In: *Seminário Desenvolvimento Sustentável e a Reciclagem na construção civil - materiais reciclados e suas aplicações*, 4. 2001. São Paulo. *Anais...* São Paulo: CT206 – IBRACON, 2001.

ANINK, David; BOONSTRA, Chiel.; MAK, John. *Handbook of sustainable building: an environmental preference method for selection of materials for use in construction and refurbishment*. Londres: James & James, 1996.

ARINI, Ruy; GALLO, Haroldo. A arquitetura de terra (solo cimento e cal) como “possível” fator de sustentabilidade. In: *Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo*, 2002, São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). *Estudo Setorial 2004: indústria de madeira processada mecanicamente*. 2005. Disponível em: <<http://www.abimci.com.br>>. Acesso: 20 set 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 6457: Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro, 1986.

_____. *NBR 6508: Grãos de solos que passam na peneira de 4,8mm – determinação da massa específica*. Rio de Janeiro, 1984a.

_____. *NBR 7181: Solo – análise granulométrica*. Rio de Janeiro, 1984b.

_____. *NBR 9776: Agregados – determinação da massa específica de agregados miúdos por meio do frasco Chapman*. Rio de Janeiro, 1987.

_____. *NBR 9050. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. Rio de Janeiro, 2004a.

_____. *NBR 10004. Resíduos sólidos: classificação*. Rio de Janeiro, 2004b.

_____. *NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO ALUMÍNIO (ABAL). *Alumínio para futuras gerações: a indústria brasileira do alumínio e o desenvolvimento sustentável*. São Paulo: ABAL, 2000. Disponível em: <http://www.abal.org.br/servicos/biblioteca/futuras_geracoes_2000.asp>. Acesso: 10 set 2007.

BAKER-LAPORTE, Paula. The healthy house. In: *The Art of Natural Building: design, construction, resources*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.

BARBOSA, Juliana Cortez; INO, Akemi. Madeira material de baixo impacto ambiental na construção: análise do ciclo de vida. In: *ENCONTRO NACIONAL LATINO AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADE SUSTENTÁVEIS*, 2. 2001, Canela. Anais...Porto Alegre: ANTAC, 2001.

BARBOSA, Normando; MATTONE, Roberto. Construção com terra crua. In: *SEMINÁRIO ÍBERO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA*, 2002, Salvador. Anais... Salvador: Projeto PROTERRA, 2002.

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan. *Arquitecturas de adobe*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili, 1979.

BRAND, Martha Andréa; ANZALDO, José; MORESCHI, João Carlos. Novos produtos para o tratamento preservante da madeira: "perspectivas da pesquisa e utilização". *Revista Floresta*: Curitiba, v. 36, n. 1, jan./abr. 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 237, de 19 de dezembro de 1997.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 307, de 5 de julho de 2002.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005a.

_____. Ministério de Minas e Energia (MME). *Balanco Energético Nacional*. Brasília, 2005b. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>. Acesso: 05 out 2006.

CASAGRANDE, Eloy Fassi; UMEZAWA, Helena Akemi. Bambu e arranjos produtivos locais sustentáveis (APLs): seqüestro de carbono, tecnologia social e sustentabilidade. In: *CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE MATERIAIS E TECNOLOGIAS NÃO-CONVENCIONAIS: HABITAÇÕES E INFRA-ESTRUTURA DE INTERESSE SOCIAL BRASIL - NOCMAT 2004*, 2004, Pirassununga. Anais... Pirassununga, 2004.

CARDOSO, Francisco Ferreira; ARAÚJO, Viviane Miranda. *Redução de Impactos Ambientais do Canteiro de Obras*. 2006. Projeto Tecnologias para Construção Habitacional mais Sustentável. PCC.USP - FINEP Habitare n. 2386/04. Documento Provisório. Disponível em: <<http://pcc5301.pcc.usp.br/PCC%205302%202006/Aula%208%20-%20Impactos%20ambientais/Habitare%20Impactos%20Canteiro%2030%206%202006.pdf>>. Acesso: 20 ago 2007.

CARVALHO, Juliana de. *Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada a construção civil: estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos*. 2002. 102 p. Dissertação (mestrado em Engenharia de Construção Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

CÉSAR, Sandro Fábio. *Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente – projeto conceitual*. 2002. 302p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CHIRAS, Daniel D. *The natural house: a complete guide to healthy, energy-efficient, environmental homes*. Totnes: Chelsea Green, 2000.

CLAVERÁN, Jorge González. *El Adobe, Cronica de una muerte anunciada pero no inevitable*. In: *ARQUITECTURA EN TIERRA SEMINARIO – EXPOSICIÓN*, 2000, La Paz. Anais... La Paz: CYTED – RED HABITERRA – Universidad Mayor de San Andres, 2000.

COLE, Raymond J.; LARSSON, Nils. *GBTTool user manual*. Vancouver: GBC, 2002. Disponível em: <http://www.iisbe.org/down/gbc2005/gbc2k2/gbc2k2_manual_a4.pdf>. Acesso: 10 out 2006.

COMITÉ MERCOSUL DE NORMALIZAÇÃO (CMN). NM 45:95: Agregados – determinação da massa unitária e dos espaços vazios. 1996.

CORREA, Celina Britto; GONZÁLEZ, F. Javier Neila. O uso de coberturas ecológicas na restauração de coberturas planas. In: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo, 2002, São Paulo. Anais... São Paulo, 2002.

CENTRE DE RECHERCHE ET D'APPLICATION - TERRE (CRATERRE). Tout autour de la Terre: valoriser nos diversités et nos richesses culturelles un facteur de vitalité pour la terre, demain. Disponível em: <<http://terre.grenoble.archi.fr/accueil.php>>. Acesso: 15 ago 2006.

D'AVILA, Marcio Rosa. Construção com terra em cooperativas habitacionais. In: Terra em Seminário: IV Seminário Ibero-Americano de Construção com Terra III Seminário Arquitectura de Terra em Portugal. Lisboa: Argumentum, 2005.

DAUDT, Consuelo Pithan. Bioconstruções em terra crua: a utilização de técnicas de autoconstrução com adobes e fardos de palha nas cidades de Picada Café e Sentinela do Sul – RS. 2006. 84p. Monografia (Especialização em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. Balanço Mineral Brasileiro. Economia Mineral. Brasília, 2001. Disponível em: <<http://www.dnrm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=65>>. Acesso: 28 nov 2005.

DETHIER, Jean. Architectures de Terre: atouts et enjeux d'un matériau de construction méconnu, Europe – Tiers Monde – États-Unis. Paris: Éditions du Centre Pompidou, 1986.

DOAT, Patrice; HAYS, Alain; HOUBEN, Hugo; MATUK, Silvia; VITOUX, François. Construire en Terre. Une œuvre collective réalisée par le CRATerre – Centre de Recherche et d'application Terre. Paris: Alternative et Paraleles, 1979.

ECOEFFECT. Summary of the EcoEffect method for environmental assessment of build environment. Disponível em: <<http://www.ecoeffect.tk/>>. Acesso: 8 set 2007.

ERLANDSSON, Martin; BORG, Mathias. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services - today practice and development needs. *Building and Environment*. v. 38. n.7. p. 919-938. July 2003.

EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY. Transport. Copenhagen, 2000. Disponível em: <http://themes.eea.europa.eu/Sectors_and_activities/transport>. Acesso: 23 maio 2006.

FANE, Simon; REARDON, Chris. Water use: wastewater reuse. In: REARDON, Chris. (Org.). *Your Home Technical manual: Australia's guide to environmentally sustainable homes*. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs23.pdf>>. Acesso: 5 jan 2006.

FARIA, Obede Borges. Utilização de macrófitas aquáticas na produção de adobe: um estudo de caso no reservatório de Salto Grande (América – SP). 2002. 199p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos.

FATHY, Hassan. *Construindo com o povo: arquitetura para os pobres*. Tradução de Maria Clotilde Santoro. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1980.

FEDERAÇÃO DAS ASSOCIAÇÕES DE MUNICÍPIOS DO RIO GRANDE DO SUL (FAMURS). ACENSUL - Associação dos Municípios da Região Centro Sul. Disponível em: <<http://www.famurs.com.br/>>. Acesso: 11 set 2007.

FERNANDES, Alexandre Guella. Esquadrias residenciais em madeira: constextualização de variáveis para otimização de projetos. 2004. 180p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

FIGUEIREDO, Diana Almeida de Sousa, CASBUR, Maria Teresa Fontes. Projeto Piloto. Construção de casa de terra crua. In: TERRA BRASIL 2006, Seminário Arquitetura e Construção com Terra no Brasil e Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, 4., 2006, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: PROTERRA, 2006.

FISK III, Pliny; MACMATH, Richard. Building shell, interiors & furnidhings sub-systems: introduction CO₂ balancing within materials specifications. Austin: Center for Maximum Potential Building Systems, 1998. Disponível em: <http://www.cmpbs.org/publications/AD5-Life_Cycle_Balance.pdf>. Acesso: 25 out 2005.

GERDAU. Gerdau construindo e reciclando o Brasil. Porto Alegre, 2004. Disponível em: http://www.gerdau.com.br/port/meioambiente/grio_sucata.asp
Acesso em: 4 jan 2006.

GIBBERD, Jeremy. Integrating Sustainable Development into briefing and design processes of buildings in developing countries: an assessment tool. 2003. 168p. Thesis (Philosophiae Doctor in Architecture). Faculty of Engineering, Built Environment and Information Technology, University of Pretoria, Pretoria.

GRAHAM. Peter. The role of building environmental performance assessment in design. Environmental Design Guide. Maio, 2000. Disponível em: <<http://www.hku.hk/mech/cmhui/sbs/des33.pdf>>. Acesso: 26 jan. 2006.

GREEN BUILDING CHALLENGE (GBC). An overview of the GBC method and GBTool. Vancouver: GBC, 2005. Disponível em: <<http://www.iisbe.org/iisbe/gbc2k5/gbc2k5-start.htm>>. Acesso em: 27 out 2006.

GREEN BUILDING DIGEST. Green Building Digest. Liverpool, United Kingdom: Ethical Consumer Research Association (ECRA), The technicalAid Network (ACTAC), 1995-, Freqüência irregular.

GREEN GLOBES. Green Globes Design: environmental assessment for new buildings. Disponível em: <<http://www.greenglobes.com/design/about.asp>>. Acesso: 8 set 2007.

GREENPEACE BRASIL. Madeira de "reflorestamento" é ecológica?. São Paulo, 1998. Disponível em: <<http://www.greenpeace.org.br/duvidas/amazonia.php?PHPSESSID=ba6dccac1e74f0b477af0620a7528b31#11>>. Acesso: 21 ago 2007.

GRIGOLETTI, Giane de Campos. Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul. 2001. 154p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

GRIGOLETTI, Giane de Campos; SATTTLER, Miguel Aloysio. Aplicação da ferramenta BEES 3.0 na avaliação de impactos ambientais da produção de aço no RS. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3, 2003, São Carlos. Anais...São Carlos, 2003.

GUIA QUATRO RODAS. Disponível em: <<http://guia4rodas.abril.com.br/mapasbrasil/index.shtml>>. Acesso: 10 abril 2007.

GUILLAUD, Hubert; HOUBEN, Hugo. Earthen architecture: materials, techniques and knowledge at the service of new architectural applications. In: WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA, 1995, São Paulo. Anais... São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo /FAU/USP, 1995.

GUILLAUD, Hubert. Construire en terre crue: techniques anciennes et modernes. In: Architectures de Terre: atouts et enjeux d'un matériau de construction méconnu, Europe – Tiers Monde – États-Unis. Paris: Éditions du Centre Pompidou, 1986.

GUIMARÃES, José Epitácio Passos. A Cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil. São Paulo: Pini, 1997.

GUIMARÃES, Lia Buarque de Macedo; SAURIN, Tarcisio Abreu; LANTELME, Elvira; FORMOSO, Carlos Torres. Contribuições para revisão da NR-18: condições e meio ambiente de trabalho na indústria da construção. Normalização e Certificação na Construção Habitacional. Porto Alegre: ANTAC, 2003. (Coleção Habitare, v. 3).

HANSEN, Alice Maria Dreher. Padrões de consumo de energia elétrica em diferentes tipologias de edificações residenciais em Porto Alegre. 2000. 137p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HARRIS, D. J. A quantitative Approach to the assessment of environmental impact of building materials. *Building and Environment*. v. 34. n.6. p. 751-758. november. 1999.

HOPPE, Juarez Martins. Biomassa e nutrientes em *platanus x acerifolia* (aiton) willd. estabelecido no município de Dom Feliciano – RS. 2003. 143p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

HUOVILLA, Pekka; RAO, Susheel; SUNIKKA, Minna; CURWELL, Steve. Sustainability Assessment of Building Design, Construction and Use. 2001. Disponível em: <<http://www.research.scpm.salford.ac.uk/resources/lisbon/papers%5Cpekka.pdf>>. Acesso: 8 set 2007.

IEA ANNEX 31-ENERGY RELATED ENVIRONMENTAL IMPACT OF BUILDINGS. Environmental framework. 2004a. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso: ago 2005.

_____. LCA methods for building. 2004b. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso: ago 2005.

_____. Type of tools. 2004c. Disponível em: <<http://annex31.wiwi.unikarlsruhe.de/CONCEPTS.HTM>>. Acesso: ago 2005.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. Madeira: uso sustentável na construção civil. São Paulo: IPT:SVMA: Sinduscon-SO. 2003. Disponível em: <<http://www.ipt.br/areas/dpf/pbm/manual/>>. Acesso: 10 out 2006.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Workbook. Geneva, 1996. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs5.htm>>. Acesso: 13 dez 2005.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. Agenda 21 on sustainable construction. Rotterdam. 1999.

INTERNATIONAL FINANCE CORPORATION (IFC). Resumo da Análise Ambiental (RAA) Ipiranga Petroquímica S.A.. 2005. Disponível em: <<http://www.ipq.com.br/index.php?secao=resumo&PHPSESSID=9244ee8a9d8424ca367682b922a55619>>. Acesso: 14 set 2007.

JOHN, Vanderley Moacir. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à pesquisa e desenvolvimento*. 2000. 113p. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JONES, Barbara. *Working with Lime*. In: *The Art of Natural Building: design, construction, resources*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.

