

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO**

CARINE NATH DE OLIVEIRA



**O PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE NA SELEÇÃO DE
MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES**

Dissertação de Mestrado

FLORIANÓPOLIS

2009

CARINE NATH DE OLIVEIRA

**O PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE NA SELEÇÃO DE
MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo. **Área de concentração:** Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído.

Prof. Orientador Wilson J. da Cunha Silveira, Dr.
Prof. Co-orientador João Carlos Souza, Dr.

Florianópolis

2009

CARINE NATH DE OLIVEIRA

**O PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE NA SELEÇÃO DE
MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES**

Esta dissertação foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 03 de Março de 2009.

Coordenadora PósArq: Dra. Carolina Palermo.

Banca Examinadora:

Orientador: Wilson J. da Cunha Silveira, Dr.

Co-orientador: João Carlos Souza, Dr.

Alice Theresinha Cybis Pereira, PhD (UFSC)

Sônia Afonso, Dra (UFSC)

Vanessa Gomes da Silva, Dra (UNICAMP)

Aos meus pais, pelo seu amor incondicional, por estarem sempre tão presentes em todos os sentidos, fazendo o caminho parecer mais fácil.
À minha irmã Daniela, por seu exemplo de dedicação e persistência.
Ao Universo, por mostrar sempre seu caminho.
A todos aqueles que buscam um futuro melhor para este planeta.

AGRADECIMENTOS

Qualquer trabalho de pesquisa não funciona de forma individual. Esta foi uma longa e importante etapa, por vezes muito custosa, que envolveu muitas pessoas direta ou indiretamente. Não é possível citar a todos, mas alguns agradecimentos são imprescindíveis:

Primeiramente agradeço à minha família, em especial ao meu pai, pois sem ele essa conquista não seria possível.

Ao Eduardo, por ser um ser doce e paciente nos momentos mais difíceis.

Ao meu orientador e professor Wilson, cujos aprendizados foram além do assunto desta dissertação.

Ao meu co-orientador e professor João Carlos, pelo seu tempo, contribuições, compreensão e gentileza.

Às professoras Vanessa Gomes da Silva, Alice Pereira e Sônia Afonso, pelas suas preciosas contribuições a esta pesquisa e por concederem seu tempo e atenção para fazer parte da banca.

Às pessoas que prestam uma enorme contribuição para a disseminação da construção sustentável e que gentilmente cederam seu tempo e espaço para participar desta pesquisa: Carlos Jensen, proprietário do condomínio Curucaca; arquiteta Sumara Lisbôa e toda a equipe do Eco&Tao; arquiteta Alexandra Maciel, bolsista Cláudia e toda a equipe do LabEEE, que sempre me atenderam com atenção.

À minha amiga Simone Peluso, por tornar o período do mestrado muito mais especial e prazeroso.

À minha amiga e colega Cristina Laus, pelo companheirismo e atenção aos momentos difíceis.

Por fim, agradeço ao pessoal do PosArq, por tornar isso tudo possível. Em especial às coordenadoras e professoras Alina Santiago e Carolina Palermo, por sua atenção e enorme contribuição ao curso. À Ivonete, por ser sempre tão prestativa e atenciosa. Aos professores e a todos os amigos que fiz durante o período, que também contribuíram para meu aprendizado.

A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará
a seu tamanho original.

Albert Einstein

RESUMO

O PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE NA SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES

Carine Nath de Oliveira

Prof. Orientador Wilson J. da Cunha Silveira, Dr.

Prof. Co-orientador João Carlos Souza, Dr.

O recente estado do ambiente construído vem se mostrando insustentável para o futuro da humanidade. O quadro atual mostra uma utilização ainda muito grande de recursos naturais, dos quais a maioria são não-renováveis, com desperdício de matéria-prima, energia e água e emissões de poluentes. A correta seleção de materiais e componentes construtivos pode trazer uma nova perspectiva a esta problemática.

Esta pesquisa buscou explorar o processo de seleção de materiais e componentes para edificações sob a ótica da sustentabilidade. A metodologia divide-se em duas etapas: **pesquisa bibliográfica** para o maior aprofundamento dos conhecimentos; e **estudos de caso** em três edificações mais sustentáveis para explorar os princípios que nortearam o processo de seleção.

Os resultados levaram à constatação da complexidade e dispersão dos dados sobre o tema. Frente a isso, os conhecimentos sobre as implicações dos principais materiais e componentes construtivos foram apontados e as alternativas mais sustentáveis de uso de cada um deles foram traçadas. De forma a servir como um instrumento para o trabalho prático de seleção e para pesquisas futuras, foram elaboradas recomendações para seleção mais sustentável de materiais e componentes para edificações. Os requisitos de sustentabilidade apresentados são divididos em sete categorias, relacionados aos seguintes elementos: (A)água, (MP)matéria-prima, (EN)energia, (EM)emissões, (RE)resíduos, (T)transporte e (SE)aspectos sócio-econômicos. As recomendações também abrangem questões relativas ao correto projeto e à gestão da obra.

Palavras-Chave: sustentabilidade, construção sustentável, seleção de materiais e componentes.

ABSTRACT

THE PARADIGM OF SUSTAINABILITY IN THE SELECTION OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

Carine Nath de Oliveira

Prof. Orientador Wilson J. da Cunha Silveira, Dr.

Prof. Co-orientador João Carlos Souza, Dr.

The recent state of the building environment has been unsustainable to the future of humanity. The current picture samples a large utilization of natural resources, of which the majority is non-renewable, with wastefulness of raw material, energy and water, and emission of pollutants. The correct selection of building materials and components can bring a new perspective about this problem.

This research seeks to explore the process of building materials and components selection under the view of sustainability. The method is divided in two steps: **bibliographic research**, to a deeper knowledge about the subject; and **case studies** of three more sustainable buildings, to explore the principles that had guided the process of selection.

The results had led to the verification of the complexity and data dispersion of the subject. Front to this, the knowledge about the implications of the main building materials and components were pointed and the more sustainable alternatives of use of each one of them were traced. In a way to serve as an instrument for the practical work of selection and future researches, recommendations for a more sustainable selection of building materials were developed. The sustainability requirements presented are divided in seven categories, related to the following elements: Water, Raw material, Energy, Emissions, Residues, Transportation and Socioeconomic aspects. The recommendations also enclose questions related to the correct project and building management.

Key words: sustainability, sustainable building, building material selection.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Etapas da pesquisa	20
Quadro 2 - <i>Inputs</i> e <i>Outputs</i> no sistema de produção e consumo de materiais e componentes.....	36
Quadro 3 - VOC e POP encontrados no ambiente construído.....	42
Quadro 4 – Impactos ambientais e humanos causados pelo transporte	43
Quadro 5 – Materiais e emissões na produção de cerâmica	56
Quadro 6 – Materiais e emissões na produção do aço	62
Quadro 7 – Ecoprodutos de construção do mercado brasileiro.....	76
Quadro 8 – Casos selecionados e suas diferenças.....	94
Quadro 9 – Especificação dos equipamentos hidro-sanitários da Casa Eficiente.....	131
Quadro 10 - Uso mais sustentável da madeira na construção de edifícios	158
Quadro 11 – Uso mais sustentável do concreto, cimento e agregados na construção de edifícios	159
Quadro 12 – Uso mais sustentável da terra na construção de edifícios	160
Quadro 13 – Uso mais sustentável dos metais na construção de edifícios.....	161
Quadro 14 – Uso mais sustentável dos plásticos na construção de edifícios	162
Quadro 15 – Uso mais sustentável das tintas, vernizes, lacas e esmaltes na construção de edifícios	163
Quadro 16 – Uso mais sustentável do vidro na construção de edifícios.....	164
Quadro 17 - Dados quantitativos para cada categoria de impacto dos materiais e componentes para edificações	173

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Implicações ambientais, econômicas e sociais do ambiente construído x ciclo de vida das edificações	46
Tabela 2 - Materiais utilizados na construção de residências no Brasil e na região sul.....	48
Tabela 3 – Energia embutida dos cimentos.....	53
Tabela 4 – Energia embutida dos metais.....	61
Tabela 5 - Comparação do custo energético embutido em materiais de construção.....	82
Tabela 6 – Materiais e componentes selecionados nos casos estudados.....	135
Tabela 7- Energia Embutida total da Casa Eficiente.....	145

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Mapa conceitual das causas da falta de sustentabilidade na arquitetura.	15
Figura 2: Esquema do método empregado na pesquisa.	18
Figura 3: Edificação vernacular no deserto do Rajastão - Índia.	25
Figura 4: Casa construída com Cob Wood – autoconstrução dos Estados Unidos 32	32
Figura 5: Chongqintower. Proposta de arranha-céu sustentável do arquiteto Ken Yeang..... 33	33
Figura 6: Casas sustentáveis compactas MiniHome, projetadas pelo escritório Sustain Design Studio 33	33
Figura 7: Composição média do entulho no Brasil.	41
Figura 8: Fluxograma sistemas atuais degenerativos de materiais e componentes para edificações 45	45
Figura 9: Fluxograma da otimização dos sistemas de materiais e componentes para edificações..... 46	46
Figura 10: Pensamento linear x pensamento sistêmico..... 80	80
Figura 11: Bed Zed, localizado próximo a Londres. Projeto de Bill Dunster elaborado no ano de 2000..... 83	83
Figura 12: Casa Autônoma..... 86	86
Figura 13: Matriz comparativa de materiais para as vedações verticais do projeto Casa Autônoma 87	87
Figura 14: Matriz comparativa de materiais para cobertura do projeto Casa Autônoma 87	87
Figura 15: Mapa de localização dos estudos de caso..... 93	93
Figura 16: Implantação e condicionantes naturais do edifício Curucaca. 97	97
Figura 17: Foto lateral Curucaca – fachada Norte..... 97	97
Figura 18: Projeto e descrição dos pavimentos do edifício Curucaca..... 98	98
Figura 19: Fotos do edifício sede Curucaca 99	99
Figura 20: Vista interna do mezanino do edifício Curucaca..... 105	105
Figura 21: Detalhes arquitetônicos edifício Curucaca 108	108
Figura 22: Frente e fundos da residência Abuhad – agosto de 2006..... 110	110
Figura 23: Plantas baixas residência Abuhad – novembro de 2005 111	111
Figura 24: Desenho esquemático da bacia de evapotranspiração..... 114	114
Figura 25: Residência Abuhad em obras – maio de 2006 117	117
Figura 26: Detalhes arquitetônicos da casa Abuhad..... 118	118
Figura 27: Detalhes de revestimento residência Abuhad..... 120	120
Figura 28: Planta das Centrais Elétricas Eletrosul e local de implantação da Casa Eficiente. 123	123
Figura 29: Imagens da Casa Eficiente 124	124
Figura 30: Planta baixa da Casa Eficiente..... 124	124
Figura 31: Pavimento superior – Casa Eficiente. 125	125
Figura 32: Imagens da Casa Eficiente em obras 125	125
Figura 33: Cobertura com telha cerâmica + manta aluminizada + manta de lã de rocha + forro de OSB.... 130	130
Figura 34: Esquema em corte do tanque de tratamento de esgoto por Zona de Raízes..... 132	132
Figura 35: Detalhes da Casa Eficiente. 133	133
Figura 36: Seleção de materiais e componentes nas etapas do projeto de arquitetura..... 165	165

LISTA DE ABREVIATURAS

BREEAM – *Building Research Establishment Environmental Assessment Method*
BEPAC – *Building Environmental Performance Assessment Criteria*
HQE – *High Environmental Quality*
GBC – *Green Building Challenge*
LEED – *Leadership in Energy and Environmental Design*
CASBEE – *Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*
CIB – *Council for Research and Innovation in Building and Construction*
EPA – Environmental Protection Agency
CO₂ – Dióxido de Carbono
CO – Monóxido de Carbono
VOC – *Volatile Organic Compounds*
CFC – Clorofluorcarbono
HCFC – Hidroclorofluorcarbono
ONU – Organização das Nações Unidas
SEE – Síndrome do Edifício Enfermo
PVC – Cloreto de Polivinila
POP – Poluentes Orgânicos Persistentes
BEN – Balanço Energético Nacional
NO₂ – Óxido Nítrico
SO₂ – Dióxido Sulfúrico
SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática
PIB – Produto Interno Bruto
IPT – Instituto de Pesquisa Tecnológica de São Paulo
MDF – *Medium Density Fiberboard*
OSB – *Oriented Strand Board*
CCA – Cromo Cobre e Arsênio ou Arseniato de Cobre Cromatado
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IARC – *International Agency for Research on Cancer*
NTP – *National Toxicology Program*
FSC – *Forest Stewardship Council*
ABCTerra – Associação Brasileira dos Construtores com Terra
PISE – *Pneumatically Impacted Stabilized Earth*
Mpa – Mega Pascal
RCD – Resíduos de Construção e Demolição
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
PET – Politereftalato de etileno
PE – Polietileno
PEAD – Polietileno de alta densidade
PEBD – Polietileno de baixa densidade
PS – Poliestireno
PP – Polipropileno
PU – Poliuretano
PPR – Polipropileno randômico
EVA – Poliacetato de Etileno Vinil
SGA – Sistema de Gestão Ambiental
ISO – *International Organization for Standardization*
PBQP-H – Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat
SiMac – Sistema de Qualificação de Materiais, Componentes e Sistemas construtivos

ACV – Análise de Ciclo de Vida

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

BEES – *Building for Environmental and Economic Sustainability*

LCC – *Life Cycle Cost*

IPEC – Instituto de Permacultura do Cerrado

IPBC – 3-iodo-2-propynyl butyl carbamate

PEX – Polietileno reticulado

IPHAN – Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

CUB – Custo Unitário Básico

ONG – Organização Não Governamental

U – Transmitância térmica

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos	17
1.2	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ESTRUTURA DO TRABALHO	18
1.3	LIMITAÇÕES	21
2	SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA.....	22
2.1	ABORDAGEM DE ALGUNS CONCEITOS E DEFINIÇÕES	22
2.2	A EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E NATUREZA	25
2.3	DIRETRIZES ATUAIS PARA O ALCANCE DA SUSTENTABILIDADE NOS EDIFÍCIOS	29
2.4	A SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES COMO PREMISSE DO PROJETO SUSTENTÁVEL	31
3	IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS E HUMANAS DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS	36
3.1	CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS (ÁGUA E MATÉRIA-PRIMA).....	37
3.2	CONSUMO DE ENERGIA	37
3.3	EMISSÕES	38
3.3.1	Gases de efeito estufa	38
3.3.2	Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)	39
3.3.3	Radiações ionizantes e o radônio	39
3.3.4	Poluentes do ar interno	40
3.3.5	Óxidos de Nitrogênio e Enxofre	40
3.4	RESÍDUOS	40
3.5	TRANSPORTE	43
3.6	ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS	44
3.7	AS IMPLICAÇÕES SOB O PONTO DE VISTA ECOLÓGICO	45
4	MATERIAIS E COMPONENTES DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E SUSTENTABILIDADE	48
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO SOB A ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE.....	49
4.1.1	Madeiras	49
4.1.2	Cimento e agregados do concreto.....	53
4.1.3	Terra: cerâmica e solo estabilizado	55
4.1.4	Metais	60
4.1.5	Plásticos.....	62
4.1.6	Tintas, vernizes, lacas e esmaltes.....	66
4.1.7	Vidro	68

4.1.8	Outros materiais.....	70
4.2	ROTULAGEM AMBIENTAL.....	70
4.2.1	Rotulagem ambiental para materiais e componentes construtivos.....	71
4.2.2	A Situação do Brasil.....	72
4.3	ECOPRODUTOS.....	75
4.4	MUDANÇAS DE PARADIGMAS NA ÁREA TECNOLÓGICA DOS MATERIAIS E COMPONENTES.....	78
5	SELEÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL DE MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES – OS MODELOS ATUAIS.....	81
5.1	SELEÇÃO POR INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE.....	81
5.1.1	Energia Embutida ou Energia Incorporada.....	81
5.1.2	Emissão de CO2.....	82
5.2	MATERIAIS PREFERENCIAIS.....	83
5.3	ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV).....	84
5.4	MATRIZ COMPARATIVA DE MATERIAIS E SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO.....	86
5.5	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS E OUTRAS QUESTÕES ENVOLVIDAS.....	88
5.5.1	Transferência tecnológica e tecnologia apropriada.....	89
5.5.2	Qualidade, Durabilidade e Racionalidade.....	89
6	O PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE NA SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES - ESTUDOS DE CASO.....	91
6.1	METODOLOGIA PARA OS ESTUDOS DE CASO.....	91
6.1.1	Escolha do caso e técnica de coleta de dados.....	92
6.2	CASO 01: EDIFÍCIO SEDE DO CONDOMÍNIO CURUCACA.....	96
6.2.1	O edifício sede.....	96
6.2.2	A obra.....	99
6.2.3	Identificação das estratégias de sustentabilidade adotadas.....	100
6.2.4	Identificação dos materiais e componentes construtivos por etapa de obra.....	102
6.2.5	Observações finais levantadas em entrevista.....	108
6.3	CASO 02: RESIDÊNCIA ABUHAD.....	110
6.3.1	A obra.....	111
6.3.2	Identificação das estratégias de sustentabilidade adotadas.....	111
6.3.3	Identificação dos materiais e componentes construtivos por etapa de obra.....	115
6.3.4	Observações finais levantadas em entrevista.....	121
6.4	CASO 03: CASA EFICIENTE.....	123
6.4.1	A obra.....	125
6.4.2	Identificação das estratégias de sustentabilidade adotadas.....	126
6.4.3	Identificação dos materiais e componentes construtivos por etapa de obra.....	128

6.4.4	Observações finais levantadas em entrevista.....	134
6.5	ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO	135
6.5.1	Fundações - concreto armado como solução consagrada.....	136
6.5.2	Estruturas mistas – madeira e concreto.....	137
6.5.3	Coberturas verdes, com materiais locais e de baixo impacto.....	138
6.5.4	Vedações verticais – desempenho térmico e acústico com predomínio da terra.....	139
6.5.5	Instalações hidro-sanitárias com uso eficiente de água e materiais de menor impacto.....	139
6.5.6	Instalações elétricas com menor consumo energético.....	140
6.5.7	Esquadrias de materiais naturais e com maior desempenho térmico e acústico.....	141
6.5.8	Acabamentos de baixa emissividade	141
6.5.9	Revestimentos naturais, atóxicos e com soluções locais criativas	142
6.5.10	Equipamentos e mobiliários com recursos locais e atóxicos.....	142
6.5.11	Áreas externas permeáveis.....	142
6.5.12	Maior manutenção exigida.....	143
6.5.13	As questões sócio-econômicas	143
6.5.14	Os processos decisórios na seleção de materiais e componentes.....	144
7	RECOMENDAÇÕES PARA SELEÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO	147
7.1	ALTERNATIVAS PARA CONSTRUIR COM CADA MATERIAL.....	151
7.1.1	Alternativas mais sustentáveis para o uso da madeira na construção de edifícios.....	151
7.1.2	Alternativas mais sustentáveis para o uso do cimento e agregados do concreto na construção de edifícios 154	
7.1.3	Alternativas mais sustentáveis para o uso da terra na construção de edifícios.....	154
7.1.4	Alternativas mais sustentáveis para o uso dos metais na construção de edifícios	155
7.1.5	Alternativas mais sustentáveis para o uso dos plásticos na construção de edifícios.....	155
7.1.6	Alternativas mais sustentáveis para o uso de tintas, vernizes, lacas e esmaltes na construção de edifícios 156	
7.1.7	Alternativas mais sustentáveis para o uso dos vidros na construção de edifícios.....	157
7.2	INICIATIVAS DE PROJETO ALIADAS À SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES	165
7.3	INICIATIVAS NA OBRA ALIADAS A SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES	167
8	CONCLUSÃO.....	168
	REFERÊNCIAS.....	175
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	184
	ANEXOS	185

1 INTRODUÇÃO

Um paradigma é um conjunto de regras, modelos, pensamentos, modos de ver e de praticar as realizações científicas. Seguindo o pensamento de Thomas Kuhn, pode-se dizer que quando um paradigma existente passa a não mais resolver um problema considerado atual, há um período de crise. Um novo paradigma irá redefinir os problemas e as incongruências até então insolúveis, dando-lhes uma solução convincente, por um processo que pode ser chamado de revolução científica.

A ciência, hoje, enfrenta uma crise paradigmática moldada pela crise ambiental atual. O ser humano vem encarando a dificuldade de encontrar meios que possam harmonizar a sua existência com o desenvolvimento natural dos ecossistemas terrestres, aos quais também pertence. A construção de edifícios é fonte ativa deste problema, pois todo o ambiente construído está inserido num ecossistema, gerando uma cadeia de inter-relações que, hoje, passou a causar instabilidade nos sistemas naturais.

O desafio está na grandeza do sistema gerador de edifícios e cidades, cuja produção utiliza, ainda de forma muito intensa, energias e recursos não-renováveis. A construção de edifícios não cessa, a todo o momento, em todo lugar, existe algo sendo construído, que pode acarretar degradação ambiental. Dados mostram que o consumo deste setor é algo em torno de 30% a 50% dos recursos naturais do globo, abrangendo 34% do consumo de água e 55% do consumo de madeira. Além de gerar 67% da massa total de resíduos sólidos urbanos (ANAB, 2007).

A arquitetura insustentável, como muito se vê hoje, têm suas causas e conseqüências em diversos fatores, que são mostrados, de forma abreviada, pelo esquema a seguir (figura 1).



Figura 1: Mapa conceitual das causas da falta de sustentabilidade na arquitetura.

Os edifícios, uma vez construídos, continuam a ser causa de contaminação durante seu uso pela emissão de poluentes, pelo impacto no entorno e uso excessivo de água e energia para seu funcionamento. Esses impactos seguem até a fase de manutenção e demolição. O uso de materiais poluentes e não biodegradáveis geram um lixo que persiste por séculos nos grandes aterros sanitários.

O desenvolvimento sustentável é um novo paradigma que surge para enfrentar a problemática atual do planeta, e é termo de discussão atualmente. Ao se inserir este novo pensamento nos sistemas de produção do ambiente construído, estes preocupar-se-ão em sustentar os ecossistemas naturais e voltar-se-ão para o bem-estar e qualidade de vida dos indivíduos agora e futuramente.

As mudanças passam a afetar as ciências e a tecnologia, atingindo o processo projetual da arquitetura e os processos construtivos de edifícios. Com o fim de minimizar os possíveis impactos ambientais causados pelo ambiente construído, a correta seleção de materiais e componentes entra como premissa do projeto sustentável.

Tanto o arquiteto como o futuro usuário são agentes responsáveis pela revolução da sustentabilidade na construção de edifícios na medida em que decidem o como construir: o primeiro é gerenciador deste sistema e o segundo, quem dita as exigências de projeto. Juntos, definem qual o sistema construtivo mais adequado para a edificação, considerando aspectos sociais, culturais ou econômicos.

Para se implantar, neste processo de escolhas, o conceito de sustentabilidade, preocupações mais amplas, atingindo esferas ambientais e sociais, devem se fazer presentes. Um conhecimento muito maior dos verdadeiros impactos dos materiais e componentes de construção é demandado para que se atinja um processo mais consciente. Partindo dessas constatações, a pesquisa se propôs a responder duas perguntas:

Como os materiais e componentes podem afetar a sustentabilidade final das edificações?

Como selecionar materiais e componentes de edificações de forma mais sustentável?

A sensibilização dos profissionais e usuários é necessária para a divulgação de conhecimentos sobre os impactos dos materiais e componentes e trazer melhorias na produção da arquitetura sustentável. Para isso é preciso aprofundar e reunir conhecimentos, mas a inexistência atual de um banco de dados e de regras causa grande desordem de informação acerca do tema. Este trabalho buscou explorar melhor o assunto e sistematizar informações consideradas relevantes no processo de seleção de materiais e componentes para edificações, com intuito de auxiliar os profissionais e consumidores em suas decisões.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o processo de seleção de materiais e componentes construtivos sob o paradigma da sustentabilidade, a fim de organizar recomendações para um processo mais sustentável.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Identificar conceitos e critérios de sustentabilidade na arquitetura e no ambiente construído;
2. Apontar as principais implicações de materiais e componentes construtivos sobre a natureza e o ser humano;
3. Explorar os métodos de seleção de materiais e componentes utilizados atualmente e em algumas edificações consideradas mais sustentáveis;
4. Traçar os principais aspectos a serem considerados para uma seleção mais sustentável de materiais e componentes.

1.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ESTRUTURA DO TRABALHO

O tema abordado na presente pesquisa é **o paradigma da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes para edificações**. Considerando que este tema é complexo e pouco explorado, a pesquisa exploratória mostra-se como metodologia indicada.

Pesquisas exploratórias são desenvolvidas com o objetivo de proporcionar visão geral, de tipo aproximativo, acerca de determinado fato. Este tipo de pesquisa é realizado especialmente quando o tema escolhido é pouco explorado e torna-se difícil sobre ele formular hipóteses precisas e operacionalizáveis (GIL, 1991.p 44).

De acordo com Gil (1994), a pesquisa exploratória envolve: levantamento bibliográfico, entrevista com pessoas que tiveram (ou têm) experiências práticas com o problema pesquisado e análise de exemplos que estimulem a compreensão. Assim, a presente pesquisa divide-se em três etapas fundamentais:

1. **Pesquisa bibliográfica:** para o levantamento e aprofundamento no tema atingindo os objetivos específicos 1 e 2;
2. **Estudos de caso** com entrevista com o profissional responsável pela seleção de materiais, para observar a experiência prática de modelos mais sustentáveis de seleção de materiais e componentes;
3. **Análise final dos dados** com comparação entre prática e teoria; e sistematização das informações colhidas.

Estas etapas são fundamentais para se chegar ao objetivo final, através do aprofundamento da teoria para avaliação da prática (os estudos de caso), chegando-se à sistematização das informações e recomendações finais do trabalho (como mostra o esquema da figura 2).



Figura 2: Esquema do método empregado na pesquisa.

A forma de abordagem desta pesquisa é qualitativa, pois não será utilizado nenhum método estatístico e não se busca enumerar ou medir dados (RICHARDSON, 1999).

A pesquisa, introduzida neste primeiro capítulo, estrutura-se de acordo com as etapas acima. O segundo capítulo aborda os conceitos de desenvolvimento sustentável e sustentabilidade em edificações. Para isso, é abordada a evolução da relação entre arquitetura e natureza, que se faz importante para observar como esta ocorreu através do desenvolvimento humano e para entender como ela pode ocorrer no futuro. A sustentabilidade no projeto de arquitetura é abordada com uma breve apresentação de suas diretrizes, sendo mais bem detalhada a fase da seleção de materiais e componentes, que é o foco deste trabalho.

No terceiro capítulo, fez-se um levantamento de dados e informações sobre implicações ambientais e humanas da construção de edifícios, abrangendo questões relacionadas aos impactos ambientais existentes e às consequências sociais e econômicas deste setor.

O quarto capítulo trata especificamente dos materiais e componentes construtivos e seus impactos, com o intuito de caracterizar, de forma sucinta, alguns dos principais materiais de construção utilizados no Brasil, do ponto de vista da sustentabilidade. Esta caracterização permite uma união de dados pouco explorados, possibilitando seu melhor conhecimento. Também neste capítulo são abordados a rotulagem ambiental e o desenvolvimento de produtos mais sustentáveis para construção de edifícios, mostrando a situação atual deste setor no Brasil, que vem crescendo em outros países.

O quinto capítulo é um levantamento do estado da arte da seleção de materiais e componentes sob o paradigma da sustentabilidade. São abordados os modelos atuais de seleção, com exemplos, e os indicadores de sustentabilidade utilizados. As questões consideradas em estudos atuais, que se fazem relevantes para o processo de seleção, são apresentadas.

Com as bases teóricas bem estruturadas, no capítulo sexto, parte-se para três estudos de caso em edificações mais sustentáveis, em que os processos decisórios e os materiais selecionados foram comparados entre si e com a teoria. Esta etapa foi importante para se levantar as questões práticas envolvidas no processo.

No sétimo capítulo, são traçadas recomendações para seleção mais sustentável de materiais e componentes, baseadas nos resultados tanto da pesquisa bibliográfica, como dos estudos de caso. As informações colhidas são sistematizadas, propondo-se uma ferramenta de auxílio no processo de seleção de materiais e componentes que diminua o impacto na natureza e no ser humano. A conclusão final da pesquisa é dada no capítulo oitavo.

No quadro a seguir estão, de forma mais detalhada, as etapas desta pesquisa:

Quadro 1 – Etapas da pesquisa

Etapa	Detalhamento do trabalho
Pesquisa bibliográfica	Tópicos relevantes para compor as bases teóricas da pesquisa: 1. Origem, evolução e conceituação da sustentabilidade na arquitetura; 2. Impacto dos materiais e componentes de construção sobre a natureza e o ser humano; 3. Rotulagem ambiental e ecoprodutos; 4. Métodos de seleção de materiais e componentes para edificações mais sustentáveis.
Estudo de caso	1. Levantamento de casos referenciais; 2. Levantamento e definição dos estudos de caso; 3. Procedimentos de campo: Observação Direta: visita ao local de estudo para fazer observações e coletar evidências sobre o caso; Entrevista com responsável pela obra (construtor ou arquiteto). 4. Análise das informações coletadas e montagem do relatório do Estudo de Caso.
Sistematização dos dados	Geração de recomendações e tabelas, baseadas nos resultados das duas etapas anteriores.

1.3 LIMITAÇÕES

A sustentabilidade total é uma questão delicada e ainda parece utópica para a realidade atual, por isso se fala em edificações, materiais e componentes mais sustentáveis e não sustentáveis. A sustentabilidade também sempre é tratada inserindo-se o cenário futuro, o que traz incertezas já que é difícil prever as necessidades futuras.

Não é apenas pela escolha de materiais e componentes que se valida a sustentabilidade de uma edificação (apesar deste fato garantir uma grande diferença), mas devido à lacuna de conhecimento identificada nesta área, este foi o foco da pesquisa. O trabalho também ficou limitado em edificações e não se esperou abraçar as aplicações urbanas, pois iria gerar trabalho dificultoso e longo demais para uma dissertação de mestrado.

Nos estudos dos impactos dos materiais e componentes sobre a natureza e o ser humano, não foi possível um grande aprofundamento, pois está se trabalhando em um universo complexo e com poucos dados já pesquisados, sendo praticamente impossível abraçar as questões em sua totalidade. Foram, portanto, levantadas as questões mais relevantes.

Visto a dificuldade de encontrar edificações construídas sob os preceitos da arquitetura sustentável, em Santa Catarina, os estudos de caso ficaram limitados ao número de três, sendo que apenas um deles é localizado em área urbana. Estes casos são considerados dessemelhantes, e por apresentarem modelos diferentes de seleção, mostraram-se como interessantes objetos de estudo e avaliação. As análises dos estudos de caso limitam-se somente à análise dos materiais e componentes construtivos selecionados.

Nas propostas finais, tanto para avaliar os estudos de caso, como nas recomendações para seleção mais sustentável de materiais e componentes, a pesquisa se limita a alcançar os requisitos qualitativos. Os critérios (aspectos quantitativos da pesquisa) não poderão ser estabelecidos, tamanha a complexidade e especialização necessária para devido fim. Também não se objetivou hierarquizar requisitos, pois pesar valorações ambientais ou humanas é algo difícil e que pode ser influenciado pelos valores pessoais do pesquisador. Para que isso seja feito, seria necessário aplicar alguma ferramenta de análise de decisão, sendo a mais indicada por diversos autores, a análise multicritério de apoio à decisão.

2 SUSTENTABILIDADE E ARQUITETURA

O meio ambiente construído (a aldeia, a vila, a cidade) à medida que se estruturava tornava-se a imagem do paraíso, que viabilizava a existência humana contrapondo-se à selva bruta. Porém, com a evolução urbana, o próprio homem se contradiz transformando o meio onde vive num lugar sem a segurança, bem-estar os quais procurava, tornando seu paraíso em um local selvagem. O fato representa a antítese da ordem, o desrespeito aos ritmos naturais. Perdemos o instinto que nos guiava para o lugar ideal onde viver, e a casa transformou-se em um cenário artificial que pouco reflete nossa imagem do paraíso (SOLANO, 2000.p.23).

2.1 ABORDAGEM DE ALGUNS CONCEITOS E DEFINIÇÕES

O conceito de sustentabilidade existiu somente a partir do terço final do século XX. O termo desenvolvimento sustentável foi criado em 1980 e foi consagrado com o Relatório Brundtland que definiu e deu fundamentos a esse novo paradigma do desenvolvimento humano:

O desenvolvimento sustentável é um processo de transformação no qual a exploração dos recursos, a direção dos investimentos, a orientação do desenvolvimento tecnológico e a mudança institucional se harmonizam e reforçam o potencial presente e futuro, a fim de se atender às necessidades futuras... é aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades. (RELATÓRIO BRUNDTLAND – Nosso Futuro Comum, 1988 p.46).

O desenvolvimento sustentável é baseado em um sistema econômico ecológico que consiste em considerar as inter-relações entre a economia e o meio ambiente. Passa a ser considerado que a natureza é riqueza real e primária e que a utilização dos recursos e depleção de resíduos não deve ser superior ao que esta pode suportar (MONTIBELLER FILHO, 2001).

Um conceito interessante de sistema sustentável é colocado por Mazini e Vezzoli (2002) e refere-se a uma rede de pessoas, produtos, serviços e infra-estrutura que, como um todo, existe e reproduz-se num modo sustentável, caracterizados pela baixa intensidade de material e energia e pelo alto grau de qualidade do contexto. Têm-se como base os princípios éticos das pessoas e da sociedade em relação à natureza e ao meio ambiente. A qualidade desse contexto concerne nos aspectos econômicos e sociais (saúde, educação, distribuição de renda). O baixo impacto de material-energia é base para uma sistemática eco-eficiente presente nos sistemas de produção e consumo sustentáveis.

A economia ecológica popular é outro termo que surgiu no final do século XX e trata da defesa do meio natural buscando mudanças sociais e melhoria nas condições de vida. Baseia-se em

princípios da ecologia humana, biologia e física e estuda com uma visão sistêmica a complexidade da questão (MONTIBELLER FILHO, 2001).

Neste trabalho, trata-se sustentabilidade em seu sentido mais amplo, que inclui as medidas necessárias hoje, para a garantia de um futuro equilibrado e próspero (com alta qualidade de vida) para as gerações futuras, atingindo, para isso, as esferas ambiental, social e econômica.

Para o Idhea (2006), sustentabilidade não é uma visão ecológica purista e não deve rejeitar as boas conquistas do mundo moderno, mas as unir em favor de uma coexistência pacífica. Define como:

1. Exercer atividade econômica sem esgotar os recursos planetários, de forma a atender as necessidades das sociedades humanas atuais e de gerações futuras;
2. Desenvolver métodos ambientalmente conscientes de produção e consumo, que garantam integridade dos ecossistemas e qualidade de vida dos seres vivos;
3. Estabelecer novos parâmetros de cidadania e convivência, que reduzam a pobreza, doenças e a fome e criem caminhos para uma sociedade mais harmoniosa e justa.

Montibeller Filho (2001) alerta para alguns grandes desafios do desenvolvimento sustentável como: o grande crescimento populacional, que leva a um maior consumo; trocas desiguais, em se tratando de valores ambientais sem preço para a humanidade; a cultura consumista de hoje e possíveis crises no caso de movimentos ambientalistas impondo restrições à ação do capital. John (2000) também coloca que será muito difícil obter um equilíbrio entre o desenvolvimento econômico e a manutenção de um ambiente natural saudável.

Para o alcance do desenvolvimento sustentável das cidades, o Relatório Brundtland (1988, grifo nosso) coloca algumas medidas:

1. Uso de novos materiais na construção;
2. Reestruturação da distribuição de zonas residenciais e industriais;
3. Aproveitamento e consumo de fontes alternativas de energia, como a solar, a eólica e a geotérmica;
4. Reciclagem de materiais reaproveitáveis;
5. Consumo racional de água e de alimentos;
6. Redução do uso de produtos químicos prejudiciais à saúde.

O setor da construção de edifícios aparece como grande responsável para mudanças significativas na atual situação ambiental, mas apesar do termo desenvolvimento sustentável já fazer parte de discussões políticas e econômicas dos países em desenvolvimento por quase meio século, o que se vê é uma realidade distante procedente de uma prática atual ainda ineficiente.

Entre as principais causas estão: a complexidade exigida, o caráter antecipatório e a necessidade da multidisciplinaridade, sendo necessário unir o conhecimento específico neoclássico com um pensamento sistêmico. As limitações físicas, sociais, políticas e econômicas dificultam extremamente a valorização dos aspectos humanos e a aplicação dos conceitos de uma ciência, que é essencialmente de caráter holístico e biocêntrico (YEANG, 2006).

Na área da arquitetura sustentável, muitos estudos têm sido feitos para que se atinja um futuro diferente. Para Triana (2005) e Kronka (2003), toda a arquitetura que pretende ser mais sustentável deve atender níveis de sustentabilidade:

Sustentabilidade ambiental: integração com a natureza e eliminação dos efeitos prejudiciais ao ambiente através de uso cuidadoso de recursos naturais, minimização de resíduos, proteção e melhoria do ambiente;

Sustentabilidade econômica: as soluções arquitetônicas devem ser economicamente viáveis ao seu público alvo; as atividades econômicas do setor da construção de edifícios e de materiais e componentes construtivos devem crescer e participar do desenvolvimento humano e econômico local, na medida em que estão em harmonia com o meio natural;

Sustentabilidade social: a arquitetura sustentável deve responder às necessidades econômicas, psicológicas, culturais e tradicionais dos atores sociais envolvidos no processo de construção.

Para Colombo (2006), a sustentabilidade na construção de edifícios deve ser encarada de forma multidisciplinar, atingindo uma maior gama de níveis de sustentabilidade: Social, Cultural, Econômica, Ecológica, Espacial, Política, Temporal, Técnica, Relacional ou Convival.

Colombo, Sattler e Almeida (2006) exemplificam as seguintes características da construção mais sustentável: otimização de espaços (menor é melhor); uso máximo de recursos locais; função múltipla para os elementos construídos ou naturais; considerar a natureza como modelo; aproveitamento da topografia; integração com o meio natural e social; gerenciamento de água, energia e resíduos gerados na construção e pós-ocupação; flexibilidade construtiva; emprego de materiais naturais, reciclados, locais e saudáveis; utilização dos recursos biológicos e naturais locais (terra, sol, ventos, plantas); e vida útil longa e de baixa manutenção.

Para Kronka (2003), a sustentabilidade na área da construção pode vir a ser uma alavanca para a diminuição das crises econômicas nacionais, pois garante a efetiva manutenção dos recursos ambientais na medida em que incita o desenvolvimento social e econômico. Mas enfatiza que esta "nova arquitetura" só será viável com base de novos paradigmas (KRONKA, 2003).

2.2 A EVOLUÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E NATUREZA

Durante longo período da história, a arquitetura foi fruto das necessidades de sua sociedade, tanto políticas como ideológicas, em união com a viabilidade de recursos locais existentes. Krüger (2000) mostra que as relações entre projeto arquitetônico e produção de materiais ou componentes que servirão de elementos constitutivos da arquitetura estão intimamente ligados. Para o autor, a arquitetura dependerá essencialmente dos recursos energéticos e do desenvolvimento tecnológico para seu próprio desenvolvimento, pois há uma dependência entre a produção urbana e arquitetônica e o sistema produtivo de uma sociedade.

Até certo ponto na história, a matéria-prima disponível ditava a arquitetura local. Mascaró, Claro e Schneider (1978) detalham um primeiro período da evolução dos sistemas construtivos, caracterizado pelo uso da força humana, dos ventos, das águas ou dos animais. Neste primeiro período, vê-se o predomínio do uso dos recursos locais, já que o transporte de materiais e seu beneficiamento seria terrivelmente custoso e demorado. As edificações deveriam também fornecer o abrigo necessário contra as intempéries ou outros perigos encontrados na natureza. A exemplo disso, tem-se a edificação na figura abaixo, no deserto do Rajastão, na Índia. Foi elaborada com recursos naturais locais (terra e palha) e suas espessas paredes protegem o interior das grandes variações de temperatura entre dia e noite, comuns neste clima.

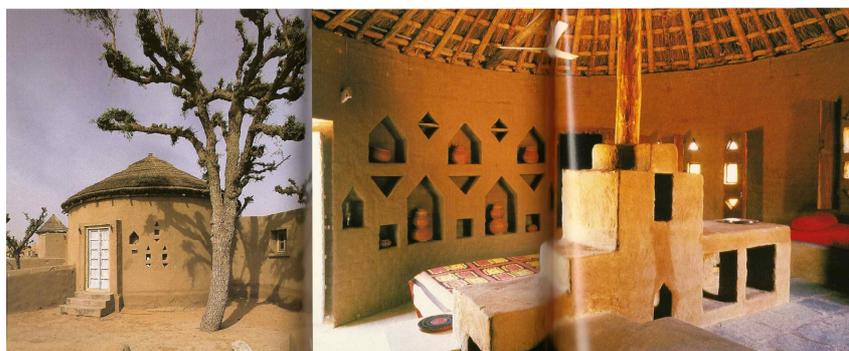


Figura 3: Edificação vernacular no deserto do Rajastão - Índia.

Fonte: YPMA, 2004. p.90 e 92.

Observando o ambiente construído em sua origem, pode-se afirmar que este tinha o propósito de ser sustentável, pois deveria ser o meio seguro do ser humano viver, de forma a harmonizar sua vivência com o ambiente natural. As construções, assim como as habitações de outros seres vivos, usavam os recursos naturais locais disponíveis, de maneira integrada ao meio e, quase sempre, instintiva e intuitivamente.

Para alguns, a arquitetura vernacular e instintiva é um exemplo de sustentabilidade, une os recursos locais e baixo consumo energético a estratégias de conforto e proteção aliadas a um baixo impacto no sistema local. É o caso das habitações indígenas, das construções de terra pré-islâmicas nos países árabes e dos iglús, dos esquimós.

Com o desenvolvimento das cidades, as construções passam a mostrar seus particulares conceitos ideológicos e políticos. Mesmo utilizando recursos locais, algumas edificações passam a alcançar maior imponência e os adornos aparecem como forma de retratar a sociedade. Na Roma antiga, o ser humano também passa a incorporar os fenômenos naturais de forma mais complexa a seu favor, o papel do sol e dos ventos passa a ser importante na escolha da implantação de cidades e edifícios.