KENNEDY, Joseph F. *Natural Building Materials: an overview*. In: *The Art of Natural Building: design, construction, resources*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002a.

KENNEDY, Joseph F. *Natural Paints and Finishes*. In: *The Art of Natural Building: design, construction, resources*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002b.

KING, Bruce. *Buildings of Earth and Straw: structural design for rammed earth and straw-bale architecture*. Sausalito: Ecological Design Press, 1996.

KÖHLER, Manfred; SCHIMIDT, Marco; GRIMME, Friedrich Wilhelm; LAAR, Michael; PAIVA, Vera Lúcia de Assunção; TAVARES, Sergio. *Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics – far beyond the aesthetics*. In: *INTERNATIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE*, 18, 2001, Florianopolis, Brazil. *Anais...* Florianopolis: PLEA, 2001.

KREBS, Lisandra Fachinello. *Coberturas Vivas Extensivas: análise da utilização em projetos na região metropolitana de Porto Alegre e Serra Gaúcha*. 2005. 179 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KUHN, Eugenia Aumond. *Avaliação da Sustentabilidade Ambiental do Protótipo de Habitação de Interesse Social Alvorada*. 2006. 175p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

LAGO, Antônio; PÁDUA, José Augusto. *O que é ecologia?* 11. ed. São Paulo: Brasiliense, 1992. (Coleção Primeiros Passos, 116).

LARCHER, José Valter Monteiro. *Diretrizes visando a melhoria de projetos e soluções construtivas na expansão de habitações de interesse social*. 2005. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

LIPPIATT, Barbara. *BEES 3.0 –Building for environmental and economic sustainability: technical manual user guide*. Gaithersburgh: U. S. Department of commerce, National Institute of Standards and Technology, 2002.

LÓPEZ, Oscar Hidalgo. *Bamboo: the gift of the gods*. Bogota: D’Vinni, 2003.

LOPES, Wilza; INO, Akemi. *Aspectos Construtivos da Taipa de Mão*. In: *Técnicas Mixtas de Construcción com Tierra*, p. 15-36. Salvador: CYTED – HABYTED – PROTERRA, 2003.

LYLE, John Tillman. *Regenerative design for sustainable development*. New York: John Wiley & Sons, 1994.

MAMBELLI, Tecla. *Assessment methods: SIA*. 2000. Disponível em: <http://www.research.scpm.salford.ac.uk/bqtoolkit/tkpages/ass_meth/methods/amsia_4.html>. Acesso: 8 set 2007.

MANFREDINI, Constance. *Impactos ambientais causados pelas indústrias de cerâmica vermelha no Rio Grande do Sul*. 2003. 192p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

MÁTÉ, Kirsty; ECO BALANCE SUSTAINABLE DESIGN CONSULTANCY; MILNE, Geoff. Indoor air quality. In: REARDON, Chris. (Org.). *Your Home Technical manual: Australia's guide to environmentally sustainable homes*. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs33.pdf>>. Acesso: 5 jan 2006.

MIGUEL, Katarini Giroldo. Proinfra incentiva fontes alternativas de energia. Com Ciência: revista eletrônica de jornalismo científico. n. 61, 2004. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/2004/12/12.shtml>>. Acesso: 10 out 2006.

MILNE, Geoff.; REARDON, Chris. Embodied energy. In: REARDON, Chris. (Org.). *Your Home Technical manual: Australia's guide to environmentally sustainable homes*. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em: <<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs31.pdf>>. Acesso: 5 jan 2006.

MINKE, Gernot; MAHLKE, Friedemann. *Building with straw: design and technology of a sustainable architecture*. Basel: Birkhäuser- Publishers for Architecture, 2005.

MINKE, Gernot; MAHLKE, Friedemann. *Manual de construcción con fardos de paja*. Montevideo: Fin de Siglo, 2006.

MINKE, Gernot. *Manual de Construcción en Tierra: la tierra como material de construcción y su aplicación en la arquitectura actual*. 2. ed. Montevideo: Fin de Siglo, 2005.

MINKE, Gernot. *Techos verdes: planificación, ejecución, consejos prácticos*. Montevideo: Fin de Siglo, 2004.

MIRA, Bernardo Borges. Casa de campo: fardos de paja Colonia, Uruguay. In: ALTERNATIVAS A LA OCUPACIÓN: ARQUITECTURAS EN TIERRA SEMINARIO – TALLER, 6, 2003, Montevideo. *Anais...* Montevideo: PROTERRA – CYTED – RED HABITERRA – Facultad de Arquitectura UDELAR, 2003.

MYHRMAN, Matts; MACDONALD, Steve. *Build it with bales: a step-by-step guide to straw-bale construction*. Version 2.0 revised and expanded. Tucson: Out on bale, 1999.

NEVES, Célia Maria Martins; FARIA, Obede Borges; ROTONDARO, Rodolfo; SALAS, Patricio Cevallos; HOFFMANN, Márcio. (2005). Seleção de solos e métodos de controle em construção com terra – práticas de campo. Selección de suelos y métodos de control en la construcción con tierra – prácticas de campo. In: IV SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DE CONSTRUÇÃO COM TERRA, 4. e SEMINÁRIO ARQUITECTURA DE TERRA EM PORTUGAL, 3., 2005, Monsaraz (Portugal). *Actas...* Vila Nova de Cerveira (Portugal): Escola Superior Galaecia / PROTERRA-CYTED. 1 CD-ROM. p. 1-32.

NEVES, Célia Maria Martins. Inovações Tecnológicas em construção com terra na Ibero-América. In: WORKSHOP ARQUITETURA DE TERRA, 1995, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo /FAU/USP, 1995.

_____. Resgate e atualização do construir com terra: o projeto PROTERRA. In: I CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL; 10 ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2004, São Paulo. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 2004.

NITA, Clovis; PILEGGI, Raphael G.; CINCOTTO, Maria Alba; JOHN, Vanderley Moacyr. Estudo da Reciclagem do gesso da construção. In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL / ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 2004. São Paulo. *Anais...* São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, Daniel Pinho de. **Contribuições para a avaliação ambiental de subsistemas de cobertura de edificações de interesse social**. 2005. 172 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

OLIVEIRA, Sônia Valle Walter Borges de. **Avaliação da degradação e toxicidade de formaldeído em reator anaeróbio horizontal de leito fixo**. 2001. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

PEREIRA, Sibeli Warmling. **Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos: aplicação de avaliação do ciclo de vida**. 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

PETTERSERN, Trine Drystad. **Ecoprofile for commercial buildings: simplistic environmental assessment method – reference document**. Oslo: Grip Center, 2000.

PIVA, Ricardo Junqueira. **Arquitetura Contemporânea em Terra Crua**. In: TERRA BRASIL 2006, Seminário Arquitetura e Construção com Terra no Brasil e Seminário Arquitectura de Terra em Portugal, 4., 2006, Ouro Preto. Anais... Ouro Preto: PROTERRA, 2006.

PLASTISUL. **Geomembrana de PEAD lisa**. Disponível em:
<http://www.plastisul.com.br/geomembrana_trigeo_lisa.asp>. Acesso: 27 out 2006.

PLESSIS, Chrisna du. **Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: a discussion document**. Rotterdam: CIB; CSIP, 2002.

POUEY, Maria Tereza Fernandes. **Estudo experimental do desempenho térmico de coberturas planas: vegetação e terraço**. 1998. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

PREECE, Kathy; GREEN INNOVATIONS. **Biodiversity off-site**. In: REARDON, Chris. (Org.). **Your Home Technical manual: Australia's guide to environmentally sustainable homes**. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em:
<<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs51.pdf>>. Acesso: 5 jan 2006.

REARDON, Chris. **Waste minimisation**. In: REARDON, Chris. (Org.). **Your Home Technical manual: Australia's guide to environmentally sustainable homes**. 3 ed. Sydney, 2005. Disponível em:
<<http://www.greenhouse.gov.au/yourhome/technical/pdf/fs32.pdf>>. Acesso: 5 jan 2006.

RODRIGUES, Edmundo. **Agregados**. In: Livro para a SBEA (material em construção). 2006. Instituto de Tecnologia, Universidade Rural do Rio de Janeiro. Disponível em:
<<http://www.ufrj.br/institutos/it/dau/profs/edmundo/Agregados.pdf>>. Acesso: 10 out 2006.

SACHS, Ignacy. **Ecodesenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986.

SANTOS, Aguinaldo dos; SANTOS, Lisana Kátia Schmitz; RIBAS, Viviane Gaspar. **Acessibilidade de habitações de interesse social ao cadeirante: um estudo de caso**. *Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*, Porto Alegre, v.5, n.1, p. 55-75, jan./mar. 2005.

SEO, Seongwon. **International review of environmental assessment tools and databases**. Report 2001-006-B-02. 2002. Cooperative Research Centre for Construction Innovation. Disponível em: <http://www.construction-innovation.info/images/pdfs/Research_library/ResearchLibraryB/ProjectReports/Report_2001-006-B-02.pdf>. Acesso: 09 set 2007.

SILVA, Fernando Machado Gomes da. **Análise da sustentabilidade no processo de produção de moradias utilizando adobe e bloco cerâmico. Caso: Assentamento Rural Pirituba II – Itapeva-SP**. 2007. 182p.

Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, Fernando Machado Gomes da; BARRETO, Mauricio Guillermo C.; SHIMBO, Ioshiaqui; INO, Akemi; FARIA, Obede Borges. Análise das etapas construtivas de uma habitação rural com paredes estruturais em adobe. Caso: assentamento rural Pirituba II (Itapeva –SP). In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 11., 2006. Florianópolis. Anais... Florianópolis, 2006.

SILVA FILHO, E. B.; ALVES, M. C. M.; DA MOTTA, M. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. Revista matéria: periódico científico virtual da área de materiais, Rio de Janeiro, v.12, n.2, p.322-338, 2007.

SILVA, Sandra Regina Mota; SHIMBO, Ioshiaqui. Proposição básica para princípios de sustentabilidade. In: 2 ENCONTRO NACIONAL e I ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 2001, Canela. Anais... Canela: ANTAC, 2001.

SILVA, Vanessa Gomes da. Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica. 2003. 210 p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola politécnica. Universidade de São Paulo, São Paulo.

SILVA, Vanessa Gomes da; SILVA, Maristela Gomes da; AGOPYAN, Vahan. Avaliação de edifícios no Brasil: da avaliação ambiental para avaliação de sustentabilidade. Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v.3, n.3, p. 7-18, jul/set. 2003.

SMITH, Michael G. Introduction. In: *The Art of Natural Building: design, construction, resources*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002a.

SMITH, Michael G. The case for natural building. In: *The Art of Natural Building: design, construction, resources*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002b.

SOARES, Sebastião Roberto; PEREIRA, Sibeli Warmling. Inventário da produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v.4, n.2, p. 83-94, abr/jun. 2004. Disponível em: <<http://www.antac.org.br/ambienteconstruido/pdf/revista/artigos/Doc116112.pdf>>. Acesso: 15 ago 2007.

SPERB, Márcia Roig. Avaliação de tipologias habitacionais a partir da caracterização de impactos ambientais relacionados a materiais de construção. 2000. 149 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

STUMPP, Eugen; RECH, Vânia; SATTler, Miguel Aloysio; BARROS, Neiva Monteiro de; ABITANTE, Ana Luiza. Avaliação de sustentabilidade e eficácia de tratamentos preservantes naturais de madeiras de florestas plantadas no RS para o controle do cupim. Ambiente Construído: Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, v.6, n.2, p. 21-31, abr/jun. 2006.

SZÜCS, Carolina Palermo; PEREIRA, Gabriela Morais; COSTA, Marianne. Método de avaliação de acessibilidade espacial em projetos de habitação. In: 2 CONGRESSO BRASILEIRO e I IBEROAMERICANO HABITAÇÃO SOCIAL – CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 2006, Florianópolis. Anais... Florianópolis: 2006.

TABELAS DE COMPOSIÇÕES E PREÇOS PARA ORÇAMENTOS (TCPO 12). São Paulo: Pini, 2003.

THE GREEN INITIATIVE. Disponível em: <<http://www.thegreeninitiative.com/calculator/pt/calculator.php>>. Acesso: 20 set 2007.

- THORNTON, Joe. Impactos ambientais do polivinil cloreto (pvc ou v) em materiais de construção civil e em arquitetura: relato sumário para "healthy building network". Tradução livre de Luiz Jacques Saldanha. 2000. Disponível em: <<http://www.nossofuturoroubado.com.br/pvcontru.htm>>. Acesso: 27 abr 2007.
- TOWNSEND, Timothy G.; SOLO-GABRIELE, Helena; TOLAYMAT, Thabet; STOOK, Kristin. Impact of chromated copper arsenate (CCA) in wood mulch. *The Science of the Total Environment*. Elsevier Science, v. 309, p. 173-185, 2003.
- TRUSTY, Wayne B. Introducing an Assessment Tool Classification System. *Advanced Building Newsletter*. Ottawa. n. 25. p. 18. jul. 2000. Disponível em: 5<<http://www.athenasmi.ca/publications/publications.html>>. Acesso: 19 jan 2006.
- TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Método para dosagem de concreto auto-adensáveis. 2004. 176 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- UNITED NATIONS ENVIRONMENTAL PROGRAMME. Evaluation of environmental impacts in Life Cycle Assessment. Paris: UNEP, 2003. Disponível em: <http://rosinant.antenna.nl/scnet/fmpro?-db=scnetres_.fp3&format=rescatpub.html&-view>. Acesso em 29 jun 2006.
- VERÇOZA, Enio José. Materiais de construção. Porto Alegre: PUC, EMMA, 2. ed., 1975a.
- VERÇOZA, Enio José. Materiais de construção. Porto Alegre: PUC, EMMA, 2v., 2. ed., 1975b.
- VIVAS, Fruto. Barro nuestro que estás em la tierra. In: ARQUITECTURA EN TIERRA SEMINARIO – EXPOSICIÓN, 2000, La Paz. Anais... La Paz: CYTED – RED HABITERRA – Universidad Mayor de San Andres, 2000.
- VULCANIZAR. Densidades de Materiais. Disponível em: <<http://www.vulcanizar.com.br/arquivos/4EF82DCE-BB23-44E0-8B72-2887E1EB3A93.pdf>>. Acesso: 06 maio 2007.
- WANEK, Catherine. Combining Natural Materials for Energy Efficiency. In: *The Art of Natural Building: design, construction, resources*. Gabriola Island: New Society Publishers, 2002.
- WOOLLEY, Tom. Natural materials, 'zero emissions' and sustainable construction. In: Terra 2000 International Conference on the study and Conservation of Earthen Architecture, 8, 2000, Torquay, United Kingdom. Anais... Torquay: Preprints, 2000.
- YUBA, Andréa Naguissa. Análise da pluridimensionalidade da sustentabilidade da cadeia produtiva de componentes construtivos de madeira de plantios florestais. 2005. 227p. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- YUBA, Andréa Naguissa; INO, Akemi; SHIMBO, Ioshiaqui; ARRUDA, Mauricio Pinto. Proposta de um sistema construtivo em pinus para habitação social autoconstruída. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 2002. Foz do Iguaçu. Anais... Foz do Iguaçu, 2002.
- ZORDAN, Sérgio Eduardo. Entulho da Indústria da Construção Civil. Reciclagem de resíduos como materiais para a construção: reciclar para construir. Artigos técnicos: Fichas de Resíduos: São Paulo: PCC-USP, 2005. Disponível em: <http://www.reciclagem.pcc.usp.br/entulho_ind_ccivil.htm>. Acesso: 4 jan 2006.