No Renascimento (século XV), houve uma nova ruptura na relação da arquitetura com a natureza atingindo diversas esferas: nos meios de produção da arquitetura; na linguagem arquitetônica adotada e na sua teorização. Junto à idéia de abrigo, a arquitetura passa a ser o meio de retratar as aspirações da alma humana - o mundo perfeito. A natureza era vista como criação máxima de Deus, algo a ser copiado. Os novos avanços tecnológicos atingidos na época aparecem nas edificações, que passam a alcançar um maior refinamento estrutural e de acabamento.

Um segundo período da evolução dos sistemas construtivos relatado por Mascaró, Claro e Schneider (1978), aparece séculos depois com a invenção da máquina a vapor. Uma maior liberdade de criação é alcançada na arquitetura, que não se limita tanto pelos recursos locais, tem início a indústria da construção. A industrialização gera materiais que não são feitos na obra e sim fabricados e trazidos, por vezes em longas distâncias. As estruturas metálicas começam a cobrir grandes vãos com peças delgadas. A modulação e a pré-fabricação fazem as habitações e prédios públicos ficarem cada vez mais simples e uniformizados (MASCARÓ CLARO e SCHNEIDER, 1978).

Com a Revolução Industrial, a arquitetura passa a ser fruto de novas possibilidades estéticas e tecnológicas como solução para a grande explosão demográfica da época e do descobrimento de novos materiais. Houve grande desenvolvimento tecnológico com o carvão mineral, ferro, aço, petróleo, gás. (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997). Para Mascaró, Claro e Schneider (1978), um terceiro período na evolução dos sistemas construtivos surge com o descobrimento do petróleo como combustível dos motores de combustão, ocorrido em meados do século XIX. A partir das infinitas possibilidades conseguidas nessas revoluções, a natureza passa a ser vista apenas como fonte infinita de recursos a serem extraídos e como local de rejeição de resíduos (CAPRA, 2001).

As relações entre arquitetura e a natureza, o entorno natural e suas condições climáticas começam a ter menos importância frente à estética do aço e do vidro, fruto da produção e cultura de massa que começa a surgir no século XX. O poder de criar edifícios de qualquer tamanho ou forma e a

pré-fabricação da maior quantidade possível de elementos, gera a multiplicação de edifícios padronizados e menos adornados. O aço passa a ser material predominante em muitas edificações de diferentes locais e culturas no mundo e com a industrialização do vidro, surge a **arquitetura internacional**, igual em todo o planeta, independente de clima ou cultura particulares. Os grandes edifícios de escritório de fachadas envidraçadas e leves podem ser vistos no mundo todo, apesar de seus impactos ambientais e sobre o conforto de seus usuários serem pouco ou nada considerados.

No início do século XX, como um contraponto ao estilo internacional impessoal, surge um estilo arquitetônico voltado e inspirado pela natureza, a **arquitetura orgânica**. Foi primeiramente conceituada por Frank Lloyd Wright e defendida por outros arquitetos até a atualidade.

Pouco mais tarde, o descobrimento do cimento Portland, e sua substituição ao aço a partir da Segunda Guerra, abre caminho para novas soluções estéticas, mas não muito diferentes com relação à despreocupação com a natureza e o ser humano e mais voltadas para as soluções estéticas e tecnológicas que passam a evoluir.

Nas últimas décadas, com a busca pelo conforto nas grandes cidades (que precisam de solução espacial para sua densa população) e o encontro com os avanços do mundo moderno, os edifícios passam a alcançar maiores altitudes e, com eles, toda a espécie de artificialismos: elevadores, sistemas de aquecimento, resfriamento, iluminação (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997). A industrialização vem para cortar os laços da edificação com os recursos locais - há a crença que tudo é possível (CAPRA, 2001).

No início na década de 70, com o aparecimento da crise do petróleo e o primeiro vislumbre de que a natureza tem seu limite, surgem as primeiras inquietações com relação à fragilidade do ambiente natural. Com a pressão de movimentos sociais ecológicos cada vez mais fortes e organizados, surge a busca por um meio construído que esteja em harmonia com o ambiente natural e que traga maior conforto com menor consumo energético (CAPRA, 2001; LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

Em 1972, a **Conferência de Estocolmo**, na Suécia, com a participação de 113 países, foi o primeiro grande encontro com representantes de diversas nações, para a discussão dos problemas ambientais. Nela se consolidou e discutiu a relação entre desenvolvimento e meio ambiente. Pela primeira vez, o ambiente construído foi abordado e seu setor apresentado como um dos principais setores a necessitarem de mudanças, visto o grau de seu impacto ao ambiente natural. Em 1976, em Vancouver, a **Conferência Habitat I** aborda temas-chave para sanear as cidades e torná-las sustentáveis.

Desses movimentos, surgem a **permacultura** e a **bioconstrução**, numa busca em criar modos de vida menos impactantes e mais independentes de recursos e energia. Desenvolvida nos

anos 70 por dois australianos, David Holmgren e Bill Mollison, a permacultura foi resultado da criação e desenvolvimento de pequenos sistemas produtivos organicamente integrados (a casa, o entorno, as pessoas). Ela se caracteriza por projetos que fazem a utilização de métodos ecologicamente saudáveis e economicamente viáveis. A bioconstrução faz parte do sistema permacultural e trata do edifício como um sistema vivo que interage com os seus moradores e com o sistema natural onde está inserido; defende a releitura de técnicas vernaculares como a construção em terra, bambu ou palha (COLOMBO, SATTLER e ALMEIDA, 2006).

Como resposta à crise energética, na década de 70, também surge o conceito de **arquitetura solar** com o objetivo de conservar energia nos edifícios, pelo aproveitamento passivo da luz e calor do sol. A arquitetura solar se desenvolve no conceito de **arquitetura bioclimática**, na década de 80, com o objetivo de equilibrar o desempenho energético e o conforto térmico (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997).

A década de 90 passou por grandes mudanças nos sistemas de produção arquitetônica, marcada pela ênfase na alta qualidade e eficiência. Por um lado surgem os grandes edifícios inteligentes marcados por sistemas automatizados e ainda com grande consumo energético e por outro, uma arquitetura mais sustentável, que passa a ser mais bem conceituada e normatizada. A **arquitetura eco-eficiente** passa a englobar preocupações com qualidade da água, do ar, gestão de recursos e de resíduos e uso de fontes alternativas para geração de energia. Os selos ambientais para edifícios começam a ser criados, tendo maior destaque, em ordem cronológica: BREEAM – BEPAC – GBC – CASBEE – LEED – HQE ¹ (SILVA, 2003).

No ano de 1992 as questões ecológicas tiveram maior foco quando aconteceu, no Rio de Janeiro, a Eco92, com o objetivo de elaborar mecanismos com planos de ação para preservar os recursos naturais. A partir disso, surge a Agenda 21, documento utilizado por mais de 180 países com recomendações e estratégias para a conservação do planeta e estabelecer metas para a exploração sustentável do meio natural que não impeça o desenvolvimento humano na Terra.

A Agenda 21 teve repercussão na arquitetura de forma mais direta quando, em 1999, O CIB (Council for Research and Innovation in Building and Construction) publicou a **Agenda 21 para a construção civil** com o objetivo de criar uma terminologia e estrutura conceitual para a sustentabilidade na construção. No ano de 2002, o CIB adequou a Agenda 21 aos países em desenvolvimento, tratando tanto dos aspectos de proteção ambiental, quanto dos aspectos sócio-

¹ Na ordem em que se apresentam: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method, Building Environmental Performance Assessment Criteria, Green Building Challenge, Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency, Leadership in Energy and Environmental Design e High Environmental Quality.*

culturais. É a primeira vez que estes aspectos são integrados ao conceito de sustentabilidade na arquitetura.

Assim, a arquitetura passa, cada vez mais, a ter uma relação direta com a natureza (com o ser humano inserido em seu conceito), preocupando-se com seus ciclos próprios, espelhando-se em seus sistemas. Acredita-se que está se entrando num novo período da evolução dos sistemas construtivos, voltados para o uso de energia limpa (sol, ventos ou água). Começa a ser considerada a preocupação com as gerações futuras e a natureza, agora vista como algo finito, não é mais pensada de forma estática, mas fluida, a dimensão de tempo é inserida na medida em que se considera seus processos próprios.

Hoje, no mundo, a construção de edificações sustentáveis está crescendo na mesma proporção das preocupações ambientais e sociais. Na Inglaterra, todas as residências terão que ser sustentáveis até 2016. Na China, 450 milhões de casas com certificação do GBC deverão ser erguidas até 2012 (ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO, 2007).

O Brasil também está caminhando para isso, mas ainda há falta de políticas públicas que incentivem a construção de edificações sustentáveis. Em 2007, chega ao Brasil, o **Green Building Council** e é criado o **Conselho Brasileiro de Construção Sustentável**. Também em 2007, as certificações LEED são trazidas ao Brasil e é lançado o primeiro projeto de lei que incentiva a construção de edificações que utilizem técnicas para reduzir o impacto ambiental e economizem recursos naturais (projeto de lei 34/07). Em 2008, é implantado o **Aqua²**, o primeiro referencial técnico brasileiro para construções sustentáveis. Na cidade de São Paulo já se obriga o aquecimento da água por energia solar e o aproveitamento da água de chuva em edifícios institucionais.

Este novo paradigma da arquitetura mostra um rompimento no processo de projeto, que passa a abranger diferentes disciplinas do conhecimento humano. A sustentabilidade não é um estilo arquitetônico e sim um novo modo de vida. Pode-se dizer que se está diante de uma nova revolução, que ainda precisa da motivação dos cidadãos e maior conhecimento e especialização dos profissionais para acontecer.

2.3 DIRETRIZES ATUAIS PARA O ALCANCE DA SUSTENTABILIDADE NOS EDIFÍCIOS

A sustentabilidade nos edifícios e as diretrizes para que se alcance este objetivo ainda são campos que estão sendo estudados e, por vezes, não se encontra congruência. Trata-se de um novo paradigma, e como todo novo paradigma, ainda passa por transformações até conseguir resolver os

² Alta Qualidade Ambiental

problemas que a ele se apresentam. Baseando-se em diversos autores atuais, algumas diretrizes gerais mais consensuais, para se atingir sustentabilidade na arquitetura, foram traçadas:

1. Implantação sustentável: quesito muito abordado por Yeang (2006), que considera o local de implantação, dando prioridade a espaços contaminados ou em recuperação, evitando ou minimizando os impactos de implantação nos espaços que possuem um ecossistema mais complexo. Considera-se a topografia, priorizando-se a menor movimentação de terra, a manutenção da permeabilidade do solo, das linhas de drenagem e das nascentes de água;

2. Entorno sustentável: característica citada por Triana (2005) que considera o espaço no entorno da edificação e seu ecossistema, além dos acessos e transporte ao local com menor impacto, maior permeabilidade do solo, paisagismo ecológico e desenho urbano mais sustentável;

3. Qualidade ambiental de edifícios: é o quesito das construções sustentáveis diretamente ligado ao usuário e seu conforto dentro do edifício, utilizando menor consumo de energia. São as soluções bioclimáticas para a arquitetura: maior troca de ar, iluminação natural, conforto acústico, aquecimento e resfriamento passivos para adquirir conforto térmico e qualidade do ar (TRIANA, 2005; ROAF, 2004). Qualidade do ar interno é a manutenção saudável do ar interno das edificações, livre de poluentes e microorganismos insalubres;

4. Redução do consumo de recursos naturais:

- a) Uso racional e sustentado de água: redução do consumo e desperdício de água, reuso de água de chuva, reaproveitamento de águas cinza³, uso de controles de vazão nos equipamentos hidráulicos, entre outros (TRIANA, 2005);
- b) Uso eficiente de energia: uso de energia de fontes renováveis, aquecimento solar da água, uso de equipamentos eficientes, entre outros (LAMBERTS, DUTRA E PEREIRA, 1997);
- c) Aumento de durabilidade e planejamento da manutenção (JOHN, 2000; YEANG, 2006);
- d) Flexibilidade e adaptabilidade construtiva (TRIANA, 2005; YEANG, 2006; JOHN, 2000);
- e) Reciclagem e reuso (JOHN, 2000; YEANG, 2006);

5. Redução e tratamento de resíduos e efluentes pelo uso de sistemas naturais de tratamento e gerenciamento de construção para diminuição de desperdício e poluição no canteiro de obras (JOHN, 2000);

6. Seleção de materiais atóxicos e ambientalmente saudáveis (TRIANA, 2005; YEANG, 2006; ROAF, FUENTES e THOMAS, 2006);

³ São chamadas águas cinza, as provenientes de pias, tanques, chuveiros e máquinas de lavar roupa.

7. Sustentabilidade institucional: categoria em que entidades governamentais agem através de regulamentação de edifícios, controle do urbanismo e aumento da qualidade dos espaços públicos. Além disso, promove financiamentos para pesquisas tecnológicas (CIB - UNEP, 1999).

A regulamentação de edifícios e maior atenção à habitação de interesse popular têm um grande papel sustentável, na medida em que combatem o crescente número de construções informais, grandes responsáveis pela depleção de ecossistemas. Estas edificações geralmente estão localizadas em ecossistemas frágeis e específicos e não possuem tratamento adequado de resíduos.

8. Sustentabilidade social e econômica (KRONKA, 2003; SILVA, 2003; TRIANA, 2005): esta categoria é abrangida na Agenda Marrom da Agenda 21 para construções sustentáveis e é especialmente aplicável nos países em desenvolvimento. A construção de edifícios passa a considerar o bem-estar da sociedade em geral, com valorização da cultura e maior acesso à moradia e às condições básicas de vida.

Faz-se relevante citar, aqui, um importante documento desenvolvido em 2002 pelo CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*). Trata-se da Agenda 21 para a Construção Civil nos Países em Desenvolvimento, que foi debatido e sistematizado por John, Silva e Agopyan, 2001 (ANEXO A). Este documento aponta as principais estratégias que o setor da construção de edifícios deve tomar com base nos aspectos-chave colocados pela Agenda 21. Além de contemplar os aspectos ambientais, também abrange os aspectos sociais, econômicos e institucionais na forma de requisitos e possibilidades de ação para o setor da construção de edifícios.

2.4 A SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES COMO PREMISSA DO PROJETO SUSTENTÁVEL

O ambiente construído deve ser repensado, reconceituado, considerando que cada componente num projeto de um edifício representa certa quantidade de energia e materiais consumidos, uma quantidade de poluentes emitidos e uma parte dos ecossistemas degradados (YEANG, 2006. P.315. Tradução nossa).

Para John, Oliveira e Agopyan (2006.p.1), uma construção mais sustentável depende da “seleção correta de materiais e componentes, que pode ser definida como a seleção de produtos que, combinada a um correto detalhamento de projeto, resultam em impactos ambientais menores, benefício social e viabilidade econômica”.

É inevitável o peso que uma decisão arquitetônica possui sobre o meio natural. Cada traço no papel resultará num material ou componente construtivo que irá materializá-lo. A correta utilização do material (do ponto de vista sustentável), abrangendo detalhamento, correto uso e gerenciamento de

canteiro de obra, influirá de forma significativa na sustentabilidade final da edificação (CORCUERA, 1999).

De uma perspectiva ambiental, o arquiteto passa a ser eticamente responsável pela disposição dos materiais no sistema construído “da fonte e de volta à fonte” e pelo destino de longo prazo do sistema projetado. O arquiteto deve considerar a edificação como uma forma de administrar energia e materiais e, em consequência, administrar de maneira prudente os recursos naturais (YEANG, 2006).

Segundo Roaf, Fuentes e Thomas (2006), as edificações deverão se valer da melhor forma das tradições e materiais de cada região. Este novo regionalismo baseia-se nos materiais construtivos locais e responsabilidade climática, econômica e cultural, com soluções adequadas. Como exemplo disso, têm-se a figura 4 abaixo, construída com terra e troncos de madeira do próprio terreno, numa técnica chamada Cob Wood (ou cordwood). A inércia térmica das paredes e o baixo *Input* de materiais processados e industrializados foram as qualidades buscadas.



Figura 4: Casa construída com Cob Wood – autoconstrução dos Estados Unidos

Fonte: GREEN HOME BUILDING, 2007.

Yeang (2006) defende o alto desenvolvimento tecnológico gerando novos materiais e sistemas prediais que podem tanto diminuir impactos como também podem promover um aumento de bem-estar humano e incremento no ecossistema local. A exemplo disso tem-se seus arranha-céus (figura 5), que são harmonicamente inseridos no local, com integração de materiais orgânicos e inorgânicos, minimizando impactos negativos, mas fazendo uso de alta tecnologia.



Figura 5: Chongqintower. Proposta de arranha-céu sustentável do arquiteto Ken Yeang

Fonte: KEN, 2007.

Há também o conceito da pré-fabricação, com projeto ecológico modular com materiais de baixo impacto e, muitos deles reciclados ou reaproveitados. Um exemplo disso é o módulo de moradia *miniHome* (figura 6) criado pelo *Sustain Design Studio* no Canadá. A casa chega pronta no local; pode ser desmontada e transportada; e ainda tem projeto flexível podendo receber mais cômodos com o tempo. Possui telhado jardim, coleta de água de chuva, espaço para produção local de alimentos e sistema de tratamento de efluentes.



Figura 6: Casas sustentáveis compactas MiniHome, projetadas pelo escritório Sustain Design Studio

Fonte: SUSTAIN DESIGN STUDIO, 2008.

Com esta variedade de soluções, o que se pode verificar é que não há regras absolutas para a seleção de materiais e componentes e que esta pode se dar de forma variada e poderá definir a “cara” da arquitetura do futuro, já que os materiais são a parte visível do ambiente construído. Definir o que vem a ser a “correta” seleção será um desafio pela variedade de fatores que passam a ser considerados, a tamanha complexidade e a gama de conhecimentos necessários.

Pode-se dizer que a seleção de materiais e componentes é uma das fases, durante a concepção do edifício, que definem o nível de impacto sobre o ser humano e o meio natural. Esta constatação se reforça ao se afirmar que, quando se opta por um material ou componente mais sustentável, entre outros fatores, pode-se garantir:

1. As reservas de recursos, pelo uso racional de material ou uso de reciclados;
2. A saúde dos ocupantes, pelo uso de materiais atóxicos e de baixa emissividade;
3. O conforto térmico e acústico dos usuários, diminuindo o gasto de energia, pelo uso correto e bem detalhado de materiais adequados;
4. O menor custo da edificação, gerando maior acesso à moradia, pelo uso de material de baixo custo e local;
5. Limpeza no canteiro de obras com diminuição do desperdício pela racionalização da construção;
6. A diminuição do efeito estufa e microclima urbano, como no exemplo das coberturas verdes;
7. A menor manutenção do edifício (cujas atividades podem gerar maiores perdas de energia e materiais) pelo uso de materiais de ciclo de vida longo;
8. A quantidade e a qualidade da água potável do mundo, pelo uso de materiais que, em sua produção, há uso racional e/ou reaproveitamento de água.

O que se verifica a partir disso, é que a seleção de materiais e componentes vistos por uma perspectiva sustentável é uma ciência bastante abrangente e leva o arquiteto a ter considerações diversas e profundas. Cada decisão de projeto e cada pequeno componente do ambiente construído podem ter alguma contribuição, seja positiva ou negativa, para o ambiente natural.

Marques (2007) conclui que o arquiteto, ao conceber o projeto, deve considerar todo o ciclo de vida do edifício e seus componentes, de forma a fazer escolhas menos impactantes. Mas, segundo a autora, a falta de informação sobre o assunto impede a concepção de projetos mais conscientes ambientalmente. Fato também levantado por Triana (2005), que aponta a dificuldade em selecionar materiais para obras de menor impacto, pela falta de informação atual.

John, Silva e Agopyan (2001) apontam a avaliação ambiental de edifícios e de seus produtos (materiais e componentes) com base no seu ciclo de vida, como ferramenta fundamental para o alcance de ambientes mais sustentáveis. Para os autores, a seleção dos materiais deve ser feita priorizando a manutenção de um ar interior saudável na edificação, banindo produtos perigosos, como o amianto e o chumbo, e substituindo-os por alternativas mais saudáveis. Além disso, apontam que outras ações são igualmente importantes, tais como: melhorar a qualidade do ambiente construído,

reduzir desperdício no canteiro de obras, aumentar a durabilidade e diminuir a manutenção dos materiais e componentes e gerenciar os processos envolvidos.

Para Yeang (2006), uma série de fatores incide na escolha de materiais e componentes de forma mais sustentável: fontes de energia renováveis na produção ou manutenção e baixa energia embutida (inclusive no transporte); alto conteúdo reciclado, maximizando futura reutilização ou reciclagem; potencial do material para ser continuamente reutilizado ou reciclado no fim de sua vida útil; baixo impacto ecológico na produção (emissão, resíduo e poluição baixos); biodegradabilidade; produção local dos materiais ou uso de materiais que não são refinados e mais próximos de seu estado natural, já que assim é gasto menos energia para utilizá-lo; baixa toxicidade para humanos e ecossistemas; método de instalação e desinstalação facilitada; ciclo de vida longo para maior durabilidade e menor uso de recursos.

Nos próximos capítulos, todas estas questões serão mais bem abordadas.

3 IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS E HUMANAS DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS

A construção de edifícios passa por diversas etapas, desde a concepção do projeto e *design* dos componentes até a execução em si. Todas estas etapas possuem implicações humanas e ambientais. Para isso, é necessário avaliar como funciona e quais as conseqüências das diferentes etapas do ciclo de vida das edificações.

De acordo com John, Oliveira e Lima (2007), ciclo de vida é o conjunto de processos que passa um produto desde o seu nascimento (extração da matéria-prima) até sua disposição final.

Numa edificação, o ciclo de vida contempla as etapas de Planejamento, Implantação, Uso, Manutenção e Demolição. Segundo Kronka (2003) é na etapa de planejamento que os impactos das outras etapas podem ser previstos e remediados. No processo de planejamento pode-se fazer escolhas que diminuam os impactos ambientais na implantação dos edifícios, os custos econômicos ou energéticos do uso, as necessidades de manutenção, entre outras questões.

A produção do ambiente construído acaba abrangendo também o setor da indústria de materiais e componentes e seus impactos. As fontes e qualidade da matéria-prima, o consumo energético de sua manufatura, até questões relacionadas à obra em si passam a ser consideradas.

Yeang (2006) coloca que, para avaliar o impacto total da edificação é necessário verificar os impactos nas entradas (*Inputs*) e nas saídas (*Outputs*), esquematizados pelo quadro 2 abaixo. As entradas são os recursos, energia e água, necessários durante todo o ciclo de vida da edificação. As saídas são as emissões, resíduos, produtos e subprodutos. Ainda entram no processo os impactos do transporte e embalagem de mercadorias e os aspectos sócio-econômicos de todo o setor da construção.

Quadro 2 - Inputs e Outputs no sistema de produção e consumo de materiais e componentes

Inputs			OutPuts		
Matéria-prima	Água	Energia	Emissões	Resíduos	Produtos e subprodutos
Transporte/embalagem e aspectos sócio econômicos					

Fonte: baseado em Yeang, 2006.

Partindo do quadro, foram listadas as principais implicações que a construção de edifícios pode ter sobre o meio natural e o ser humano, a seguir:

3.1 CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS (ÁGUA E MATÉRIA-PRIMA)

A construção de edifícios utiliza uma quantidade excessiva de recursos (quase 50% do total consumido segundo John, 2000), sendo a maior parte deles não renováveis. O uso indiscriminado desses recursos causa cada vez mais escassez na natureza e desequilíbrio dos ecossistemas. Segundo John, Oliveira e Agopyan (2006), a indústria da construção é a atividade humana de maior impacto sobre o meio ambiente, é pesada, poluidora e degradante.

Segundo Martine (1996), a má administração dos recursos naturais sejam eles renováveis ou não renováveis pode provocar desertificação, erosão, enchentes, esgotamento de recursos naturais, perda de biodiversidade (ligada à monocultura ou esgotamento de um recurso) e desmatamentos, tendo implicações sobre a qualidade do ar e da água.

Algumas indústrias são exemplificadas por Martine (1996) como grandes depletoras de recursos: da madeira, minerais não-metálicos e a metalúrgica. Todas essas indústrias fazem parte da produção de materiais e componentes do ambiente construído e são apontadas pelo autor como "sujas". Geram tanto impactos ambientais causados pela própria indústria como impactos gerados pelos seus fornecedores.

A água é um dos recursos naturais fundamentais para as diferentes atividades humanas e para a vida. Estima-se que, atualmente, no mundo, 1,7 milhão de pessoas sofre com a escassez de água (Tocchetto e Pereira, 2008), que também pode estar associada a fatores qualitativos, ocasionados, por exemplo, pela disposição inadequada de resíduos sólidos. O aumento da demanda nas grandes cidades junto à perda de sua qualidade são os maiores problemas, assim como as enchentes ocasionadas pelo aumento das áreas impermeáveis das grandes concentrações urbanas. As preocupações com a água devem se estender durante todo o ciclo de vida da construção, desde a manufatura do componente até o uso da edificação e sua demolição (KRONKA, 2003).

3.2 CONSUMO DE ENERGIA

A crise ambiental atual e as preocupações conseqüentes com o ambiente construído geraram-se na crise energética. O consumo de energia pelas edificações no Brasil é de 45,2% do total consumido no país, sendo que disto, 22,3% são para o setor residencial (BEN, 2007).

O maior problema com relação ao consumo de energia está no fato desta ser gerada a partir de fontes não renováveis como o carvão mineral, gás natural e os combustíveis derivados do petróleo, cuja queima produz CO₂, principal causador do efeito estufa. Assim sendo, o consumo de energia atualmente é ligado diretamente à depleção de recursos naturais e poluição atmosférica.

Apesar disto não se aplica quando se fala de energia limpa (que é aquela provinda de fontes naturais, abundantes, renováveis e não poluidoras como a solar, eólica, a biomassa e o uso das marés), qualquer sistema de geração de energia implica num grande *input* de matéria-prima, recursos e degradação de uma parte do globo. Portanto, diminuir seu consumo é, antes de tudo, fundamental.

O fenômeno das ilhas de calor nas grandes cidades também é um problema energético, já que se dobra a demanda de energia para condicionamento do ar no verão, causando picos enormes de uso de energia neste período. As ilhas de calor têm, em parte, fonte no ambiente construído, pelo uso de cores de tons escuros, obstrução das áreas verdes, maior absorção térmica de certos materiais construtivos, além da emissão de substâncias que impedem a saída das radiações infravermelhas.

Os artificialismos nos edifícios, seja para aquecer a água, ou resfriar o ambiente interno, são os maiores causadores do consumo excessivo de energia durante a ocupação. A utilização de materiais com baixo isolamento térmico e projetos inadequados do ponto de vista bioclimático, causam uma maior demanda de condicionamento artificial de temperatura (LAMBERTS, DUTRA e PEREIRA, 1997).

John (2000) lembra que o consumo de energia durante a produção ou reciclagem de um material ou componente deve ser igualmente contabilizado durante a obra.

3.3 EMISSÕES

Das preocupações ambientais atuais referentes às emissões estão entre as principais: a poluição do ar com conseqüente perda de qualidade de vida para os seres humanos, a destruição da camada de ozônio e o aquecimento global.

O ambiente construído é grande gerador de emissões de poluentes em todo seu ciclo de vida. Dentre muitas outras, as principais emissões são: radiações (EPA, 2006), material particulado (JOHN, 2000), compostos orgânicos voláteis (VOC), os clorofluorcarbono (CFCs e HCFCs), gases do efeito estufa e os óxidos de Nitrogênio e Enxofre.

3.3.1 Gases de efeito estufa

Os gases do efeito estufa são um dos principais riscos ambientais que a Terra enfrenta e estão diretamente ligados ao aumento da produção industrial e o conseqüente consumo energético. Os possíveis efeitos do aquecimento global, causado pelos gases de efeito estufa são o aumento da temperatura média da Terra causando derretimento das geleiras e aumento do nível dos oceanos. Entre os gases causadores do efeito estufa, os principais são: dióxido de carbono, metano e clorofluorcarbono.

Dióxido de Carbono (CO₂): Nos últimos 40 anos, a concentração de CO₂ na atmosfera duplicou de volume (BEN, 2007). A preocupação existe e é uma das principais metas da ONU. No ambiente construído, a geração deste gás é muito presente na produção de cimento e industrialização de componentes. Yeang (2006) relata que, no Reino Unido, a construção, uso e manutenção das casas e edifícios residenciais são responsáveis por 28% das emissões de CO₂ no país;

CFC e HCFC: são os principais gases destruidores da camada de ozônio (proteção natural do planeta contra os raios solares ultravioleta). Podem estar presentes nos produtos com aerossóis e nos sistemas de refrigeração (refrigeradores e ar condicionado). No Brasil, seu uso já é proibido.

3.3.2 Compostos Orgânicos Voláteis (VOC)

Os compostos orgânicos voláteis são uma ampla gama de substâncias capazes de se desprender dos materiais e constituem uma séria fonte de poluição atmosférica. Segundo Uemoto e Agopyan (2006) os VOC em combinação com óxidos de nitrogênio e com radiações solares (UV e IV) geram o ozônio troposférico, integrante da névoa fotoquímica urbana, extremamente prejudicial à saúde e à biosfera. Sua fonte está nos solventes de tintas, vernizes, colas entre outros produtos da construção de edifícios (ver quadro 03). A emissão ocorre tanto na aplicação de um produto (tintas, vernizes) como em todo o período de ocupação de um edifício, diminuindo, de forma significativa, a qualidade do ar interior.

A qualidade e quantidade dos VOC são indicadores utilizados atualmente para medir a qualidade do ar no interior das edificações, pelo tamanho de sua influência. Porém, hoje existe ainda uma lacuna de dados sobre as taxas de emissões dos materiais, o que torna difícil o seu controle no ambiente interno (John, Oliveira e Lima, 2007).

Os VOC afetam de forma muito negativa a vida das pessoas nas grandes cidades, principalmente das que trabalham em ambientes corporativos fechados e com pouca troca de ar. Seus efeitos sobre a saúde humana podem ser sérios, de ordem respiratória, neurológica e hepática. Seus sintomas iniciais de contaminação são parecidos com um resfriado e, por isso, são pouco detectados (CRINION, 2000; UEMOTO e AGOPYAN, 2006).

3.3.3 Radiações ionizantes e o radônio

As radiações ionizantes são aquelas que têm a capacidade de desencadear alterações no corpo humano podendo causar até câncer (EPA, 2006). No ambiente construído ela geralmente é provinda do gás Radônio, que pode ser encontrado nas rochas no subsolo, água que passa por estas rochas e os materiais de construção que contêm átomos de núcleo pesado (EPA, 2006). Os materiais de construção com matéria-prima proveniente de rochas ígneas como boa parte do cimento, alguns

granitos e pedras podem ser emissores de radiações ionizantes. A contaminação por radiação ionizante só acontece em ambientes muito pouco ou nada ventilados.

3.3.4 Poluentes do ar interno

A falta de qualidade de vida dentro dos edifícios deu origem à Síndrome do Edifício Enfermo. Hoje, no Brasil, 30% dos edifícios apresentam a síndrome, expondo os seus moradores a respirarem um ar viciado, cheio de componentes químicos insalubres e mofo (ANAB, 2007).

Segundo dados do Ministério do Trabalho e Assuntos Sociais da Espanha, a Síndrome do Edifício Enfermo (SEE) foi reconhecida pela Organização Mundial de Saúde desde 1982 e corresponde a um conjunto de sinais e sintomas originados pelos ambientes corporativos. A má ventilação, existência de cargas iônicas e eletromagnéticas, partículas em suspensão, alteração de temperatura, gases e vapores de origem química e outros agentes estão entre os causadores da SEE identificados (ESPANHA, 2006).

Segundo Yeang (2006) os maiores poluentes do ambiente construído são: material particulado, monóxido de carbono, amianto e VOC tais como Benzeno e Formaldeído. No ANEXO B, encontra-se uma listagem desses poluentes, sua fonte de emanção e seus efeitos para o ser humano.

3.3.5 Óxidos de Nitrogênio e Enxofre

Estes componentes químicos são responsáveis pela chuva ácida e conseqüente acidificação das águas e do solo, o que gera desequilíbrio dos ecossistemas. A acidez da chuva é causada pela solubilização destes gases presentes na atmosfera terrestre, provenientes das impurezas da queima dos combustíveis fósseis. Além de prejudicar o ambiente natural, pelo desequilíbrio que causa, a acidificação pode causar a depleção do ambiente construído, corroendo monumentos e componentes arquitetônicos, fato comum nas grandes metrópoles.

3.4 RESÍDUOS

Segundo John (2000), o setor da construção de edifícios gera resíduos na produção dos materiais e componentes, na atividade dos canteiros, durante a manutenção, modernização e na demolição. Hoje, entre os materiais de construção, estão muitas substâncias tóxicas, poluentes e não-biodegradáveis, esses resíduos geram um grande problema para as cidades.

Os resíduos da construção são em proporções superiores que a maioria das outras atividades econômicas, são responsáveis por gerar 67% da massa total de resíduos sólidos urbanos (JOHN, 2000). Enquanto que em países desenvolvidos a construção de novas edificações a média de resíduos é de 100Kg/m² construído, no Brasil esta média chega a 300Kg/m² (MONTEIRO, *et al*, 2001).

A geração de entulho nas construções está diretamente ligada à mão-de-obra não qualificada, falta de gestão no canteiro e uso de materiais de construção não conformes às normas técnicas. No Brasil, estes fatos infelizmente são bastante comuns.

O gráfico a seguir (figura 7) mostra quais são os componentes do entulho brasileiro. John (2000) relata que os resíduos de argamassa, concreto e blocos cerâmicos podem ser reutilizados como agregados para o concreto. Isso mostra que a maior parte do entulho do Brasil (próximo de 90%) poderia ser reutilizada, diminuindo consideravelmente o volume de lixo gerado.

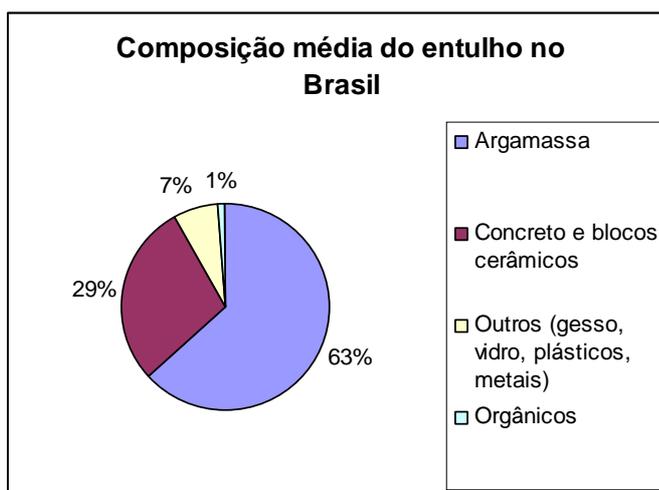


Figura 7: Composição média do entulho no Brasil.
Fonte: baseada em Monteiro, et al (2001) p. 130.

Valle (1996) alerta quanto aos perigos dos resíduos, mesmo em menor quantidade. A periculosidade pode se dar devido a sua corrosividade, reatividade, explosividade, toxicidade, inflamabilidade, patogenicidade e radioatividade. Na construção de edifícios os poluentes químicos mais nocivos são:

Metais pesados: quando em concentração elevada representam risco à natureza e ao ser humano. Estão presentes principalmente no cimento, tintas e vernizes. Ex: mercúrio, cádmio, chumbo, cromo, etc;

Hidrocarbonetos aromáticos: são compostos orgânicos, portanto geram VOC e estão presentes na maioria nas tintas, vernizes e colas: benzeno, tolueno, xileno etc;

Compostos organo-halogenados: são aqueles compostos de cloro, bromo e flúor e estão presentes em preservantes da madeira, retardantes do fogo e solventes orgânicos;

Dioxinas e furanos: são produtos não-intencionais provindos do Cloro e considerados poluentes de grande prioridade, segundo o EPA (2006). A dioxina está entre os produtos mais tóxicos produzidos pelo homem e está presente na produção do PVC, assim como na sua combustão ou aquecimento no caso de incêndio. As dioxinas e furanos também estão presentes em alguns preservantes da madeira, tais como o Pentaclorofenol e o Creosoto.

Os hidrocarbonetos, dioxinas e furanos estão muito presentes no ambiente construído nos preservantes da madeira, tintas, vernizes, resinas e plásticos (como o PVC), e são classificados entre os Poluentes Orgânicos Persistentes (POP). Os POP são substâncias que se mantêm intactas no ambiente por longos períodos e podem se dispersar por longas distâncias, pois viajam com os seres vivos ao se acumularem no tecido adiposo de um animal. Além de trazerem graves conseqüências para o meio natural, seus efeitos sobre a saúde do homem são graves: são cancerígenos comprovados, disruptores do sistema endócrino e supressores do sistema imunológico (OLIVEIRA, 2005). Por estas características nefastas, seu uso vem sendo regulado desde a Convenção de Estocolmo e foi ratificada no Brasil em 2004 pelo Decreto Legislativo 204 (CONAMA n.357, 2005).

Apesar disso, o uso destas substâncias ainda é muito presente. No quadro a seguir estão os VOC e os POP mais comumente encontrados no ambiente construído e que representam riscos à saúde humana e à natureza:

Quadro 3 - VOC e POP encontrados no ambiente construído

VOC	POP
Solventes clorados Clorofórmio 1,1,1-tricloroetano Tetraclorid Carbono Tetracloroetileno Tricloroetileno Compostos aromáticos Benzeno Etilbenzeno Tolueno Xileno Isômeros m,p - diclorobenzeno Outros: Estireno Metil etil cetona Butano Etanol Formaldeído	Aldrin DDT Endrin Hexaclorobenzeno (HBC) Mirex Toxafeno Clordano Dieldrin Bifenilas Policloradas Furanos Dioxinas Heptacloro PAH

Fonte: Baseado em Uemoto (2006), Oliveira (2005) e Crinnion (2000).

A diminuição das perdas na construção e o aumento da vida útil dos edifícios podem diminuir a geração de resíduos. Porém, para Yeang (2006), é tão ou mais importante também erradicar materiais cujos resíduos possam ser poluentes e trabalhar com inovações tecnológicas mais biocompatíveis.

Outra forma de reduzir o impacto dos resíduos é seu reuso ou reciclagem. John (2000) coloca que o uso de inventário de resíduos são fontes de informações na hora de se escolher por reciclar um material para a construção ou a obtenção de dados de fontes indiretas por pesquisa junto a órgãos

públicos ou empresas da região. Antes de se aproveitar resíduos (sejam industriais, domésticos ou provenientes da própria construção) deve-se investigar alguns pontos como seu risco de contaminação ambiental e seu custo, trabalho, maquinário e energia necessários para o retorno como material construtivo.

3.5 TRANSPORTE

Todas as atividades de construção envolvem a utilização, redistribuição e concentração de alguns componentes de recursos materiais e energéticos da Terra de lugares normalmente distantes para lugares específicos acarretando na mudança da ecologia dessa parte da biosfera (YEANG, 2006).

A questão da logística está diretamente relacionada com a sustentabilidade porque no transporte de mercadoria é queimada uma grande quantidade de combustíveis fósseis com conseqüente geração de dióxido de carbono e óxidos de hidrogênio (causador da chuva ácida). De acordo com o BEN (2007), o setor econômico dos transportes é o maior consumidor de energia, seguido pelo setor metalúrgico.

O percurso traçado por cada material da construção deve ser gerenciado e monitorado, não apenas por questões econômicas, mas em termos ecológicos por toda sua vida útil. O transporte de mercadorias não só está emitindo CO₂, como também contribui pelo aumento no tráfego nas rodovias e o desgaste destas. O quadro abaixo mostra a quantidade de impactos que o transporte de mercadorias pode gerar:

Quadro 4 – Impactos ambientais e humanos causados pelo transporte

Impacto da poluição	Impacto no ser humano	Impacto nos ecossistemas
Emissão de gases de efeito estufa (CO ₂ , NO ₂).	Efeitos negativos na saúde e fertilidade humanas do excesso de CO ₂ na atmosfera.	Aumento do uso de recursos energéticos não-renováveis.
Contribuição para a chuva ácida (geração de SO ₂ , NO ₂).	Efeitos negativos dos poluentes sobre o desenvolvimento mental em crianças.	Uso excessivo de produtos metalúrgicos ou outros materiais não-renováveis na manufatura de meios de transporte.
	Efeitos negativos sobre a saúde e bem-estar humanos dos outros gases: VOC, Ozônio troposférico, SO ₂ .	Uso de recursos terrestres na ocupação de vias, rodovias e estacionamentos.

Fonte: Yeang, 2006. p. 173.

O uso de materiais do próprio terreno ou de fontes não muito distantes do local da obra pode ser uma maneira de diminuir os efeitos do transporte de mercadorias, além de incentivar a valorização da produção local. Ainda não há consenso entre os estudiosos com relação à quantificação desta

distância. Para Yeang (2006), esta distância seria um raio de 800 Km se for feita por caminhão⁴. Roef, Fuentes e Thomas (2006) defendem o máximo de 200 Km. Há também referências de raios maiores, de até 1.600 Km (TRIANA, 2005). Este é um ponto que merece um aprofundamento de pesquisa.

3.6 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Para John, Oliveira e Agopyan (2006), a inclusão de aspectos sócio-econômicos na avaliação de materiais de construção é obrigatória visto que as edificações são, muitas vezes, os bens de consumo mais caros comercializados pelo homem. Ao mesmo tempo é o bem mais primordial de todos.

As implicações sociais desta produção abrangem aspectos relativos à geração de empregos, impostos e o acesso à moradia, além das culturas e tradições da arte de construir. Além disso, muitos materiais mais acessíveis economicamente podem ter um índice muito alto de não-conformidade às normas técnicas, o que gera moradias de menor qualidade para a população de mais baixa renda. Os problemas relacionados ao déficit habitacional no Brasil, não se restringem à falta de moradia, mas também inadequação dessa moradia, com aglomeração de pessoas e ausência de infra-estrutura básica (BRASIL, 2007).

As implicações econômicas do setor da construção são muito importantes para o país, atualmente a indústria da construção movimenta quase 14% do PIB brasileiro (Produto Interno Bruto) (JOHN, OLIVEIRA e AGOPYAN, 2006).

O paradigma da sustentabilidade entra em choque com a questão econômica do desenvolvimento. Como fazer para que haja aumento de desenvolvimento, com aumento de consumo, geração de riqueza, aumento da produtividade e, ao mesmo tempo, garantir as reservas de recursos? Para Montibeller Filho (2001), esses são pontos cruciais e um grande desafio para que se atinja desenvolvimento sustentável com crescimento econômico.