**APÊNDICE A – MATERIAIS INCORPORADOS NOS SUBSISTEMAS DA
EDIFICAÇÃO: COMPOSIÇÕES, QUANTIDADES E CUSTOS**

Tabela 01: quantitativos do subsistema de fundações

Composição	Material	Consumo		Unid.	Massa total ¹ (kg)	Custo ² (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Camada de regularização							
Camada de regularização (e=3cm)	areia tipo média	0,47	-	m³	667,40	-	-
Fundação em pedras de grés							
	pedras de grés (dimensões: 15 x 25 x 45 cm)	608	-	und	28.728,00	1,90	1155,20
Argamassa de assentamento (traço 4:1, juntas e= 2cm)	areia tipo média	0,78	-	m³	2.020,20	-	-
	cimento Portland CP IV-32	409,36	-	kg	409,36	0,36	147,37
Vigas de fundação (15 x 25 cm)							
	areia tipo média	0,17	-	m³	440,30	-	-
Concreto (traço 2,5:2:1)	pedra britada 1	0,18	-	m³	475,20	55,00	9,68
	cimento Portland CP IV-32	145,94	-	kg	145,94	0,36	52,54
Estrutura de aço	vergalhão GG-50 (bitola: 8,00 mm/ massa linear: 0,395 kg/m)	80,52	-	m	31,81	1,37	110,31
	vergalhão CA-60 (bitola: 4,20 mm/ massa linear: 0,109 kg/m)	97,75	-	m	10,65	0,42	41,06
Sapatas (40 x 40 x 60 cm)							
	areia tipo média	0,17	-	m³	440,30	-	-
Concreto (traço 2,5:2:1)	pedra britada 1	0,17	-	m³	448,80	55,00	9,46
	cimento Portland CP IV-32	142,67	-	kg	142,67	0,36	51,36
Estrutura de aço	vergalhão GG-50 (bitola: 8,00 mm/ massa linear: 0,395 kg/m)	14,00	-	m	5,53	1,37	19,18
	vergalhão CA-60 (bitola: 4,20 mm/ massa linear: 0,109 kg/m)	50,40	-	m	5,49	0,42	21,17
Impermeabilização (2 demãos)							
	Emulsão asfáltica elastomérica (nome fantasia: Vedapren)	23,63	-	kg	23,63	8,77	207,24
Subtotal					33.995,29		1.824,56

¹ Quantidade total consumida não reutilizada e reutilizada.

² Custo correspondente a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,65; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Tabela 02: quantitativos do subsistema de piso

Composição	Material	Consumo		Unid.	Massa total ¹ (kg)	Custo ² (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Camada de areia e contrapiso							
Camada de areia (e=10cm)	areia tipo média	4,96	-	m ³	7.043,20	-	-
Contrapiso (traço 4:1, e=4cm)	areia tipo média	1,01	-	m ³	2.615,90	-	-
	cimento Portland CP IV-32	532,26	-	kg	532,26	0,36	191,61
Subtotal					10.191,36		191,61

¹ Quantidade total consumida não reutilizada e reutilizada.

² Custo correspondente a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,85; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Tabela 03: quantitativos do subsistema de estrutura

Composição	Material ¹	Consumo		Unid.	Massa total ² (kg)	Custo ³ (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Pilares							
	madeira de eucalipto roliça tratada (Ø 20 cm; comp.: 2,33m e 3,015m)	18,37	-	m	519,14	20,00	367,40
	madeira de eucalipto roliça não tratada (Ø 6 cm; comp.: 0,64m e 0,78m)	10,72	-	m	27,27	-	-
Subtotal					546,41		367,40

¹ Não foram considerados ferragens e materiais para fixação.

² Quantidade total consumida não reutilizada e reutilizada.

³ Custo correspondente a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,85; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Tabela 04: quantitativos do subsistema de cobertura

Composição	Material ¹	Consumo		Unid.	Massa total ² (kg)	Custo ³ (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Estrutura de madeira							
Cumeleira	madeira de eucalipto roliça tratada (Ø 24 cm)	8,275	-	m	336,75	30,60	729,05
Frechais	madeira de eucalipto roliça tratada (Ø 24 cm; comp.: 8,275m)	15,55	-	m	632,80	-	-
Caibros	madeira de eucalipto roliça (Ø 12 cm; comp.: 4,55m)	81,90	-	m	833,22	-	-
Ripas	peça eucalipto (seção transv.: 8 x 12cm; comp.: 4,55m e 3,73m)	48,04	-	m	415,07	2,62	125,86
Impermeabilização							
	vara de bambu 8,435m (Ø 4 cm)	204	-	und	1.512,87	-	-
	lona preta 170 microns	76,81	-	m ²	12,05	0,54	41,48
	areia tipo média	2,30	-	m ³	3.266,00	-	-
	geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD) 0,8mm	82,16	-	m ²	61,78	8,64	709,86
Substrato e Vegetação							
	terra preta	7,26	-	m ³	10.163,48	-	-
	leivas de grama	72,59	-	m ²	-	-	-
Contenção							
	sarrafo eucalipto (seção transv.: 2,5 x 4cm; comp.:30/ 27cm)	12,60	-	m	11,34	1,42	17,89
	vara de bambu 4,55m (Ø 4 cm)	12	-	und	48,00	-	-
Filtro	tela sombrite 50%	9,28	-	m ²	5,71	1,73	16,05
Drenagem	seixo rolado	0,68	-	m ³	1.020,00	45,00	30,60
Toras de contenção	madeira de eucalipto roliça (Ø 13 cm, comp.: 4,22m)	16,88	-	m	201,54	-	-
	borracha de mangueira (pedaços de 5 x 3 cm; e:2mm)	-	0,03	m ²	0,07	-	-
Tábuas proteção	tábua cedrinho (seção transv.: 1,5 x 9cm; comp.: 5,50m e 2,935 m)	16,87	-	m	11,39	4,49	75,75
Elementos de acabamento							
Testeiras	tábua cedrinho (seção transv.: 1,50 x 9 cm; comp.: 4,55m)	72,80	-	m	49,14	4,49	326,87
Tratamentos							
Tratamento alternativo bambu	tanino	3,24	-	kg	3,24	3,20	10,37
Subtotal					18.584,45		2.083,78

¹ Não foram contabilizados pregos e parafusos.

² Quantidade total consumida não reutilizada e reutilizada.

³ Custo correspondente a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,85; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Tabela 05: quantitativos do subsistema de vedações externas

Composição	Material ¹	Consumo		Unid.	Massa total ² (kg)	Custo ³ (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Alvenaria							
	bloco cerâmico de 6 furos (dimensões: 8,5 x 14 x 19,5 cm)	1031	-	und	2.747,36	0,19	195,89
	areia tipo média	0,22	-	m ³	569,80	-	-
	cimento Portland CP IV-32	93,18	-	kg	93,18	0,36	33,55
	cal hidratada CH-II	48,45	-	kg	48,45	0,24	11,63
	areia tipo fina	0,18	-	m ³	459,67	48,00	8,45
	cimento Portland CP IV-32	80,57	-	kg	80,57	0,36	29,01
	cal hidratada CH-II	41,89	-	kg	41,89	0,24	10,05
Alvenaria fardos de palha							
	fardos de palha (dimensões: 35 x 50 x 84cm, massa: 15kg)	-	104	und	1.560,00	0,298 ⁴	30,99
	barbante de sisal (200m/kg)	371,28	-	m	1,86	-	-
	varetas de bambu	156,00	-	m	19,29	-	-
	palha solta	-	0,507	m ³	51,73	-	-
	varas de bambu Ø 4cm (31 unidades; comprimento médio: 2,252m)	69,82	-	m	61,39	-	-
	sarrafo cedrinho (seção: 2,5 x 5cm)	100,39	-	m	62,74	4,49	450,84
	arame galvanizado bitola 16 BWG (59m/kg)	-	132,66	m	2,25	-	-
Revestimento interno							
	terra	-	0,11	m ³	123,53	-	-
	areia tipo média	0,11	-	m ³	159,47	-	-
	tela de juta (270g/m ²)	10,71	-	m ²	2,89	5,00	53,56
	arame galvanizado bitola 16 BWG (59m/kg)	-	32,40	m	0,55	-	-
	areia tipo fina	0,87	-	m ³	1.148,78	48,00	41,62
	terra	-	0,29	m ³	317,90	-	-
	terra	-	0,11	m ³	119,90	-	-
	palha solta	-	0,07	m ³	7,42	-	-
	areia tipo média	0,04	-	m ³	51,55	-	-

Tabela 05 (cont.): quantitativos do subsistema de vedações externas

Composição	Material ¹	Consumo		Unid.	Massa total ² (kg)	Custo ³ (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Revestimento externo							
grampos	tela plástica	47,50	-	m ²	8,74	2,00	95,00
Argamassa de revestimento – 1ª camada (traço 1:1; e=0,5 cm)	arame galvanizado bitola 16 BWG (59ml/kg)	-	142,5	m	2,42	-	-
	terra	-	0,12	m ³	130,90	-	-
	areia tipo média	0,12	-	m ³	168,98	-	-
	areia tipo média	0,11	-	m ³	284,12	-	-
	terra	-	0,04	m ³	90,82	-	-
Argamassa de revestimento – 2ª camada (traço 5:5; 1,75: 1,75; 1; e=0,5 cm)	cal Hidratada CH-II	38,46	-	kg	38,46	0,24	9,23
	cimento Portland CP IV-32	42,26	-	kg	42,26	0,36	15,21
	areia tipo fina	0,10	-	m ³	274,05	48,00	5,04
Argamassa de revestimento – 3ª camada (traço 5:5; 1,75: 1,75; 1; e=0,5 cm)	terra	-	0,04	m ³	93,65	-	-
	cal Hidratada CH-II	39,80	-	kg	39,80	0,24	9,55
	cimento Portland CP IV-32	43,74	-	kg	43,74	0,36	15,75
	areia tipo média	0,005	-	m ³	7,10	-	-
Argamassa de revestimento com esterco 2ª camada (traço 3:1,5: 1 de esterco; e=2 mm)	terra	-	0,002	m ³	2,75	-	-
Argamassa de revestimento com esterco 3ª camada (traço 1,5: 0,75:1 de esterco ; e=2 mm)	areia tipo fina	0,005	-	m ³	6,63	48,00	0,24
	terra	-	0,002	m ³	2,75	-	-
Tratamentos	óleo de linhaça	0,1	-	l	0,09	6,61	0,66
tratamento alternativo bambu	tanino	0,17	-	kg	0,17	3,20	0,54
Subtotal					8.969,58		1.022,38

¹ Não foram contabilizados pregos e parafusos.

² Quantidade total consumida não reutilizada e reutilizada.

³ Custo correspondente a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,85; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

⁴ Custo calculado de acordo com o valor do diesel em abril de 2007 = R\$ 1,86/ litro.

Tabela 06: quantitativos do subsistema de vedações internas

Composição	Material	Consumo		Unid.	Massa total ¹ (kg)	Custo ² (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Alvenaria							
	bloco cerâmico de 6 furos (dimensões: 8,5 x 14 x 19,5 cm)	69	-	und	183,87	0,19	13,11
	areia tipo média	0,0088	-	m³	22,90	-	-
	cimento Portland CP IV-32	3,75	-	kg	3,75	0,36	1,35
	cal hidratada CH-II	1,95	-	kg	1,95	0,24	0,47
Alvenaria de adobes							
	adobes (traço 2: 1; dimensões 10 x 14 x 30 cm)	2,57	-	m³	3,649,40	-	-
	terra	-	1,28	m³	1,408,00	-	-
	terra	-	0,65	m³	715,00	-	-
	argamassa de assentamento (traço 3:2; juntas e=2 cm)	0,44	-	m³	624,80	-	-
	argamassa de revestimento (traço 3:1; e=2 mm)	0,105	-	m³	139,13	48,00	5,04
	terra	-	0,035	m³	38,50	-	-
Subtotal					6.787,30		19,97

¹ Quantidade total consumida não reutilizada e reutilizada.