O que se tem feito atualmente por parte das grandes empresas é a inserção de princípios de responsabilidade social como: respeito aos direitos humanos dos trabalhadores, promoção de políticas que melhorem a sua saúde, segurança e condições de trabalho, além de dar apoio a grupos sociais específicos e servir como alavanca econômica ou social para um local ou região.

Importante mencionar, também, a questão da transferência tecnológica, muito debatida atualmente e muitas vezes considerada como requisito de sustentabilidade social para materiais ou edificações. O que ocorre nos grupos sociais é a apropriação de técnicas, que se consagram pela cultura popular. Para John (2000), as novas técnicas deverão ser acessíveis, efetivas e passíveis de

⁴ Depende do meio de transporte, pois cada um tem um grau de poluição diferente.

serem reproduzidas. A capacidade de transferência de um sistema construído é um ponto crucial para se alcançar alguma mudança dos paradigmas atuais.

Pode-se dizer que, numa vista geral, a sustentabilidade ambiental está muito interligada com a social, já que prezam pelo bem-estar da população futura com garantia de recursos naturais e maior qualidade de vida.

3.7 AS IMPLICAÇÕES SOB O PONTO DE VISTA ECOLÓGICO

Percebe-se, a partir deste levantamento, que as implicações da construção de edifícios são diversas e que cada etapa do processo tem seu grau de impacto que, hoje, é muitas vezes desconsiderado. O paradigma atual ainda não considera os fatores ambientais em sua totalidade e as preocupações ainda se focam exclusivamente no lucro imediato.

Os fluxogramas a seguir mostram a diferença entre os sistemas atuais de produção e consumo do ambiente construído e um sistema ideal. Na figura 8, está representada a situação atual, que é bastante linear e dispersiva em material, emissões, lixo e energia. O propósito de um processo mais sustentável é o alcance da situação demonstrada na figura 9, onde o processo é mais cíclico, com maior recuperação de energia e materiais, diminuindo as entradas e tratando e controlando as saídas de líquidos, sólidos e emissões gasosas.

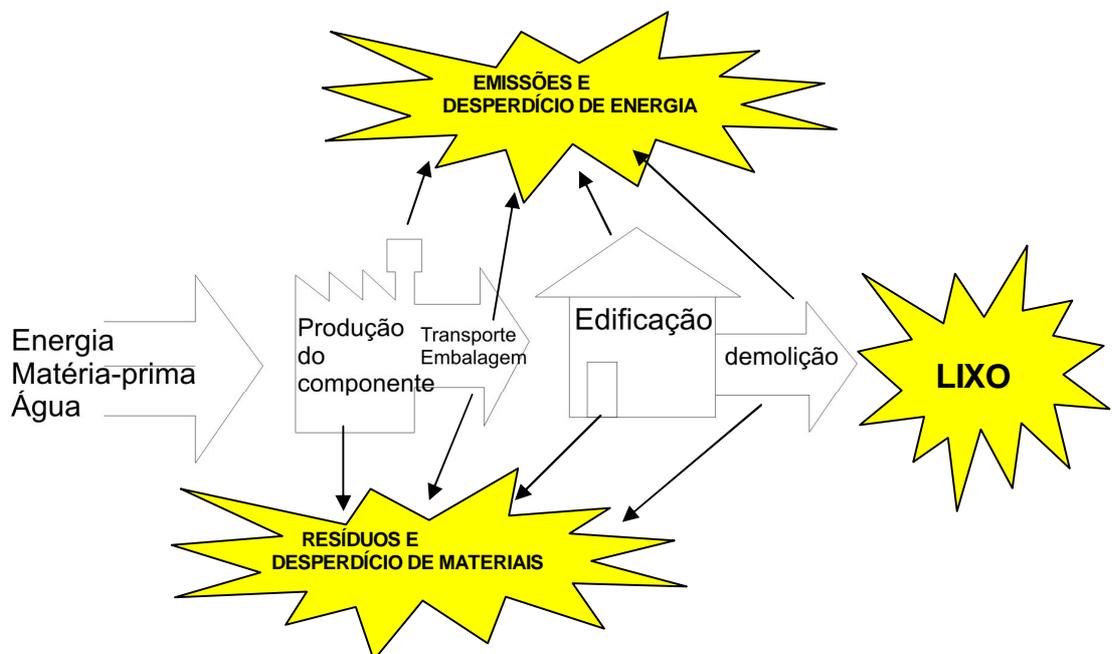


Figura 8: Fluxograma sistemas atuais degenerativos de materiais e componentes para edificações
Fonte: adaptado de John, 2000. p. 6.

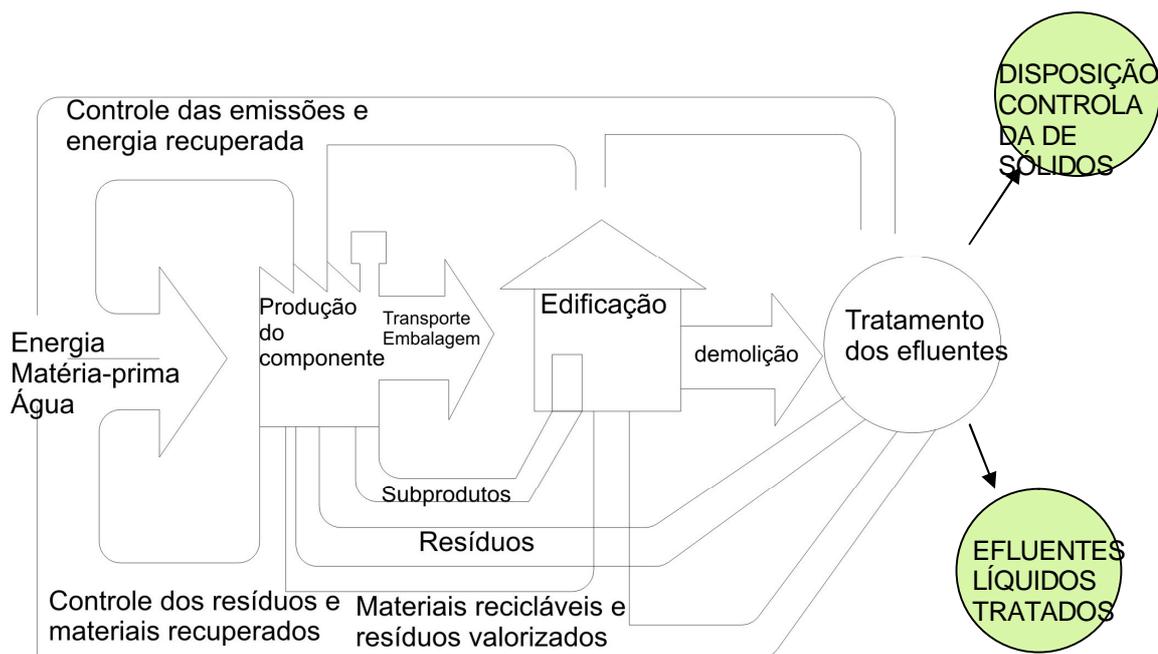


Figura 9: Fluxograma da otimização dos sistemas de materiais e componentes para edificações
Fonte: adaptado de Valle, 1995. p.20.

A partir destes fluxogramas, pode-se perceber que muito há de ser considerado para mudanças nos processo de produção e consumo do ambiente construído. Para Yeang (2006), deve-se ter em mente que a geração de *Outputs* está diretamente ligada com a quantidade e qualidade dos *Inputs*. Considerando que, segundo o autor, os *Outputs* são geralmente 25 a 50% do peso dos *Inputs*, a diminuição do uso e o controle da qualidade de recursos, água e energia, geram menos resíduos e poluentes perigosos. Porém, será possível que nunca se chegue ao ideal já que certas quantidades de energia e materiais sempre se perdem durante o processo (cerca de 10% no mínimo) (YEANG, 2006).

Nos fluxogramas apresentados, ainda é necessário inserir as implicações sociais e econômicas do processo que aparecem durante todo o ciclo de vida do ambiente construído. Baseando-se em John, Oliveira e Agopyan (2006), pode-se relacionar todas as implicações da construção de edifícios com o seu ciclo de vida, apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 1 – Implicações ambientais, econômicas e sociais do ambiente construído x ciclo de vida das edificações

	Implicações ambientais, econômicas e sociais
Extração de recursos	Quantidade e qualidade de matéria extraída, depleção de recursos com conseqüências sociais, custos da extração, alteração do ecossistema no local de extração
Manufatura	Consumo de combustíveis fósseis, emissões decorrentes da indústria e do transporte, custos energéticos e dos materiais, custos da mão-de-obra, custos e consumo de materiais e energia das embalagens
Construção	Quantidades e qualidade dos materiais, geração de resíduos, consumo de

	água e energia, emissões do canteiro de obras, segurança dos trabalhadores e custos de mão-de-obra
Uso (operação)	Consumo de energia e água, conforto do ambiente interno (térmico, acústico, do ar), custos de produtos, custos de mão-de-obra, lixiviação e emissões aéreas dos materiais
Uso (manutenção)	Facilidade e periodicidade de manutenção, produtos, água e energia necessários, emissões tóxicas dos produtos, custos do material reposto, custos de mão-de-obra
Uso (reposição)	Durabilidade de componentes, consumo de materiais e seus impactos correlatos (depleção e geração de resíduos), custos e tempo de reposição, emissões e resíduos da atividade
Fim do ciclo de vida (demolição)	Emissões durante a demolição, resíduos gerados, % de materiais para reciclagem, transporte de resíduos, custos de demolição
Fim do ciclo de vida (reciclagem)	Potencial de reciclagem do material (% reciclável ou reusável), impactos do processo de reciclagem, custos de transporte, custo da reciclagem, consumo de combustíveis fósseis e água, emissões decorrentes do transporte, lixiviação e emissões aéreas do produto reciclado

Fonte: baseada em John, Oliveira e Agopyan, 2006.

Para Yeang (2006), esta ainda é uma visão bastante simplificada, pois seria necessária uma abordagem bastante complexa de todas as interações. O que se tem colocado, hoje, é a necessidade de usar conceitos da ecologia para abordar tal complexidade. Em suma, a visão ecológica da construção de edifícios se dá a partir de uma abordagem sistêmica de todas as inter-relações entre os ecossistemas e o ambiente construído; é necessário pensá-los considerando fluxos de matéria e energia, além de considerar as questões sócio-econômicas envolvidas.

Esta abordagem é extremamente complexa e difícil de ser feita. Abordar ambiente construído sob o ponto de vista ecológico é trabalhar com novos termos e pensamentos. Um deles é o conceito de entropia, que foi emprestado das Leis da Termodinâmica. Entropia é energia dissipada ou, como vem sendo utilizada hoje, matéria e energia degradadas. Num sistema de alta entropia, como é a sociedade humana atual, há grande dissipação energética e de matéria que não pode ser reintroduzida ao sistema, torna-o altamente degradante. O foco seria atingir um sistema econômico, social, arquitetônico, que trabalhe em baixa entropia, ou seja, baixa degradação de matéria e energia, espelhada nos sistemas ecológicos, em que nada se perde, tudo se transforma (CAPRA, 2001; YEANG, 2006; MANZINI e VEZZOLI, 2002).

4 MATERIAIS E COMPONENTES DO AMBIENTE CONSTRUÍDO E SUSTENTABILIDADE

Esta pesquisa trata, especificamente, dos materiais e componentes de construção e sua relação com a sustentabilidade do edifício. As suas definições são (ABNT, 2007. p.5):

Material: produto natural ou transformado que não tem função nem uso pré-determinado na construção (aglomerante, cimento, madeira serrada...).

Componente: produto que integra determinado elemento ou subsistema da edificação, com forma definida e destinado a cumprir funções específicas (porta, telha, componente de alvenaria).

Um levantamento feito em 1991, pelo Censo, mostrou os materiais e componentes mais utilizados pelos brasileiros (tabela 2). Nota-se um predomínio no Brasil das edificações habitacionais em alvenaria⁵ (80%) e em madeira (14%). No sul do Brasil muitas das construções existentes ainda são em madeira.

Tabela 2 - Materiais utilizados na construção de residências no Brasil e na região sul.

Domicílios Particulares Permanentes – CENSO 1991		
Cobertura	Brasil (em unidades)	Região Sul (em unidades)
Laje de concreto	7.315.294	561.768
Telha de Barro	18.780.401	2.974.247
Telha de cimento-amianto	6.735.892	1.819.903
Zinco	535.789	245.900
Madeira aparelhada	293.711	49.144
Palha	947.302	13.828
Material reaproveitado	48.491	9.496
Outro	86.565	19.302
Paredes	Brasil	Região Sul
Alvenaria	27.611.875	2.828.241
Madeira aparelhada	4.928.992	2.817.322
Taipa não revestida	1.779.816	11.258
Material reaproveitado	157.771	26.228
Palha	150.592	963
Outro	114.399	9.676

Fonte: SIDRA, 2007

É preciso que se questione qual o futuro destes tipos de construção com relação à escassez desses materiais e componentes, seu impacto sobre o meio natural e suas consequências econômico-sociais. O Brasil é um país grande e construir com um predomínio tão grande de um sistema construtivo parece incabível considerando as diferentes culturas, climas e disposição de recursos que

⁵ Bloco cerâmico com argamassa e reboco de areia, cal e cimento.

cada lugar possui. A seguir está uma breve caracterização de alguns dos mais comuns materiais de construção.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS PRINCIPAIS MATERIAIS UTILIZADOS NA CONSTRUÇÃO SOB A ÓTICA DA SUSTENTABILIDADE

Alguns dos principais materiais de construção atuais são, aqui, classificados e seus impactos positivos ou negativos sobre a natureza e o ser humano são apontados. A classificação utilizada é: 1.madeiras; 2.cimento e agregados do concreto; 3.terra: cerâmica e solo estabilizado; 4.metais; 5.plásticos; 6.tintas, vernizes, lacas e esmaltes; 7.vidro; e 8.outros.

Os materiais foram estudados para se ter mais informações sobre alguns aspectos de seu ciclo de vida. Foram coletados dados sobre sua proveniência (qual o tipo e qualidade de sua matéria-prima, se há componentes tóxicos ou não, se são naturais ou industrializados); suas possibilidades de uso nas edificações (dados sobre sua vida útil, manutenção, características físicas e mecânicas, técnicas construtivas); e sobre o fim de seu ciclo de vida (se há perigos nos seus resíduos ou na combustão, grau de biodegradabilidade e reciclagem).

As informações coletadas ainda são superficiais, mas já unem dados pouco divulgados. Percebeu-se também, a importância em definir e verificar até mesmo as informações mais básicas dos materiais, pois nestas estão muitas questões que podem ser avaliadas do ponto de vista da sustentabilidade.

4.1.1 Madeiras

A Madeira tem se mostrado uma boa opção como material sustentável, considerando que possui baixa toxicidade, baixa energia embutida e capacidade de renovação. Marques (2007) ainda aponta sua capacidade de retenção de CO₂, que foi capturado durante o crescimento da árvore e fica retido na edificação durante sua vida útil. Apesar destas qualidades, o uso da madeira como alternativa sustentável deve ser algo muito bem explorado e estudado, pois existem alguns fatos, por vezes não considerados, que podem comprometer a sustentabilidade do material.

Com relação às propriedades físicas da madeira, algumas características, baseadas em valores médios, podem ser citadas: a madeira é um material com má condutibilidade térmica; quando seca é excelente material isolante elétrico; possui mau isolamento acústico; e, apesar de ser um material combustível, sob a ação do fogo pode conservar, por certo tempo, sua resistência mecânica (BAUER, 1994).

A matéria-prima da madeira tem duas fontes: florestas plantadas (caso do Pínus e Eucalipto) ou florestas nativas (espécies variadas e locais). Erroneamente muito se diz em “madeira de reflorestamento” quando, na verdade, a floresta foi plantada. Existem casos de plantações ilegais de madeira em áreas da Amazônia que foram desmatadas somente para este fim, causando desastroso impacto ambiental. O reflorestamento é o caso de plantações em áreas que sofreram desmatamento anterior e que estão em recuperação.

As madeiras podem ser utilizadas de diversas formas na construção de edifícios: fôrmas para concreto, andaimes, escoras, estrutura de cobertura, pilares e vigas, vedação vertical, esquadrias, forros e pisos. Segundo Ferreira (2003), as formas mais comuns de se encontrar a madeira nos edifícios são:

Madeira roliça: é a que possui menor grau de processamento e menor resíduo. Pode ser utilizada para estrutura e fechamento de paredes. A espécie mais comum é o eucalipto de floresta plantada.

Madeira serrada ou beneficiada: são as vigas, pilares, tábuas, caibros, forros, pisos que vêm à obra em seções quadradas ou retangulares. Possuem um grau maior de processamento, com conseqüente aumento da energia embutida e resíduos.

Madeira laminada colada: é formada por tábuas de madeira unidas longitudinalmente e depois coladas umas sobre as outras. O uso do laminado colado é indicado como elemento estrutural, e sua maior vantagem está na estrutura de cobertura de grandes vãos. É apontada como alternativa ecológica contra o uso de madeiras mais nobres em vigas de grandes dimensões. Mas a cola utilizada ainda é com base no formaldeído, um grande comprometedor da qualidade do ar no interior da edificação, e seu uso deve ser cauteloso.

Painéis: surgiram a partir de maior desenvolvimento tecnológico com intuito de se obter um uso mais eficiente da madeira, com maior aproveitamento do material, menor peso e menor custo. A madeira é transformada em lâminas ou fibras (podendo ser utilizados os resíduos da indústria) que são aglutinadas por algum material ligante. Os painéis encontrados no mercado são: compensados, aglomerados, MDF⁶ e, mais recentemente o OSB⁷ (FERREIRA, 2003).

Os painéis de MDF e OSB são, muitas vezes, apontados como alternativas ecológicas, porém deve-se ter cuidado com sua aplicação, pois sua composição possui produtos tóxicos. A cola utilizada como ligante é, em sua maioria, à base de formaldeído. Nestes casos, o ideal é reduzir a quantidade deste material na edificação e/ou garantir uma boa ventilação natural do local. Mesmo assim, o descarte deste material ao fim de seu ciclo é bastante danoso.

⁶ *Medium Density Fiberboard* (Placa de fibras de média densidade)

⁷ *Oriented Strand Board* (Placa de fibras orientadas)

Em alguns países do mundo⁸, onde o uso do formaldeído já vem sendo controlado, existem opções de MDF e OSB colados com materiais mais biocompatíveis. Seria a alternativa mais sustentável para este material.

O uso cada vez maior de madeiras de florestas plantadas como Pínus e Eucalipto (que possuem menor resistência, pelo seu crescimento rápido), vem aumentando o uso de tratamentos que visam aumentar a vida útil deste material, que é naturalmente menos resistente. Por isso, foi necessário um estudo paralelo sobre os preservantes da madeira.

4.1.1.1 Os riscos dos preservantes da madeira⁹

Os preservantes da madeira, tanto superficiais como os mais profundos e industriais, podem trazer sérias conseqüências: afetam a qualidade do ar no interior dos edifícios, a saúde dos que trabalham com o material e o meio natural (solo ou água) em que estiverem em contato. O uso da madeira tratada com preservantes químicos tem se mostrado uma preocupação ambiental pelos riscos que este material acarreta em todo seu ciclo de vida.

Para Roaf, Fuentes e Thomas (2006), a única alternativa sustentável para o uso da madeira é sem tratamento, mas com detalhamento correto. No Brasil, próximo a trópicos úmidos, é necessário buscar alternativas mais eficazes em conjunto a um bom projeto. Deve-se considerar a legislação vigente (lei 4.797 de 1965) que determina a obrigatoriedade do tratamento da madeira para peças estruturais, tais como: vigas, pilares, dormentes, estacas de fundações, postes.

As substâncias que mereceriam maior atenção quanto a sua toxidez são: creosoto; pentaclorofenol e outros organoclorados; e CCA. O contra-senso está no fato de que estas são justamente as substâncias que predominam na madeira tratada no Brasil, sendo que 80% do tratamento é feito com CCA e 5% ainda é feito com creosoto (SILVA, 2006).

Segundo Oliveira (2005), todos os tratamentos para madeira organoclorados são classificados hoje como Poluentes Orgânico Persistentes (POP). São tóxicos para a natureza, pois são bioacumulativos e seu uso já vem sendo restringido em diversos países¹⁰. Os organoclorados encontrados no tratamento da madeira são: lindane, pentaclorofenol, endosulfan, aldrin, dieldrin, endrin, clordane, entre outros. O pentaclorofenol é um dos produtos mais antigos utilizados para o

⁸ Rússia, países da Ásia Central, da Europa e América do Norte – que fazem parte da região do “*Long-Range Transboundary Air Pollution*”

⁹ A autora possui artigo publicado com maior aprofundamento neste assunto em que são relacionados os tratamentos adequados para cada uso da madeira na edificação visando o menor impacto ambiental e humano. A saber: **Alternativas para o uso mais sustentável para madeiras tratadas com preservantes**, in: Ecobuilding 2008: Fórum Internacional de Arquitetura e Tecnologias para a Construção Sustentável.

¹⁰ O mesmos citados acima, da região do “*Long-Range Transboundary Air Pollution*”. No Brasil já há proibição do formaldeído nos materiais saneantes - determinada por meio da Resolução RDC 35/2008.

tratamento da madeira. O EPA (2006) classificou o produto como um possível cancerígeno humano que oferece riscos tanto para a saúde humana como para o ambiente natural. Para o IBAMA (2006) o Pentaclorofenol tem classe de risco toxicológico e ambiental I (alta).

O creosoto é um poluente de grande prioridade já que 90% dele consiste em um número alto de hidrocarbonetos. O óleo creosoto é classificado pelo IBAMA (2006) como classe de Risco Ambiental e Toxicológica I, o que significa alto grau de toxicidade tanto para a natureza quanto para o ser humano. Segundo Dickey (2004), na Europa, a madeira tratada com creosoto não pode ser vendida diretamente para o consumidor. O creosoto foi classificado como provável cancerígeno humano pela americana EPA (Environmental Protection Agency) e como conhecido cancerígeno humano pelo IARC (International Agency for Research on Cancer) e NTP (National Toxicology Program).

O CCA, ou Arseniato de Cobre Cromatado, é o tratamento mais difundido no mercado pela sua maior capacidade de impregnação e maior tempo de ação na madeira. Trata-se de um tratamento industrial, em que, numa autoclave, a seiva da madeira é substituída pelo produto químico.

Ainda hoje, os riscos do CCA à saúde do ser humano e ao meio natural são questionáveis e há disparidade de opinião entre diversas organizações. Tanto nos Estados Unidos, como na União Européia, o uso de madeira tratada com CCA está vetado em locais onde haja contato direto com crianças e adultos desde 2003, pois há o risco de se levar à boca alguma partícula das substâncias (DICKEY, 2004).

A periculosidade do CCA está na presença do Arsênio e o Cromo Hexavalente, que podem causar contaminação tanto dentro das indústrias; como no fim de seu ciclo de vida. Alguns estudos apontam também o perigo do desprendimento destas substâncias por lixiviação ou volatilização durante a vida útil da madeira na edificação.

Também é importante mencionar os perigos da reutilização, reciclagem ou combustão da madeira tratada. As madeiras mais antigas do Brasil utilizavam em sua maioria o tratamento com pentaclorofenol e o creosoto, substâncias tóxicas. A sua reutilização ou reciclagem deve ser cautelosa, já que a saúde das pessoas que manipularão as peças pode estar em risco.

Os perigos da combustão são ainda maiores. Em muitos casos, por falta de informação a madeira tratada pode destinar-se ao uso como combustível ou lenha. Segundo Sánchez (2002), nenhuma madeira tratada, independente do tipo de tratamento, deve ser queimada para preparação de alimentos. Não há grau de segurança para este tipo de prática, em contrapartida não há como saber hoje se uma madeira de demolição foi tratada ou não, ou qual tipo de tratamento.

4.1.2 Cimento e agregados do concreto

O concreto é o segundo material mais consumido pela humanidade, superado apenas pela água (ABCP, 2008). O cimento pode ser definido como um pó fino, com propriedades aglomerantes, aglutinantes ou ligantes, que endurece sob a ação de água. Na forma de concreto, torna-se uma pedra artificial, que pode ganhar formas e volumes, de acordo com as necessidades de cada obra (BAUER, 1994).

O uso do cimento na construção de edifícios tem suas origens há mais de 4.500 anos. Os imponentes monumentos do Egito antigo já utilizavam uma liga constituída por uma mistura de gesso calcinado. As grandes obras gregas e romanas, como o Panteão e o Coliseu, foram construídas com o uso de solos de origem vulcânica da ilha grega de Santorino ou das proximidades da cidade italiana de Pozzuoli, que possuíam propriedades de endurecimento sob a ação da água.

No Brasil, seu uso passa a se intensificar a partir da década de 20, com a implantação da primeira fábrica de cimento *Portland* em São Paulo. A atividade na fábrica se baseia na exploração da rocha calcária (sua principal matéria-prima), moagem e homogeneização das matérias básicas, o processo obtenção do clínquer¹¹ em fornos rotativos e moagem do clínquer com adição de outros materiais, gerando assim o cimento (BAUER, 1994).

O mercado nacional dispõe de 8 opções de cimento, que diferem entre si de acordo com a proporção de clínquer e sulfatos de cálcio, material carbonático e de adições, tais como escórias, pozolanas e calcário, acrescentadas no processo de moagem. Podem diferir também em função de propriedades intrínsecas, como alta resistência inicial ou a cor branca (ABCP, 2008).

O cimento *Portland* comum (CP I) é referência, por suas características e propriedades. Já os cimentos CPII-E e CPIII, apresentam em sua mistura entre 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, um resíduo da produção do aço. Por esta característica, pode-se afirmar que possuem vantagens ambientais, já que se aproveitam de um resíduo de outra indústria. No caso do CPIII, há também a diminuição de sua energia embutida, como se percebe pela tabela¹² abaixo:

Tabela 3 – Energia embutida dos cimentos

Material	Energia embutida
Cimento Portland CPI e CPV	3,8 KJ/Kg
Cimento Portland CPII E	2,5 KJ/Kg
Cimento Portland CPV	2,1 KJ/Kg
Cimento Portland CPIII	1,5 KJ/Kg
Cal hidratada	2,0 KJ/Kg

Fonte: ABNT, 2004. p. 43

¹¹ Produto intermediário, de cor cinza, granulado, que constitui a base do cimento.

¹² Os valores da tabela são apenas uma média no Brasil, pode haver bastante diferença de consumo energético, dependendo do fabricante do material

No Brasil, como a produção do cimento é bastante diversificada e dispersa, dependendo dos recursos locais, cada região brasileira conta com a disponibilidade de algum tipo diferente de cimento. No nordeste brasileiro, optar pelo cimento CP III, por exemplo, além de ser alternativa mais sustentável, é mais econômica e mais viável, por ser o tipo de cimento mais comum na região. No sul do Brasil, o uso mais comum é do CP IV, ou cimento pozolânico, que possui em sua mistura cinza volante resultante da queima de carvão mineral¹³.

Antes de serem aproveitados pela indústria de cimento, esses materiais geravam grandes problemas ambientais. Agora, são reaproveitados na produção de cimento, até mesmo melhorando muitas de suas características. Portanto, a escolha por estes tipos de cimento pode ser mais sustentável.

A diversidade de aplicações do cimento na construção de edifícios é enorme. Desde estruturas em concreto armado feitas *in loco* como para o assentamento de pisos e azulejos ou fabricação de artefatos (blocos, elementos vazados, pisos, pavimentação entre muitos outros).

Com a maior industrialização dos materiais construtivos, o concreto passou a ser utilizado em obras bastante racionalizadas pelo uso de pré-moldados. A rapidez de construção, limpeza no canteiro, diminuição do desperdício e preço do material são suas vantagens nos sistemas construtivos pré-fabricados. Porém, para acelerar a produção de pré-moldados, o cimento utilizado é o CP V, pela sua velocidade de cura. Este cimento é menos sustentável, já que não reutiliza escórias ou subprodutos e possui elevada energia embutida.

A indústria do cimento, principalmente no Brasil, tem elevado poder poluidor, além de consumir materiais e energia de fontes não renováveis. A produção global de cimento portland é responsável por algo em torno de 6% de todas as emissões antropogênicas de CO₂ (John, Oliveira e Agopyan, 2005). Durante as queimas ocorridas nos fornos de clínquer, um volume grande de material particulado é emitido na atmosfera e muita energia é gasta. A indústria do cimento, pela sua magnitude, consome 5% do consumo total de energia do setor industrial (BEN, 2007).

Estes fatos acarretam novas preocupações, mais sociais do que ambientais, pois o concreto é o material mais utilizado no mundo para a construção de edifícios. Seu alto valor econômico e social vão em desencontro com estas desvantagens ambientais. O que fazer frente a sua praticidade, acessibilidade e transferência tecnológica? A relevância desta questão é defendida por Santi e Sevá Filho (2004):

A questão social decorrente é de primeira grandeza, pois o cimento é de uso generalizado, praticamente não tem sucedâneo; são mercados regionais e nacionais valiosos, existem minas de calcário e fábricas de cimento em quase todos os

¹³ O estado de Santa Catarina é grande produtor de carvão mineral, já possui uma grande reserva.

Estados da Federação, e considera-se de certo modo inevitável que se continue a extrair rochas calcárias para fabricar cimento (SANTI e SEVÁ FILHO, 2004.p.1)

De qualquer forma, muitos autores e arquitetos que trabalham com sustentabilidade vêm buscando formas de diminuir o uso do cimento nas edificações, ou procuram um uso mais racionalizado deste. Nos artefatos de cimento ou mesmo nas misturas de concreto, já vem se estudando formas de se agregar resíduos de construção e demolição, resíduos industriais tais como escória das fábricas de aço, cinzas das usinas de carvão e pó de serragem de mármore e granitos.

Os agregados do cimento, para formar o concreto, são a areia e a brita. Apesar de serem vistos como recursos abundantes, estes não são renováveis e em muitas localidades do Brasil, suas fontes já estão escassas. A extração destes recursos, por vezes não licenciada, gera a depleção e exaustão do solo, podendo causar erosões em grande escala.

As fábricas são parcialmente responsáveis pela diminuição dos impactos causados pela sua produção e deveriam implantar sistemas de controle de resíduos e emissões, que no Brasil são mais altos do que muitos outros países (JOHN, 2000).

4.1.3 Terra: cerâmica e solo estabilizado

A terra é um dos mais antigos materiais utilizados na construção. Seu resgate vem se intensificando na última década na medida em que a demanda por construções mais sustentáveis se estabelece. O alto custo energético dos materiais mais industrializados faz o ser humano redescobrir a terra: inesgotável e acessível a todos.

A terra tem nobreza histórica. As primeiras formas de habitação no Egito, na Mesopotâmia ou na China datando de 9.000 a.C., usavam a terra como matéria-prima (ABCTerra, 2006). Na Europa a construção com terra foi muito difundida a partir da Idade média.

No Brasil, as primeiras construções erguidas pelos portugueses foram de Taipa e Pau a Pique. Mais tarde as reforçadas casas e igrejas coloniais brasileiras foram feitas de taipa de pilão onde a existência de pedras era mais escassa. O uso da cerâmica também é bastante antigo, porém foi com sua industrialização que esta passou a ser utilizada em grande escala nas construções em todo o território brasileiro.

Hoje, a terra é o material de mais baixo custo e baixíssima toxicidade, porém pelo seu largo uso e extração dessa matéria-prima, em muitos locais o solo está se exaurindo. Por outro lado, as questões sociais e econômicas deste material, por ser de baixo custo e consagrado na construção de edifícios no Brasil, devem ser consideradas.

4.1.3.1 A cerâmica como material de construção

De acordo com o Sidra (2006), aproximadamente 80% das construções habitacionais no Brasil são construídas com blocos e telhas cerâmicos. O baixo custo, facilidade de encontrar no mercado e facilidade de trabalhar com o material, apresentam-se como grandes vantagens para os materiais cerâmicos. Por definição, a cerâmica é a “pedra artificial obtida pela moldagem, secagem e cozadura das argilas ou de misturas contendo argilas” (BAUER, 1994. p.526).

O uso da cerâmica na construção é comum como componente de alvenaria, como os tijolos e blocos de diversas formas e dimensões, como também para telhas, louças sanitárias, pisos e azulejos. Todos os materiais cerâmicos para construção são facilmente encontrados, fáceis de trabalhar e suas características físicas e econômicas mostram um material versátil e de alto grau de transferência tecnológica.

A fabricação do material passa por algumas etapas: extração do barro, preparo da matéria-prima, moldagem, secagem, cozimento, esfriamento. O quadro abaixo mostra as emissões que ocorrem em todas as fases. Casanova (2003) alerta para a etapa do cozimento. Em seus estudos ele afirma que, para uma casa de alvenaria de 40 metros quadrados, utiliza-se 12 árvores de médio porte ou 170 litros de óleo queimados, gerando poluição, principalmente por dióxido de carbono.

Quadro 5 – Materiais e emissões na produção de cerâmica

Materiais e emissões na produção de CERÂMICA (blocos e telhas)	NOx, em combustão
	SO ₂ , no processo de combustão que utilizam combustíveis contendo enxofre
	CO ₂ , presentes em todas as emissões quentes das fases de secagem e queima. Decomposição e combustão, de carbonatos e substâncias orgânicas, respectivamente, destas substâncias
	Fluoreto de hidrogênio, resultante da decomposição térmica de matérias-primas, que contém flúor, provenientes de compostos dos íons fluoretos
	Material particulado, na extração, mistura, moagem e laminação da matéria-prima

Fonte: John, Oliveira e Lima, 2007. p. 23.

Por outro lado, a partir de estudos sobre a reutilização de material de demolição como agregado para concreto, pode-se afirmar que os resíduos da cerâmica apresentam bom desempenho e, portanto, este se torna um fato relevante ao se pensar no material sob a ótica da sustentabilidade. Seu uso deve ser encorajado, pelo melhoramento tecnológico, incentivo à pequenas indústrias e dispersão de conhecimento sobre este fato.

4.1.3.2 O solo estabilizado como material de construção

As tradições de erguer a arquitetura com solo estabilizado, acumuladas ao longo de 10 mil anos, quase caíram no esquecimento, quando os materiais de construção começaram a ser

industrializados. Um padrão de qualidade é necessário para a produção em larga escala, o que não se conseguia com a construção em terra.

Segundo o ABCTerra (2006), a desvalorização do solo estabilizado como material construtivo remonta há pouco mais de três séculos, quando foi substituída pelo tijolo cozido, posteriormente industrializado e promovido pela sociedade industrial rica em energia. A partir de então, a casa de terra crua passou a significar habitação característica dos menos favorecidos e, portanto, repudiada.

Muitos estudos ultimamente vêm procurando formas de melhorar o comportamento físico-mecânico do solo estabilizado para garantir-lhe longevidade e conseqüentemente viabilidade técnica.

Pode-se citar como principal vantagem o aspecto sustentável do material. Há economia, já que a terra é abundante em muitos locais e o desperdício pode ser reaproveitado. Em paredes portantes, há economia na estrutura. Há sustentabilidade ambiental, já que há baixo consumo energético em sua produção e baixa emissão de poluentes. O uso do cimento pode ser diminuído. E enfim, existe a sustentabilidade social, já que a terra possui maior viabilidade econômica.

O número de desempenhos do material é grande: bom desempenho térmico (por diminuir ou retardar a transferência de calor ou inércia térmica); bom isolamento acústico quando usado em paredes monolíticas espessas e boa absorção acústica quando o acabamento fica rústico e rugoso. O material também é incombustível e não conduz eletricidade (MINKE, 2001).

A boa qualidade do ar interior das edificações com sistema de solo estabilizado é uma grande vantagem. Além disso, há o conforto psicológico, também citado pelo ABCTerra (2006), já que a terra é vernacular, maternal, protetora, familiar e aconchegante. O material permite liberdade de criação, já que pode ser moldado trazendo uma arquitetura mais orgânica.

Em relação às desvantagens, a principal encontrada é dificuldade de transferência do sistema construtivo com solo estabilizado. As soluções devem ser pensadas no local de inserção, para cada solo é necessário fazer novos ensaios de caracterização e muito tempo é gasto no canteiro de obras. Outro fator apresentando por Bauer (1994) é a questão do peso, que é maior do que a alvenaria com blocos cerâmicos, o que acarreta em aumento de carga nas fundações.

Se não for corretamente estabilizada, a terra também é um material sensível à umidade e a sulfatos, necessitando muitos cuidados no projeto (beirais largos, fundação impermeabilizada, boa ventilação). O sistema construtivo também é bastante inflexível, reformas e ampliações podem ser complicadas e as instalações, se não forem previstas, devem ficar aparentes. O material muitas vezes não tem boa aceitação tanto pela mão-de-obra, quanto pelas pessoas que relacionam a construção com terra com insalubridade e pobreza.

A seguir são listados e exemplificados alguns sistemas e componentes mais comuns:

Tijolos e blocos: no sistema de alvenaria estão notadamente o adobe e as técnicas de tijolos e blocos, compactados ou prensados.

Os blocos de Adobe (compacto, sem furos) são e foram muito utilizados no Brasil, principalmente na região Nordeste. Apresentam-se como boa alternativa para as vedações verticais por suas boas características térmicas e acústicas e, segundo Bauer (1994), os blocos podem resistir à compressão de até 7MPa, um valor bem acima da exigência da norma brasileira. A preparação do adobe é feita em solo argiloso. Faz-se um buraco perto do local da obra onde há solo apropriado, colocando-se água. Depois, amassa-se com os pés até sentir que tem boa liga. O barro é posto em formas de madeira com as dimensões de 40 cm de comprimento, 20 cm de largura e 15 cm de altura. A fôrma é molhada antes de se colocar a argila. Depois, realiza-se um processo de secagem ao sol por 10 dias, virando-o a cada 2 dias (LENGEN, 2004).

Outro componente de alvenaria que vem ganhando espaço nas construções sustentáveis é o bloco ou tijolo de solo-cimento, que pode tanto ser manufaturado na obra, como comprado pronto por empresas que o produzem em série. Pode-se encontrar, no mercado brasileiro, tijolos com espessura de 6,25 cm e tamanhos que variam de 10x20 cm, 12,5x25 cm e 15x30 cm. Os furos internos têm 6,6 cm de diâmetro e servem para embutir as colunas estruturais e tubulações. São assentados com “cimentcola” numa espessura de 2mm e posteriormente rejuntados.

Para tijolos de 25x12,5x6,25cm (considerados padrão), a produção no local da obra com uma prensa manual, pode chegar a 200 módulos por hora com 3 pessoas trabalhando. Com assentamento tipo filete de massa com solo-cimento tem-se 64 peças por metro quadrado. Produz-se, portanto 3,45 m² de parede por hora, sem contar o tempo gasto no assentamento dos tijolos (SAHARA, 2006).

Paredes monolíticas: encontram-se as técnicas de terra compactada, geralmente em moldes, com as denominações mais conhecidas como taipa de pilão, tapia, tapial, e painéis de solo-cimento; A exemplo de paredes monolíticas, existe o sistema PISÉ (*Pneumatically Impacted Stabilized Earth*), uma técnica considerada revolucionária. O arquiteto americano David Easton começou explorando as possibilidades de adaptação da tecnologia pneumática de produção de concreto à da taipa de pilão tradicional. Uma mangueira de alta pressão conduz e despeja a mistura com terra/agregado levantando-se as paredes sobre fôrmas de taipa. Utilizam-se fôrmas de madeira em apenas um lado, que pode ser reaproveitada na confecção de outras paredes. O arquiteto afirma que é possível produzir 108 metros quadrados por dia de paredes com 20 centímetros espessura (EASTON, 2006).

Pau a pique: O Pau a Pique também vem se desenvolvendo com algumas variações, inclusive com fabricação de painéis pré-moldados que facilitariam o canteiro de obras, este entra em técnicas mistas que utilizam principalmente a madeira como estrutura portante e a terra como material

de vedação ou enchimento dos entramados, estes geralmente de madeira, em forma de varas, cipós ou peças de pequena seção (NEVES *et al*, 2006).

Terra ensacada: a terra pode ainda ser ensacada para uso em muros de contenção ou como um sistema construtivo portante. Também é conhecida como Super Adobe.

4.1.3.3 Estabilização dos solos para construção de edifícios

Para o uso da terra crua como material de construção, é necessária a sua estabilização, que é um recurso aplicado para melhorar suas propriedades. A estabilização de um solo pode ocorrer por meios químicos, térmicos ou mecânicos e o tipo de tratamento vai depender da estrutura e das propriedades geotécnicas e físico-químicas do solo em questão.

Para Silveira (1994) os solos com alto teor de argila são os mais indicados para serem estabilizados com cal, formando silicatos e aluminatos de cálcio, pela troca iônica do cálcio com a água. Estes silicatos monocalcicos trariam resistências compatíveis para uso como material portante em alvenarias, tanto em paredes monolíticas como em tijolos ou blocos.

Quanto ao uso do cimento para estabilização do solo (solo-cimento) Nunes (2000) afirma que são produzidos vínculos químicos entre as superfícies dos grãos do cimento e as partículas de solo que estão em contato com o mesmo. Para o autor, os solos predominantemente arenosos respondem melhor à estabilização com cimento.

Frente às questões ambientais que a indústria do cimento vivencia hoje, outras formas de estabilização do solo vêm sendo estudadas.

Como uma alternativa muito eficiente e de alta tecnologia, Silveira (1994) exemplifica os tijolos Silico-Calcáreos, que são compostos de uma mistura homogênea de areia fina e cal. O princípio de estabilização deste tijolo é mecânico, pois os tijolos são moldados em prensa hidráulica e passam por autoclave com alta pressão.

Silveira (1994) também sugere o solo-cal-cinza. A mistura foi feita com a cinza do resíduo do carvão da Usina Termo-Elétrica de Tubarão. Nos seus ensaios, os corpos-de-prova curados ao sol apresentaram resistência à compressão de 7Mpa aos 45 dias e 9Mpa aos 60 dias. O solo indicado é o da formação Botucatu da região de Lages – SC, com composição de alto teor de quartzo e com teor de 25 a 30% de silte e argila. Foram adicionadas 10% de cal hidratada e 20% de cinza volante.

Velten *et al* (2006) testaram um bloco de pavimentação de solo-cal-escória. A escória é de alto forno granulada moída, vinda de siderúrgicas. Nos ensaios concluiu-se que com 10% de escória ativada e 10% de cal misturadas ao solo, obtêm-se as exigências mínimas da norma para resistência mecânica. Os desempenhos máximos foram obtidos com 15% de cal hidratada e 20% de escória ativada.

Alguns pesquisadores ainda estão estudando misturas com fibras vegetais como agregado e estabilizante, para diminuir a quantidade de terra e cimento:

Milani e Freire (2006) testaram uma mistura de solo-cimento-casca de arroz. A casca é resíduo do beneficiamento do arroz e foi triturada e peneirada para ser imersa em solução de cal. Isso foi necessário para a maior coesão das partículas e para diminuir a incompatibilidade físico-química da casca com o cimento. O solo arenoso foi o mais indicado e os resultados mais promissores (resistência à compressão de 3,48 MPa em 28 dias) foram os que tinham 12% de cimento e 12% de mistura de 80% de cimento e 20% de casca de arroz. Um problema encontrado foi o aumento da umidade ótima e absorção de água com o aumento da quantidade de casca de arroz, o que acarreta problemas na construção de paredes com o material. Além disso, a quantidade de cimento ainda está muito elevada mostrando que a casca não substitui este elemento, servindo como agregado.

Eko e Rikowski (2004) ainda testaram a adição de fibra do bagaço de cana-de-açúcar na mistura de solo cimento. Nos testes de laboratório, com 20% de fibra do bagaço de cana e 10% de cimento já se obteve 2,8 MPa de resistência à compressão. A umidade ótima e absorção de água na amostra não foram testadas.

Como agregado, para diminuir a quantidade de terra da mistura de solo-cimento, Souza, *et al* (2006) testaram o uso de Resíduos de Construção e Demolição (RCD). Percebeu-se que o uso de 60% de RCD, além de aumentar a resistência (4,6MPa aos 28 dias), diminuiu a absorção de água de 17% para 12% e a quantidade de cimento na mistura, já que estes valores são referentes ao uso de 6% de cimento. Mostrando um material mais eficiente, mais ecológico e mais barato.

Outras formas de estabilização aparecem em diversas pesquisas: ácido fosfórico, polímeros e resíduos de diversas indústrias, mostrando quão vasto pode ser este campo de estudos.

4.1.4 Metais

Os produtos siderúrgicos vêm ganhando cada vez mais espaço na construção de edifícios desde a revolução industrial. Sua matéria-prima provém da mineração e suas características básicas são: brilho típico, opacidade, condutibilidade térmica e elétrica, dureza e forjabilidade. Por estas características os metais são largamente utilizados em edificações principalmente como peças estruturais ou como fios e condutores elétricos (BAUER, 1994).

Os metais são todos materiais de fonte não renovável, mas, em contrapartida, são altamente recicláveis e duráveis. Os mais comuns na construção de edifícios são listados e caracterizados:

O ferro é, indiscutivelmente, o metal de maior aplicação, podendo ser utilizado em estruturas, esquadrias, grades, condutores etc. O ferro é provindo do minério de ferro. A desvantagem do ferro é sua oxidação, o que diminui muito sua vida útil e requer maior manutenção. O uso de aditivos que

diminuem sua degradação e protegem contra o ataque do fogo é uma prática questionável sob o ponto de vista da sustentabilidade, pois são compostos por substâncias tóxicas.

O alumínio é outro metal bastante comum. O alumínio provém da mineração da bauxita. Suas principais características são a leveza e longa vida útil (pode durar até 100 anos). Além disso, ele pode ser reciclado por diversas vezes, o que diminui os impactos relativos à extração da matéria-prima.

A forma mais comum de se encontrar o alumínio em edificações é na forma de esquadrias, telhas, calhas ou mesmo estruturas mais leves. Pode ser encontrado em perfis dobrados ou na forma de chapas metálicas (utilizadas para coberturas).

O uso do alumínio em edificações sustentáveis ainda é um ponto a ser debatido, pois não há consenso sobre o grau de seus impactos. Alguns autores defendem sua utilização pela longa vida útil, alta capacidade e facilidade de reciclagem e por poder ser utilizado como soluções sustentáveis: esquadrias de alto desempenho, painéis de energia solar, persianas ou brises, entre outros.

Porém, outros autores apresentam a questão da industrialização como seu ponto fraco, pois sua produção fica limitada a grandes indústrias, aumentando o transporte de mercadorias, alto consumo energético, uso de matéria-prima não renovável e produção ainda poluente. As reservas de matéria-prima podem acabar. Além disso, sua energia embutida é muito mais alta do que outros metais como mostra a tabela¹⁴:

Tabela 4 – Energia embutida dos metais

Material	Energia embutida
Aço	40,0 KJ/Kg
Alumínio	188,0 KJ/Kg
Cobre	16,7 KJ/Kg

Fonte: ABNT, 2004. p. 43

Um artigo da Revista Alumínio coloca que estes pontos fracos não são relevantes frente às vantagens do alumínio:

O alumínio é um dos materiais mais sustentáveis no mundo, com cerca de 73% de todo o material produzido ainda em uso; 38% do consumo doméstico de alumínio no Brasil é reciclado. A reciclagem do alumínio representa uma economia de 95% na energia elétrica em relação à energia gasta para produção de alumínio primário (ROSSI, 2007).

O aço é outro material cujo uso vem crescendo nas edificações modernas, devido a seu elevado módulo de resistência, ele permite vencer grandes vãos com peças relativamente delgadas e leves (BAUER, 1994). O aço é uma liga metálica composta principalmente do ferro e de carbono. As

¹⁴ A tabela é baseada em valores médios que podem mudar conforme a indústria. Observa-se que, apesar dos valores de energia embutida serem diferentes, deve-se considerar o peso específico dos materiais. A energia embutida num mesmo volume de alumínio de aço pode ser muito semelhante. O uso na construção também deve ser considerado.

peças do material podem ser encontradas em: blocos (fundação); folhas ou placas (coberturas, lajes); barras – sólidas ou de partes delgadas; perfis dobrados - vigas, pilares. A forma mais comum de uso do aço nas edificações hoje é na armação do concreto armado.

O aço apresenta inúmeras vantagens na construção de edifícios, até mesmo sob o ponto de vista da sustentabilidade: grande liberdade de criação na arquitetura; menor volume e maior flexibilidade do sistema construtivo; compatibilidade com outros sistemas construtivos; rapidez na execução; racionalização de materiais; menor desperdício com limpeza do canteiro de obras; precisão construtiva; pode ser reciclado e apresenta longa vida útil. É um material limpo, leve e de pouca manutenção.

Como desvantagem, o aço é um bom condutor elétrico e térmico. O aço apresenta um custo ainda muito alto, tornando-se um material inacessível para a população de menor renda. Também apresenta alta energia embutida e sua matéria-prima não é renovável.

Pode-se dizer que o sistema construtivo em aço é sustentável, porém a matéria-prima vem de uma indústria poluidora e de fontes não renováveis, conforme mostra o quadro a seguir:

Quadro 6 – Materiais e emissões na produção do aço

Materiais e emissões na produção de AÇO	NOx , no escoamento do ferro gusa e no processamento do aço
	CO , na sinterização, produção de ferro, escoamento do ferro gusa
	SO₂ , na alimentação do alto-forno, no escoamento do ferro gusa, no processamento do aço laminação
	CO₂ , na produção integrada de ferro, aço e coque
	VOC , na produção de ferro, aço e laminação
	Dioxinas , na sinterização, coqueria, em forno elétrico

Fonte: John, Oliveira e Lima, 2007.

O Cobre e o Chumbo também têm sido utilizados em edificações como tubulações para água quente, condutores ou na fabricação de tintas. O chumbo é o material de maior problema devido ao seu alto grau de toxicidade para a natureza e o ser humano.

Apesar dos metais apresentarem boas vantagens como sistemas construtivos limpos e racionalizados, a indústria siderúrgica é grande poluidora e depletora de recursos não renováveis. A mineração é uma atividade de grande impacto ambiental. A manufatura de produtos siderúrgicos envolve substâncias perigosas, tais como: metais pesados, fluorinados, cianidas, solventes orgânicos, fenóis e abrasivos (YEANG, 2006; MARTINE, 1996).

4.1.5 Plásticos

Plásticos são materiais artificiais formados pela combinação de carbono com oxigênio, hidrogênio, nitrogênio e outros elementos orgânicos e inorgânicos que, em sua fase líquida podem ser moldados nas formas desejadas (BAUER, 1994). Suas matérias-primas básicas podem ser: nitrogênio,

areia, calcário, cloreto de sódio, carvão, petróleo, madeira, leite. A partir de derivados dessas matérias-primas (pois não se as usam ao natural), obtêm-se os mais diferentes tipos de plásticos.

O mercado da construção de edifícios têm se mostrado como o mais importante dentre todos os atendidos pela indústria plástica. As possibilidades de uso do plástico em edificações são enormes, isto se deve à sua grande flexibilidade de uso.

As principais propriedades dos plásticos são: pequeno peso específico; isolamento elétrico; flexibilidade de moldagem e coloração; baixo custo; facilidade de produção em massa e durabilidade, já que são imunes à corrosão. Como desvantagens práticas pode-se citar, sem generalização: baixa resistência mecânica e térmica (BAUER, 1994).

Aqui se espera, também, avaliar os plásticos sob o ponto de vista sustentável. Com relação à capacidade de reciclagem do material, pode-se dizer que todos os termoplásticos são recicláveis, porém sua reciclagem muitas vezes pode ser tóxica e dispendiosa de energia. Hoje, no mundo, somente 7% dos plásticos utilizados é reciclado, o restante é abandonado em aterros (80%) ou incinerado (8%). A maioria dos plásticos não é biodegradável, o que significa que eles levarão um longo tempo para se decomporem (THORNTON, 2008).

Os plásticos também queimam com muita facilidade e em sua fumaça estão muitas substâncias extremamente tóxicas. O polipropileno utilizado em materiais elétricos, carpetes com nylon e estireno-butadieno, mobiliário de PVC, são todos perigos próximos aos seres humanos no caso de incêndio, além das pequenas partículas que podem ser inaladas (YEANG, 2006).

A seguir estão os principais plásticos utilizados na construção de edifícios e sua caracterização geral:

Politereftalato de etileno (PET): no Brasil, o uso do PET está crescendo e, por ser um material inerte, leve, resistente e transparente, passou a ser utilizado em grande escala a partir da década de 1980.

A principal característica do PET com relação a aspectos sustentáveis são sua baixa toxicidade e alto grau de reciclagem. No Brasil já se encontra materiais de construção (conduítes, telhas plásticas) provindos da reciclagem de garrafas PET. Apesar destas vantagens, não se pode esquecer de que o PET tem matéria-prima derivada do petróleo, recurso poluidor e não renovável, sua biodegradabilidade é muito lenta (mais de 500 anos). Sua produção também envolve o uso de clorofluorcarbonos (CFC) (YEANG, 2006).

Cloreto de polivinila (PVC): é o plástico mais utilizado atualmente nas edificações e seu uso abrange tanto as tubulações das instalações hidrossanitárias, como telhas, calhas, quadros de distribuição e tubulações elétricas, pisos, forros, mobiliário, entre outros. Seu uso vem crescendo pelas suas grandes vantagens de preço, facilidade de trabalhar e versatilidade.

O PVC é derivado de resinas vinílicas, que também são utilizadas na fabricação de revestimentos plásticos para pisos de pequena espessura e grande resistência. Durante todo seu ciclo de vida é possível verificar a emissão de tóxicos por parte da indústria do PVC, por esta razão, o PVC tem sido seriamente condenado. As resinas vinílicas são todas carcinogênicas segundo a americana EPA (2008), e a exposição prolongada a estas substâncias pode causar gastrite, dermatites e problemas de fígado. Outro problema grave do PVC está na sua queima, pois pode liberar substâncias não-intencionais como a Dioxina¹⁵.

Além de suas características carcinogênicas, os plásticos não-biodegradáveis como o PVC apresentam um sério problema para o lixo das grandes cidades. Por se tratar de compostos orgânicos, os componentes destes plásticos podem ocasionar um impacto sistêmico, pois suas substâncias se aderem a plantas e animais, causando doenças e morte por grandes distâncias. O PVC ainda utiliza gás cloro em sua fabricação que, quando queimado, libera ácido clorídrico, causador da chuva ácida.

Já é comprovado que os aditivos do PVC são altamente tóxicos. A Suécia foi o primeiro país a votar, em 1995, a extinção em fases do uso do PVC. A Dinamarca introduziu um imposto de vendas do PVC em 1999, e proíbe o uso de aditivos do PVC; desde 1997 brinquedos de PVC foram banidos da Áustria, França, Grécia, México, Noruega e Suécia. 43% da matéria-prima do PVC é derivada do petróleo, 82% dos dejetos de PVC vão para o lixo, 15% é incinerado, sendo que a incineração gera substâncias tóxicas. A fabricação de PVC utiliza 8 vezes mais energia do que a madeira por exemplo (ECOHOUSE, 2007).

Um texto pesquisado, provindo de um artigo lançado no *The Institute of Science in Society*, explicita de forma clara os perigos do PVC:

A produção de PVC envolve o transporte de materiais explosivos perigosos tais como o monovinil cloreto (um carcinogênico) e gerador de lixos tóxicos, notavelmente o alcatrão dicloreto de etileno. Os resíduos de piche (ou alcatrão) contêm enormes quantidades de dioxinas que quando incinerado ou aterrado dispersa dioxina no ambiente. Numerosos aditivos são incorporados no produto de consumo, incluindo amaciadores para torná-lo flexível, metais pesados como estabilizadores das cores e fungicidas. Dioxinas são geradas durante a fabricação e aparece no descarte como lixo e algumas vezes no próprio produto. Plastificantes não ficam confinados ao plástico e podem lixiviar depois de algum tempo. Os plastificantes presentes nos pavimentos de vinil evaporam ficando em suspensão nos ambientes dos prédios. O mais comum deles é o ftalato DEHP (di(2-ethylhexyl)phthalate), é um carcinogênico suspeito e mais de 90% são empregados somente para fazer produtos de PVC flexíveis, incluindo brinquedos infantis e mordedores. Desde 1999, a União Européia proibiu os ftalatos em brinquedos que são levados à boca das crianças abaixo de três anos de idade. (HUO, 2001 *apud* NOSSO FUTURO ROUBADO, 2008).

¹⁵ Já explanada neste trabalho como uma das substâncias mais tóxicas produzidas pelo ser humano segundo a EPA

Infelizmente o PVC tem sido um material já consagrado para tubulações de água e esgoto, inclusive sendo indicado pela Norma Brasileira no que se refere a especificações de detalhamento de sistemas hidro-sanitários. Segundo a EPA (2008), há o risco de contaminação dos usuários dos produtos de PVC: a água que passa por tubulação pode conter traços do material tóxico, principalmente se a água estiver em alta temperatura.

Polietileno (PE): plástico muito comum e tem como principais características seu baixo custo, acessibilidade e facilidade de ser trabalhado. Além disso, é um plástico menos tóxico e é facilmente reciclado. Os mais comuns de se encontrar são (BAUER, 1994):

PEAD - (polietileno de alta densidade) - Embalagens para cosméticos, frascos de produtos químicos e de limpeza, tubos para líquidos e gás.

PEBD - (polietileno de baixa densidade) - Embalagens de alimentos, sacos industriais, sacos para lixo, lonas agrícolas, filmes flexíveis para embalagens e rótulos.

Entre os outros plásticos, o PE é o que possui menor grau de toxicidade e tem um bom potencial para reciclagem (YEANG, 2006).

Poliestireno (PS): outro plástico muito comum, barato, mas com menor resistência e flexibilidade do que os outros plásticos. São muito encontrados em aparelhos de iluminação, espelhos de tomadas e interruptores e aparelhos de som e televisão. A fabricação do poliestireno envolve o uso de Benzeno e Estireno-butadieno, substâncias tóxicas, classificadas pela EPA (2008), como prováveis cancerígenos humanos. O Estireno é tóxico para o sistema reprodutor humano e dos animais. Sua reciclagem, apesar de ser possível é complexa e dispendiosa, assim como a do PVC (YEANG, 2006).

Poliestireno Expandido (isopor): é um material leve e vem sendo aplicado em divisórias, forros, decoração, isolamento térmico e acústico, além mesmo como material de enchimento em lajes pré-moldadas (BAUER, 1994). Sua reciclagem não é comum, mas é possível, o processo é complicado, ainda muito custoso e pode emitir gases tóxicos. Do ponto de vista sustentável, seu uso apenas é válido se o material for utilizado de forma que aumente o grau de sustentabilidade da edificação, como minimizar perdas ou ganhos de calor nas vedações.

Polipropileno (PP): assim como PE, tem estrutura polimérica bastante simples, com poucos aditivos em sua composição, isto faz com que o plástico seja menos tóxico e facilmente reciclado (YEANG, 2006). Na indústria da construção de edifícios, pode-se encontrar alguns materiais feitos com PP: caixas de água, material elétrico e tubos e conexões para água fria ou esgoto, telhas onduladas, entre outros.

O polipropileno randômico é um material mais resistente que vem sendo utilizado para tubulações de água quente, fria e esgoto; apresenta vantagens ecológicas com relação ao PVC ou o

cobre por ser bem menos tóxico. Além disso, suas conexões não necessitam de rosca ou cola, o que facilita o trabalho e diminui ainda mais a sua toxicidade.

Plásticos termorrígidos: apesar de serem muito utilizados hoje pela sua maior durabilidade (interruptores, peças para banheiros, utilitários domésticos), apresentam sérias desvantagens do ponto de vista ambiental. Estes materiais não podem ser reciclados e são eles: poliuretano (utilizado em pinturas e vernizes de alta resistência); EVA - Poliacetato de Etileno Vinil; poliéster; fenol formaldeído e uréia formaldeído (utilizados em colas para madeira); resina epóxi e alquídica (utilizadas em tintas); melaminas (utilizadas em acabamento de laminados de MDF) (BAUER, 1994).

O poliuretano (PU), muito utilizado em revestimentos de alta durabilidade, é extremamente tóxico. Possui como substâncias não intencionais o tolueno e outras substâncias conhecidas como depletoras da camada de ozônio. A queima do PU emite poluentes orgânicos cancerígenos como PAH e Dioxina (YEANG, 2006; EPA, 2008).

A maioria dos plásticos termorrígidos apresenta alto grau de toxicidade e possuem como desvantagem a emissão de VOC, podendo afetar de forma negativa a qualidade do ar no interior das edificações. Muitos de seus componentes são cancerígenos comprovados (EPA, 2008). Pelo fato de não serem recicláveis, o fim de seu ciclo de vida apresenta um problema ambiental - seu uso deveria ser desencorajado.

O material plástico tem sido condenado como material de baixo grau de sustentabilidade. Yeang (2006) coloca que muitos materiais sintéticos e, principalmente o PVC, não têm lugar no futuro da construção. Para o autor, antes mesmo de se pensar no grau de reciclagem de um material, um produto sustentável deve ser biodegradável e atóxico. Isto porque nunca é possível se alcançar 100% de reaproveitamento de matéria-prima. Até mesmo o alcance de um reaproveitamento mínimo necessário envolveria uma maior participação social e maior responsabilidade por parte das indústrias. Hoje, pouco se reaproveita e o que se perde se transforma em um grave problema ambiental.

4.1.6 Tintas, vernizes, lacas e esmaltes

Os tratamentos superficiais da edificação e os acabamentos decorativos, ou seja, tintas, vernizes, lacas e esmaltes são compostos geralmente por resina, pigmento, solvente e aditivos (SÁNCHEZ, 2002).

A toxicidade destes produtos pode estar em substâncias presentes em todos os seus componentes e o produto final pode afetar de forma negativa a qualidade do ambiente interno, assim como o meio natural.

As resinas alquídicas, fenólicas e vinílicas são base para uma grande variedade de produtos da construção de edifícios para acabamentos. A resina alquídica é amplamente utilizada para tintas acrílicas e vernizes pela sua velocidade de secagem, as resinas vinílicas (o PVC é uma delas) são utilizadas para pisos de vinil e as resinas fenólicas são utilizadas nos acabamentos de MDF laminado. Todas estas resinas contêm VOC que se desprendem durante todo o uso da edificação afetando a qualidade do ar interior. Alguns certificadores internacionais de edifícios sustentáveis, como o LEED, condenam o uso desses materiais, que contêm Benzeno e Formaldeído, substâncias reconhecidas como cancerígenas.

É muito comum verificar a presença da Síndrome do Edifício Enfermo em edifícios comerciais com grande quantidade desses materiais e pouca troca de ar em seu interior. Seus ocupantes podem apresentar desde baixo rendimento no trabalho, até dores de cabeça, congestão nasal, náuseas e cansaço (JEMOTO e AGOPYAN, 2006).

O Benzeno está em todo o ar dos centros urbanos, pois provém da fumaça do cigarro, dos escapamentos dos automóveis, das tintas imobiliárias e emissões industriais diversas. Segundo Crinnion (2000), em quantidades no ar acima de 1 para 1 milhão em uma jornada de 8 horas de exposição, o Benzeno pode causar sonolência, taquicardia, dores de cabeça tremores, vômito, entre outros sintomas.

Os Fenóis e o Formaldeído, tão presentes em tintas e lacas, são compostos orgânicos poluentes e muito prejudiciais à saúde, podendo causar até câncer se inalados em grande quantidade (EPA, 2007).

Em relação aos pigmentos e aditivos, o problema está relacionado ao conteúdo de metais pesados, como Cádmio (amarelo), Cobre (verde), Cromo e principalmente o Chumbo, amplamente utilizado para tintas e vernizes.

Os metais pesados têm alto grau de poluição ambiental e podem contaminar o ser humano na aplicação de um produto sem cuidados ou ao lixar uma superfície tratada com metais pesados (por inalação). São persistentes no ambiente natural e alguns deles (Cádmio e Cromo Hexavalente) são considerados carcinogênicos por alguns órgãos internacionais (EPA, 2007).

Ao se analisar seu ciclo de vida, pode-se dizer que os malefícios das tintas acrílicas e epóxi existem desde seu processo de fabricação, na indústria até seu destino final (lixo, limpeza de material de pintura).

Os vernizes e *stains*, por se tratarem de tratamentos superficiais para madeira, ainda podem conter substâncias para proteção de fungos. Algumas dessas substâncias são organoclorados ou

outros elementos tóxicos. Felizmente, há, no mercado brasileiro, produtos de baixa toxicidade como o IPBC¹⁶ e alguns agentes naturais baseados em taninos vegetais.

Há hoje uma grande preocupação por parte das empresas em relação aos metais pesados e o benzeno, sendo que muitos produtos do mercado já não possuem estas substâncias. Porém, os solventes orgânicos e os hidrocarbonetos (VOC) ainda estão entre as substâncias mais presentes nos produtos do mercado brasileiro.

A indústria de tintas e vernizes vem fazendo alguns esforços de forma a diminuir os impactos destes materiais, tais como aplicar sistemas de gestão ambiental, controlando resíduos e emissões; utilizando plástico reciclado na produção das resinas; desenvolvendo materiais com menor quantidade de VOC, como vernizes a base de água e tintas "sem cheiro". Porém, estas alternativas, apesar de apresentarem alguma melhora, não podem ser consideradas soluções para este problema. As tintas imobiliárias atualmente contribuem muito para a poluição urbana e para a menor qualidade do ar nas edificações.

As tintas também são responsáveis pela coloração das edificações, fato que pode afetar tanto o ser humano por aspectos psicológicos, como afetar o entorno da edificação pela absorção ou reflexão das radiações solares.

4.1.7 Vidro

O vidro é um dos materiais construtivos mais antigos utilizados pelo ser humano e sua matéria-prima básica é a sílica, abundante na natureza. Até o século XX, o vidro sempre foi utilizado em pequenas dimensões na forma de esquadrias quadriculadas ou vitrais com desenhos e uso de vidros coloridos. Com maior desenvolvimento de seu processo de fabricação a partir do início do século passado, o vidro passa a alcançar maiores dimensões e desempenhos (MASCARÓ, CLARO e SCHNEIDER, 1984).

O material vidro está presente na arquitetura de diversas formas, desde sua aplicação mais conhecida em esquadrias, na forma de lâminas ou chapas planas ou curvas, como na forma de blocos ou mesmo fibra. Em finais do século XX, a indústria do vidro sofreu grandes inovações tecnológicas. Hoje é possível encontrar muitos tipos de vidro para a construção de edifícios: vidros comuns, temperados, laminados entre outros. (BAUER, 1994).

O vidro é o material responsável pela entrada de luz e parte do calor nas edificações, portanto seu impacto sobre os usuários é muito grande no que se refere aos aspectos do conforto (iluminação, calor, visuais).

¹⁶ 3-iodo-2-propynyl butyl carbamate

O vidro é um material altamente reciclável, mas somente o vidro comum pode ser reciclado, os vidros laminados e temperados não podem. Na reciclagem do vidro é possível economizar, aproximadamente, 70% da energia incorporada ao produto original e 50% menos de água (YEANG, 2006). Outra vantagem do material é sua alta durabilidade, o vidro somente sofre processo de deterioração em longuíssimo prazo. A seguir estão algumas características de alguns vidros utilizados na construção de edifícios:

Vidros temperados: possuem maior resistência e são mais seguros contra acidentes. Porém, devido ao seu processo de fabricação diferenciado que muda suas características físico-químicas, não podem ser reciclados.

Vidros refletivos: possuem camadas internas, com aplicação de filmes que tem a capacidade de filtrar os raios solares através da reflexão da radiação em todas as suas frequências, de forma seletiva. Os vidros refletivos podem ser grandes aliados do conforto ambiental e da eficiência energética nas edificações.

Vidros refletivos de alta performance: são aqueles que permitem um menor valor U (transferência de calor) com maior transmissão luminosa.

Vidros laminados com películas: também vêm sendo utilizados, a diferença para os vidros refletivos é que a película é externa e pode ser removida. Atualmente as películas estão bastante avançadas e estes vidros chegam a ter transparência de 60% e reter 97% dos raios infravermelhos.

Vidros inteligentes ou eletrônicos: surgem como inovação e usam eletricidade para mudar de cor. Sobre a placa de vidro é depositado um filme de óxido de tungstênio, que funciona como uma bateria, ao ligá-la ou desligá-la o vidro torna-se claro ou escuro. Juntamente a um sistema de automatização, pode-se controlar a entrada de radiação solar na fachada.

Com o advento da nanotecnologia, os novos vidros passam a resolver muitas questões. Devido a uma nanoestrutura, as radiações térmicas solares são controladas, sem a perda da luminosidade no ambiente interno. Esta é uma tecnologia cara e nova, e ainda não é viável no Brasil.

Na escolha dos vidros, a dificuldade está em encontrar o equilíbrio entre a quantidade de luz e de calor transmitida para dentro do ambiente e a quantidade de luz refletida internamente. Para a escolha, o profissional também necessita dominar o uso de coeficientes que indicam a transmissão luminosa, refletividade luminosa, absorção de energia e fator solar (radiação total que penetra no ambiente, considerando a transmissão direta e a radiação reirradiada pelo vidro).

A fibra de vidro deve ser mencionada, pois é um material muito utilizado em edificações e é comum a utilização de caixas de água com este material. Porém, existe uma séria preocupação com relação à partículas que se soltam deste material e ficam na água ou em suspensão no ar. Se inaladas

ou ingeridas em maior quantidade podem ser extremamente prejudiciais à saúde, podendo causar câncer (ROAF, FUENTES E THOMAS, 2006).

4.1.8 Outros materiais

Alguns materiais muito presentes na construção de edifícios precisam ser citados, pois sua caracterização se torna relevante do ponto de vista da sustentabilidade.

O gesso é um material utilizado em quase toda edificação, mas apresenta um sério problema com relação ao grande desperdício na obra. O gesso também não pode ser reciclado e seu entulho, apesar de atóxico, não pode ser reutilizado se tiver misturado com outras substâncias como tintas ou vernizes (MARQUES, 2007).

O gesso acartonado é outro material que vem sendo largamente utilizado e seu sistema construtivo apresenta algumas vantagens por ser limpo, rápido e com grande aproveitamento de material. Seus resíduos podem ser reutilizados por outras indústrias, o que raramente acontece pela falta de gestão de resíduos nas obras no Brasil (MARQUES, 2007).

O amianto é um material de está caindo em desuso pelo seu grau de periculosidade, mas, por muito tempo, foi utilizado em caixas de água e telhas de cimento-amianto, comuns em edificações da população de baixa renda. O amianto é muito tóxico e pode causar câncer no caso de contaminação (ROAF, FUENTES E THOMAS, 2006).

Os materiais derivados de petróleo, como betumes, ceras e resinas, também vêm sendo foco de preocupações, já que a matéria-prima não é renovável e tem fonte extremamente poluidora. Além disso, os piches e betumes, utilizados para impermeabilização na maioria das edificações, são emanadores de dioxinas.

Os isolantes térmicos também devem ser citados, já que são muito utilizados nas edificações sustentáveis por motivos de adequação bioclimática. Os isolantes mais comuns encontrados são: isopor, lã de rocha e espuma de poliuretano.

O isopor ou poliestireno expandido já foi mencionado neste trabalho, assim como o poliuretano e seu alto grau de toxicidade. A lã de rocha possui alto desempenho térmico, longa vida útil e baixa toxicidade para o ser humano, mostrando-se como um bom material (ROAF, FUENTES e THOMAS, 2006).

4.2 ROTULAGEM AMBIENTAL

A rotulagem ambiental consiste em uma série de requisitos que um determinado produto deve obter para poder ser considerado um produto sustentável. Também serve como ferramenta para a

implementação de políticas públicas com fim de desenvolver novos padrões de consumo que envolvem condições ambientalmente melhores ao mesmo tempo em que contribui para a evolução da produção industrial (KOHLRAUSCH, 2003).

A Agenda 21 consagrou a rotulagem ambiental como um dos mecanismos de incentivo a uma evolução na indústria na direção de tecnologias e processos ambientalmente corretos, impulsionada pelo mercado (BRASIL, 2002).

A rotulagem ambiental surgiu na década de 70 no mundo, fruto das pressões dos movimentos sociais. Teve origem na área de produtos alimentícios, que defendem o consumo de produtos orgânicos e atacam a toxicidade dos inseticidas e adubos químicos (KOHLRAUSCH, 2003).

No Brasil, em 1993, teve início o programa ABNT – Qualidade Ambiental que

[...]visa promover a redução de impactos ambientais negativos relacionados a produtos e serviços, através da conscientização de fabricantes, consumidores e instituições públicas sobre a vantagem de adotar produtos que causem o menor impacto ambiental possível durante seu ciclo de vida, de acordo com os critérios de qualidade ambiental estabelecidos. (BRASIL, 2002. p.23).

Também em 2002, foi criado o Programa Brasileiro de Rotulagem Ambiental pelo Ministério do Meio Ambiente, que definiu a Rotulagem Ambiental como “a atribuição de um selo ou rótulo a um produto para comunicar ao seu consumidor que este atende aos padrões ambientais requeridos para sua concessão”. Define como objetivo da rotulagem ambiental: (1) proteger e melhorar o meio ambiente; (2) encorajar a inovação ambientalmente saudável na indústria; (3) desenvolver a consciência ambiental dos consumidores (BRASIL, 2002.p.42).

4.2.1 Rotulagem ambiental para materiais e componentes construtivos

No âmbito internacional, a rotulagem ambiental no setor da indústria da construção surgiu já na década de 70. O primeiro selo internacional foi criado em 1978, chamado Blau Angel (Anjo Azul) e é muito utilizado para rotulagem de tintas e vernizes, indicando, por exemplo, baixa emissão de poluentes dos produtos certificados. Para Araújo¹⁷ (2005), a rotulagem ambiental na construção civil apresenta as seguintes vantagens:

1. Garante diferencial ao fabricante;
2. Pode servir de estímulo aos fabricantes;
3. Pode servir como ferramenta de marketing às empresas;

¹⁷ Márcio Araújo é proprietário e fundador do IDHEA (Instituto para Desenvolvimento da Habitação Ecológica) e, junto aos laboratórios do IPT e Falcão Bauer, desenvolve materiais construtivos ecológicos. O IDHEA e o laboratório Falcão Bauer também vem desenvolvendo, em conjunto, uma certificação para materiais e componentes construtivos sustentáveis.

4. Objetiva criar uma cultura do ecoproduto. Ex.: Na Alemanha, 85% da população conhecem o Anjo Azul e dão preferência a produtos com este selo.

Hoje, no mundo e principalmente na União Européia, existe uma série de rotulagens voltadas exclusivamente para os materiais e componentes da construção de edifícios. Entre os mais conhecidos estão:

Environmental Choice – Canadá, 1988

Cisne Branco – Países Escandinavos – 1988

Eco-Mark – Japão – 1989

Green Seal – EUA – 1990

NF Environnement - França – 1991

Eco-Mark – Índia – 1991

European Ecolabelling – 1992

FSC – internacional - 1995

4.2.2 A Situação do Brasil

O Brasil está bastante defasado neste setor da certificação para produtos sustentáveis ou ecológicos. Infelizmente, na área da construção, ainda não existe uma rotulagem ambiental exclusivamente brasileira, o que faz com que os produtores necessitem a busca por selos internacionais ou a autocertificação.

O selo mais utilizado, hoje, no Brasil, é o FSC, que certifica madeiras de acordo com sua procedência, valorizando fornecedores que respeitam o manejo ambiental. Porém, apesar de todo o revestimento teórico que envolve esta prática, pouco tem sido feito para realmente atingir o objetivo principal que é a garantia da produtividade e qualidade das florestas. Na Amazônia, apenas 7% da madeira extraída, possui algum manejo sustentável (REVISTA DA MADEIRA, 2008)

O selo PROCEL¹⁸ também é outra certificação brasileira bastante eficiente para informar o consumo energético de equipamentos domésticos e de iluminação, mas não certifica quanto aos outros fatores ambientais, portanto não pode ser considerado uma rotulagem ambiental.

Fruto de pressões cada vez maiores do mercado, principalmente o internacional, há um aumento de empresas que têm buscado aplicar Sistemas de Gestão Ambiental (SGA). As empresas atualmente vêm buscando a ISO 14.000, que são implementados voluntariamente com a ajuda de consultores.

¹⁸ Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

A ABNT vem fazendo alguns esforços para inserir o conceito de desempenho sustentável nas suas normas, mas ainda dá os primeiros passos na normatização. Destacam-se neste trabalho as recomendações da parte 01 do projeto de norma **02:136.01.001/1:2007**, que coloca como requisito de desempenho dos materiais e componentes algumas considerações ambientais:

Durabilidade, manutenibilidade: os elementos, componentes e instalações das edificações habitacionais, submetidos a intervenções periódicas de manutenção e conservação segundo as instruções do fornecedor, devem manter sua capacidade funcional durante toda a sua vida útil prevista no projeto. Devem ser facilitados os procedimentos de limpeza e manutenção.

Adequação ambiental: minimizar impactos ambientais na região da implantação, entre eles: desconfinamento do solo, deslizamentos de taludes, enchentes, erosões, assoreamento de vales ou cursos de água, lançamento de esgoto a céu aberto, contaminação do solo ou da água por efluentes ou substâncias empregadas na construção, contaminação do solo com entulho ou rejeitos, contaminação do ar com aerodispersóides e outros riscos similares. Os elementos, componentes e instalações das edificações habitacionais devem ser produzidos mediante exploração e consumo racionalizado de recursos naturais, com a mínima degradação ambiental e o mínimo consumo de água, energia e matérias-primas (ABNT, 2007. p.30 e 33).

Apesar dessas preocupações, a norma deixa claro que: “é de responsabilidade do empreendedor e dos projetistas a identificação dos riscos ambientais e da adoção das medidas cabíveis.” (ABNT, 2007. p.33).

Existe também no Brasil, a criação do PBQP-H (Programa Brasileiro de Qualidade e Produtividade no Habitat), que busca pela melhoria da qualidade da construção de habitações, o que traz conseqüente diminuição de desperdício e manutenção dos edifícios. O monitoramento dos padrões de qualidade e o cumprimento das normas técnicas de produção dos materiais de construção são de fundamental importância, pois este fato tem implicações sobre a sustentabilidade geral do ambiente construído na medida em que ajuda a reduzir o desperdício de matéria-prima causada por materiais de baixa qualidade.

Um exemplo de ação do PBQP-H é com relação ao aumento da conformidade do requisito estanqueidade e dispersão do jato de torneiras e registros, possibilitando reduzir perdas de água por vazamento, correspondentes a até 15% da demanda de água por habitação (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

O programa possui um selo para materiais e componentes que possuem alta conformidade técnica, o SiMac – Sistema de qualificação de materiais, componentes e sistemas construtivos. Suas ações já apresentam resultados positivos no Brasil:

Antes da implantação do Sistema, o percentual médio de não-conformidade dos materiais e componentes da construção civil habitacional estava em torno de 50%. Com a implementação dos Programas Setoriais da Qualidade (PSQs), conseguiu-se reduzir este percentual para aproximadamente 20%, sendo que alguns segmentos já atingiram níveis próximos a 100% de conformidade. (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

O PBQP-H ainda enfatiza que está na mão do consumidor a promoção de ações por uma mudança nos paradigmas atuais, pois ele tem o poder de compra e suas exigências podem afetar mudanças no mercado: "Ao adquirir um imóvel de uma construtora qualificada, ou comprar preferencialmente materiais em conformidade com padrões de qualidade, o consumidor final estará exercitando seu maior poder: o de regulador do mercado." (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2007).

Apesar do PBQP-H contribuir para uma série de fatores ambientais, mesmo que de forma indireta, ele não é um certificador de materiais sustentáveis para construção.

4.2.2.1 ISO 14.000

Por se tratar da certificação mais comum no Brasil, as normas ISO 14.000 são mais especificamente tratadas. Elas são a descrição dos esforços empreendidos pelas empresas para resolverem ou administrarem problemas ambientais por elas mesmas gerados. Surgiu em 1993, elaboradas pela ISO - *International Organization for Standardization* (Organização Internacional de Padronização), ONG sediada em Genebra, Suíça, com representação em 130 países. Representada no Brasil pela ABNT.

As normas ISO classificam a Rotulagem Ambiental de duas formas (KOHLRAUSCH, 2003):

Rotulagem de primeira parte: é a autodeclaração produzida pelo próprio fabricante. Esta informação não segue nenhum tipo de norma, mas a ISO 14.021 busca padronização dos selos. Os mais comuns no Brasil são: "Reciclado", "Não contém CFC", "Não contém cloro", "Economiza água", "Economiza energia", "Material ecológico" e "Produto amigo do meio ambiente". Esta autodeclaração é adotada pelos fabricantes por ter custo baixo, mas pode gerar uma série de produtos com marketing enganoso. Podem ser usados apenas de advertência, não sendo possível garantir a sustentabilidade do produto, pois não se baseia em um indicador quantitativo ou ao menos uma qualidade comprovada;

Rotulagem de terceira parte: são aqueles certificados por entidades independentes do fabricante. São de adesão voluntária, multicriteriosos, possuem um órgão independente, exigem testes específicos de verificação. Esta rotulagem corresponde à norma ISO 14.020. Em geral utiliza o ACV¹⁹ como ferramenta de análise dos produtos. A série das normas que confere rótulos ambientais ainda não está vigente no Brasil.

O foco das normas ISO 14.000 é a documentação do destino que as empresas dão a seus resíduos (envio a aterros sanitários legalizados, área para separação e coleta de lixo reciclável etc.), emissões atmosféricas e efluentes líquidos. Suas principais estratégias são o controle das emissões e resíduos e implementações de atos de responsabilidade ambiental e social.

¹⁹ Análise de Ciclo de Vida

No Brasil, a empresa que procura implementar as normas ISO 14000 receberá um certificado que comprova a aplicação de um Sistema de Gestão Ambiental (SGA), com atendimento de exigências legais e de políticas ambientais. Porém, muito não é considerado nestas certificações, como, por exemplo, a qualidade da matéria-prima (se é tóxica, ou não-biodegradável, ou não-renovável). Uma empresa que produz um material nocivo à natureza pode obter o certificado se aplicar um SGA, porém este produto não pode ser considerado sustentável ou ecológico. O que é garantido é o menor impacto desta indústria do que outras do mesmo ramo.

Assim sendo, a certificação ISO 14.001 não serve como rotulagem ambiental, pelo menos ainda não no Brasil. Aqui, um dos princípios da ISO 14.000 coloca que a ACV, fundamental para a análise dos impactos de um produto, é “recomendada” e “apropriada”, mas não obrigatória.

Araújo (2005) lembra que SGA e ISO 14.000 são ferramentas para a qualidade ambiental dentro das empresas, mas não representam um compromisso direto com a fabricação de produtos mais sustentáveis. A opção por esta mudança de paradigma se deve pelo resultante ganho financeiro provindo de um menor consumo energético, tratamento dos dejetos (que diminuem o risco de multa) ou reaproveitamento de subprodutos. Apesar disso, é sempre mais válido optar por materiais e componentes de empresas certificadas, pois pelo menos parte do processo é garantida.

4.3 ECOPRODUTOS

O termo foi utilizado pela primeira vez na Alemanha, no final dos anos 70, oriundo da agricultura orgânica. Araújo (2005) conceitua produto ecológico como todo artigo de origem artesanal ou industrializada, de uso pessoal, alimentar, residencial, comercial, agrícola e industrial, que seja não-poluente, não-tóxico, benéfico ao meio ambiente e à saúde dos seres vivos, contribuindo para o desenvolvimento de um modelo econômico e social sustentável.

Para Manzini e Vezzoli (2002), o foco da produção sustentável deve ser a redução de gastos com matéria-prima, energia e lixo, desde o nascimento até o descarte de um artefato. Os autores colocam a necessidade de desmaterialização de um produto, cedendo espaço a contextos de qualidade de vida e bem-estar, desligados da necessidade de consumo. Esta questão é complexa, visto a mudança de paradigma necessária na sociedade atual.

Roaf, Fuentes e Thomas (2006) colocam os seguintes fatores para qualificar um material ou componente como mais sustentável (p. 51):

1. A energia necessária para produzi-lo;
2. Emissão de CO₂ resultante da fabricação do material;
3. Impacto no meio ambiente local resultante da extração do material;

4. Toxicidade do material;
5. Transporte do material durante sua fabricação e entrega ao sítio;
6. Grau de poluição do material no final de sua vida útil;

Para o GBC (2006), o que faz um material ou componente da construção de edificações ser mais sustentável é um conjunto de fatores:

1. Produtos feitos com materiais brutos, reciclados ou com resíduos agroindustriais;
2. Produtos que conservam reservas naturais;
3. Produtos que evitam tóxicos perigosos ou outras emissões;
4. Produtos que conservam água e energia;
5. Produtos que contribuem para ambiente construído saudável e seguro.