² Custo correspondente a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,65; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Tabela 07: quantitativos do subsistema de esquadrias

Composição	Material ¹	Consumo		Unid.	Massa total ² (kg)	Custo ³ (R\$)	
		não reutilizado	reutilizado			unitário	final
Esquadrias de madeira							
caixas	madeira compensada (e=1,5cm)	12,72	-	m ²	11,45	19,50	248,04
portas	porta 0,80 x 2,10 m (e=3cm) de madeira de cedrinho	4	-	und	156,60	158,50	634,00
	porta 0,60 x 2,10 m (e=3cm) de madeira de cedrinho	1	-	und	32,30	95,00	95,00
janelas	janela 1,04 x 1,19 de madeira de cedrinho (veneziana de abrir e guilhotina)	2	-	und	401,00	106,00	212,00
	balancim 0,59 x 0,59m de madeira de cedrinho (projetante de eixo horizontal superior)	1	-	und	5,80	54,90	54,90
	guarnição em madeira de cedrinho para esquadrias de alumínio	31,12	-	m	7,80	2,31	71,89
Esquadrias de alumínio							
janelas	janela 1,00 x 1,65m, com 3 divisões horizontais (2 projetantes de eixo horizontal superior e 1 fixa)	2	-	und	7,32	232,50	465,00
	janela 0,60 x 1,72m, com 3 divisões horizontais (2 projetantes de eixo horizontal superior e 1 fixa)	2	-	und	5,75	145,00	290,00
Vidros							
	vidro transparente (espessura: 3mm/ cor:incolor/textura:iso)	5,40	-	m ²	40,50	31,00	167,40
Tratamentos							
	óleo de linhaça	1,8	-	l	1,61	6,61	11,90
Subtotal					670,13		2.250,13

¹ Não foram contabilizados pregos, parafusos e ferragens das esquadrias.

² Quantidade total consumida não reutilizada e reutilizada.

³ Custo correspondente a abril de 2007. Neste período, CUB/RS = R\$908,85; dólar comercial (dia 30) = R\$2,036.

Material	massa específica/ densidade/ massa unitária	Fonte
Alumínio (média)	2615kg/ m ³	Verçoza (1975b)
Areia fina – massa específica (média para Porto Alegre)	2610kg/ m ³	Verçoza (1975a)
Areia fina – massa unitária (média para Porto Alegre)	1325kg/ m ³	Verçoza (1975a)
Areia média – massa específica	2590kg/ m ³	média obtida em ensaios
Areia média – massa unitária	1420kg/ m ³	média obtida em ensaios
Bambu (média)	700kg/ m ³	López (2003)
Bloco cerâmico com furos (média apresentada pelo autor)	1100kg/ m ³	Verçoza (1975a)
Borracha (média)	1100kg/ m ³	Vulcanizar (2007)
Cal Hidratada – massa específica (média)	2500kg/ m ³	Guimarães (1997)
Cal Hidratada – massa unitária (média)	475kg/ m ³	Guimarães (1997)
Cimento Portland – massa específica	3100kg/ m ³	Verçoza (1975a)
Cimento Portland – massa unitária	1400kg/ m ³	Verçoza (1975a)
Polietileno de Alta Densidade	940kg/ m ³	Plastisul (2006)
Polietileno de Baixa Densidade	923kg/ m ³	fabricante (Poliagro)
Madeira compensada (média)	600kg/ m ³	César (2002)
Madeira de cedrinho	500kg/ m ³	Verçoza (1975b)
Madeira de eucalipto (média entre várias espécies)	900kg/ m ³	Fernandes (2004)
Pedra britada 1 – massa específica	2640kg/ m ³	Tutikian (2004)
Pedra britada 1 – massa unitária	1430kg/ m ³	Tutikian (2004)
Pedra de grês (média)	2800kg/ m ³	Kuhn (2006)
Seixo rolado (média)	1500kg/ m ³	Rodrigues (2006)
Terra (adobes e revestimentos) – massa específica	2580kg/ m ³	valor obtido em ensaio
Terra (adobes e revestimentos) – massa unitária	1100kg/m ³	média obtida em ensaios
Terra preta (solos humíferos) – média	875kg/ m ³	Kiehl (1979 apud Hoppe, 2003)
Vidro	2500kg/ m ³	Verçoza (1975a)

Quadro 33: valores para conversão, em massa, dos materiais, e para os cálculos de argamassas e concretos

Subsistema	Custo total			Custo por unidade de área construída		
	(R\$) ¹	(US\$) ²	(CUB) ³	(R\$) ¹	(US\$) ²	(CUB) ³
Fundações	1.824,56	896,15	2,0075	36,78	18,06	0,0405
Piso	191,61	94,11	0,2108	3,86	1,90	0,0042
Estrutura	367,40	180,45	0,4042	7,41	3,64	0,0081
Cobertura	2.083,78	1.023,47	2,2928	42,00	20,63	0,0462
Vedações externas	1.022,38	502,15	1,1249	20,61	10,12	0,0227
Vedações internas	19,97	9,81	0,0220	0,40	0,20	0,0004
Esquadrias	2.250,13	1.105,17	2,4758	45,36	22,28	0,0499
Total	7.759,83	3.811,31	8,5381	156,42	76,23	0,1721

¹ Valores referentes a abril de 2007.

² Dólar comercial – 30 de abril de 2007 = R\$2,036.

³ CUB/RS – abril de 2007 = R\$908,85.

Quadro 34: custos dos materiais incorporados à edificação com conversões para dólar e CUB.

APÊNDICE B – SÍNTESE DA CARACTERIZAÇÃO DOS CRITÉRIOS AMBIENTAIS

Tabela 08: caracterizações do subsistema de fundações

Material	Quantidade de materiais (kg)		critério 1 recursos não reaproveitados (kg)	critério 2 dist. (km) energia transporte (MJ) emissões de CO2 (g)	critério 3 índice energético (MJ/kg) conteúdo energético (MJ)	critério 4 recursos beneficiados (kg)	critério 5 resíduos perigosos (kg)	critério 6 recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	critério 7 madeira nativa (kg)
	não reut.	reut.							
areia média	3.568,20	-	3.568,20	0	0,07	-	-	2.900,80	-
pedras de grés	28.728,00	-	28.728,00	205	4.593,61	339.926,93	-	-	-
cimento	697,97	-	-	139	75,67	5.599,87	697,97	697,97	-
pedra britada	924,00	-	924,00	108	77,84	5759,99	-	924,00	-
aço	53,48	-	-	145	6,05	447,60	53,48	-	-
emulsão asfáltica	23,63	-	23,63	1.265,50	23,32	1.726,05	-	23,63	-
Total	33.995,28		33.243,83		4.776,49	353.460,4	775,08	53,48	4.546,40

Tabela 09: caracterizações do subsistema de piso

Material	Quantidade de materiais (kg)		critério 1 recursos não reaproveitados (kg)	critério 2 dist. (km) energia transporte (MJ) emissões de CO2 (g)	critério 3 índice energético (MJ/kg) conteúdo energético (MJ)	critério 4 recursos beneficiados (kg)	critério 5 resíduos perigosos (kg)	critério 6 recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	critério 7 madeira nativa (kg)
	não reut.	reut.							
areia média	9.659,10	-	9.659,10	0	0,07	-	-	2.615,90	-
cimento	532,26	-	-	139	57,71	4.270,36	532,26	532,26	-
Total	10.191,36		9.659,10		57,71	4.270,36	0	3.148,16	-

Tabela 10: caracterizações do subsistema de estrutura

Material	Quantidade de materiais (kg)		critério 1 recursos não reaproveitados (kg)	dist. (km)	critério 2 energia transporte (MJ)	emissões de CO2 (g)	critério 3 índice energético (MJ/kg)	critério 3 conteúdo energético (MJ)	critério 4 recursos beneficiados (kg)	critério 5 resíduos perigosos (kg)	critério 6 recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	critério 7 madeira nativa (kg)
	não reuti.	reuti.										
eucalipto tratado	519,14	-	519,14	83	33,61	2.487,08	0,5	259,57	519,14	519,14	519,14	-
eucalipto não tratado	27,27	-	27,27	0	0,00	0,00	0,5	13,64	-	-	-	-
Total	546,41		546,41		33,61	2.487,08		2.73,21	519,14	519,14	519,14	

Tabela 11: caracterizações do subsistema de cobertura

Material	Quantidade de materiais (kg)		critério 1 recursos não reaproveitados (kg)	dist. (km)	critério 2 energia transporte (MJ)	emissões de CO2 (g)	critério 3 índice energético (MJ/kg)	critério 3 conteúdo energético (MJ)	critério 4 recursos beneficiados (kg)	critério 5 resíduos perigosos (kg)	critério 6 recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	critério 7 madeira nativa (kg)
	não reuti.	reuti.										
eucalipto tratado	969,54	-	969,54	83	62,77	4.644,83	0,5	484,77	969,54	969,54	969,54	-
eucalipto não tratado	1.034,76	-	1.034,76	0	-	-	0,5	517,38	-	-	-	-
eucalipto serrado	426,41	-	426,41	52	17,30	1.279,84	0,5	213,21	-	-	-	-
bambu	1.560,88	-	1.560,88	0	-	-	-	-	-	-	-	-
lona preta	12,05	-	12,05	139	1,31	96,68	87	1.048,35	12,05	12,05	-	-
areia média	3.266,00	-	3.266,00	0	-	-	0,07	228,62	-	-	-	-
PEAD	61,78	-	61,78	145	6,99	517,06	87	5.374,86	61,78	61,78	-	-
substrato e vegetação	10.163,48	-	10.163,48	0	-	-	-	-	-	-	-	-
sombrite	5,71	-	5,71	1.263,5	5,63	416,43	87	496,77	5,71	5,71	-	-
seixo rolado	1.020,00	-	1.020,00	24,5	19,49	1.442,42	0,07	71,40	-	-	-	-
cedrinho	60,53	-	60,53	2.780	131,25	9.712,74	0,5	30,27	-	-	-	60,53
borracha	-	0,07	-	0	-	-	-	-	0,07	-	-	-
tanino	3,24	-	3,24	177	0,45	33,10	-	-	-	-	-	-
Total	18.594,38	0,07	18.584,38		245,18	18.143,11		8.465,62	1.049,15	1.049,08	969,54	60,53

Tabela 12: caracterizações do subsistema de vedações externas

Material	Quantidade de materiais (kg)		critério 1 recursos não reaproveitados (kg)	critério 2			critério 3		critério 4 recursos beneficiados (kg)	critério 5 resíduos perigosos (kg)	critério 6 recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	critério 7 madeira nativa (kg)
	não reuti.	reut.		dist. (km)	energia transporte (MJ)	emissões de CO ₂ (g)	índice energético (MJ/kg)	conteúdo energético (MJ)				
bloco cerâmico de 6 furos	2.747,36	-	2.747,36	25	53,57	3.964,44	2,82	7.747,56	2747,36	-	-	-
areia média	1.241,02	-	1.241,02	0	-	-	0,07	86,87	-	-	853,92	-
cimento	259,75	-	-	139	28,16	2.084,00	1,88	488,33	259,75	-	259,75	-
cal	168,60	-	168,60	344	45,24	3.347,67	2,35	396,21	168,60	-	168,60	-
areia fina	1.889,12	-	1.889,12	82	120,83	8.941,28	0,07	132,24	-	-	733,72	-
fardos de palha	-	1.560,00	-	0	-	-	0,39	608,40	-	-	-	-
barbante	1,86	-	1,86	3.228	4,68	346,56	-	-	-	-	-	-
palha solta	-	59,15	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
bambu	80,68	-	80,68	0	-	-	-	-	-	-	-	-
terra	-	882,2	-	0	-	-	-	-	-	-	184,47	-
madeira de cedrinho	62,74	-	62,74	2.780	136,05	10.067,36	0,50	31,37	-	-	-	62,74
arame galvanizado	-	5,21	-	0	-	-	-	-	5,21	5,21	-	-
tanino	0,17	-	0,17	177	0,02	1,74	-	-	-	-	-	-
tela plástica	8,74	-	8,74	1.263,5	8,61	637,40	87	760,38	8,74	8,74	-	-
óleo de linhaça	0,09	-	0,09	142	0,01	0,74	-	-	-	-	-	-
tela de juta	2,89	-	2,89	3.948	8,90	658,57	-	-	-	-	-	-
Total	6.463,02	2.506,56	6.203,27		406,08	30.049,74		10.251,36	3.189,66	13,95	2.200,46	62,74

Tabela 13: caracterizações do subsistema de vedações internas

Material	Quantidade de materiais (kg)		critério 1 recursos não reaproveitados (kg)	dist. (km)	critério 2		critério 3		critério 4 recursos beneficiados (kg)	critério 5 resíduos perigosos (kg)	critério 6 recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	critério 7 madeira nativa (kg)
	não reuti.	reut.			energia transporte (MJ)	emissões de CO2 (g)	índice energético (MJ/kg)	conteúdo energético (MJ)				
bloco cerâmico	183,87	-	183,87	25	3,59	265,32	2,82	518,51	183,87	-	-	-
areia média	4.297,10	-	4.297,10	0	-	-	0,07	300,80	-	-	22,9	-
cimento	3,75	-	-	139	0,41	30,09	1,88	7,05	3,75	-	3,75	-
cal	1,95	-	1,95	344	0,52	38,72	2,35	4,58	1,95	-	1,95	-
terra	-	2.161,50	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
areia fina	139,13	-	139,13	82	8,90	658,51	0,07	9,74	-	-	-	-
Total	4.625,80	2.161,50	4.622,05		13,41	992,64		830,94	189,57		28,60	

Tabela 14: caracterizações do subsistema de esquadrias

Material	Quantidade de materiais (kg)		critério 1 recursos não reaproveitados (kg)	dist. (km)	critério 2		critério 3		critério 4 recursos beneficiados (kg)	critério 5 resíduos perigosos (kg)	critério 6 recursos s/ potencial de reaprov. (kg)	critério 7 madeira nativa (kg)
	não reuti.	reut.			energia transporte (MJ)	emissões de CO2 (g)	índice energético (MJ/kg)	conteúdo energético (MJ)				
madeira compensada	11,45	-	11,45	856,5	7,65	566,06	10,4	119,08	11,45	11,45	11,45	11,45
madeira de cedrinho	603,50	-	603,50	2780	1.308,63	96838,58	0,5	301,75	-	-	-	603,50
alumínio	13,08	-	13,08	1.247,5	12,73	941,83	98,82	1292,57	13,08	13,08	-	-
vidro	40,50	-	40,50	1.265,5	39,98	2958,31	27,93	1131,17	40,50	-	-	-
óleo de linhaça	1,61	-	1,61	142	0,18	13,20	-	-	-	-	-	-
Total	670,14		670,14		1.369,16	101.317,97		2.844,56	65,03	24,53	11,45	614,95