A seguir está um quadro (quadro 7) de materiais e componentes de construção industrializados existentes no mercado brasileiro que se auto-denominam como ecológicos ou sustentáveis (quase todos possuem certificado de conformidade técnica do IPT). O quadro 7 mostra apenas alguns materiais, mas Araújo (2005) aponta que há um número crescente de pequenas indústrias que vêm desenvolvendo materiais e componentes com características ambientais e sociais bastante positivas. O autor alerta quanto à baixa divulgação²⁰ e falta de incentivo institucional para seu crescimento.

Quadro 7 – Ecoprodutos de construção do mercado brasileiro

Descrição do material ou componente	Imagem
Ecotintas minerais e ecoverniz: são acabamentos baseados em materiais naturais e atóxicos e sem emissão de VOC. Fonte: ECOTINTAS, 2008.	
Tijolos modulares de solo-cimento: feitos com solo estabilizados, permitem uma obra rápida e racional, com menor uso de cimento. Já vem sendo fabricados em muitos lugares do Brasil. Fonte: SAHARA, 2006.	
Vasos sanitários com caixa acoplada e controle de fluxo: consomem em torno de 6 litros por acionamento. Já existem bacias com dois sistemas de descarga, maior e menor fluxo de água, um jato de 6l e outro de 3l. Fonte: DECA, 2008.	

²⁰ No Brasil existe apenas um site como fonte de informações sobre ecoprodutos: www.catalogosustentavel.com.br. No mundo existem muitos: www.nontoxic.com, www.buildingforhealth.com, entre outros.

<p>Telhas de fibras vegetais, feitas com material natural. Fonte: ONDULINE, 2008.</p>	
<p>Telhas recicladas de embalagem longa vida ou tubos de pasta de dente, disponíveis em diferentes espessuras. Já são fabricadas em São Paulo e Santa Catarina. Fonte: ECOLEO, 2008.</p>	
<p>Sistemas de tratamento de efluentes domésticos, comporta um sistema de filtros aeróbicos anaeróbicos e lodo ativo, que purifica os efluentes em quase 99%. Fonte: MIZUMO, 2008.</p>	

Um ecoproduto é um exemplo de que os avanços tecnológicos podem ser utilizados em favor do ambiente e da vida humana no planeta. O *ecodesign* de produtos para a construção de edifícios vai buscar na natureza seu modelo. Os materiais que compõem os ecoprodutos geralmente são (ARAÚJO, 2005; SPIEGEL e MEADOWS, 2006; ROAF, 2006):

1. **Materiais biodegradáveis**, ou seja, que podem ser degradados naturalmente em menor tempo;
2. **Materiais com longa vida útil, para que se diminua a substituição de peças**. Esta característica ajuda a diminuir o desperdício de materiais, mas entra em contradição com a anterior, pois para ser durável, um material não pode biodegradar facilmente;
3. **Material de baixo consumo energético e/ou baixa energia embutida;**
4. **Materiais naturais e pouco processados**, sem uso de derivados de petróleo ou elementos tóxicos em sua composição;
5. **Materiais compósitos**, que aproveitam resíduos da agricultura ou outras indústrias;
6. **Materiais com base na agricultura**, como bioplásticos a base milho ou colas a base de soja já estão em desenvolvimento nos Estados Unidos como forma de substituir o petróleo.

Apesar destas características, este setor ainda é permeado de poucas definições mais rígidas e a própria denominação de ecoproduto deve ser questionada, pois não é possível um material ser 100% sustentável ou ecológico. O uso que é dado e o descarte deste material ou componente também influencia sua sustentabilidade final.

4.4 MUDANÇAS DE PARADIGMAS NA ÁREA TECNOLÓGICA DOS MATERIAIS E COMPONENTES

O crescente surgimento de produtos que defendem o menor impacto ambiental e maior acessibilidade social aponta uma mudança na área tecnológica de materiais e componentes. Soares, Souza e Pereira (2007) enfatizam que o mercado da construção de edifícios passa por melhorias contínuas, submetidas por legislações e normas e que a sustentabilidade dos materiais e componentes representa um importante campo na engenharia ambientalmente responsável, que deverá ser inserido como diferencial na competitividade existente.

Numa sociedade cuja população vem crescendo cada vez mais e, conseqüentemente consumindo cada vez mais, é indispensável se pensar em desenvolvimento como aprimoramento tecnológico (VIANNA, 1989).

Mas ainda existe uma grande resistência a mudanças, comum no campo da construção de edifícios, que costuma ser muito tradicional. Um documento de discussão sobre a implantação da Agenda 21 para a construção sustentável em países em desenvolvimento (CIB - UNEP, 2002. p.16. Tradução nossa), colocou os seguintes itens como desafios para se atingir essa meta:

1. **A falta de consciência da população** sobre os problemas enfrentados hoje em relação à construção de edifícios e sobre como se construir de forma mais sustentável;
2. **Baixa transferência de conhecimento na área que por vezes é inerte.** A construção sustentável deverá contar com profissionais (arquitetos, engenheiros e construtores) mais especializados e com maior conhecimento das interações ambientais;
3. **Falta de interesse da indústria da construção**, que tradicionalmente é muito resistente a mudanças, especialmente com relação aos métodos e materiais construtivos. Há baixa demanda de produtos sustentáveis no mercado. As indústrias seguem os padrões de consumo de seus clientes, que priorizam alta tecnologia ou preço, considerados vícios do sistema atual de produção e consumo;
4. **Inércia tecnológica em países em desenvolvimento**, que ficam dependentes das soluções tecnológicas de outros países mais desenvolvidos;
5. **Falta de integração na pesquisa.** As instituições pesquisam materiais e componentes de forma isolada e não há uma abordagem holística. Este fato, além de gerar falta de dados, pois estes são muito pontuais e isolados, dificulta o acesso à informação global.

Estes desafios apontados mostram que muito ainda precisa ser feito para se atingir alguma mudança e que, na área da arquitetura estas mudanças passam a ser mais delicadas pelos efeitos sociais que elas envolvem. Tecnologia na arquitetura vai além do "saber-fazer" técnico e abrange um

conjunto de técnicas e soluções, não existe tecnologia dissociada das condições econômicas, sociais e culturais (VIANNA, 1990).

Para Capra (2001), é necessária uma profunda mudança nos modos de vida, os quais sustentam toda a produção tecnológica do planeta. O desenvolvimento tecnológico será a base para que o desenvolvimento sustentável seja atingido. Segundo CIB-UNEP (2002. p.23. Tradução nossa), o futuro da construção de edifícios envolverá:

1. **Construções e infraestruturas urbanas ecossistêmicas:** criação do ambiente construído de forma a imitar a natureza (*biomimic*), desde a produção dos materiais até o planejamento das cidades. Visão holística das interações;
2. **Revolução renovável:** ênfase aos recursos renováveis, tanto de energia como de materiais (são citados: madeira, palha e bambu);
3. **Biotecnologia:** considerada a próxima revolução científica. Poderá resolver questões de geração de energia e gerenciamento de água de forma natural e renovável;
4. **Reciclagem:** criação de materiais e componentes a partir do reuso ou reciclagem de resíduos;
5. **Repensar a construção tradicional:** aliar os conhecimentos e qualidades da arquitetura vernacular com os avanços tecnológicos atuais;
6. **Mudanças nos processos construtivos:** inserir no sistema atual, processos mais sustentáveis.

Não se sabe ainda se o futuro tecnológico da arquitetura será uma volta ao passado ou um mundo de alta tecnologia empregada para resolver os problemas ambientais e sociais da atual sociedade. Para Silva (2004), as soluções deverão ser localizadas, adequadas a cada conceito, admitindo variáveis, sem verdades absolutas. A autora dá o exemplo dos países em desenvolvimento, onde os recursos financeiros são escassos e a viabilidade econômica acaba assumindo importância vital.

Mudanças serão necessárias e o que se pode perceber é que a nova tecnologia estará profundamente enraizada e tendo como principal foco a natureza e seus ciclos, espelhando-se na sua alta eficiência, para alcance tanto dos benefícios ambientais, como econômicos e sociais. A figura a seguir mostra uma mudança necessária para a continuidade da existência humana em longo prazo no planeta, a passagem de um sistema linear de produção para um sistema que parte do princípio de ciclos fechados.

5 SELEÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL DE MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES – OS MODELOS ATUAIS

A seguir, são levantadas e avaliadas algumas metodologias atuais utilizadas para seleção mais sustentável de materiais e componentes. O objetivo de tais ferramentas é o de ajudar a tomada de decisão ao passo que permitem identificar aspectos relevantes na seleção.

5.1 SELEÇÃO POR INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

Indicadores são aqueles que podem “comunicar ou informar sobre o progresso em direção a uma determinada meta.” São dados que “resumem informações relevantes de um fenômeno particular” (BELLEN, 2005. p.41). Um indicador de sustentabilidade é aquele que vai informar, com base num parâmetro, o grau de sustentabilidade de algo (neste caso de um determinado material ou componente construtivo), para que a tomada de decisão no sentido de construções mais sustentáveis possa ser feita.

Existem muitos meios para avaliar se um material ou componente é mais ou menos sustentável e hoje tem se dado especial atenção para sua energia incorporada ou emissão de CO₂ (JOHN, OLIVEIRA e AGOPYAN, 2006).

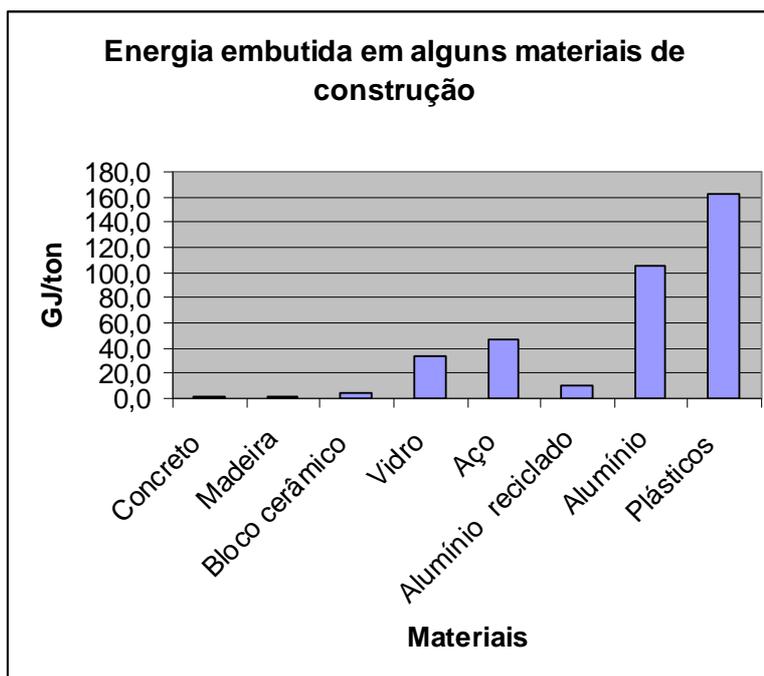
5.1.1 Energia Embutida ou Energia Incorporada

Energia embutida é toda a energia consumida durante todo o ciclo de vida do material. A escolha dos materiais e componentes é feita com base na análise de toda a energia consumida, sendo os melhores materiais aqueles que consomem menos energia.

Em geral, usa-se uma lista de intensidades de energia consumidas (J/g ou GJ/ton) para produção de cada material, em cada país, dividindo-os em “bons” e “ruins”. O consumo específico de energia na produção de cada material pode ser obtido em bibliografias especializadas, como aparece na tabela 5.

John, Oliveira e Agopyan (2006) são da opinião de que o critério da energia incorporada é incompleto, já que outros fatores devem ser considerados, como por exemplo, a utilização de água ou aspectos sociais. Ainda colocam que a fonte de energia não é considerada e que o consumo energético pode variar de acordo com cada fabricante do material.

Tabela 5 - Comparação do custo energético embutido em materiais de construção



Fonte: Yeang, 2006. p. 376.

O critério da energia incorporada pode ser impertinente no caso do uso de energia de fonte renovável e não poluente na fabricação de um produto, seja ele aço ou alumínio (materiais com grande energia embutida).

5.1.2 Emissão de CO₂

A emissão de CO₂ é uma das principais preocupações existentes hoje com relação ao futuro do planeta. Este gás é o grande causador do efeito estufa por ter a propriedade de bloquear a saída das radiações infravermelhas da camada troposférica.

O indicador de emissão de CO₂ parte do mesmo princípio que o da energia incorporada: um material é melhor se, durante todo seu ciclo de vida, tiver baixa emissão de CO₂ (seja na produção, transporte ou no seu descarte).

Este indicador é um pouco mais abrangente do que o da energia incorporada, pois trata de uma variedade um pouco maior de aspectos, inclusive do uso de derivados de petróleo como combustível ou como composição química. Porém, também é limitante já que desconsidera muitos outros fatores tão ou mais relevantes.

5.2 MATERIAIS PREFERENCIAIS

Este é um critério em que se dá preferência a materiais que possuem um menor impacto sobre a natureza ou o ser humano. Materiais com alto grau de toxicidade ou baixo grau de biodegradabilidade, por exemplo, têm seu uso desencorajado. Já os materiais reciclados, com baixa emissão de poluentes em sua produção ou de longa vida útil são indicados.

O método é utilizado pela maioria dos certificadores internacionais para construções sustentáveis, que geralmente colocam um sistema de pontuação de acordo com a seleção de alguns materiais.

O reuso e conteúdo reciclado são bastante encorajados na seleção. Também são bastante consideradas as questões da facilidade de desmonte e de recuperação de estruturas existentes no local de inserção do edifício. Porém a maioria deles não considera questões econômicas ou sociais.

Um exemplo de seleção por materiais preferenciais pode ser mostrado pelo complexo edificado na Inglaterra, o BedZed (figura 11). A seleção cuidadosa de materiais reduziu o impacto no ambiente natural do BedZed em aproximadamente 25% (BIOREGIONAL, 2008).



Figura 11: Bed Zed, localizado próximo a Londres. Projeto de Bill Dunster elaborado no ano de 2000

Fonte: BED ZED HOUSE, 2008.

No complexo, 15% (3,404 ton) dos materiais de construção têm origem da reciclagem de outros materiais. 52% dos materiais de construção vieram de um raio menor de 50 km do local da obra. A escolha da madeira ao invés do PVC nas esquadrias do BedZed poupou a emissão de aproximadamente 800 toneladas de dióxido de carbono, algo em torno de 12.5% do CO₂ embutido total de todo o complexo edificado (BIOREGIONAL, 2008).

No projeto **Tecnologias para a Construção Habitacional mais Sustentável** (John, Oliveira e Lima, 2007), desenvolvido a partir da FINEP envolvendo cinco universidades públicas brasileiras, foi feita uma síntese dos critérios abrangidos para seleção de materiais pelos principais certificadores mundiais. Concluiu-se que a seleção de materiais preferíveis não pode ser inserida a curto prazo no Brasil, pela ausência de informações e de material teórico, ou por desordem de algumas indústrias importantes da construção, como de mineração e extração de madeira.

No ANEXO C está um quadro que mostra os critérios preferenciais de seleção de materiais e componentes pelo LEED e GBTool, baseado no trabalho de Triana (2005). O que se percebe é que os certificadores de edifícios mostram-se vagos ainda para uma séria de variáveis que podem afetar na sustentabilidade do edifício, influenciando a escolha de materiais. Não há menção ou especificação sobre o correto detalhamento, ou sobre os materiais para tratamento da madeira, já que seu uso é encorajado. Triana (2005) ainda coloca que o sistema de pontuação e porcentagens não é bem recebido pelos arquitetos na prática.

5.3 ANÁLISE DO CICLO DE VIDA (ACV)

Análise do Ciclo de Vida, ou ACV, consiste em “analisar as repercussões ambientais de um produto ou atividade, a partir de um inventário de entradas e saídas (matérias-primas e energia, produtos, subprodutos e resíduos) do sistema considerado” (SOARES, SOUZA E PEREIRA; 2006). Esta análise abrange todas as etapas desde a extração da matéria-prima até o descarte ou reciclagem (o ciclo de vida).

Para John, Oliveira e Agopyan (2006), a ACV é a ferramenta mais completa para avaliação de cargas ambientais, do que a adoção de um critério único, porque pode levar em consideração um leque amplo de questões ambientais, desde o consumo de recursos até a geração de resíduos. Por outro lado, demanda grande quantidade e variedade de dados, dificilmente reunidas de forma consistente.

Na prática da ACV na construção de edifícios, cria-se um banco de dados contendo o impacto ambiental de diferentes materiais de construção (cimento, tintas, blocos e outros). Para a escolha, várias opções de construção que atendam uma mesma função podem ser comparadas. Por exemplo, para uma parede, pode ser comparado o uso de blocos de cerâmica com blocos de concreto e verificada a opção mais sustentável.

No Brasil, os estudos da ACV para o ambiente construído ainda dá os primeiros passos e não existe um banco de dados que possa ser utilizado na prática. Muitos profissionais recorrem a bancos

de dados internacionais, porém estes podem não refletir o mesmo quadro de produção, utilização e descarte do material.

A ACV é normalizada em todo o mundo pela ISO 14000, que utiliza as seguintes etapas de análise e proposta (BRASIL, 2002):

1. **Definição de objetivos** - finalidade, dados a ser levantados;

2. **Inventário** – formação de um banco de dados com informações quantitativas de energia, matérias-primas usadas/necessárias, emissões e poluentes gerados, lançamentos no ambiente durante o ciclo de vida do produto, processo ou atividade;

3. **Análise de impacto** – avalia os efeitos das cargas ambientais identificadas no inventário. Considera os efeitos sobre a saúde humana e meio ambiente;

4. **Análise de melhoria** – avalia as necessidades e oportunidades para reduzir a carga ambiental associada à energia e matéria-prima utilizadas e às emissões de resíduos em todo ciclo de vida de um produto ou serviço;

5. **Interpretação de resultados e tomada de decisões** – os resultados são avaliados e medidas corretivas são propostas, de forma a melhorar o desempenho sustentável de todo o processo.

Na ACV atual, têm-se considerado os fatores econômicos das produções, numa metodologia que se chama LCC (*Life Cycle Cost*) ou custo de ciclo de vida. O custo é considerado desde a produção até o necessário para manutenção, descarte ou possível reciclagem. Em países em desenvolvimento, este tipo de análise é de extrema importância considerando que os materiais e componentes devem ser economicamente acessíveis à maioria da população.

Para Yeang (2006) o processo correto para a análise de materiais e componentes envolve:

1. Entender padrões e fluxos a partir de esquemas complexos que abrangem todo o ciclo de vida da edificação;

2. Detalhar os componentes físicos (identificá-los e qualificá-los). Por exemplo: a produção de cerâmica gera CO₂, que é um gás que provoca efeito estufa;

3. Quantificar os componentes físicos, por exemplo: a emissão de CO₂ para produzir x quilogramas de cerâmica é de x gramas;

4. Converter as grandezas de peso ou volume para equivalentes de impactos ecológicos, que hoje já são pré-estabelecidos.

O que vai diferenciar o impacto de uma edificação pela escolha do material x ou y, que tenham a mesma função, é o entendimento de todos os fluxos, processos, entradas e saídas envolvidos em toda a sua vida útil.

Pela sua complexidade, estes tipos de análise por parte dos projetistas pode ser inviável, devendo haver um banco de dados pronto para consulta, que já contenha todas as informações sobre o ciclo de vida dos materiais.

5.4 MATRIZ COMPARATIVA DE MATERIAIS E SISTEMAS DE APOIO À DECISÃO

As matrizes comparativas avaliam os materiais utilizados na obra a partir de quesitos pré-estabelecidos. Numa primeira etapa são definidos critérios de valoração e regras para a uniformidade da avaliação. Num segundo período são levantados dados e informações sobre cada critério.

Esta metodologia foi utilizada no projeto Casa Autônoma (figura 12), edificação sustentável construída em Brasília, no ano de 2001, pelo arquiteto Mário Hermes Stanziona Viggiano.



Figura 12: Casa Autônoma

Fonte: CASA AUTÔNOMA, 2008.

Os materiais são comparados entre si, de acordo com pesos dados para cada critério, conforme mostram as matrizes utilizadas para selecionar materiais para as vedações verticais e horizontais da casa (figuras 13 e 14). São considerados, nas matrizes, desde aspectos bioclimáticos até a disponibilidade e capacitação da mão-de-obra, mostrando que o grau de transferência da técnica é bastante considerado nas escolhas. Interessante observar que, neste método, o caráter estético e a viabilidade de preço também se mostraram relevantes, até mais que os impactos ambientais.

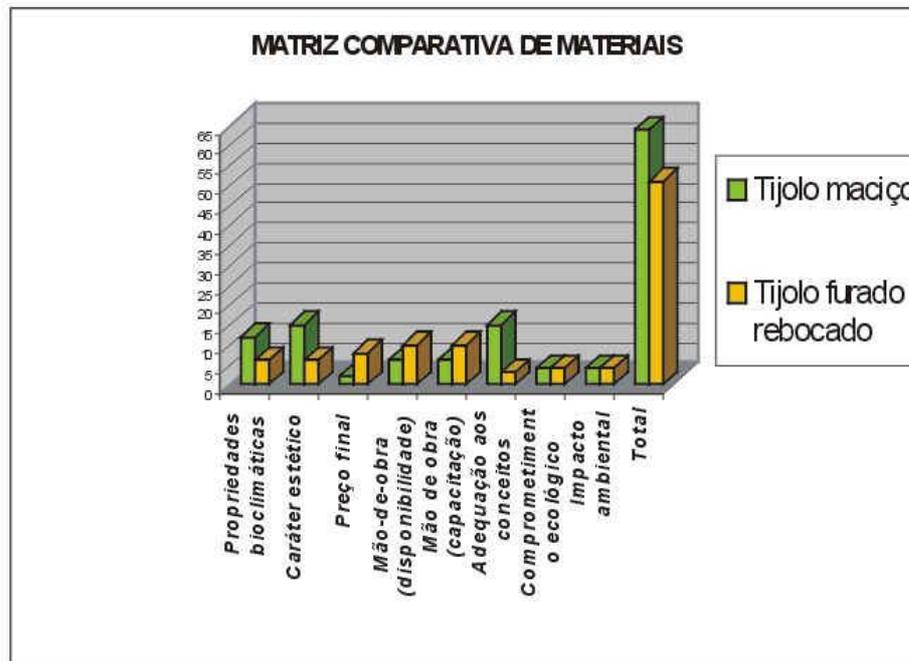


Figura 13: Matriz comparativa de materiais para as vedações verticais do projeto Casa Autônoma
Fonte: CASA AUTÔNOMA, 2008.

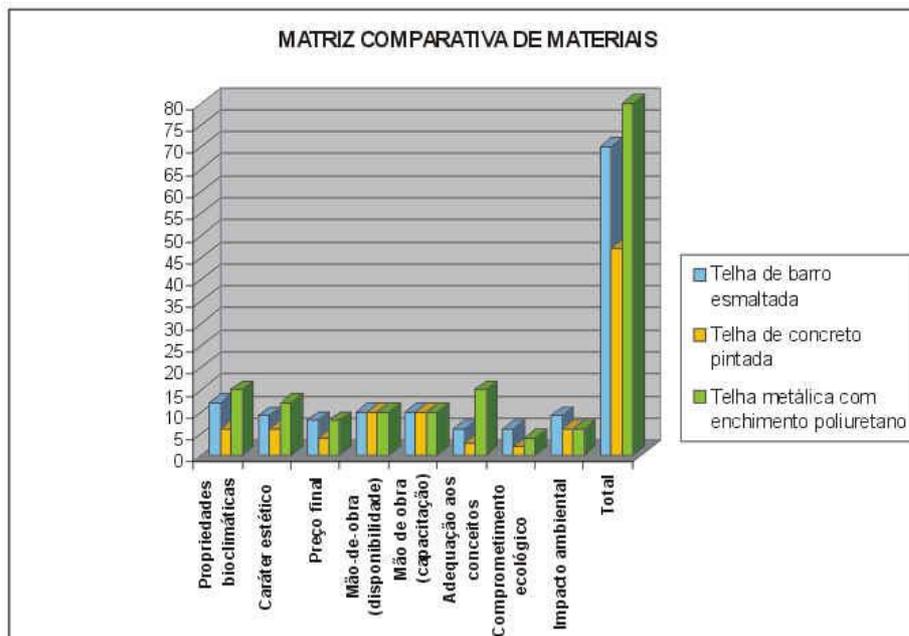


Figura 14: Matriz comparativa de materiais para cobertura do projeto Casa Autônoma
Fonte: CASA AUTÔNOMA, 2008.

Trata-se de um método interessante, mas depende de uma fonte segura para reunir os dados necessários. A questão dos pesos para cada critério também pode variar e é difícil quantificar aspectos mais subjetivos como “caráter estético” ou valores sociais e culturais.

A aceitação deste método por parte dos profissionais é um ponto que deveria ser testado, já que o método envolve grande quantidade de pesquisa e levantamento de dados.

Como forma de facilitar a elaboração de matrizes comparativas, vem sendo desenvolvidos sistemas computacionais de apoio a decisão. Um modelo que recebe maior destaque é o BEES[®], um dos mais completos modelos de seleção de materiais e componentes atuais.

O BEES²¹ mede o desempenho ambiental de materiais construtivos pelo uso de análise de ciclo de vida, por uma metodologia especificada na ISO 14.040. Todos os estágios do produto são analisados: fontes de materiais, manufatura, transporte, instalação, uso e reciclagem ou gerenciamento dos resíduos. A performance econômica também é medida pela metodologia do Custo de Ciclo de Vida (LCC) e aborda o investimento inicial, custos de manutenção e de descarte ou reciclagem. Ao fim das análises a performance do material é medida e sua seleção pode ser feita com base de um sistema Multi-Critério de apoio à decisão (BFRL, 2008).

Infelizmente, o programa se baseia em dados internacionais e gerais dos materiais e, considerando que, no Brasil, a indústria da construção de edifícios não é muito padronizada em termos de sistemas de produção, uso de energia, geração de resíduos, entre outros, é possível que o sistema não mostre a realidade dos produtos nacionais.

5.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS MÉTODOS E OUTRAS QUESTÕES ENVOLVIDAS

Silva (2003) analisou os métodos de certificação de edificações sustentáveis e algumas de suas considerações podem ser adaptadas nas análises dos métodos de seleção de materiais e componentes apresentados. Para a autora, os métodos devem ser:

- 1. Tecnicamente conscientes**, adaptados a dados nacionais relevantes;
- 2. Viáveis praticamente**, adaptado ao mercado, às práticas de construção e às tradições locais;
- 3. Absorvidos e difundidos rapidamente**, sendo facilmente identificáveis e desenvolvidos junto às partes interessadas: investidores, empreendedores, consumidores, projetistas;
- 4. Apropriados aos conceitos nacionais**, já que devem considerar os aspectos sociais e econômicos e os interesses e prioridades do país.

Algumas outras questões precisam ser abordadas, pois aparecem em muitas literaturas como premissas de sustentabilidade aplicadas para materiais e componentes construtivos. São elas: a transferência tecnológica e as questões de qualidade, longa vida útil e racionalidade construtiva.

²¹ O sistema pode ser baixado gratuitamente no site: <http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees/>

5.5.1 Transferência tecnológica e tecnologia apropriada

A questão da transferência tecnológica deve ser considerada pela sua importância social. John (2000) apontou esta qualidade como inerente aos novos materiais construtivos para poderem ter espaço no mercado de construção brasileiro. O Holcim Awards coloca esta categoria como um dos pressupostos dos projetos sustentáveis.

Conceituado por Vianna (1990), transferência tecnológica é o uso da mesma tecnologia para lugares diferentes. Pode se dar em diversas formas: transferência pura e simples de produtos, ou transferência de Know-how (VIANNA, 1990). Na transferência pura e simples do produto, os materiais podem ser encontrados em diversos locais, por vezes no mundo todo (como é o caso do cimento, ou das tintas acrílicas). A transferência de know-how é mais voltado para o sistema construtivo, ou seja a forma de construir com determinado material. Este aspecto é citado por John (2000) como uma forma de aumentar a sustentabilidade social de um material construtivo, pois aumenta a capacidade da população de compreender e desenvolver tecnologias de maneira autônoma, alcançando assim maior liberdade.

Após a ocorrência da transferência de Know-How, um próximo estágio seria a apropriação da técnica por uma população, fato comum na construção de edifícios. Com a tecnologia apropriada, propõe-se a atender às necessidades de uma população com maior comprometimento com os aspectos sociais.

Segundo Kruger (2000. p.14) a tecnologia apropriada tem como principais características: "baixo investimento por emprego criado; baixo investimento de capital por unidade produzida; organização simples e de pequena e média escala; adaptação e harmonia com o ambiente sócio cultural; economia de uso de recursos naturais; baixo custo do produto final; alto potencial gerador de empregos." Sendo assim, seus propósitos estariam muito alinhados, em muitos níveis, com o conceito de sustentabilidade.

5.5.2 Qualidade, Durabilidade e Racionalidade

O monitoramento dos padrões de qualidade e o cumprimento das normas técnicas de produção dos materiais de construção têm implicações sobre a sustentabilidade geral do ambiente construído na medida em que ajuda a reduzir o desperdício de matéria-prima causada por materiais de baixa qualidade.

A durabilidade é medida pela vida útil de um material ou componente. Quanto mais alta esta vida útil e menor manutenção, menor o consumo de recursos e energia, ou seja, maior sustentabilidade.

A racionalidade, característica dos materiais e componentes padronizados e modulados, também ajuda na diminuição do desperdício e geração de resíduos desde que o projeto arquitetônico seja baseado nessa padronização.

Estes quesitos são considerados pelo modelo BEES de seleção de materiais e componentes, que considera que um material ou componente construtivo deve durar no mínimo 50 anos (BFRL, 2008). Mas o modelo mostra uma preocupação com relação à obsolescência tecnológica que pode ocorrer durante este período.

6 O PARADIGMA DA SUSTENTABILIDADE NA SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES PARA EDIFICAÇÕES - ESTUDOS DE CASO

O presente capítulo tem por objetivos mostrar os estudos de caso realizados nesta pesquisa e sua análise.

6.1 METODOLOGIA PARA OS ESTUDOS DE CASO

O estudo de caso é uma “inquirição empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de um contexto da vida real” (YIN, 1994. p.23). É um método qualitativo e exploratório.

Yin (1994) coloca que a adoção do método de estudos de caso é indicada quando a pergunta de pesquisa é do tipo “como” ou “porque” e, nas quais, o pesquisador não tem muito controle da situação. De acordo com o autor, a preferência pelo uso do estudo de caso deve ser dada quando do estudo de eventos contemporâneos, em situações onde os comportamentos relevantes não podem ser manipulados, mas onde é possível se fazer observações diretas e entrevistas sistemáticas.

Para Richardson (1999), os estudos de caso tendem a analisar decisões: o motivo pelo qual foram tomadas, como foram tomadas, como foram implementadas e com quais resultados. Servem para aumentar o entendimento de fenômenos mais complexos, como mudanças em geral (neste caso, a mudança de um paradigma). A seleção do caso deve estar apoiada naquilo que se quer focar. O foco desta pesquisa foi analisar as decisões com relação aos materiais e componentes construtivos em edificações mais sustentáveis, da seguinte forma:

1. Analisar o motivo por optar por cada material ou componente em particular;
2. Analisar como se deu esta decisão, baseada em quê;
3. Verificar como estas decisões foram implementadas na obra e;
4. Quais resultados práticos estas decisões acarretam.

Outro método, baseado em Yin (1994) também foi aplicado: comparação dos padrões empíricos encontrados nos estudos com padrões prognósticos derivados da teoria.

As etapas dos estudos foram as seguintes:

1. Leituras relevantes sobre os tópicos a ser investigados e construção das bases teóricas;
2. Procedimentos de campo, onde foram feitos:
 - a) **Observação Direta:** visita ao local de estudo, para fazer observações e coletar evidências sobre o caso em estudo;

- b) **Entrevista com responsável pela especificação dos materiais na obra** com foco nos princípios de sustentabilidade que nortearam o projeto, nos critérios utilizados para a seleção de materiais, como se deu o processo de escolha e execução e quais foram os desafios ao se optar por um processo construtivo mais sustentável.
3. Análise das informações coletadas e montagem do relatório do estudo de caso com comparação com a teoria abordada.

6.1.1 Escolha do caso e técnica de coleta de dados

Num primeiro momento foi feito um levantamento de obras em Santa Catarina que foram construídas com princípios de sustentabilidade. As obras foram selecionadas com os seguintes critérios: obras de pequeno porte, de preferência habitacionais, com valor estético, com maior diversidade de técnicas construtivas e que atendessem ao máximo de requisitos de sustentabilidade na arquitetura estudados em bibliografia. As edificações também deveriam ter uma seleção de materiais diferenciada, voltada para os princípios de sustentabilidade. Estes critérios foram importantes já que se pretendeu atingir uma escala menor ao mesmo tempo em que se tivesse um vasto campo de estudo sobre sustentabilidade na seleção de materiais e componentes.

Foram selecionadas três edificações residenciais em cidades diferentes no estado de Santa Catarina (ver localização na figura 15). Cada edificação reflete uma realidade diferente, portanto suas soluções não podem ser comparadas, mas podem ser analisadas, por uma visão crítica e mais especializada que se conseguiu no estudo teórico, pois são exemplos da prática da sustentabilidade na seleção de materiais e componentes. O que as edificações têm em comum é o fato de todas pretenderem alcançar a sustentabilidade em algum nível e levarem este princípio em consideração na hora de escolher os materiais e componentes. São elas:

CASO 01. A sede do Condomínio Curucaca em Urubici, feita com autoconstrução com materiais locais no meio rural. Segundo a concepção dada pelo seu autor, o proprietário Carlos Jensen, em entrevista em outubro de 2007, “o espaço tinha que ser natural, mimético com a paisagem, utilizando técnicas da permacultura. Tinha que ter materiais naturais e uma cobertura verde, viva.”

CASO 02. A residência da família Abuhad em Paulo Lopes, projetada e executada pelo escritório de arquitetura sustentável Eco&Tao. Segundo os autores do projeto, a edificação deveria ter o mínimo impacto na natureza local, mas deveria se adequar economicamente e esteticamente aos anseios do cliente;

CASO 03. A Casa Eficiente em Florianópolis, um protótipo de residência com tecnologias e soluções sustentáveis voltadas para eficiência energética. Na concepção, segundo o projeto:

buscou-se o equilíbrio entre a tecnologia e o aproveitamento de fontes naturais de energia, a partir da utilização de procedimentos adequados do ponto de vista da eficiência energética e da conservação ambiental: escolha criteriosa dos materiais construtivos; técnicas de aproveitamento dos condicionantes naturais; busca pela racionalização e eficiência energética; uso racional de água (aproveitamento de água pluvial, tratamento de efluentes por zona de raízes e reaproveitamento de águas cinza tratadas). CASA EFICIENTE, 2008 (grifo nosso).



Figura 15: Mapa de localização dos estudos de caso

Fonte: Imagens de GOOGLMAPS, 2008.

O quadro 8, a seguir, mostra os casos selecionados, sua localização, o foco das soluções de arquitetura e construção e as diferenças identificadas dessas soluções. O fato de serem edificações em situações bastante distintas (meios rural e urbano), com diferentes recursos e, principalmente, com diferente grau de especialização dos seus idealizadores, foi um ponto interessante a ser explorado e analisado, pela diversidade de soluções que puderam ser identificadas, descritas no decorrer das análises.

Quadro 8 – Casos selecionados e suas diferenças

Casos	Local	Foco das soluções	Diferenciais
Curucaca	Urubici-SC	Materiais locais	Soluções locais auto-geridas, construção artesanal
Abuhad	Paulo Lopes-SC	Bioconstrução/ permacultura	Soluções planejadas por equipe especializada, construção artesanal e industrial
Casa Eficiente	Florianópolis-SC	Eficiência energética	Soluções planejadas por equipe de alta especialização com apoio de sistemas computacionais, construção com materiais industrializados

Para coleta dos dados, este tipo de pesquisa de campo se beneficia em particular das técnicas de observação em campo e entrevista, conforme utilizado neste trabalho, pela facilidade com que esses instrumentos permitem um maior aprofundamento na complexidade do problema (YIN, 1994). Também foi utilizada pesquisa documental nos projetos e memoriais de obra. Procurou-se identificar as soluções construtivas, os princípios de sustentabilidade adotados, os materiais e componentes construtivos.

Para abordar os aspectos relativos a cada decisão, especificamente, foi utilizada a técnica de entrevista guiada, em que o entrevistador utiliza um guia de temas a serem esclarecidos, mas sem o uso de perguntas pré-formuladas, as perguntas vão surgindo ao longo do processo, guiadas pelo entrevistador. Ao fim da entrevista foi deixado em aberto para que o entrevistado expusesse suas colocações pessoais sobre o tema abordado durante a entrevista. Neste método de entrevista aberta, segundo Richardson (1999), não existem perguntas pré-formuladas, o pesquisador visa obter do entrevistado sua própria visão do que considera importante relatar do fenômeno em estudo, oferecendo suas opiniões e idéias como achar conveniente. “A entrevista não estruturada procura saber o que, como e por que algo ocorre, em lugar de determinar a frequência de certas ocorrências, nas quais o pesquisador acredita” (RICHARDSON, 1999. p.208).

Richardson (1999) é da opinião que, no caso de pesquisas qualitativas, o critério de validade está associado à “capacidade de ter acesso às autênticas opiniões dos entrevistados” (p.95), isto é, com interferência mínima do processo de pesquisa na visão do entrevistado, com relação aos fatos em estudo. A entrevista foi então conduzida em clima de não julgamento para que o entrevistado se sentisse mais a vontade para explanar inclusive sobre suas frustrações, podendo se obter fatos autênticos.

Os casos são apresentados, a seguir, primeiramente de forma descritiva, com identificação das estratégias de sustentabilidade e dos materiais e componentes utilizados. A identificação dos materiais foi feita por etapa de obra, que consiste em: preparação do terreno; fundação; estrutura;

vedações verticais (paredes); vedações horizontais (cobertura); esquadrias; instalações hidro-sanitárias; instalações elétricas; acabamentos e revestimentos; equipamentos e mobiliário; e áreas externas. Ao fim das descrições foram apresentadas as informações e observações relevantes das entrevistas.

Após a parte descritiva, fez-se a análise dos dados colhidos.

6.2 CASO 01: EDIFÍCIO SEDE DO CONDOMÍNIO CURUCACA

O Condomínio Curucaca nasceu da idéia de se criar um empreendimento inovador que pudesse fornecer a seus moradores a proximidade com a natureza com a garantia de um futuro ambiental preservado.

Localizado entre os municípios de Bom Retiro e Urubici, o condomínio Curucaca possui 400 hectares dos quais, metade pertence ao condomínio e 90% é constituído por áreas comuns com fauna e flora regional abundantes, campos, matas de araucárias, cachoeiras, trilhas e velhas estradas entre bosques. A fazenda possui produção agro-ecológica, jardins integrados, açudes, criação de gado e ovelha, além de cavalos para passeios (CURUCACA, 2008).

A proposta do empreendimento é um condomínio com terrenos de até 10 hectares onde as casas devem ser construídas com preceitos da arquitetura ecológica, procurando, principalmente, o mimetismo entre edificação e paisagem, por meio de tetos verdes. Os futuros moradores serão encorajados a viver num estilo de vida mais sustentável, com produção local de alimento orgânico, tratamento de efluentes, compostagem de resíduos, entre outros. Futuramente serão construídos cômodos para hospedagem e o local também funcionará como hotel-fazenda.

A região do condomínio fica dentro do município de Urubici, próxima ao ponto mais alto habitado no Sul do Brasil e fica ao lado do Parque Nacional de Conservação Ambiental de São Joaquim. No parque estão localizadas as principais nascentes do Rio Uruguai que são o Rio Canoas e o Rio Pelotas. A região é marcada pela presença de cachoeiras e quedas de água e possui clima temperado com médias de 16° C, com registro da mais baixa temperatura registrada no país: 17°C negativos, em junho de 1996 (URUBICI, 2007).

O local dista 150 km da capital do estado de Santa Catarina (Florianópolis) e possui as seguintes coordenadas geográficas: latitude: 28° 00' 48"s; longitude: 49° 35' 22"w; altitude 915m. A vegetação ombrófila da região faz parte do bioma Mata Atlântica e é marcada pela presença do pinheiro Araucária e de grande quantidade de chuvas, o que torna a flora e a fauna bastante diversificadas (URUBICI, 2007).

6.2.1 O edifício sede

O edifício sede do condomínio nasceu da demanda de um centro de serviços e informações para moradores e visitantes. O proprietário, o cirurgião dentista Carlos Jensen, adquiriu o terreno em 1995, pois ansiava por investir num espaço voltado ao ecoturismo e produção agroecológica.

No ano de 2001 o proprietário começou a dar andamento no projeto do edifício sede baseado em idéias antigas que ele mesmo havia desenvolvido durante muitos anos. Não houve, na etapa de

anteprojeto, a intervenção de um arquiteto ou outro profissional. O programa de necessidades se baseou em: recepção, restaurante, adega e *spa*.

A implantação do edifício, segundo o proprietário, foi concebida naturalmente, num patamar mais plano e com aproveitamento das vistas. Também foi considerado o acesso à rodovia BR 282, há 4 quilômetros de distância apenas. A edificação estende-se pelo eixo Leste-Oeste e abre um volume envidraçado a Norte (vide fachada Norte, na figura 17) e uma grande sacada a Leste para contemplação da paisagem. O setor de serviço, como cozinha, banheiros, dependência de empregados, fica ao sul. As condicionantes naturais estão expressas na figura 16 abaixo.

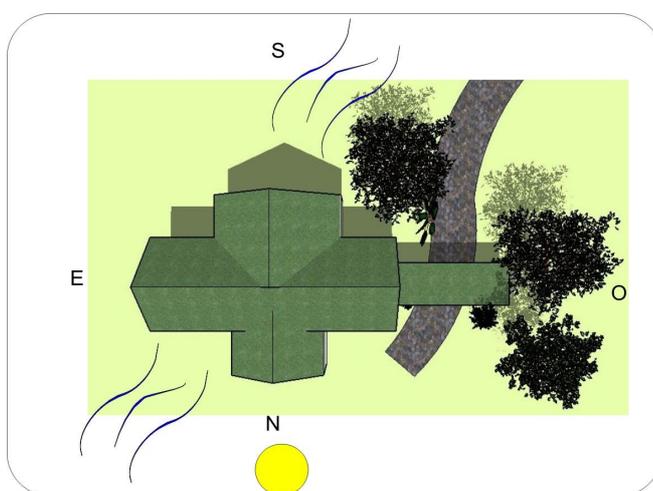


Figura 16: Implantação e condicionantes naturais do edifício Curucaca.



Figura 17: Foto lateral Curucaca – fachada Norte.

Fonte: arquivo pessoal do proprietário Carlos Jensen.

Apesar de não haver, na fase de projeto, preocupações com preceitos da arquitetura bioclimática, esta implantação favoreceu o aproveitamento da luz e calor do sol no inverno. Após a concepção do anteprojeto em mãos, o proprietário contou com a ajuda de uma arquiteta (Vanda Zanella) para “colocar as idéias no papel” e definir o madeiramento e a estrutura principal.

O projeto culminou numa edificação de 770m², dividida em três pavimentos que aproveitam a topografia do terreno:

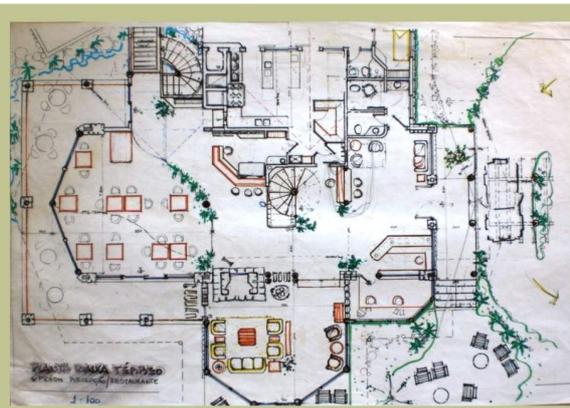
Pavimento de subsolo: metade dele é formada por uma adega com mesas de restaurante. Outra metade é a área do *Spa* que é aberta para contemplação da paisagem no leste e para um pequeno riacho e açude, que além de ter função paisagística, faz parte da coleta e tratamento de água de chuva e águas residuais (figura 18, acima, à esquerda). Conforme pode ser visto pela figura 16, o subsolo fica semi-enterrado - a parte enterrada possui espessas paredes em pedra para contenção;

Pavimento térreo: está no nível da chegada dos visitantes e possui uma recepção com banheiros públicos, uma sala de estar envidraçada com lareira a norte, restaurante voltado para leste com uma grande sacada de contemplação; setor de serviços com cozinha, lavanderia, dependência de empregados ao sul (figura 18, acima, à direita);

Pavimento superior: possui um mezanino com salão para cursos e palestras, uma sala de estar com sacada a oeste e um dormitório ao sul para o proprietário (figura 18, abaixo, à esquerda).



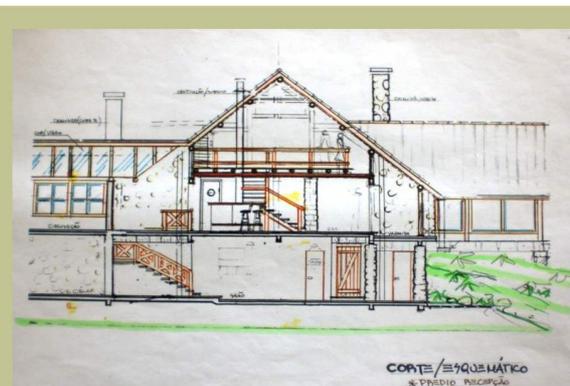
Planta baixa subsolo: adega e spa com vestiários, sauna e banheiras.



Planta baixa piso térreo: restaurante, recepção, cozinha, banheiros, sala de estar, sacada e dependência de empregados.



Planta baixa piso superior: mezanino com salão, sala de estar, sacada e dormitório.



Corte esquemático.

Figura 18: Projeto e descrição dos pavimentos do edifício Curucaca

Fonte: Arquiteta Vanda Zanella

Durante o processo de projeto, o proprietário pesquisou sobre ecoturismo e acabou tendo um contato maior com Bioarquitetura quando participou de um grupo de estudos em Garopaba, o Ecosust: “O Ecosust era formado por um grupo de pessoas, arquitetos em sua maioria, eram mais ou menos 200 pessoas que se juntavam para trocar experiências práticas sobre construção ecológica: adobe, construção em terra, tetos verdes, tintas ecológicas” (Carlos Jensen em entrevista em outubro de 2007).

Foi neste momento que entrou em contato com a Permacultura e fez um curso fornecido pelo IPEC (Instituto de Permacultura do Cerrado). Procurando seguir esta linha de pensamento, o proprietário afirma que a principal estratégia para se atingir sustentabilidade foi o uso de materiais locais.

O resultado foi uma edificação que parece fazer parte da paisagem natural, confundindo-se com ela, como mostra a figura abaixo:



Figura 19: Fotos do edifício sede Curucaca

Fonte: arquivo pessoal do proprietário Carlos Jensen.

6.2.2 A obra

A obra começou no ano 2001. A fundação e estrutura base de concreto armado foi iniciada com equipe local composta de 2 pessoas, foi feita em 6 meses e a obra ficou um ano parada por falta de recursos.

Quando retomou, já havia um projeto mais bem definido, permitindo inserir os preceitos de sustentabilidade. Assim, iniciou-se o processo de definição das madeiras, sua escolha e exploração no terreno. Uma equipe trabalhou mais quatro meses da laje do pavimento térreo até o telhado. Era composta de quatro pessoas sem especialização, treinadas pelo proprietário que trabalhou junto num esquema de autogestão. Depois disso a obra parou novamente.

Um ano após, trabalharam por mais três anos, duas pessoas fazendo o fechamento e acabamento da obra. Os problemas e detalhamentos eram resolvidos com o proprietário que ia

coordenando a equipe. No total a obra durou cinco anos, por conta dos períodos em que ficava parada e por utilizar pouca mão-de-obra.

Apesar deste tempo e da falta de controle nos gastos, Carlos Jensen acredita que gastou menos que uma obra convencional, em função do uso de mão-de-obra local não especializada e soluções locais. Porém a obra teve uma duração maior pelos mesmos motivos.

6.2.3 Identificação das estratégias de sustentabilidade adotadas

As estratégias de sustentabilidade foram pensadas após a construção de toda a fundação e estrutura principal. Assim sendo, o foco dessas estratégias foi o uso sustentável de materiais e componentes a partir de então. A seguir estão listadas as estratégias de sustentabilidade identificadas na obra e em entrevista com o proprietário:

6.2.3.1 Materiais locais, naturais e atóxicos

Esta é a principal estratégia identificada. Muitos dos materiais provêm da propriedade onde a edificação se encontra ou da região, como troncos de pinheiro Araucária, pedras de rio, vime, nós de pinho, placas de arenito, entre outros.

A extração dos materiais naturais da propriedade, principalmente os pinheiros Araucária, foi feita junto ao IBAMA, com manejo adequado, visando o menor impacto na natureza local. Foram retiradas somente árvores selecionadas pelo órgão, ou que estivessem caídas no chão, assim como os nós de pinho que foram coletados na propriedade. O vime é proveniente de plantio que é feito no terreno. Já o arenito, utilizado em muitos pisos e revestimentos, não foi retirado da propriedade, mas é pedra da região do planalto, da formação Botucatu.

Os materiais serão mais bem detalhados posteriormente.

6.2.3.2 Reciclagem

A questão da reciclagem não é um ponto forte na edificação, mas deve ser citada, pois alguns de seus conceitos são utilizados como no reuso da água residual do tratamento de esgoto. Em se tratando de materiais, uma medida apontada é o uso de isopor picado vindo da coleta seletiva de lixo de Alfredo Wagner (resíduo urbano) para servir como agregado nos contrapisos. Como o proprietário reside nesta cidade, alguns materiais foram trazidos de lá, apesar de Urubici ser a cidade mais próxima.

6.2.3.3 Telhado verde

O telhado verde foi a principal estratégia adotada por suas diversas características, principalmente o conforto térmico adquirido no interior da edificação, já que o local é predominantemente frio, e pelo visual mimético que se proporciona com relação à paisagem.

6.2.3.4 Eficiência energética

A eficiência energética da edificação não foi tratada de forma intencional, mas algumas de suas estratégias puderam ser observadas. O proprietário não conhece nada sobre este assunto, mas acredita que a edificação consome menos energia pelo fato de que o calor e a luz solar são bem utilizados para aquecer e iluminar alguns ambientes. Durante o dia, a edificação é bem iluminada e não é necessário acender luzes para as tarefas cotidianas.

O aquecimento da água e a calefação não consomem energia elétrica ou gás, ocorrem numa caldeira, que hoje é alimentada por lenha. Carlos Jensen mostra sua preocupação com o gás metano que se origina do processo de decomposição das águas negras e dejetos de animais, por isso pretende implantar um biodigestor para alimentar a caldeira que, segundo ele, fica acesa em todas as épocas do ano e vem consumindo muita lenha. O projeto está sendo desenvolvido junto a laboratórios da UFSC.

O uso do aquecimento solar da água foi considerado, segundo Carlos Jensen, mas foi descartado porque acreditou que o frio poderia comprometer seu funcionamento. Hoje já existem sistemas de aquecimento solar com um esquema anti-congelamento e o proprietário considera seu uso futuro, como um sistema auxiliar.

A água aquecida será utilizada na área do spa, onde existe um Ofurô e duchas nos banheiros, na piscina coberta e na calefação. Assim sendo, o volume de aquecimento é relativamente grande e o uso de formas mais eficientes de geração de energia térmica é imprescindível para a melhor eficiência energética da edificação.

6.2.3.5 Tratamento natural de esgoto com reaproveitamento de água

O sistema de tratamento de esgoto ainda não foi totalmente implementado, mas, basicamente trata-se de um sistema de zona de raízes²². Há uma separação das águas cinzas e negras. As águas cinzas (torneiras, tanque, máquinas de lavar) vão diretamente para o tratamento tipo zona de raízes onde será plantado Junco (o tanque de tratamento ainda está em obras), a água residual deste tratamento vai para um açude, onde fica armazenada antes de ser reutilizada para irrigação e nos vasos sanitários. As águas negras (provindas dos vasos sanitários) serão utilizadas

²² Sistema de tratamento de efluentes que se utiliza de plantas macrófitas para filtragem.

para o biodigestor e seu tratamento consiste no uso de filtros aeróbicos e anaeróbicos, para posteriormente também serem levadas para o tanque de raízes.

6.2.3.6 Aproveitamento de água de chuva

O sistema de reaproveitamento de água de chuva também não foi completamente implementado, pois se trata de um recurso não planejado durante a obra que vem sendo implantado somente agora. A água de chuva atualmente é canalizada por drenos no contorno da edificação e depois descartada. O proprietário pretende canalizá-la até o açude, onde ela se juntará às águas cinza, tratadas para posterior reuso. Como este sistema não foi planejado, não há calhas no telhado e perde-se parte da água que respinga na queda. O proprietário acredita que aproveitará mais de 50% da água de chuva, que já vem filtrada devido às camadas de terra, areia e vegetação do telhado.

6.2.3.7 Escolha e ocupação do terreno

No condomínio como um todo, optou-se por baixa densidade, baixa altura nas edificações, cores integradas com a natureza, mimetismo com o ambiente natural e pouca movimentação de terra na implantação das edificações.

6.2.3.8 Paisagismo e Agricultura ecológicos

Para as inserções paisagísticas, as espécies vegetais utilizadas são locais e adaptadas ao clima. O local também usufrui de produção local de alimento num sistema orgânico com uso de repelentes para insetos e herbicidas naturais (princípios de agroecologia).

6.2.3.9 Desempenho social e econômico

O desempenho social da edificação é relevante e deve-se ao fato de ser um local semi-público que serve como vitrine de tecnologias sustentáveis para habitação. Além disso, o proprietário promove cursos e palestras de bioconstrução. O ambiente é preparado para receber portadores de necessidades especiais (cadeirantes), por ter um banheiro próprio para estas pessoas e acessos por meio de rampas.

O desempenho econômico não pode ser quantificado, mas por se tratar de sistemas e soluções de baixa tecnologia, o proprietário afirma que o custo da edificação é mais baixo.

6.2.4 Identificação dos materiais e componentes construtivos por etapa de obra

De acordo com as etapas da obra, segue a identificação das técnicas, materiais e componentes:

6.2.4.1 Tapumes e preparo do terreno

Por ser uma obra em propriedade rural não foi necessário o uso de tapumes. O preparo do terreno foi mínimo, mas houve movimentação de terra. A declividade natural foi aproveitada para a inserção do pavimento de subsolo.

6.2.4.2 Fundações

No início da construção, as estratégias sustentáveis ainda não tinham sido implementadas. Por conta disso, a fundação foi feita de forma convencional em sapatas isoladas de concreto armado. No subsolo, há a contenção de terra por meio de uma parede de pedras (retiradas do próprio local).

6.2.4.3 Estrutura

Toda a estrutura do subsolo e alguns pilares e vigas do pavimento térreo são em concreto armado. O proprietário optou por apenas revesti-los por pedras (seixos de rio) do próprio terreno, para dar um aspecto mais natural.

A maior parte da estrutura restante (vigas e toda a sustentação do piso superior) é em troncos roliços de Araucária, extraída do terreno por manejo florestal. O uso da Araucária foi escolhido para se dar preferência a uma madeira local, naturalmente resistente e que não acarretou danos com transporte. Seu beneficiamento foi mínimo, já que se pretendeu obter uma linguagem natural e rústica, além do menor impacto ambiental. O proprietário também quis colocá-la em evidência na edificação para ressaltar a árvore mais marcante da Mata Atlântica do sul do país.

Como se trata de uma obra de autoconstrução, o proprietário afirma que não houve um cálculo estrutural para o dimensionamento desta estrutura. O dimensionamento foi feito de forma intuitiva e se optou por vigas e pilares de maior porte também por conta da estética que se esperou obter. Considerando a falta de um cálculo estrutural e a alta resistência da Araucária, é muito provável que a estrutura esteja superdimensionada.

O concreto armado dos pilares, fundações e Baldrame foi feito com cimento comum, brita e areia. Os agregados foram trazidos de fornecedores da região (existem algumas pedreiras nas redondezas de Alfredo Wagner, pela qualidade do solo local proveniente de rochas vulcânicas). Para o contrapiso, foi testado o uso de isopor picado proveniente de depósitos de lixo. Este contrapiso com isopor mostrou um resultado satisfatório até então.

6.2.4.4 Vedações Verticais

A maior parte das paredes é de alvenaria convencional com bloco cerâmico de 8 furos e argamassa de assentamento com 1,5cm de espessura. O proprietário não sabe dizer onde os blocos

foram fabricados e os comprou de uma loja de materiais de construção em Alfredo Wagner. Algumas paredes da fachada Oeste são em madeira (Eucalipto) e na fachada Norte há bastante uso do vidro.

No andar superior, as divisões internas são em madeira (eucalipto e pinheiro não tratado) e o próprio telhado, por ser inclinado, faz a função de vedação. As paredes externas são duplas, internamente são feitas em pranchas com encaixe macho e fêmea, externamente as pranchas são mais largas e são sobrepostas no estilo *clapboards*. Não há uso de isolamento térmico. As paredes internas são simples.

Nas vedações, o que Carlos Jensen coloca como solução sustentável foi o reboco com menor uso de cimento, que ele chama de "reboco rústico natural". É feito com areia, cal, cascalho e pouco cimento; o traço da mistura não foi revelado, pois foi preciso muito estudo e amostragens até chegar à mistura certa.

6.2.4.5 Vedações horizontais

A cobertura da edificação é o que mais se destaca, pelo uso quase que completo do telhado verde. Para melhorar a iluminação no interior da edificação, existem também aberturas zenitais em vidro no telhado.

O telhado é estruturado por caibros e vigas de Araucária. Os caibros de Araucária foram comprados localmente, não possuem certificação e não provêm da propriedade. Sobre os caibros foi feito um taboamento de *Pinus* de caixaria (não tratado). Sobre o taboamento foram feitos degraus de madeira roliça (reaproveitamento das escoras da obra). Sobre os degraus foi disposta lona de vinil, um geotêxtil impermeável. A cobertura verde, retirada do campo, foi colocada em duas camadas: uma camada virada ao contrário + camada de cima na posição normal. Utilizou-se capim rústico do próprio terreno, de áreas onde foi preciso fazer limpeza para locar outras obras.

Na parte interna da cobertura, foi aplicado um forro de acabamento de madeira da espécie Timoarana, trazida da Amazônia. A Timoarana, como mostra a figura 20, também está presente no piso do mezanino, que fica visível por baixo, no térreo. Calcula-se que foi utilizado mais de 6m³ da madeira na edificação.



Figura 20: Vista interna do mezanino do edifício Curucaca

Fonte: Arquivo pessoal de Carlos Jensen.

6.2.4.6 Esquadrias

As esquadrias são todas em madeira com vidro de 3 a 5mm. A madeira selecionada foi o Cedro Rosa para 60 a 70% do total, pois o proprietário já possuía um tronco desta espécie estocada, que foi enviada para uma serralheria para o beneficiamento. Como proteção da madeira, foi utilizado apenas o tratamento superficial tipo *stain* (impregnante), que age contra intempéries e fungos e tem como princípio ativo o IPBC, substância menos tóxica.

O restante das esquadrias foi feita em Eucalipto ou Angelim Vermelho não certificados, que foram as espécies disponíveis no mercado e com valor viável para a obra, na época. O proprietário aponta uma situação que se faz relevante colocar: “A madeira nativa como tínhamos no passado está acabando, hoje é difícil encontrar madeira seca em Santa Catarina, tem que esperar na fila às vezes, porque vem da Amazônia. O que tem pra vender é madeira de reflorestamento e madeira nova e úmida!”.

Interessante observar que nenhuma madeira na edificação recebeu tratamento de profundidade, pois são madeiras resistentes em sua maioria e o clima da região é inóspito para insetos xilófagos.

6.2.4.7 Instalações hidro-sanitárias

Os materiais para as instalações hidrossanitárias diferem dos usuais em alguns pontos. A tubulação de água fria e esgoto é em PVC, por se tratar de um material conhecido, durável e acessível. O proprietário diz que não conhece nenhum material mais sustentável que possa substituir o PVC.

Já a tubulação para a água quente é de polietileno reticulado (PEX). Esta é uma tubulação semiflexível, pode eventualmente ser removida sem a necessidade de quebra de qualquer parte da

obra em caso de necessidade de manutenção. A flexibilidade da tubulação descarta a necessidade de conexões e diminui de forma considerável o desperdício.

Os vasos sanitários são do tipo econômico, com caixa acoplada, o fluxo de água não passa de 6 litros para cada descarga.

As torneiras e chuveiros não possuem nenhum controle de fluxo, apenas possuem aeradores que aumentam o desempenho do jato com menor vazão de água.

Nos banheiros, as cubas são em material cerâmico, mas as bancadas dos lavatórios são em madeira retirada da propriedade, pois se preferiu optar por um material local e natural. Na cozinha, as bancadas e cubas são em aço inoxidável.

Para o armazenamento da água, foi utilizada uma caixa de água de 10.000l de fibra de vidro. O proprietário diz que estudou o uso do ferrocimento (ou argamassa armada), pois é o material indicado nos cursos de permacultura e bioconstrução que participou. Considerando que o custo com mão-de-obra aumentaria, além do tempo gasto, preferiu um material industrializado, que viesse pronto à obra e com vantagem econômica.

O aproveitamento da água de chuva não leva nenhuma tubulação, não foram utilizadas calhas, cisternas ou equipamentos. Segundo Carlos Jensen, a água corre naturalmente pelo terreno até o açude, onde passa por um processo de limpeza e descontaminação.

6.2.4.8 Instalações elétricas

A eletricidade utilizada vem 100% da rede pública. Todo o material utilizado no sistema elétrico é convencional, mantendo o padrão das edificações residenciais do Brasil. É composta por: fiação de cabos flexíveis em cobre e revestimento em PVC, conduítes flexíveis corrugados em polipropileno, caixas de passagem e caixas de luz em poliestireno.

A maioria das lâmpadas são incandescentes e, na área do restaurante são do tipo dicróica de 50 w de potência. Esta escolha foi baseada no tipo de iluminação pretendida (mais quente, segundo o proprietário). Os equipamentos da cozinha levam o selo Procel de eficiência.

6.2.4.9 Acabamentos e revestimentos

Nas paredes, utilizou-se reboco de areia e cal e pintura natural a base de cal, cuja formulação foi pesquisada junto ao IPHAN²³ em Florianópolis. A pintura das paredes é tipo caiacão (cal+barro+corante com óxidos metálicos), que pede manutenção anual. O reboco não é alisado e não se utilizou massa corrida, as paredes só receberam a pintura diretamente sobre reboco, interna e externamente.

²³ Instituto de Patrimônio Histórico e Artístico Nacional

No piso do restaurante foi utilizado, como revestimento, o arenito encerado. O proprietário justifica esta escolha dizendo que, apesar de não ter este material dentro da propriedade, o arenito é uma pedra local muito encontrada nas antigas edificações da Serra Catarinense. O arenito da região é da formação Botucatu e difere do arenito comum pela intrusão de feldspato e a existência de 20 a 25% de argila em sua composição, tornando-o mais resistente.

Um acabamento inusitado na sala da lareira é um piso feito artesanalmente com nós de pinho (figura 21, acima e à direita). Os nós foram cortados em fatias e assentados com argamassa no chão. O resultado estético é interessante e original e o proprietário afirma que pela alta resistência deste material, o piso é bastante durável sem necessidade de manutenções. Sobre o piso, foi feito um revestimento com resina poliuretânica para maior resistência e proteção.

Nas áreas molhadas há o uso de cerâmica esmaltada e pastilhas de vidro. Como um detalhe nas paredes da área do *spa*, há uma faixa decorativa feita de pequenos seixos e bordas de vime, encontrados no terreno e manufaturados artesanalmente.

6.2.4.10 Equipamentos e mobiliário

Grande parte do mobiliário é feito também em materiais locais. Na própria fazenda, planta-se o Vime, que é utilizado nos móveis do restaurante e em alguns utilitários de cozinha (figura 21, abaixo e à direita). Na cozinha, o aço predomina nas bancadas, pela necessidade de assepsia. Nos banheiros, presentes no subsolo, vê-se bancadas da pia em madeira coletada na propriedade e detalhes em mosaico de pedras também do próprio local.

A lareira (figura 21, abaixo e à esquerda), outro elemento bastante marcante por seu tamanho imponente, também é de materiais locais, com acabamentos em seixos de rio e troncos espessos de Araucária.

A escada (figura 21, acima e à esquerda) é outro elemento marcante na área interna, pois também é elaborada com Araucária. É estruturada por um tronco espesso em seu eixo e os degraus, também de Araucária, formam um leque ao seu redor. No topo do tronco, pode-se notar os nós da madeira, formando um interessante desenho. O guarda corpo é em ferro fundido trabalhado.



Figura 21: Detalhes arquitetônicos edifício Curucaca

Fonte: arquivo pessoal de Carlos Jensen.

6.2.4.11 Áreas externas

As áreas externas foram pouco modificadas e não receberam nenhum tratamento agressivo. O paisagismo foi feito com espécies locais, o mobiliário de jardim é feito em madeira sem tratamento e pedras naturais, a passagem de veículos e pedestres é feito por meio de caminhos de pedriscos e pedras, sem alterar a permeabilidade do solo.

6.2.5 Observações finais levantadas em entrevista

O proprietário afirma que construir de forma mais ecológica tem sido uma grande experiência. Ele acredita que atingiu seus objetivos, mas sabe que muitas coisas na edificação ainda precisam ser mais bem estudadas e que outras ele faria de forma diferente.

Hoje, com maior conhecimento sobre construções sustentáveis, Carlos diz que arriscaria mais no uso de tecnologias vernaculares e não industrializadas como os blocos de Adobe. Nas ampliações que irá fazer (já existe um projeto para isso) usará construção com solo estabilizado e irá contar com a ajuda direta de Gernot Minke²⁴. Carlos observa: “A gente tende a usar o que é mais garantido por falta de conhecimento e tempo para se dedicar a fazer experiências”.

²⁴ Minke é especialista internacional no assunto e autor de diversas obras sobre construção em terra e telhados verdes.

Com relação ao projeto, Carlos diz que, também por falta de conhecimentos na época, não aplicou preceitos da arquitetura bioclimática. Se fosse fazer a edificação hoje, “faria ambientes com mais divisões, diminuiria o pé direito”, pois o ambiente integrado, inclusive entre pavimentos por mezaninos, ficou muito frio no inverno rigoroso do local, além de ser mais difícil e mais custoso de climatizar. Também observou que “o pé direito muito alto consome muito material”, mostrando que o projeto da edificação poderia ser mais bem elaborado. Também diz que aproveitaria melhor o calor do lado Norte: “não faria telhado para Norte, abriria mais janelas e vidros, usaria pergolados com trepadeiras caducas ou brises nas aberturas”.

Ainda com relação ao projeto, uma observação interessante de Carlos é que a edificação não é flexível e não respeita o fluxograma da função de hotelaria para qual é prevista. Ele relata a vontade de ampliar o espaço, o que ficou muito difícil pela falta de previsão, que ocasionaria demolições, desperdício e custos altos.

Como principal desafio, o proprietário apontou a construção do telhado verde: “tentamos utilizar uma manta de PEAD, que é indicada para isso, mas não deu certo. Tivemos que desmontar metade do telhado porque estava dando infiltração. Depois conseguimos uma manta melhor que funcionou, de geomembrana, utilizada para aterros sanitários.” A inclinação do telhado (50%) também foi um ponto muito difícil, já que não é comum para coberturas verdes, é preciso prever o deslizamento da terra, o que foi remediado pelo uso de escoras reaproveitadas como forma de contenção.

Apesar dos percalços, Carlos coloca que foi com o telhado que ele obteve maior realização e, como este era seu principal objetivo na edificação, diz que ficou muito contente com o resultado final. “A construção ficou mimética com a paisagem e o telhado verde virou um marco de referência, isso era o meu principal objetivo, fiquei feliz com o resultado”.

Pode ser observado um laço emocional forte que Carlos tem com a edificação, fruto de todo o tempo e dedicação dele com relação ao espaço. Ele participou e decidiu cada traço no papel ou cada pedra colocada, que continham seu sonho e seus anseios. Este fato é comum em edificações autoconstruídas e já foi observado por Silveira (1994).

6.3 CASO 02: RESIDÊNCIA ABUHAD

A residência da família Abuhad foi projetada entre 2004 e 2005 pelo escritório de arquitetura Eco&Tao, composto pela equipe de profissionais: arquiteta Sumara Lisboa, arquiteto e mestre em Gestão Ambiental Renato Krzyzanowski, arquiteto Luiz Alfredo Carpeggiani, arquiteto José Francisco da Silva, engenheiro mecânico Hans Hueblin e o arquiteto e especialista em Gestão Urbana e Paisagismo Ecológico Eton Medeiros.

A entrevista para este estudo de caso foi feita com a arquiteta Sumara Lisboa.

O casal de proprietários possui uma visão mais sustentável e procurou o escritório para projetar uma edificação em seu terreno em Paulo Lopes. A cidade no litoral ao sul de Santa Catarina e dista 50 km da capital Florianópolis. O local fica longe do centro urbano numa área de altitude próxima a 100 metros, no meio de floresta nativa típica da Mata Atlântica. O clima da região é subtropical com verões quentes e ar bastante úmido.

A residência possui 240 m² construídos, projetada voltando-se para as questões ecológicas e com menor interferência na natureza local “tanto pelos materiais de construção de preferência locais e de baixo impacto ambiental, como pelo uso racional das águas, através da captação da água de chuva e pelo tratamento ecológico dos efluentes.”(ECO&TAO, 2008)



Figura 22: Frente e fundos da residência Abuhad – agosto de 2006

Fonte: arquivo pessoal da arquiteta Sumara Lisboa.

A edificação divide-se em três partes principais (ver o projeto completo no ANEXO D):

Área íntima (cor azul na figura 23): composta de três quartos; um banheiro de uso comum, e outro banheiro com um conjunto de Sanitário Compostável e uma banheira que atende somente dois dormitórios;

Área social, ou corpo central (cor laranja na figura 23): constituído no térreo por hall; sala de estar com lareira que está em um desnível de 75 cm e varanda com telhado-jardim; e o mezanino,

localizado sobre a lareira com dois metros de altura em relação ao térreo; todos ambientes voltados para norte;

Setor de serviço: constituído por cozinha, despensa, vestíbulo, área de serviço, horta e *forneria*, esta somente coberta com telhado verde.

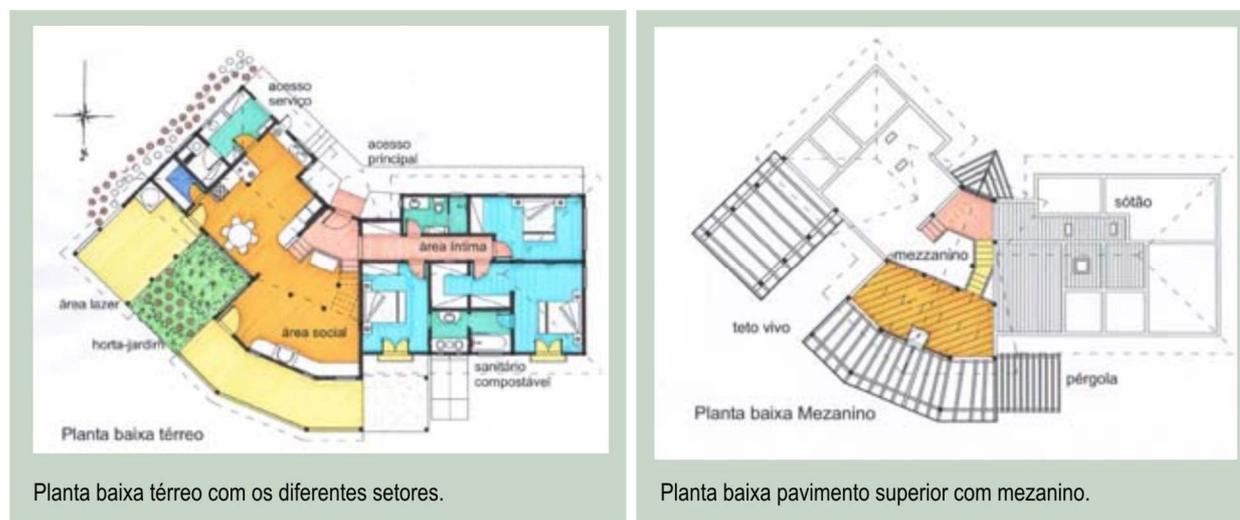


Figura 23: Plantas baixas residência Abuhad – novembro de 2005

Fonte: ECO&TAO, 2008.

6.3.1 A obra

A obra levou oito meses para ser concluída e foi executada em 2006, por uma equipe de aproximadamente 3 pessoas, além do mestre de obras. A supervisão da obra foi feita pelos arquitetos da Eco&Tao que visitavam o local a cada quinze dias.

6.3.2 Identificação das estratégias de sustentabilidade adotadas

As estratégias de sustentabilidade foram concebidas antes mesmo do primeiro traço do projeto. O escritório somente trabalha com projetos sustentáveis e, encontrou na família Abuhad, parceiros que aceitaram este novo paradigma de forma aberta.

A Eco&Tao acredita que seus clientes são parceiros, pois ao se optar por uma construção sustentável são necessárias maior participação, dedicação e abertura de paradigmas para se entrar em um campo novo e não usual, que oferece desafios constantes na obra.

Por trabalhar com base na permacultura, o foco das estratégias de sustentabilidade foi pensar na edificação de forma cíclica e orgânica. A água, o tratamento dos dejetos e os próprios materiais são tratados na forma de um ciclo em que o que vem da natureza, volta para a natureza. A seguir estão as principais estratégias encontradas na edificação para garantir sua sustentabilidade:

6.3.2.1 Materiais locais, naturais e atóxicos

Foi dada a preferência para materiais naturais e locais (da região), como a terra e a madeira evitando-se materiais muito processados como, por exemplo, o plástico e o metal. A baixa toxicidade também é importante na construção, que faz uso de acabamentos naturais para evitar a presença de compostos voláteis.

6.3.2.2 Reciclagem e reuso

Princípios de reciclagem e reuso podem ser encontrados nos ciclos fechados de alguns sistemas da edificação. A água é pensada em ciclo e há o seu reaproveitamento, tanto da água da chuva como das águas cinza, das torneiras. Há a compostagem de dejetos humanos, que são reaproveitados no jardim.

Com relação aos materiais de construção, há o uso de materiais vindos de demolição e no uso não convencional de alguns materiais reaproveitados como garrafas de vidro e azulejos quebrados.

6.3.2.3 Telhado verde

O telhado verde, um recurso comum das edificações ecológicas, foi utilizado na cobertura de algumas varandas pelo conforto térmico que este proporciona e por se tratar de um material natural e vivo, com menor impacto.

6.3.2.4 Eficiência energética

A melhor eficiência energética da edificação é atingida pelo uso das seguintes estratégias:

- a) **Arquitetura bioclimática:** Para estudar as condicionantes naturais (principalmente a insolação), foi elaborada uma maquete física da casa que foi levada ao laboratório de conforto ambiental da UFSC (LabCon). O resultado obtido por estes estudos foi o melhor direcionamento da edificação com garantia de ventilação cruzada e ausência de climatização e iluminação artificiais;
- b) **Aquecimento da água por calor solar e por serpentina no fogão a lenha;**
- c) **Armário refrigerado** de forma natural. A edificação conta com o uso de uma despensa refrigerada naturalmente, localizada no lado sul da edificação. O ar mais frio vindo do sul é canalizado pelo lado de fora da edificação e liberado por trás das prateleiras do armário, mantendo o ambiente com temperatura mais baixa que os outros;
- d) **Uso de lâmpadas e equipamentos de baixo consumo energético.**

O aquecimento da água para os banheiros da área íntima é feito pelo Sistema de Aquecimento Solar. O sistema é descrito de acordo com memorial de obra:

O sistema é formado por placas de captação solar e reservatório (boiler). As placas coletoras do aquecimento solar devem ser instaladas no beiral do telhado norte da casa e o reservatório (boiler) deve ficar no mínimo 30cm acima do ponto mais alto da placa. A tubulação “quente” entre saída da placa coletora e da entrada superior do reservatório não pode ter descida para manter uma circulação natural (termo-bombeamento) (ECO&TAO, 2004).

O sistema pode contar com outro sistema auxiliar de aquecimento no caso de tempo prolongado sem sol, este sistema auxiliar pode ser na forma de um reservatório com resistência elétrica, ou aquecimento a gás ou óleo. No caso desta residência, o sistema auxiliar adotado foi o uso de chuveiros elétricos em que se pode regular a potência.

O aquecimento da água da pia da cozinha e tanque é feito por meio de serpentina no fogão a lenha. O sistema é descrito segundo o memorial descritivo da obra:

A serpentina do fogão à lenha pode ser colocada embaixo da câmara de combustão dentro de um leito de areia para permitir expansão térmica da serpentina (serpentina de cobre soldado) ou fixada nos laterais da câmara de combustão (tubos de aço com rosca). A serpentina e a tubulação que leva ao reservatório não deve ter nenhuma declividade para garantir a circulação natural. Deve ser instalado próximo a serpentina um reservatório, este também não tem resistência elétrica (ECO&TAO, 2004).

6.3.2.5 Tratamento natural de efluentes

Os efluentes domésticos são tratados de forma natural para diminuição do impacto ambiental da casa no ecossistema local, que não conta com rede pública de esgoto nem de água potável. O sistema de tratamento de efluentes compreende duas formas: Bacia de Evapo-transpiração com Círculo de Bananeiras; e Sanitário Compostável.

Bacia de Evapo-transpiração - o sistema de tratamento de águas residuais com bacia de evapo-transpiração consiste na utilização de recipientes pré-fabricados interligados em série.

O primeiro e segundo recipientes funcionam de forma convencional, com uso de filtros aeróbico e anaeróbico, para onde são lançadas as águas negras, ou seja, os dejetos dos vasos sanitários. Os recipientes seguintes funcionam como bacia de evapo-transpiração por um esquema chamado Círculo de Bananeiras.

Nos terceiro e último recipiente, localiza-se uma câmara receptora, para onde é encaminhado o material oriundo da fossa (águas negras tratadas) e da casa (águas cinza), entre esta e as camadas filtrantes existe um fundo falso de concreto que é coberto por uma manta de bidim. Na seqüência estão as etapas filtrantes que consistem de camadas de brita grossa, média, fina e areia. Por cima destas camadas, coloca-se terra fértil onde são plantadas as espécies vegetais. Veja o esquema dos recipientes na próxima figura.

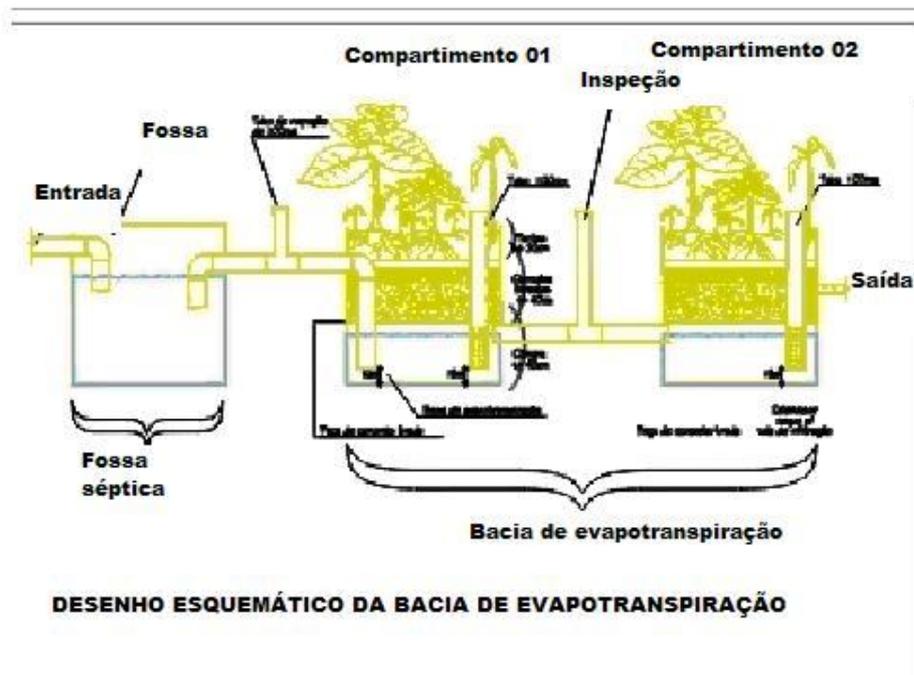


Figura 24: Desenho esquemático da bacia de evapotranspiração.

Fonte: ECO&TAO, 2008.

A bananeira é a principal espécie (por isso o nome de Círculo de Bananeiras) e é capaz de absorver um volume grande de água do solo e, pelas suas folhas largas, faz o processo de evapotranspiração. Os outros materiais utilizados no sistema são: mudas de mamoeiro, de confrei, copo-de-leite, abóbora, batata-doce e outras espécies de solo úmido; jornais ou sacos de papel; material orgânico (galhos de várias espessuras, troncos apodrecidos, folhas, palha e outros restos vegetais, casca ou cinza de arroz, esterco bovino).

O sistema por evapo-transpiração também é utilizado para tratar as “águas cinzas”, ou seja, águas residuais do tanque e da máquina de lavar, da pia da cozinha, da banheira, do vestíbulo e da forneria. Conforme a arquiteta Sumara Lisboa: “Trata-se de uma forma excelente de cultivar frutas e tubérculos e, ao mesmo tempo, reutilizar a água e os rejeitos orgânicos”.

Sanitário Compostável – este sistema é utilizado para o uso e tratamento dos resíduos humanos sem o consumo de água, com isto diminui-se a poluição do lençol freático e produz-se matéria orgânica útil à produção. Funciona com duas câmaras isoladas e impermeáveis, utilizadas de forma alternada periodicamente para possibilitar a compostagem do material. Os dejetos humanos são despejados numa rampa e misturados com serragem, este compartimento de rampa possui uma chaminé para eliminação dos gases. Ao deslizarem pela rampa, os excrementos sofrem um processo de compostagem. Após este processo (aproximadamente seis meses), o composto é retirado da

câmara na parte inferior externa, que poderá ser encaminhado ao minhocário, para ser transformado em húmus.

As instalações destes sistemas são executadas tendo em vista as possíveis e futuras operações, inspeção e desobstrução.

Faz-se relevante observar que nenhum dos sistemas de tratamento de esgoto utilizados na edificação são aprovados pela legislação da Vigilância Sanitária. O grupo vem fazendo esforços para que isto ocorra, pois acreditam que os sistemas são bastante eficientes e seu uso deveria ser legal e encorajado.

6.3.2.6 Aproveitamento de água de chuva

A coleta da água pluvial foi projetada para ocorrer por meio das calhas nos beirais do telhado de telhas cerâmicas. A tubulação que sairia das calhas levaria a água até uma caixa de captação que também faz a filtragem e drenagem da água por meio de filtro de areia e plantas. O sistema ainda não foi executado por questões econômicas.

6.3.2.7 Produção local de alimento

Próximos à casa há uma horta e um pomar orgânicos. Os jardins são adubados com o composto obtido no sanitário, respeitando a idéia dos ciclos naturais.

6.3.2.8 Desempenho econômico

Segundo a arquiteta Sumara Lisboa, o desempenho econômico também é um de seus focos e, apesar de não saber valores precisos, afirma que o valor da construção, por metro quadrado, ficou abaixo do CUB da época. Isto se deve pelo uso da alvenaria comum, da estrutura em troncos roliços de eucalipto e dos revestimentos de baixo custo.

6.3.3 Identificação dos materiais e componentes construtivos por etapa de obra

A escolha de materiais e componentes se baseou na filosofia defendida pelo escritório:

Todos os materiais que a gente usa, procuramos saber quem fez, de onde vem, o que usa para produzir, se gerou resíduos, quais são esses resíduos e se é possível utilizá-los novamente na construção, qual é o ciclo de vida, se a produção é em baixa escala, se ela tem como se firmar no mercado (porque não adianta você trabalhar com um tijolo, por exemplo, que amanhã não será mais produzido).

O escritório busca incentivar o uso dos materiais regionais, ou seja, a construção com produtos que estejam num raio de 50Km. Porém, como a obra fica localizada em local distante de centros urbanos, este raio passou a ser aproximadamente 200Km.

Os materiais e componentes construtivos utilizados na obra serão descritos a seguir:

6.3.3.1 Tapumes e preparo do terreno

A declividade natural foi aproveitada criando desníveis nos espaços internos da edificação. Por ser uma obra em propriedade rural não foi preciso o uso de tapumes. O preparo do terreno foi cuidadoso para que não fosse retirada nenhuma árvore no local de implantação da casa.

6.3.3.2 Fundações

As fundações foram feitas em concreto armado, assim como as vigas de Baldrame, que foram impermeabilizadas com emulsão asfáltica.

6.3.3.3 Estrutura

A estrutura principal é composta de troncos roliços de eucalipto autoclavado (tratado com CCA) e suas dimensões foram calculadas em projeto.

Segundo a arquiteta Sumara Lisboa, a utilização do eucalipto autoclavado possibilitou uma obra mais limpa, mais harmônica e com menor custo ambiental, diminuindo o uso de concreto armado e, por conseqüência, o uso de caixaria.

6.3.3.4 Vedações verticais

Para o sistema de vedações verticais, foi indicado no projeto o uso de tijolo de solo-cimento, que seria comprado pronto de uma fábrica no município de Mafra (SC), local mais próximo encontrado que produz este material. O tijolo de solo-cimento ficaria à vista em algumas paredes e o reboco só seria indicado até 1,00m de altura.

Na obra, houve uma mudança de planos com relação às vedações de solo-cimento. De acordo com a arquiteta Sumara, por questões práticas e econômicas, foi utilizado o "tijolo baiano", bloco cerâmico de 8 furos com reboco de 1,5 cm, ou seja, a alvenaria convencional. A arquiteta colocou que o uso do tijolo de solo-cimento comprado pronto só é válido quando este também é utilizado na estrutura, utilizando-o como um sistema construtivo como um todo e não apenas como vedação. O valor do milheiro do tijolo de solo-cimento ficaria quase 300% mais caro, o que não seria válido numa obra com estrutura de Eucalipto.

A figura 25 mostra a residência em obras, e pode-se perceber o uso minimizado do concreto, pela seleção de pilares em eucalipto, assim como a estrutura do telhado e inexistência de lajes.



Figura 25: Residência Abuhad em obras – maio de 2006

Fonte: arquivo pessoal da arquiteta Sumara Lisboa.

O reboco indicado em memorial descritivo do projeto foi o reboco natural, que é uma mistura de terra argilosa, areia, palha e estrume fresco; também é indicado pelo grupo o uso de polvilho azedo ou óleo queimado para melhorar a aderência e servir como veículo da mistura. O uso de misturas deste tipo deve passar por testes na obra antes de se obter a composição ideal. Considerando esse tipo de percalço, por questão prática foi utilizado o reboco convencional com cimento, cal e areia.

6.3.3.5 Vedações horizontais

A cobertura da casa é composta por um telhado principal de quatro águas com telhas cerâmicas de produção em local próximo. Deu-se preferência ao uso da cerâmica nas vedações, por se tratar de material abundante na região, com produção local. A estrutura deste telhado é em eucalipto autoclavado não certificado, tratado com CCA, plantados no estado de Santa Catarina. Apesar de ter sido indicada madeira de reflorestamento certificada no projeto, o custo deste material inviabilizou seu uso.

Sobre as terças de madeira roliça, foram dispostos os caibros (6x12 e 5x10 cm), com espaçamento de 60 cm entre os eixos, sobre os caibros encontram-se as ripas que são de cedro. A inclinação destes telhados é de 30%.

Na varanda e na garagem/ateliê existe o telhado verde de uma água. Utilizando a mesma estrutura de terças e caibros do telhado principal, porém substituindo as ripas por um tablado de painéis de OSB de 2,44x1,22m com 15mm de espessura. Sobre as tábuas foi esticada uma manta de vinil de 0,5mm como impermeabilização. Antes da colocação da camada com as leivas de grama, é passada uma camada de 5cm de terra fértil.

Na garagem/ateliê existem aberturas zenitais para melhoramento da iluminação.

6.3.3.6 Esquadrias

As esquadrias da casa são todas em madeira pintada ou envernizada. No memorial descritivo do projeto, foi sugerido o uso de esquadrias de Eucalipto *Grandis* com acabamento em verniz natural e atóxico (**Ecoverniz**, ou **Ecotinta** produto líquido, atóxico, com pigmentação natural, isento de metais pesados) que seria comprado de um fornecedor em São Paulo, único fabricante no Brasil. Porém, por questões práticas e econômicas, foi optado por verniz comum. A arquiteta Sumara explica:

O Ecoverniz, assim como alguns outros materiais ecológicos industrializados, ficaria muito caro com o frete e, como a obra é fora do centro da cidade, num local distante, seria quase inviável a entrega. Também tem a questão da preferência pelo uso de materiais locais. Só valeria a pena se nós comprássemos em bastante quantidade e guardássemos em estoque para utilizar em outras obras, o que é difícil. Além disso, tem a questão do prazo de entrega, que era muito longo, tinha que encomendar com muita antecedência, pois a fábrica não é grande. E o que pode garantir que este material vai existir daqui 10 ou 20 anos ?

Durante a obra foi sugerido para o proprietário o uso de esquadrias de demolição, o que o agradou. Os próprios proprietários viajaram para o interior de Santa Catarina e Rio Grande do Sul em busca das esquadrias e, o que foi encontrado, foi restaurado e utilizado na casa. As portas de entrada principal são em madeira maciça e vidro, de demolição. As portas internas também são de demolição, por isso, cada uma tem um acabamento e tamanho diferentes. O que não foi encontrado em lojas de demolição foi mandado fazer em Eucalipto, os marcos, contramarcos e vistas também são em eucalipto *grandis*, pintados com verniz. Na figura 26, à direita, pode-se notar a esquadria de demolição no canto da casa.



Figura 26: Detalhes arquitetônicos da casa Abuhad

Fonte: arquivo pessoal da arquiteta Sumara Lisboa

Os vidros das janelas são comuns, de espessura de 3 e 4 mm. Não foi utilizado vidro temperado, nem nos banheiros, por se tratar de um material não reciclável. Como um detalhe sobre a porta de entrada, está uma entrada de luz feita com garrafas de vidro de óleo de oliva, que os proprietários guardaram durante a obra. O detalhe originou uma entrada de luz indireta no hall com o uso de um material não convencional (figura 26, à esquerda).

6.3.3.7 Instalações hidro-sanitárias

A água que abastece a residência é oriunda de uma fonte natural do próprio terreno. Futuramente, poderá ser implantada a captação de água de chuva para a irrigação do pomar.

Foi indicado em memorial descritivo do projeto, o uso do PET para as tubulações de água fria e esgoto, por suas características menos tóxicas. Para a tubulação de água quente, foi indicado o uso de CPVC. Pelo fato de não existir em Santa Catarina nenhuma fábrica de tubulações em PET, e que seu uso acarretaria em atrasos na obra devido à necessidade de encomendas e frete do material que viria de São Paulo, foi optado pelo uso do PVC.

Devido à separação de águas negras e cinza e canalização da água de chuva, calcula-se um aumento de mais de um terço na quantidade de tubulações. O uso do sanitário compostável diminuiu um pouco essa quantidade já que não se usa tubulações para seu funcionamento.

Os reservatórios de água são em fibra de vidro, por questões de praticidade, facilidade de encontrar, menor peso e preço acessível.

As peças sanitárias são em louça cerâmica, mas no sanitário compostável não é necessário o uso de bacia sanitária em cerâmica, pois é feita uma bancada de madeira na qual são acoplados dois assentos de plástico (poliestireno). Os outros vasos sanitários possuem caixa acoplada e são econômicos, o que diminui o fluxo de água por descarga.

6.3.3.8 Instalações elétricas

A eletricidade utilizada vem da rede pública. Todo o material utilizado no sistema elétrico é convencional e embutido nas paredes de alvenaria. O cuidado existente é na escolha de lâmpadas e equipamentos elétricos de melhor eficiência, o que é fácil fazer devido ao selo existente hoje do Procel.

As lâmpadas utilizadas são do tipo econômica de 10 a 25W. Os equipamentos de cozinha e chuveiros elétricos também possuem selo de alta eficiência.

6.3.3.9 Revestimentos e acabamentos

As paredes internas e externas das áreas secas foram revestidas com reboco convencional e a pintura indicada em memorial seria natural, a base de cal e corantes. A pintura seria preparada no local da obra e seria feita de forma artesanal. No memorial aparece a indicação de alguns cuidados com este tipo de pintura: "As paredes só receberão pintura quando completamente secas e todo o trabalho de pintura será suspenso quando houver presença de umidade no ar ou chuva. E só retornarão com o clima completamente seco e estável."

Em virtude de questões de tempo e falta de praticidade de um material mais artesanal, além da questão da menor qualidade e maior manutenção que as pinturas a base de cal apresentam, as tintas utilizadas foram do tipo acrílica.

A pintura dos elementos em madeira foi em verniz ou tinta esmalte comum, à base de resinas alquídicas e insolúveis em água. Os forros em eucalipto ainda receberam proteção superficial contra cupins e fungos, com base em piretróides, e em seguida pintados com verniz.

Os assoalhos em eucalipto também receberam o mesmo tratamento: lixados e calafetados e, em seguida, receberam cera natural de Carnaúba.

Para o piso das salas de estar e cozinha, foi indicado no projeto o uso de lâminas de madeira de reflorestamento certificadas. Porém, pelo alto custo destas, foi aplicado cimento queimado colorido com molduras em eucalipto não certificado. Alguns detalhes com ladrilhos hidráulicos foram feitos no piso, assim como na cozinha e banheiros. Estes pisos de cimento, madeira e ladrilho receberam um acabamento de cera incolor de Carnaúba.

O uso de mosaicos com cacos de cerâmica reutilizada foi incentivado. Pode-se notar sua presença na área da churrasqueira e em um dos banheiros. O uso de pastilhas de vidro reciclado ao invés da cerâmica também foi incentivado (figura 27, abaixo, nos banheiros). Os azulejos cerâmicos foram somente aplicados na cozinha até 1,20 atrás da pia (figura 27, acima, à direita). A arquiteta Sumara explica:

Optamos sempre por substituir a cerâmica, pois na sua produção há a liberação de gás carbônico. Por isso indicamos o uso da terra crua, cimento queimado, madeira, ladrilho hidráulico, pastilhas e mosaicos como revestimento em todas as obras da Eco&Tao. Além disso, esses materiais dão um aspecto mais natural, mais aconchegante.



Figura 27: Detalhes de revestimento residência Abuhad

Fonte: arquivo pessoal da arquiteta Sumara Lisboa

6.3.3.10 Guarda-corpo, escada, mobiliário e deques

O guarda-corpo do mezanino e a escada são feitos em Eucalipto *Grandis* tratado em autoclave com CCA, na forma de troncos roliços. O deque existente na área externa também é executado em eucalipto tratado com CCA, mas tem detalhes em bambu.

O bambu também aparece em alguns móveis, como nos balcões de banheiros e da cozinha. Para evitar o uso excessivo de granito (material não renovável que depende da extração de matéria-prima distante da obra) os tampos dos banheiros e da bancada da pia na *forneria* são em argamassa armada, com acabamento em cimento queimado colorido (figura 27, acima, à esquerda).

6.3.3.11 Áreas externas

Algumas áreas externas no entorno da edificação receberam aterro e contrapiso para execução de varandas, onde foi necessária a impermeabilização do solo. Porém a maior parte foi deixada *in natura*, sem alteração na vegetação ou no solo do local. Há uma porção de 10 metros quadrados que foi utilizada para implantação de horta e pequeno pomar.

6.3.4 Observações finais levantadas em entrevista

A arquiteta Sumara afirma que ficou muito satisfeita com o projeto e a obra, acredita que chegou no resultado esperado, apesar de haver mudanças entre o que foi planejado e o que foi executado. Ela coloca que o objetivo principal da casa era a não agressão da natureza ao redor e isso foi atingido. Como desafios, ela coloca primeiramente:

Sempre há um desafio muito grande na relação arquiteto e proprietário em obras deste tipo, pois é preciso um envolvimento grande deste último, muito maior do que numa obra comum. Por isso a Eco&Tao gosta de chamá-lo de parceiro. É preciso resolver muita coisa na obra e isso acaba gerando insegurança. Existe um grande desafio: fazer o cliente entender que um organismo vivo exige a manutenção quase que diária.

Outra observação, colocada em entrevista, foi com relação à dificuldade de se manter os objetivos de materiais de menor impacto e menos industrializados. A arquiteta aponta:

Tudo que a gente especifica de materiais e sistemas, a gente explica como o parceiro vai ter que se envolver na fase da construção. Geralmente, o custo aumenta quando você utiliza materiais naturais, porque não estão prontos para venda e não fazem parte do mercado da construção civil, como o tijolo de solo-cimento ou pedra natural. Hoje o material que está mais na moda dentro do Eco & Tao é o tijolo de solo-cimento, mas a gente ainda não conseguiu encontrar parceiros que queiram construir com solo-cimento, porque a princípio, ele é mais caro, mas as pessoas não pensam em longo prazo. (Sumara Lisboa)

Quando questionada como ela vê a questão da tecnologia aliada às construções sustentáveis, ela coloca que vê nas soluções antigas e vernaculares muita sabedoria, mas pondera sobre os avanços tecnológicos: "Mas entendendo a sociedade hoje, eu acho que isso (voltar às

técnicas ancestrais) não é possível, as pessoas não quererem isso. Com a evolução tecnológica, é difícil ser desapegado dos bens materiais. E nem dá pra negar a tecnologia, pois ela permite muita coisa.”

Os profissionais também priorizam em sua arquitetura o uso de materiais naturais, não gostam de utilizar materiais reciclados, pois acreditam que isto seria apenas uma solução paliativa para o problema do lixo. Acreditam que casas com materiais construtivos reaproveitados do lixo podem afetar o ser humano no âmbito da saúde e psicológico, não criando a idéia de lar e de conforto. A arquiteta Sumara coloca: “eu até admito usar garrafa PET e resíduos na obra, se não for para o dia-a-dia, se for algo efêmero, onde não há longa permanência de pessoas.”

Também buscam diminuir o uso do cimento. A arquiteta Sumara Lisboa faz uma observação interessante: “Hoje existe o monopólio do cimento. Nós temos uma história de cimento de 150 anos e o que foi feito antes destes 150 anos? Então, eu considero que a ancestralidade faz parte da sustentabilidade.”

Para a arquiteta, o maior desafio desta edificação foi sua execução, principalmente do telhado verde. Ela coloca que nas obras mais artesanais, como esta, a questão do acabamento é algo que depende muito da mão-de-obra. No caso do uso de troncos roliços em telhados, ela observa que é difícil trabalhar os acabamentos, os encaixes tendem a não ficarem perfeitos e precisam de acabamentos adicionais para ficarem esteticamente aceitáveis pelo cliente.

Ao se trabalhar com materiais menos processados e mais crus, a arquiteta afirma ser bastante complexo o uso de uma linguagem arquitetônica mais rústica, pois ela diz ser “complicado trabalhar a estética, tirar esse padrão do liso, do *clean*, do perfeito, do claro, do branco, sem vida.” A Eco&Tao defende o uso da cor, das texturas, da criação de ambientes com mais estímulos visuais, mas muitas vezes o rústico acaba sendo sinônimo de mal acabado.

6.4 CASO 03: CASA EFICIENTE

A Casa Eficiente é uma iniciativa da Eletrosul/Eletróbrás, através do PROCEL- Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. Surgiu do objetivo de se disseminar os conceitos de eficiência energética nas edificações, adequação climática e uso racional da água, não só para a comunidade acadêmica como também para os profissionais que atuam no mercado da construção civil e principalmente do setor elétrico (CASA EFICIENTE, 2008).

Localizada na cidade de Florianópolis, nas centrais da Eletrosul (vide figura 28), o objetivo era tornar-se uma referência nacional, um local voltado para a disseminação de conhecimento sobre arquitetura sustentável voltada para a eficiência energética. O laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE /UFSC) é o responsável pela elaboração do projeto, coordenação e execução das atividades de pesquisa científica na casa. A edificação e seus sistemas prediais foram desenvolvidos em equipe multidisciplinar especializada.

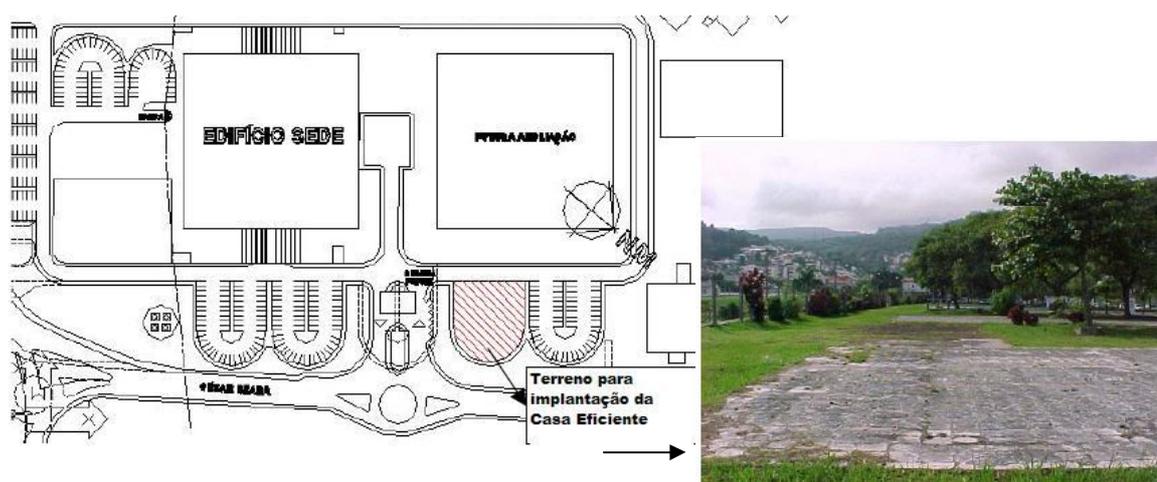


Figura 28: Planta das Centrais Elétricas Eletrosul e local de implantação da Casa Eficiente.

Fonte: CASA EFICIENTE, 2008.

Na figura abaixo estão as imagens da casa. Na figura 29 à esquerda está uma vista frontal da casa, numa imagem criada em computador; no centro está uma foto do local, da janela da cozinha sombreada por brise, na lateral da casa; e na direita, uma foto frontal da casa com o jardim, espaços de estar e fontes. Nesta imagem pode ser observada a rampa de acesso pensada para visitação de portadores de deficiência física.

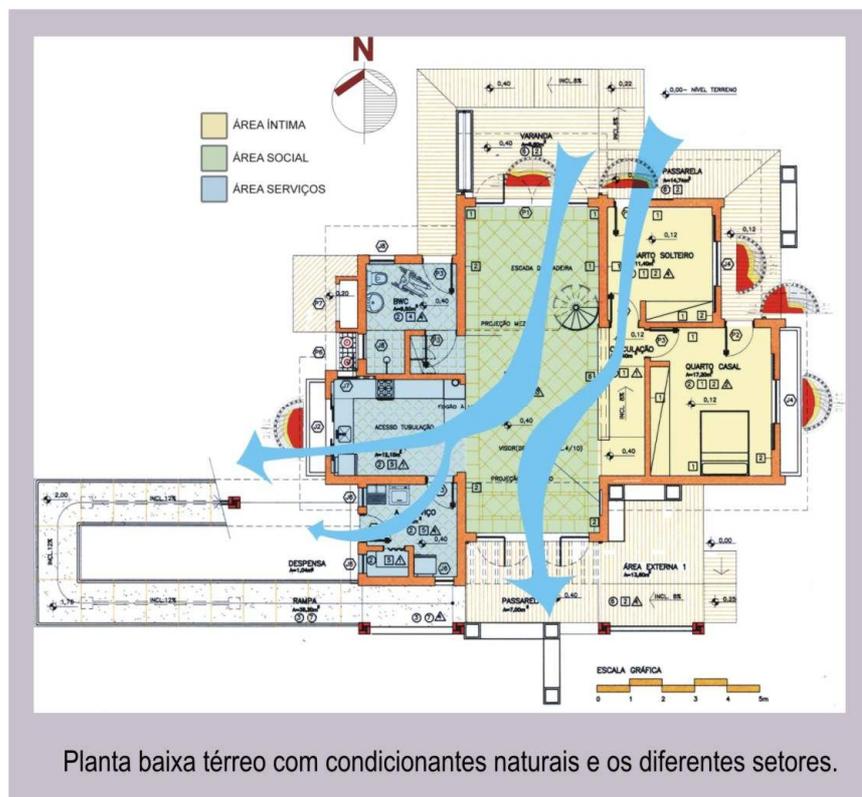


Figura 29: Imagens da Casa Eficiente

Fonte: CASA EFICIENTE, 2008 e imagens central e à direita feitas pela autora.

O projeto foi desenvolvido em 2005 pelas arquitetas Alexandra Maciel, mestre e doutora em arquitetura bioclimática, e Suely Ferraz de Andrade, também mestre pela UFSC. A concepção do projeto partiu da busca por uma arquitetura natural e adequada tanto tecnologicamente como climaticamente. A arquiteta Alexandra Maciel, que concedeu a entrevista para este estudo de caso, cita a arquitetura orgânica de Frank Lloyd Right como inspiração para o partido.

A casa de 206,5 metros quadrados deveria atender (hipoteticamente) uma família de quatro pessoas. Possui cozinha, área de serviço, sala de estar e jantar, um banheiro, dois quartos um mezanino no andar superior com terraços jardim. A divisão dos espaços pode ser observada pela planta baixa setorizada e perspectiva, nas figuras abaixo (vide projeto completo no ANEXO E):



Planta baixa térreo com condicionantes naturais e os diferentes setores.

Figura 30: Planta baixa da Casa Eficiente

Fonte: MACIEL, LAMBERTS E ANDRADE, 2004

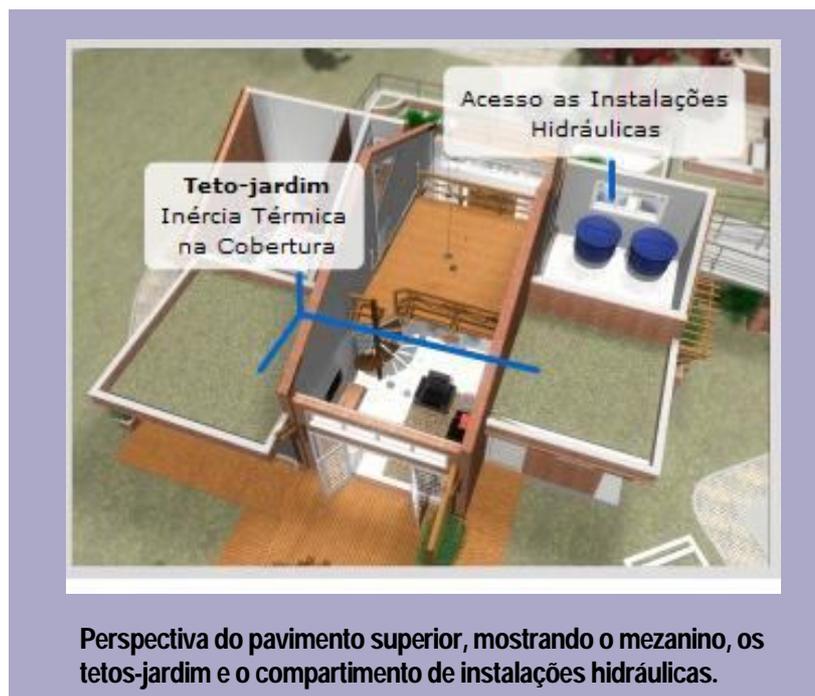


Figura 31: Pavimento superior – Casa Eficiente.
Fonte: CASA EFICIENTE, 2008

6.4.1 A obra

A obra levou oito meses para ser concluída e foi executada por uma equipe de aproximadamente 5 pessoas, além do mestre de obras. Para supervisão da obra havia cinco profissionais (pesquisadores) da UFSC; três pessoas (engenheiros) da Eletrosul; e dois engenheiros da construtora contratada para os serviços. Depois de pronta, a fase de implantação e monitoramento dos sistemas de energia, água e esgoto levou mais um ano, aproximadamente.



Figura 32: Imagens da Casa Eficiente em obras
Fonte: CASA EFICIENTE, 2008

Na figura acima (28), percebe-se que a casa eficiente foi feita num sistema construtivo bastante comum, com sistema de vigas e pilares em concreto armado e alvenaria em cerâmica. Na figura do centro pode ser observada a aplicação de lã de rocha como isolamento.

6.4.2 Identificação das estratégias de sustentabilidade adotadas

As estratégias de sustentabilidade foram fortemente voltadas para os aspectos bioclimáticos e de eficiência energética. O projeto foi baseado em estudo aprofundado das condicionantes climáticas locais, tais como orientação solar, radiação, sombreamento de elementos externos e ventos. A edificação deveria fazer uso de materiais locais e consagrados.

A seguir estão as principais estratégias identificadas:

6.4.2.1 Eficiência energética

Como o próprio nome diz, este é o foco das estratégias da Casa Eficiente. De acordo com o site oficial do projeto, a eficiência energética foi alcançada a partir de (CASA EFICIENTE, 2008):

1. **Sistemas naturais de aquecimento, resfriamento e sombreamento:** as soluções de projeto estão voltadas para o melhor aproveitamento dos condicionantes naturais, como aproveitamento dos ventos predominantes no verão; barreiras para proteção contra os ventos de inverno; orientação para melhor aproveitamento da radiação solar e uso de sombreamentos nas aberturas. As estratégias foram criadas a partir da análise da carta bioclimática de Florianópolis e o projeto passou por simulações em programas computacionais, tais como o Ecotect;
2. **Geração de energia por painéis fotovoltaicos com tecnologia nacional:** feita através de “um painel composto por 40 módulos de silício cristalino, com potencia instalada de 2,0 kWp, sobreposto na face norte do telhado da sala” (MACIEL, *et al*, 2004);
3. **Maior estanqueidade do envelope construído,** com uso de isolantes térmicos nas vedações, lajes com jardins e esquadrias de vidro duplo para retardar as trocas de calor com o ambiente externo;
4. **Aquecimento solar da água,** por meio de placas no telhado voltadas para norte;
5. **Utilização de água quente e fogão a lenha para aquecer ambientes internos.** Os quartos são aquecidos por uma tubulação em cobre com água quente que passa pelos rodapés. A sala é aquecida por um fogão a lenha, buscando uma solução da arquitetura vernacular.

6.4.2.2 Uso racional de água

O sistema hidro-sanitário faz uso de instalações hidráulicas utilizando dispositivos economizadores. Há o reaproveitamento da água de chuva e das águas cinzas.

1. **Aproveitamento de água de chuva e das águas cinzas**

A água da chuva é coletada dos telhados por meio de calhas, passa por um equipamento de filtragem e vai para um reservatório inferior de armazenamento. “A água armazenada é bombeada para um reservatório superior destinado ao abastecimento de pontos voltados para atividades não potáveis” (CASA EFICIENTE, 2008), pois há risco de concentração de poluentes. Os pontos de utilização desta água são os vasos sanitários, tanques e máquina de lavar roupa, “estimando uma economia de 46% de água potável. [...] Estima-se que a captação atinja um volume médio de 419 litros por dia” (MACIEL, *et al*, 2004).

As águas cinzas também são reaproveitadas após passarem por um tratamento de efluentes por Zona de Raízes. O tratamento foi desenvolvido pela EPAGRI²⁵ e trata-se de tanques de concreto com filtros de areia, onde são plantados Juncos da região. As raízes desta espécie fazem o processo de limpeza da água, que passa a ser utilizada nas torneiras de jardim e no sistema de aquecimento dos quartos. Segundo o projeto, estima-se uma economia de 256 litros por dia (MACIEL, *et al*, 2004).

2. Economia no consumo de água

Feita pela utilização de dispositivos economizadores, a residência consome 60% menos água (CASA EFICIENTE, 2008).

6.4.2.3 Redução do Impacto Ambiental

O impacto ambiental da edificação é reduzido pelo uso de materiais locais e de baixa energia embutida, como o tijolo cerâmico; pelo tratamento natural dos efluentes da edificação (por Zona de Raízes) e pelo reuso do entulho de demolições feitas no local.

6.4.2.4 Reciclagem

A questão da reciclagem é utilizada no reuso da água residual do tratamento de esgoto; e no reuso do entulho da demolição do contrapiso existente no local da obra para servir de agregado no concreto.

6.4.2.5 Teto-jardim

O teto-jardim é uma espécie de terraço que tem a função de criar maior inércia térmica em função de sua espessa camada de terra e vegetação. Ele também ajuda a amenizar o microclima local.

²⁵ Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A.

6.4.2.6 Paisagismo ecológico

No entorno da casa são plantadas espécies locais e algumas que estão em extinção na Mata Atlântica. Também foram plantadas espécies frutíferas que atraem pássaros. O objetivo é melhorar o microclima urbano e fazer parte do corredor ecológico do local.

6.4.2.7 Desempenho econômico

Com o sistema racional de uso da água e alta eficiência energética da edificação, na pós-ocupação há baixo gasto com manutenção e funcionamento. Apesar disso, por utilizar tecnologias de ponta, como o sistema de geração de energia solar, com monitoramentos automatizados, a edificação teve um custo alto, que ultrapassou o dobro do CUB da época, sendo que o valor total investido foi de R\$ 477.227,40 (quatrocentos e setenta e sete mil, duzentos e vinte e sete reais e quarenta centavos) (CASA EFICIENTE, 2008).

6.4.2.8 Desempenho social

O desempenho social da casa é marcado pelo seu aspecto didático e de disseminação de conhecimento para a sociedade.

Há também os aspectos de acessibilidade para portadores de deficiência, como a rampa de acesso, banheiro equipado com barras, ausência de degraus e portas largas para passagem de cadeirantes.

6.4.3 Identificação dos materiais e componentes construtivos por etapa de obra

A escolha de materiais e componentes se baseou tanto nas soluções bioclimáticas identificadas como no uso de materiais consagrados, naturais e locais. Segundo a arquiteta Alexandra:

Todos os materiais foram escolhidos na fase de projeto, procuramos deixar os materiais em seu aspecto natural, diminuir o consumo energético e gastos com uso de materiais locais. (...) Os materiais também foram selecionados para se adequar na estética pretendida. (...) Quisemos trabalhar com tecnologias acessíveis, materiais comuns, para mostrar que se pode atingir algo mais sustentável construindo com o que se usa normalmente.

Pelo fato do estado de Santa Catarina ser um pólo na indústria da cerâmica, optou-se por uma edificação com tijolos cerâmicos à vista. Prioridade no uso de materiais locais, renováveis ou de menor impacto ambiental.

Os materiais e componentes construtivos utilizados na obra serão descritos a seguir:

6.4.3.1 Tapumes e preparo do terreno

No local de implantação, não havia vegetação significativa, apenas um contrapiso resultante da demolição de outra obra. Espaços assim são chamados de *zerocultural* por Yeang (2006). O terreno era plano e não foi necessária movimentação de terra, foi feita a demolição do contrapiso existente de forma cuidadosa para seu reaproveitamento (55% foi reciclado).

6.4.3.2 Fundações

As fundações foram feitas em concreto armado, assim como as vigas de Baldrame, que foram impermeabilizadas com emulsão asfáltica.

6.4.3.3 Estrutura

A estrutura principal é bastante usual no sistema de viga e pilares de concreto armado.

Os materiais demolidos do local foram levados a uma pedreira na cidade de Biguaçu (Grande Florianópolis) para ser moído. Os corpos de prova do cimento com agregado de demolição foram testados em laboratório da UFSC e se mostraram resistentes. Assim, o concreto utilizado na rampa de acesso é feito com esta mistura.

O mezanino é estruturado em vigas de eucalipto autoclavado e certificado, fixado em vigas de concreto armado por meio de chapas parafusadas de aço.

6.4.3.4 Vedações verticais

Para o sistema de vedações verticais, foi indicado o uso de tijolo maciço cerâmico, que deveria ficar aparente na maioria das áreas internas e externas. Isto se deve pelo fato de se procurar manter os acabamentos naturais e há economia de material e menor uso de cimento.

Nas vedações externas, as paredes são duplas com uso de isolante térmico. No projeto foi indicado como isolante o poliuretano, mas na obra foi utilizada lã de rocha por questões econômicas.

6.4.3.5 Vedações horizontais

A cobertura da casa é composta por um telhado principal de duas águas com telhas metálicas, onde são instaladas as placas fotovoltaicas sílico-amorfas. Este material é maleável, portanto o material da cobertura deveria ser bastante liso para não prejudicar seu funcionamento. A estrutura do telhado é feita em Eucalipto e Pínus certificados e, para vencer maiores vãos, foram também utilizadas vigas de madeira laminada colada. Sob as telhas de alumínio, há um isolante térmico de lã de rocha e uma manta de subcobertura (polietileno e alumínio).

Os telhados laterais são feitos de telha cerâmica, com subcobertura de manta de polietileno aluminizada que serve como barreira radiante. A cerâmica é de cor clara natural, do tipo "portuguesa". A estrutura também é de Pinus e Eucalipto.

Sob os telhados foi utilizado forro em placas de OSB (esp=1,5cm) juntamente com isolante térmico em manta de lã de rocha e barreira radiante com manta aluminizada. Para melhor entendimento dessas camadas isolantes, há áreas de visualização com proteção em vidro dentro da casa, como mostra a figura a seguir:



Figura 33: Cobertura com telha cerâmica + manta aluminizada + manta de lã de rocha + forro de OSB.

Fonte: CASA EFICIENTE, 2008.

O mezanino é construído com eucalipto de reflorestamento com troncos roliços e seu piso é feito de OSB. Assim, o teto da sala tem estes materiais aparentes. As madeiras foram todas acabadas com verniz comum a base de resinas alquídicas. Toda madeira empregada é tratada em autoclave com CCA.

Há, também, o uso de lajes ajardinadas como cobertura (figura 30, à direita), feitas de concreto armado e impermeabilizadas com manta asfáltica. Este teto-jardim (como é chamado em projeto) é composto pelas seguintes camadas: vegetação (espécies vegetais de baixa manutenção e resistentes à seca); camada de desenvolvimento da vegetação (terra vegetal); camada filtrante (manta do tipo bidim); drenante (brita e seixo-rolado); de proteção da impermeabilização (argamassa de regularização com tela); camada de impermeabilização; suporte estrutural (laje convencional de concreto armado).

6.4.3.6 Esquadrias

As esquadrias da casa são em PVC com vidros duplos. No memorial descritivo do projeto, foi sugerido o uso de esquadrias de madeira, mas houve uma mudança pois, para o uso de vidros duplos, só havia, na época, tecnologia desenvolvida e garantida em PVC. Apesar do material ser condenado

em edificações sustentáveis, aqui ele cumpre seu objetivo de estancar as aberturas. Os vidros utilizados são simples de 4mm.

Algumas janelas receberam brises de estrutura de eucalipto autoclavado e ripas em bambu (figura 30, no meio). O eucalipto e o bambu não receberam tratamento superficial e já mostram desgaste em função da ação de intempéries e fungos.

As portas internas são em madeira de floresta plantada e extração com manejo florestal (espécie Eucalipto), com pintura em esmalte a base de água, por ser menos tóxico.

6.4.3.7 Instalações hidro-sanitárias

A água que abastece a residência é oriunda da rede pública. O sistema hidráulico da Casa Eficiente apresenta três reservatórios superiores (caixas d'água): "(1) de água pluvial, (2) de efluentes tratados (de águas residuárias cinzas, provenientes de lavatório, tanque, máquina de lavar roupa e chuveiro) e (3) de água potável da rede de abastecimento. Os sistemas hidráulicos são completamente independentes, conservando a qualidade da água potável." (CASA EFICIENTE, 2008).

O material dos reservatórios de água é fibra de vidro. As peças sanitárias são em louça cerâmica. As tubulações são em PVC e CPVC e ficam expostas por conta da função didática da casa e para facilitar manutenções futuras. As tubulações de CPVC para água quente ainda recebem isolamento térmico com poliuretano. As instalações hidráulicas utilizam dispositivos economizadores que permitem uma racionalização de até 60%, são descritos a seguir:

Quadro 9 – Especificação dos equipamentos hidro-sanitários da Casa Eficiente

Equipamento	Descrição
Vaso Sanitário	O vaso sanitário é do tipo com caixa acoplada, com descarga externa de ciclo dual (6,0 e 3,0 litros, nominal).
Torneira para Jardim	Com acabamento cromado, Aviso (água não potável) e trava de segurança, linha econômica.
Registro de Gaveta e Registro de Pressão	Os registros de gaveta e pressão são de linha econômica, com acabamento cromado.
Torneira para Lavatório	A torneira para lavatório é de linha econômica, com acabamento cromado, com misturador mono-comando de pastilha cerâmica e aerador.
Torneira para Pia de Cozinha	Linha econômica, com acabamento cromado, com misturador de pastilha cerâmica, mono-comando e aerador.
Torneira para Tanque	Linha econômica, com aerador.
Ducha Manual	Linha econômica, com acabamento cromado, com regulador de vazão e aerador.
Chuveiro	Eletrônico com misturador termostático de pastilha cerâmica.

Fonte: CASA EFICIENTE, 2008.

O sistema sanitário também é composto por tubulações de PVC. Para o tratamento de Zona de Raízes, foram construídos dois tanques independentes: um com 2,00 m por 3,20 m, para os

efluentes do vaso sanitário e da pia de cozinha e outro com 2,00 m por 4,20 m, para os efluentes dos demais pontos de utilização, sendo que ambos possuem 0,65 m de profundidade. São feitos em tijolo maciço com reboco de cimento, areia e aditivo impermeabilizante de acordo com a figura abaixo:

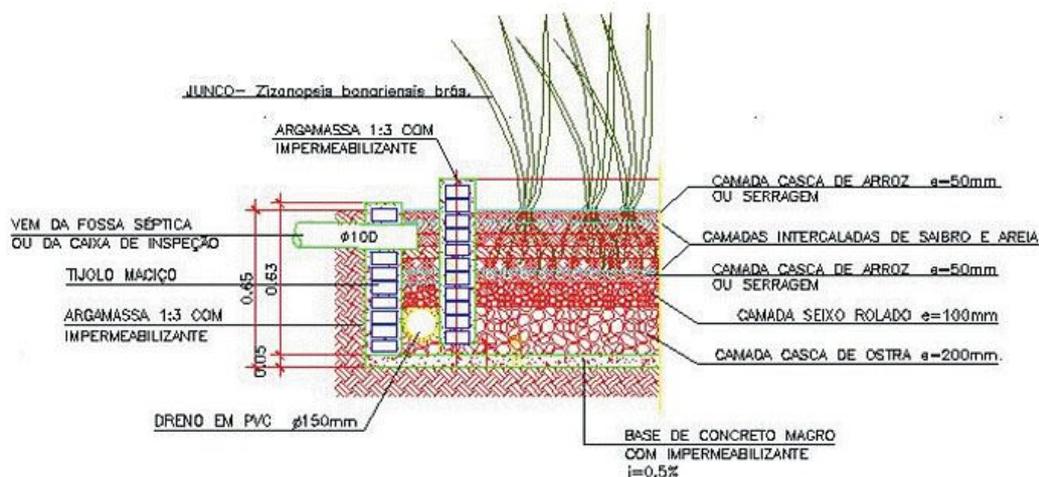


Figura 34: Esquema em corte do tanque de tratamento de esgoto por Zona de Raízes

Fonte: CASA EFICIENTE, 2008.

O sistema de calefação dos quartos é feito por tubulações de cobre junto ao rodapé e a água (águas cinza reaproveitadas) é aquecida pelo sistema de aquecimento solar.

Pela complexidade existente no sistema hidrossanitário pode ser verificado um aumento na quantidade de tubulações, que passa a ser quase duas vezes maior.

6.4.3.8 Instalações elétricas

A eletricidade utilizada vem dos painéis fotovoltaicos que produzem 2.000 watts de energia. São utilizados eletrodutos rígidos de PVC expostos para facilitar manutenção e auxiliar na questão didática da casa. O sistema é bem diferente do usual, e os circuitos são separados por função (iluminação, equipamentos) já que se pretende medir o consumo, isto faz com que se aumente a quantidade de fiação e tubulação.

As lâmpadas são do tipo fluorescente econômicas (de 10 a 25 w) e os equipamentos elétricos são de alta eficiência, todos possuem o selo Procel. Em função destas escolhas, estima-se “que a redução do consumo de energia possa atingir até 64%, para uma residência desse porte” (CASA EFICIENTE, 2008). As luminárias externas são refletores de vapor de sódio, que exigem maior potência (750 watts segundo memorial descritivo de obra).

6.4.3.9 Revestimentos e acabamentos

O piso de toda a casa é cerâmico, com exceção do mezanino que é de OSB.

As paredes internas permaneceram em tijolo à vista e receberam um hidrofugante a base de silicone. As paredes que foram revestidas com reboco convencional receberam pintura do tipo PVA, que possui menos VOC.

As paredes do banheiro e da cozinha foram revestidas com azulejo de cerâmica esmaltada branca até o teto.

O deque existente na área externa é feito em pinus, também tratado com CCA e impermeabilizado com verniz de alta performance à base de resinas artificiais. As floreiras do deque são levantadas em tijolo maciço, impermeabilizadas com argamassa aditivada e receberam um hidrofugante a base de silicone como acabamento.

As madeiras que não são tratadas com CCA receberam tratamento ainti-cupim à base de Piretróide Sintético (Cipermetrina) e com baixo teor de VOC (Compostos Orgânicos Voláteis), classificado pelo IBAMA como classe de risco baixo (IV).

Todos os produtos de pintura e acabamento são comumente utilizados no mercado brasileiro.

6.4.3.10 Equipamentos e mobiliário

O guarda-corpo do mezanino é feito em eucalipto tratado em autoclave com CCA (figura 35, à esquerda), na forma de troncos roliços, para diminuir o grau de processamento do material. A escada é feita de madeira laminada colada, com acabamento de verniz.

Nos móveis, foi utilizada somente madeira certificada: MDF certificado com acabamento em resina melamínica, Pinus, Eucalipto e Teca, também certificada, de florestas plantadas no Brasil. Os móveis em Teca receberam verniz poliuretânico.

Existe um forno a lenha que ajuda a aquecer o ambiente interno na sala e na cozinha. Ele foi executado *in loco* com tijolo maciço cerâmico.



Figura 35: Detalhes da Casa Eficiente.

Fonte: CASA EFICIENTE, 2008 e foto à direita feita pela autora.

O guarda corpo externo é executado em aço galvanizado com pintura tipo esmalte com propriedades anticorrosivas. A rampa de acesso é executada com concreto com mistura de RCD.

6.4.3.11 Áreas externas

Nas áreas externas foi implementado um projeto paisagístico com introdução de 194 espécies nativas e 1.500m² de grama batatais (nativa) na área, contribuindo para recuperação da área do microclima local.

Os caminhos para pedestres e veículos foram executados com piso intertravado de concreto que não bloqueia a permeabilidade do solo, já que é assentado na areia. Somente o acesso principal de pedestres é feito com contrapiso e cimento alisado para facilitar o acesso de cadeirantes.

Os deques na área ao redor da casa são feitos sobre contrapiso, portanto são áreas sem permeabilidade.

6.4.4 Observações finais levantadas em entrevista

A arquiteta Alexandra afirma que ficou muito satisfeita com o projeto e a obra, acredita que chegou no resultado esperado. Ela afirma: “Não é difícil trabalhar com arquitetura mais sustentável, isso já deveria fazer parte da prática do arquiteto. Soluções bioclimáticas são básicas na prática de projeto.”

A arquiteta apontou que construir uma casa mais sustentável com materiais convencionais é uma forma de atingir a maioria da população, ela acredita que não adianta disseminar a construção em solo estabilizado, por exemplo, ou outra tecnologia mais primitiva, se não puder ser reproduzido pelo público comum.

Quando questionada sobre os desafios, foi citada a dificuldade na compatibilização de projetos bastante complexos para uma pequena residência. A integração dos sistemas apareceu como grande desafio, pela dificuldade em efetuar um trabalho de forma multidisciplinar e integrada, característica inerente a um projeto mais sustentável.

6.5 ANÁLISE DOS ESTUDOS DE CASO

As estratégias gerais de sustentabilidade utilizadas nas edificações estudadas são muito próximas das revisadas em bibliografia, apresentadas no primeiro capítulo. Entre elas estão as seguintes: uso de telhado verde, tratamento natural de efluentes, aproveitamento de água de chuva e águas cinza, uso racional de água, eficiência energética das edificações, soluções bioclimáticas, entorno sustentável e seleção de materiais e componentes locais, atóxicos e naturais.

O foco desta análise é a seleção dos materiais e componentes, levantados na etapa anterior, que serão relacionados e comentados segundo as implicações ambientais e humanas estudadas em bibliografia. De forma a sistematizar os dados colhidos, elaborou-se a tabela abaixo:

Tabela 6 – Materiais e componentes selecionados nos casos estudados

Materiais e componentes:		Curucaca	Abuhad	Casa Eficiente
Tapumes e preparo do terreno		Não representativo	Não representativo	Demolição de contrapiso existente com reaproveitamento
Fundação		Sapatas isoladas de concreto armado	Sapatas isoladas de concreto armado	Sapatas isoladas de concreto armado
Estrutura		Estrutura mista de: - Madeira (Araucária); - Pilares e vigas em concreto armado.	- Vigas de baldrame em concreto armado - Sistema viga e pilares em madeira: eucalipto autoclavado com CCA	- Sistema viga e pilar em concreto armado - Uso de RCD como agregado na laje da rampa de acesso.
Vedações Verticais		- Alvenaria comum de bloco cerâmico; - Reboco artesanal com mistura natural e menor uso de cimento; - Madeira: pinheiro.	- Alvenaria comum de bloco cerâmico;	- Tijolos cerâmico maciço - Parede dupla de tijolos maciços com uso de isolante de lã de rocha nas paredes externas
Vedações Horizontais		- Cobertura verde estruturada com madeira (Araucária e Pinus sem tratamento) - Forros em Timoarana (madeira)	- Telha cerâmica de produção local e estrutura do telhado em madeira (Eucalipto de floresta plantada tratado com CCA) - Forros em eucalipto e OSB.	- Telhas de alumínio com lã de rocha e manta aluminizada; - Telha cerâmica de produção local com lã de rocha e manta aluminizada; - Estrutura em Pinus, Eucalipto e madeira laminada colada (pinus), todos certificados pelo FSC; - Forros em OSB.
Instalações Hidro-sanitárias	Caixa de água	Fibra de vidro	Fibra de vidro	Fibra de vidro
	Tubulação	PVC para esgoto PEX para água	PVC para esgoto e água fria CPVC para água quente	PVC para esgoto e água fria CPVC para água quente
	Equipamentos	Vasos sanitários com caixa acoplada.	Vasos sanitários com caixa acoplada; Sanitário Compostável.	Vasos sanitários com caixa acoplada; Aeradores e controles de vazão nas torneiras.

Instalações Elétricas	Instalações	Conduítes flexíveis corrugados em polipropileno embutidos, fiação em cobre revestida em PVC, caixas de luz e de passagem em poliestireno.	Conduítes flexíveis corrugados em polipropileno embutidos, fiação em cobre revestida em PVC, caixas de luz e de passagem em poliestireno.	Conduítes rígidos em PVC aparentes, fiação em cobre revestida em PVC, caixas de luz e de passagem em PVC.
	Iluminação	Lâmpadas incandescentes e dicróicas.	Lâmpadas fluorescentes compactas econômicas.	Lâmpadas fluorescentes compactas econômicas; Iluminação externa com lâmpadas de vapor metálico.
Esquadrias		Madeira: Cedro Rosa (60 a 70%), Pinus e Angelim Vermelho	- Madeira: Eucalipto - Esquadrias reaproveitadas de demolição (80%)	PVC com vidro duplo
Revestimentos		Piso: Arenito da região, nós de pinho, cerâmica esmaltada e madeira (Timoarana). Paredes: Reboco natural rústico, cerâmica e detalhes em seixos de rio e gravetos de madeira.	Piso: cimento queimado, assoalho de madeira (Eucalipto e de demolição) e ladrilho hidráulico. Paredes: pastilhas de vidro recicladas, mosaicos com reaproveitamento de azulejos quebrados e cerâmica esmaltada.	Piso: cerâmica esmaltada. Paredes: reboco de cimento, tijolo a vista e cerâmica esmaltada.
Pintura		- Pintura artesanal a base de cal; - <i>Stain</i> e verniz para madeiras.	- Pintura acrílica; - Tinta esmalte e verniz nas madeiras.	- Tinta PVA; - Impermeabilizante a base de silicone; - Verniz a base de água.
Escada		Araucária com acabamento em verniz e <i>stain</i> e guarda corpo em ferro fundido.	Eucalipto <i>Grandis</i> tratado superficialmente contra cupim e acabamento em verniz.	Madeira laminada colada (Pinus) e guarda corpo em eucalipto tratado. Todas as madeiras são certificadas.
Equipamentos e mobiliário		Móveis elaborados artesanalmente com aproveitamento de madeiras colhidas no terreno ou feitas com Vime plantado no local. Lareira em pedra Arenito local e troncos de Araucária.	Bancadas em argamassa armada, móveis de demolição ou feitos artesanalmente em bambu e madeira.	Móveis em Teca, eucalipto e MDF certificados. Forno a lenha feito no local com tijolo cerâmico.
Áreas externas		- Pedras locais, Arenito (da região) e piso permeável de pedriscos; - Vegetação nativa.	- Cimento queimado sobre contrapiso de concreto; - Deques em eucalipto tratado com CCA e verniz impermeabilizante; - Vegetação nativa.	- Calçadas de concreto alisado; - Deques de Pinus tratado com CCA e verniz impermeabilizante; - Pisos permeáveis de blocos intertravados de concreto; - Vegetação nativa.

A partir desta tabela pode-se comparar algumas escolhas:

6.5.1 Fundações - concreto armado como solução consagrada

O predomínio do concreto armado nas fundações mostra como este material é consagrado nas estruturas, provavelmente pela facilidade de construção e viabilidade de preço.

Apesar disso, é possível aliar algumas escolhas que aumentem a sustentabilidade dos componentes, como mostrou o exemplo da rampa na Casa Eficiente, que substituiu a brita por agregado que provém de resíduos de demolição. Pode-se, assim, obter um concreto mais sustentável, econômico e com desempenho muito parecido com o usual.

Uma medida que não aparece nas escolhas é a seleção do cimento. Ao se escolher um cimento CPIII, por exemplo, está se garantindo parte de recursos, pois este tipo de cimento é composto 60% e 70% de escória granulada de alto-forno, resultante da produção de aço, ou seja, um resíduo de outra produção. Além disso, conforme mostrado nesta pesquisa, os cimentos CPIII e CPIV (por terem misturas de outros componentes) possuem menor energia embutida, comparando com o CPI, por exemplo.

6.5.2 Estruturas mistas – madeira e concreto

A estrutura em madeira é bastante presente nas três edificações, que também fizeram uso do concreto armado.

A vantagem da madeira na estrutura, evidenciada no edifício Curucaca e na residência Abuhad é a velocidade de montagem e diminuição de resíduos, já que as estruturas de concreto geralmente são moldadas *in loco* e utilizam fôrmas que geralmente são descartadas. Além disso, podem ser citados a menor energia embutida e a propriedade das madeiras de seqüestro de CO₂.

Todas as edificações utilizaram espécies diferentes de madeira, sob princípios diferentes: no Condomínio Curucaca houve o uso de madeira de floresta nativa, que foi manejada dentro da propriedade do condomínio sem impactos ambientais. A vantagem do uso do pinheiro Araucária foi a alta durabilidade desta madeira que praticamente não precisa de tratamento, pois é naturalmente resistente, além da diminuição do transporte de mercadorias. Já na residência Abuhad e na casa Eficiente, a madeira indicada é de reflorestamento certificada. Porém, na residência Abuhad, seu uso não foi possível pelo alto custo que possui, mostrando que o uso de madeira certificada ainda pode ser inviável economicamente. A preferência pelo Eucalipto, notada no projeto da residência Abuhad, foi justificada pelos arquitetos por ser madeira de reflorestamento de menor impacto do que o Pinus, considerado espécie exótica e com maior grau de degradação dos ecossistemas onde é inserido.

O uso de madeiras como Pinus e Eucalipto necessita ser aliado ao uso de tratamentos superficiais e profundos que, na residência Abuhad e na Casa Eficiente, aumentaram o grau de toxicidade da edificação. Estas madeiras (sem certificação) possuem hoje o preço mais acessível no mercado além de serem mais facilmente encontradas, porém, sua proveniência e tratamento podem estar sendo muito prejudiciais para a natureza e o ser humano.

O uso da madeira na construção se mostra mais eficiente se for corretamente detalhada, podendo assim diminuir o uso de produtos tóxicos contra os agentes naturais (intempéries) ou organismos xilófagos. Muitos destes produtos (considerados até mesmo cancerígenos por órgãos reguladores internacionais) podem se desprender da madeira durante a vida útil da edificação, principalmente por lixiviação. A previsão desse fato, aliado ao correto uso destes, pode evitar a contaminação da água, do solo ou das próprias pessoas que estejam em contato.

6.5.3 Coberturas verdes, com materiais locais e de baixo impacto

Pode-se notar que o uso do telhado verde é comum a todas as edificações. Porém em cada caso, seu uso foi explorado de forma diferenciada. A maior área do telhado verde no edifício Curucaca é um marco pela sua inovação e menor de grau de impacto ambiental, pois assim não houve grande supressão da vegetação local, que passou a existir na cobertura numa área maior.

Isto mostra que a correta escolha de materiais e componentes não serve apenas para diminuir impactos da construção de edificações, mas também pode incrementar os serviços providos pela natureza, servindo como um impulsionador para o desenvolvimento do ecossistema local. O telhado verde, além de diminuir impactos causados na produção da telha (que usa água, energia e recursos naturais não renováveis), pode promover: maior absorção da água da chuva; melhor conforto térmico dos moradores; desenvolvimento de pequenos insetos e pássaros; diminuição do calor no microclima urbano; umidade relativa do ar equilibrada e constante no entorno da edificação; purificação da atmosfera no entorno da edificação; aumento na quantidade de verde nos centros urbanos, onde a inércia térmica dos grandes edifícios acumula e dissipa grandes quantidades de calor; contribuição no combate ao efeito estufa, aumentando o sequestro (retirada) de CO₂ da atmosfera.

Os materiais das edificações para forro e assoalhos das coberturas e mezaninos foram bastante diversos. Na Casa Eficiente os forros e assoalhos foram feitos em OSB, por se tratar de material com grande aproveitamento de matéria-prima (fibras vegetais), porém a cola é com base no formaldeído, o que pode gerar VOC no ambiente interior. Já no edifício Curucaca, foi utilizada madeira vinda da Amazônia, o que pode gerar um maior impacto ambiental, por esta não ser certificada e ter de ser transportada por longa distância. Na residência Abuhad a escolha foi por Eucalipto tratado com anti-cupins superficialmente, juntamente com madeira de demolição de casas em Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nesta última escolha deve-se considerar que o tratamento superficial das madeiras ainda leva produtos com algum grau de toxicidade. Apesar dos pontos negativos, as três escolhas foram feitas de forma consciente, visando o menor impacto e aparência natural.

Uma ocorrência interessante encontrada nas três edificações foi o proveito da inclinação dos telhados para acrescentar área de mezanino, que acaba por fazer uma vedação ter dupla função,

diminuindo gastos de materiais e custos na obra. Os mezaninos são estruturados em madeira, o que confere leveza a esta área construída além de proporcionar maior rapidez da obra. Isto mostra que o uso eficiente de um material ou elemento construtivo previsto em projeto pode ser mais sustentável, diminuindo o volume de material utilizado.

6.5.4 Vedações verticais – desempenho térmico e acústico com predomínio da terra

A cerâmica aparece como principal material utilizado nas vedações, sendo utilizado o bloco de 8 furos no edifício Curucaca e na residência Abuhad; e o tijolo maciço na Casa Eficiente. A cerâmica também é material consagrado para vedações, pelo seu baixo custo, bom desempenho térmico, acústico e com alta transferência tecnológica.

Apesar de não ter sido utilizado, a seleção do bloco de solo-cimento na residência Abuhad mostra a preocupação com a diminuição de energia embutida e CO₂.

No edifício Curucaca também há uso de madeira de pinheiro nas vedações, que foi utilizado somente com tratamento superficial contra intempéries. Isto somente é possível porque o local é frio e inóspito para o desenvolvimento de cupins. Outro material mais sustentável no edifício Curucaca é o uso de reboco natural com terra e menor uso de cimento na mistura. O relato do proprietário Carlos Jensen, mostrou que esta escolha interferiu o andamento da obra, já que foi preciso uma série de experimentações.

A diminuição de acabamento para as paredes, como reboco e massa corrida, foi fato evidente nos três casos, seleção apontada por diminuir a quantidade de materiais da obra e diminuir o uso de cimento e massa acrílica.

Um fato levantado em entrevista com a arquiteta Sumara mostra-se importante de ser mencionado: a arquiteta afirma que, deve se aproveitar mais as funções dos materiais e, se um material de alvenaria oferece maior resistência física, pode ser utilizado como sistema portante e não só como vedação. Esse acoplamento de funções nos componentes de construção é bastante interessante, principalmente nos sistemas de vedação, que podem acoplar funções de sustentação, conforto térmico, acústico ou mesmo de forma a facilitar o mobiliário.

Com relação às questões de conforto, os cálculos de transmissão térmica efetuados apenas pela Casa Eficiente, levaram a soluções melhores de isolamento, com melhor detalhamento destes sistemas, mostrando a especialização técnica dos profissionais envolvidos.

6.5.5 Instalações hidro-sanitárias com uso eficiente de água e materiais de menor impacto

Com relação às instalações hidro-sanitárias todas as edificações prezam pelo uso de sistemas naturais de tratamento de efluentes e racionalização do uso de água.

Na residência Abuhad, o sanitário compostável é bastante inusitado e eficiente ambientalmente, pois além de tratar os dejetos, é possível reutilizá-los como adubo para o jardim. O sistema é completamente diferente do usual, não utiliza água e não há uso de bacias cerâmicas e tubulações.

Para o menor consumo de água nas edificações, o uso de vasos sanitários com controle de fluxo foi unânime, mas a seleção de outros equipamentos na Casa Eficiente mostrou maior variedade de soluções, que podem facilmente ser encontradas no mercado, como os aeradores.

A maior preocupação com relação às instalações faz-se com os materiais dos tubos e conexões, por haver um predomínio do PVC ou CPVC, materiais tóxicos comprovados. Esta preocupação se intensifica se for considerada que as edificações possuem um volume muito maior de material de tubulações, já que as instalações são diferenciadas.

Em substituição ao PVC, o escritório Eco&Tao indica tubulações em PET reciclado, porém este material somente pode ser encontrado no Estado de São Paulo atualmente, as implicações do transporte do material seria custoso economicamente e ambientalmente. Isto mostra a necessidade de maiores inovações tecnológicas neste campo e necessidade de maior dispersão de indústrias que trabalhem com materiais alternativos aos usuais. O edifício Curucaca utilizou o material PEX para tubulações de água quente, o que se mostrou mais sustentável do que o CPVC por ser material menos tóxico e que não utiliza conexões e colas.

Com relação aos reservatórios de água, por se tratarem de edificações que fazem reaproveitamento de água de chuva e de águas cinza, a quantidade de reservatórios necessários é maior. A fibra de vidro foi apontada na pesquisa como material perigoso à saúde, infelizmente seu uso foi selecionado em todos os casos, por questões econômicas. A opção pelo polipropileno seria mais sustentável, porém mais caro. Os entrevistados também mostraram pouco conhecimento sobre estes materiais.

6.5.6 Instalações elétricas com menor consumo energético

Os materiais das instalações elétricas dos estudos mostraram-se bastante convencionais. A Casa Eficiente, apesar de trabalhar com materiais comuns, possui instalação diferenciada, já que separa circuitos de acordo com o uso.

Com relação à iluminação, já existem, no mercado brasileiro, muitos materiais com baixíssimo consumo energético, variedade de efeitos luminosos e grande durabilidade como as lâmpadas fluorescentes compactas, as lâmpadas T5 e os LEDs. Apesar deste fato, o edifício Curucaca não mostrou preocupações com relação à seleção destes materiais e, tanto na Casa Eficiente, quanto na residência Abuhad foram selecionadas apenas lâmpadas fluorescente compactas, sem variedade

de soluções. Esta questão aponta que ainda há pouco conhecimento dos profissionais com relação a esta área.

Um fato relevante que pôde ser percebido é a importância do selo PROCEL na escolha dos eletrodomésticos (que foi unânime em todos os três casos), mostrando que um selo para materiais de construção pode ter influência na escolha de materiais mais sustentáveis.

6.5.7 Esquadrias de materiais naturais e com maior desempenho térmico e acústico

A seleção das esquadrias é diferente nas edificações e este se mostrou um ponto complexo de se especificar já que uma maior variedade de dados precisa ser considerada. A madeira aparece como material bastante utilizado devido sua baixa energia embutida e por ser um material natural, renovável e pouco processado. Porém, deve-se também contabilizar nesta escolha outros desempenhos do material a ser selecionado (como o térmico e acústico, maior vida útil e menor manutenção).

Em substituição ao PVC, que é material seriamente condenado, o alumínio é bastante comum em esquadrias de edificações sustentáveis e é defendido por sua longa vida útil e não foi considerado nas escolhas das edificações estudadas.

O estudo sobre os vidros também mostrou que há diversidade de soluções e uma série fatores a serem considerados, o projetista deve ter maior domínio sobre coeficientes e qualidades dos diferentes vidros existentes no mercado. Nas edificações, a seleção por vidro comum apareceu como alternativa mais barata, com menor energia embutida e de fácil reciclagem.

6.5.8 Acabamentos de baixa emissividade

O caso Curucaca mostrou um maior uso de materiais de baixa emissividade, pois fez uso de pinturas a base de cal e não utilizou nenhum material que contenha formaldeído ou VOC, como MDF, OSB ou laminados melamínicos. A maioria das tintas e vernizes do mercado hoje possui solventes acrílicos que liberam VOC tanto na aplicação como durante a vida útil do edifício. Os VOC são prejudiciais à saúde e são parte dos responsáveis pela poluição urbana. As pinturas a base de cal são mais baratas e menos tóxicas, porém possuem menor durabilidade e exigem experimentações para adquirir a mistura correta.

Na Casa Eficiente, preferiu-se o uso de acabamentos industrializados, pelo maior grau de acessibilidade ao material, foram selecionadas tintas e vernizes a base de água, que são menos tóxicos. Ao se escolher por um produto a base de água, se reduz de forma eficiente a quantidade de VOC que a edificação vai emitir, garantindo um ambiente interno mais saudável e uma edificação menos poluidora. A troca de ar garantida pelos sistemas de ventilação natural e artificial da casa, ajuda na manutenção da qualidade do ar, diminuindo assim, as preocupações com relação à emissão dos

materiais. De qualquer forma, os VOC e outros componentes também fazem parte da poluição urbana e diminuir sua emissão no ambiente construído deve ser priorizado na escolha de materiais.

Outro fato interessante é a ausência de massa corrida nas paredes das edificações, em que o reboco recebeu diretamente a pintura. Isto diminui o consumo de materiais na obra e também a torna mais limpa e com menos resíduos.

6.5.9 Revestimentos naturais, atóxicos e com soluções locais criativas

A escolha de revestimentos naturais e com soluções locais bastante criativas é bastante evidente no caso Curucaca e da residência Abuhad. Os requisitos para estas escolhas foram a baixa toxicidade destas soluções e baixo grau de processamento dos materiais, o que acarreta em baixa energia embutida e baixa emissão na manufatura.

Na Casa Eficiente, priorizou-se por revestimentos cerâmicos de produção local, pela fácil transferência tecnológica e por ser material consagrado em edificações.

6.5.10 Equipamentos e mobiliários com recursos locais e atóxicos

O acabamento dos móveis e equipamentos também influencia na qualidade do ar interior, questão que foi considerada pelas três edificações. Apesar desta semelhança, as soluções nos casos foram diferentes.

O uso de materiais locais e pouco processados foi a solução encontrada no edifício Curucaca, o que diminui de forma considerável as emissões internas. Já a Casa Eficiente encontrou soluções no uso de móveis e equipamentos com madeira e MDF certificados, este fato mostra uma maior preocupação com a proveniência da matéria-prima do que com as emissões. No caso Abuhad, pode-se encontrar tanto soluções artesanais (como peças em bambu e bancadas de argamassa moldadas *in loco*, em substituição ao granito), como soluções de reaproveitamento, como os móveis recuperados de demolições.

O aproveitamento e recuperação de peças de demolição foi bastante presente em muitas soluções da residência Abuhad e mostra um prolongamento da vida útil dos materiais que iriam para entulhos.

6.5.11 Áreas externas permeáveis

A seleção de materiais de revestimento externos permeáveis é presente nas três edificações e mostra a preocupação com a manutenção da permeabilidade do solo, importante na prevenção das enchentes. A seleção da vegetação a ser utilizada também foi consciente e priorizou-se espécies locais.

6.5.12 Maior manutenção exigida

Todas as edificações apresentaram aumento da frequência e cuidados com manutenção do que uma construção convencional.

No edifício Curucaca há maior manutenção na cobertura, que precisa ser monitorada para eventuais necessidades de irrigação e poda; há necessidade de repetir a pintura num intervalo não maior que dois anos já que a pintura de cal se desprende mais rápido; o sistema de esgoto por zona de raízes deve ser monitorado e é necessária uma poda a cada ano do junco com troca de material filtrante; e os pisos de arenito devem ser encerados regularmente.

No caso da residência Abuhad, há necessidade de manutenção do sistema de sanitário compostável, que deve ser inspecionado a cada seis meses; o telhado verde e o grande uso de madeira também exigem manutenção freqüente.

Na casa Eficiente, há monitoramento de todos os sistemas de água, esgoto e energia por se tratar de um ambiente acadêmico e por serem inovações tecnológicas que ainda estão em pesquisa. Porém, a facilidade da manutenção das instalações elétricas e hidro-sanitárias somou a favor neste estudo.

O fato da maior manutenção exigida das edificações é um agravante para uma mudança de paradigmas e foi apontado pela arquiteta Sumara em entrevista: “É incrível! O que as pessoas querem hoje é preço e nada de manutenção!”. No estilo de vida atual das pessoas, deve-se facilitar e diminuir a manutenção, mas em controvérsia, as edificações estudadas vão em desencontro a este propósito. Além disso, deve-se considerar que toda a manutenção necessita de um novo *input* de energia e materiais e *output* de resíduos e emissões.

6.5.13 As questões sócio-econômicas

As duas primeiras edificações (Curucaca e Abuhad) apresentam forte preocupação com a viabilidade econômica da construção. Materiais com maior custo, mesmo que sustentáveis, foram excluídos da obra mostrando quão importante é este item para que realmente haja uma mudança de paradigmas. Já a Casa Eficiente mostrou um alto custo na adoção de inovações tecnológicas, apesar dos materiais selecionados serem bastante comuns na construção de edifícios. Na residência Abuhad, o escritório Eco&Tao mostrou maiores preocupações sociais, como com as políticas sociais das empresas selecionadas e com a valorização de mão-de-obra artesanal e com valores culturais.

Outra questão que deve ser abordada e aparece em algumas decisões, mesmo de forma menos consciente, é a transferência tecnológica. Ela aparenta ser mais presente nas decisões da Casa Eficiente, apesar disso, a edificação mostrou um nível mais baixo de transferência, já que utiliza sistemas mais complexos e com custo mais elevado. Apesar de não ser um requisito consciente nas

decisões dos outros dois casos, a questão da transferência pode ser notada na rejeição de técnicas construtivas que demandariam mais experimentações e tempo de obra, como soluções em solo estabilizado.

Uma discussão de cunho social e econômico, que aparece nos casos e que tem se mostrado muito evidente em edificações sustentáveis atuais, faz-se entre as soluções artesanais e industriais. Estas questões apareceram bastante contraditórias nos estudos de caso. Tanto no edifício Curucaca, como na residência Abuhad, os recursos locais e artesanais permitiram uma variedade de soluções sustentáveis e bastante criativas, conferindo identidade própria para as edificações. Ao contrário, tem-se a casa Eficiente que, visando o alcance de maior transferência tecnológica do sistema construtivo, preferiu adotar materiais mais industrializados e que estivessem mais próximos ao público comum. Esta questão pode gerar grande debate, pois se questiona qual vai ser a solução construtiva do futuro: uma volta ao passado com releitura de técnicas artesanais e de baixo impacto, ou um mundo de alta tecnologia, com industrialização de materiais menos impactantes e que sejam acessíveis a todos? Entre as construções sustentáveis atuais o que se vê é tanto uma variedade de inovações tecnológicas com relação a materiais como muitas soluções *in loco* e artesanais mostrando que o campo pode ser bastante vasto e variado.

Por fim, ainda é importante ressaltar a questão da obsolescência estética e tecnológica, que surgiu durante as entrevistas. Em todas as edificações buscou-se uma linguagem atemporal e bastante ligada com a natureza. A supervalorização das questões estéticas da arquitetura faz o bem-estar ficar em segundo plano, e um material acaba se tornando obsoleto antes mesmo de findo seu ciclo de vida. As reformas para a substituição e atualização da estética, fruto da obsolescência dos modismos, geram grande quantidade de resíduos e um desperdício incabível. A arquiteta Sumara Lisboa também colocou que a obsolescência tecnológica também é um problema, pois não se pode selecionar um material que não está fortemente fixado no mercado ou que apresente tecnologia obsoleta, com risco deste não ser mais produzido em curto prazo, tornando a sua substituição inviável. A obsolescência estética e tecnológica pode ser fonte de desperdício e resíduos, o que vai em descontrao com o conceito de sustentabilidade.

Um fato levantado na pesquisa foi o custo elevado das inovações ecológicas, deixando a população de mais baixa renda sem acesso.

6.5.14 Os processos decisórios na seleção de materiais e componentes

A preferência por materiais locais é marcante nos três casos e muito evidente na bibliografia. Pode-se dizer que esta é uma premissa principal do processo de seleção e já é consenso ao se escolher materiais de forma mais sustentável.

Com a preferência por materiais locais, além de poder se alcançar a sustentabilidade ambiental, pelo pouco transporte da mercadoria, o fato acaba por servir como uma alavanca na economia regional, beneficiando a população também de forma econômica e social. Estas esferas são relevantemente englobadas hoje pelo conceito da sustentabilidade. O princípio da menor dependência passa a existir em pequenos pólos dispersos de fabricas e pequenas indústrias de materiais de construção, beneficiando a sociedade como um todo e fortificando a cultura e tradição locais.

O “percurso” traçado por cada material da construção deve ser gerenciado e monitorado, não apenas por questões econômicas, mas em termos ecológicos. Por exemplo, uma edificação localizada no Rio Grande do Sul, que utiliza madeira vinda da Amazônia, por mais que esta seja certificada, seu transporte não só está emitindo CO₂ como também contribui pelo aumento no tráfego nas rodovias e desgaste destas.

A casa Eficiente mostra que foi feito um levantamento, mesmo que breve, de materiais da região e dos que possuem menor energia embutida. Este é um passo importante a se fazer no início das escolhas. Ao fim do projeto, foi feito um cálculo da energia embutida da edificação, a partir de dados sobre os materiais construtivos utilizados, que pode ser observado pela tabela 7. O que se percebe a partir dessa tabela é a importância da seleção dos materiais para estrutura e vedações, já que são eles que mais influenciam a energia embutida total. Apesar de materiais como PVC e aço possuírem alta energia embutida, eles tiveram menor importância no cálculo. Isto se deve pelo pouco volume utilizado na edificação.

Tabela 7- Energia Embutida total da Casa Eficiente

MATERIAIS	UN.	EE (MJ/m ³)	EE (MJ/kg)	EE(MJ/un)	QUANT./m ²	EE (GJ/m ²)
cimento portland	kg		5.2	5.2	57.91	0.301136
tijolos	bloco		3.1	4.7058	198.79	0.935445
concreto	m ³	5040	3.1	5040	0.24	1.201349
Aço CA50/60	kg		31	31	21.19	0.656908
madeira laminada	m ³	4875.5	7.5	4875.5	0.01	0.036776
madeira autoclav	m ³	2700	4	2700	0.03	0.08017
formas madeira	m ³	300	0.5	300	0.04	0.012744
esquadrias	m ³	2700	4	2700	0.02	0.047765
telha ceramica	un.		5.4	13.5	18.00	0.243
Piso cerâmico	un.		5.02	0.02008	20.06285	0.402862
Isolamento 130kg/m ³	m ³	2090	19	2090	0	0.059417
Vidros	m ³	46250	20.5	46250	0.0205013	0.948187
PVC	m ³	10400	85	10400	0.0005851	0.006085
Tinta acrilica	lata		61.5	221.4	0.0290627	0.006434
TOTAL						4.938277

Fonte: MACIEL, LAMBERTS E ANDRADE, 2005.

Apesar de estes dados serem bastante interessantes, como foi visto na bibliografia, não é apenas a energia embutida que mede o impacto dos materiais e componentes selecionados, como é o caso do PVC e sua toxicidade. O mesmo ocorre com relação ao uso de madeira laminada colada e

OSB em grande quantidade, o que poderia estar afetando a qualidade do ar interior e pode, no futuro, se tornar um problema no caso do descarte desses materiais. A seleção deve se basear numa série de outros fatores.

A Casa Eficiente, apesar da maior especialização dos profissionais e das soluções bastante eficientes de conforto e redução de consumo de água e energia, foi a que mostrou uma quantidade menor de requisitos que guiassem a escolha dos materiais, restringindo às questões de baixa energia embutida, materiais comuns ao consumidor e materiais locais. Como visto em pesquisa, entre materiais comuns ao consumidor e, mesmo entre aqueles com baixa energia embutida ou locais, podem estar substâncias bastante danosas ao meio ambiente e ao ser humano, como é o caso do PVC ou materiais com formaldeído.

Na residência Abuhad pôde se perceber que o escritório Eco&Tao possui uma espécie de banco de dados de materiais, que seriam os “corretos” a serem utilizados, como madeira, bambu, tijolos de solo-cimento, mosaicos, entre outros vistos na edificação e que aparecem em outras obras do grupo. Apesar deste banco de dados, o proprietário (ou parceiro) teve bastante influência nas escolhas, pois é ele quem fez a decisão final, baseado em recursos disponíveis, gosto pessoal e confiança no produto. Materiais mais caros ou que demandariam maior tempo de obra, como as tintas e reboco naturais, foram descartados, apesar de terem sido indicados em memorial. Este fato mostra a importância do consumidor-usuário e do custo-prazo na seleção de materiais.

Adotar um método baseado em dados técnicos sobre materiais pode ser falho se desconsiderar as expectativas dos usuários. Baseando-se no fato de que a casa é uma terceira pele e que, como uma roupa, uma pessoa não escolhe o que vai vestir somente baseado em dados, conclui-se que fatores culturais e pessoais têm muita presença nas decisões. Entram em questão os modismos, os padrões estéticos, o que o futuro morador espera visualmente. O processo decisório de materiais e componentes para os três casos mostra esta questão da estética bastante forte nas decisões. Em todas as edificações, esperava-se um espaço inspirado na natureza, com uso de materiais naturais, e isto influenciou de forma definitiva a escolha.

Apesar de se conhecer a falta de dados sobre os impactos dos materiais construtivos, os entrevistados não citaram esta dificuldade ou ela pareceu não ter influenciado nas decisões, pois pareciam seguros de suas escolhas. Alguns colocaram que isto se deve pelo fato de inexistir variedade de produtos, “não há muito o que se escolher, foram poucas as possibilidades exploradas” (Alexandra Maciel, em entrevista). Os entrevistados, algumas vezes, demonstraram pouca profundidade de conhecimento.

7 RECOMENDAÇÕES PARA SELEÇÃO MAIS SUSTENTÁVEL DE MATERIAIS E COMPONENTES DE CONSTRUÇÃO

É necessário levar em consideração uma série de questões para abraçar todas as implicações que materiais e componentes possuem sobre o ambiente natural e a saúde humana, mostrando o quanto esse fato é complexo. Estudar a fundo todas as inter-relações que ambiente construído e natural podem ter é trabalho custoso e que não pode ser efetuado em curto prazo, pois ainda depende de maior pesquisa e levantamento de dados de um setor por vezes desordenado e disperso, como é a indústria da construção.

Os modelos de seleção apontados no quinto capítulo ou são incompletos (como o indicador de energia embutida) ou muito complexos (como a ACV) de serem utilizados no trabalho cotidiano dos arquitetos. Foi constatado, pelos estudos de caso, que, para uma metodologia ser realmente utilizada no dia-a-dia de arquitetos e pessoas que pretendem construir de forma mais sustentável, esta deve ser bastante facilitada e eficiente. Propõe-se, aqui, uma lista de recomendações com passos a seguir para uma seleção mais sustentável de materiais e componentes baseadas nas informações levantadas durante a pesquisa.

Numa primeira etapa, percebeu-se a importância de alguns passos iniciais, que devem ser feitos antes do projeto de arquitetura, pois a seleção do sistema construtivo, materiais e componentes pode afetar ou podem vir a complementar algumas soluções arquitetônicas. As etapas iniciais são:

1. Levantar as indústrias de materiais e componentes mais próximas ao local da obra, que possuam materiais de qualidade garantida ou certificada;
2. Selecionar as indústrias “mais limpas”, que possuam alguma rotulagem ambiental ou que implantam SGA ou ISO 14000;
3. Verificar a possibilidade de aproveitamento de estruturas ou matéria-prima (terra ou pedras) existentes no local de implantação;
4. Verificar a possibilidade de incorporar materiais de demolições da região, porém cuidando da origem destes materiais de forma a evitar a grave alteração da arquitetura de valor histórico.

Para a etapa de seleção dos materiais e componentes, aliadas ao paradigma atual de tempo, preço e mão-de-obra disponíveis, entrariam outras considerações ambientais e sociais. A recomendação é que se selecione de acordo com seguintes requisitos de sustentabilidade classificados em 5 categorias: (A) Água; (MP) Matéria-prima; (EN) Energia; (EM) Emissões; (RE) Resíduos; (T) Transporte e (SE) Aspectos sócio-econômicos. O requisitos estão listados a seguir:

CATEGORIA A: Água

A01. Manufatura utiliza água de forma eficiente: selecionar materiais e componentes cuja indústria ou manufatura possua sistemas de reuso de água ou utilizam água de forma racionalizada; ou material cujo processo de fabricação necessita pouca água;

A02. Manufatura ou uso não comprometam recursos hídricos: selecionar materiais e componentes cuja indústria ou manufatura possua tratamento de efluentes para não comprometer recursos de água, tais como lençóis freáticos, rios, lagos, mar;

A03. Promoção de diminuição de consumo e desperdício de água: selecionar materiais e equipamentos que diminuam o consumo de água na edificação, tais como aeradores ou controles de fluxo;

A04. Ajuda na reciclagem ou reuso de água: selecionar materiais e equipamentos que facilitem a reciclagem ou reuso de água na edificação, tais como calhas e filtros para coletar água de chuva.

CATEGORIA MP: Matéria-prima

MP01. Extração de materiais com baixo impacto ambiental: selecionar materiais que utilizam matéria-prima abundante, ou cuja extração seja de baixo impacto ambiental;

MP02. Matéria-prima é reciclada: selecionar materiais que provém de reciclagem, reuso ou recuperação, tais como alumínio reciclado, madeira de demolição, entre outros;

MP03. Matéria-prima tem fonte renovável, como madeira, por exemplo;

MP04. Matéria-prima de fonte certificada: selecionar materiais cuja extração de matéria-prima seja certificada, garantindo o baixo impacto ambiental e social;

MP05. Material com longa vida útil: selecionar materiais duráveis e de qualidade garantida para a diminuição manutenção que exige *input* de recursos e energia em curto prazo;

MP06. Material natural sem processamento: selecionar materiais como baixo ou nenhum processamento para diminuição dos impactos;

MP07. Material local: selecionar materiais com fonte de matéria-prima e produção local, da região sócio-política em que a edificação está inserida, para dispersão dos impactos ambientais de extração, diminuição dos impactos ambientais do transporte e benefício da economia local.

CATEGORIA EN: Energia

EN01. Produto de baixo consumo elétrico: selecionar materiais (eletrodomésticos, lâmpadas e equipamentos) com baixo consumo energético;

EN02. Bom comportamento térmico: selecionar materiais que possuam propriedades bioclimáticas favoráveis para a edificação, tais como isolamento térmico, inércia térmica, entre outros;

EN03. Processo de fabricação de baixo consumo elétrico: selecionar materiais e componentes cuja indústria ou manufatura seja feita com eficiência energética; ou processo de fabricação simples de baixo consumo energético;

EN04. Utiliza energia renovável em seu processo de fabricação: selecionar materiais e componentes cuja indústria ou manufatura tenha consumido energia produzida por fontes renováveis e de baixo impacto.

CATEGORIA EM: Emissões

EM01. Reduzida emissão ou sem emissão de VOC: selecionar materiais que não possuam substâncias que gerem VOC, tais como: formaldeído, benzeno, tolueno, etanol, entre outros;

EM02. Reduzida emissão de gases de efeito estufa: selecionar materiais cuja produção tenha baixa emissão ou controle de emissões de gases de efeito estufa, tais como CO₂, metano, CFC ou HCFC;

EM03. Reduzida emissão ou sem emissão de gases tóxicos ou perigosos: selecionar materiais e componentes cuja produção, uso e manutenção tenham baixa emissão de gases tóxicos ou perigosos, tais como formaldeído, benzeno, tetracloroetileno, entre outros;

EM04. Reduzida emissão de gases tóxicos ou perigosos na combustão: selecionar materiais cuja combustão não gere gases tóxicos ou perigosos, como é o caso da geração de dioxinas e furanos por alguns plásticos.

CATEGORIA RE: Resíduos

RE01. Nível baixo ou ausência de resíduos tóxicos e perigosos: selecionar materiais cuja produção ou eventual descarte não gere resíduos tóxicos ou perigosos (inflamáveis, patogênicos ou radioativos), tais como metais pesados, poluentes orgânicos persistentes, hidrocarbonetos aromáticos, entre outros;

RE02. Não contém elementos organoclorados (POP): selecionar materiais que não sejam compostos por substâncias orgânicas perigosas, tais como PVC (dioxinas, furanos), creosoto, pentaclorofenol, hidrocarbonetos aromáticos, dieldrin, clordano, entre outros;

RE03. Resíduos recicláveis: selecionar materiais cujos resíduos possam ser reciclados com baixo processamento; e/ou processamento para reciclagem de baixo impacto ambiental, sem emissões perigosas, custo energético baixo e resíduos não-perigosos;

RE04. Resíduos recuperados pelo fabricante: selecionar materiais cujo fabricante responsabiliza-se pelo seu descarte ou eventual recuperação para reutilização ou reciclagem;

RE05. Resíduos reutilizáveis: selecionar materiais e componentes que possam ser desmontados da obra e reutilizados;

RE06. Resíduos biodegradáveis: selecionar materiais que se degradem naturalmente em curto tempo, sem impacto ambiental;

RE07. Material permite racionalização da obra: selecionar materiais e componentes com medidas padronizadas, que permitam racionalização da obra com redução de resíduos;

RE08. Embalagem reciclável, reutilizável ou biodegradável: selecionar materiais ou componentes que não precisem de embalagens ou cujas embalagens são facilmente recicláveis, reutilizáveis ou biodegradáveis.

CATEGORIA T: Transporte

T01. Material local: selecionar materiais cuja matéria-prima tenha proveniência local ou que sejam produzidos na região da obra. Dar preferência ao uso de materiais do próprio terreno, como solo e pedras; ou de demolições locais;

T02. Transporte não poluente: promover o transporte de materiais por meios menos poluentes.

CATEGORIA SE: Aspectos sócio-econômicos

SE01. Respeito às condições humanas na empresa ou na obra: selecionar materiais e componentes cuja indústria valoriza a força de trabalho, aplica segurança do trabalho e respeita as legislações trabalhistas;

SE02. Política empresarial com ações sociais: selecionar materiais e componentes cuja indústria possua políticas com ações sociais;

SE03. Viabilidade econômica do material ou componente para a maioria da população: selecionar materiais e componentes com valor acessível para a população de menor renda, facilitando o acesso à moradia de qualidade;

SE04. Valorização de cultura ou tradição de um povo: selecionar materiais e componentes que façam parte da cultura ou tradição locais, de forma a resgatar estes valores sociais;

SE05. Contribuição do material para um ambiente saudável e seguro: selecionar materiais de qualidade (adequação às normas), que não causem poluição do ar interior, que garantam o conforto dos moradores e não prejudique o ambiente natural;

SE06. Transferência tecnológica: selecionar materiais que podem ser acessíveis e com facilidade de uso e instalação;

SE07. Viabilidade de industrialização e comercialização: selecionar materiais que possam ser industrializados e comercializados, para que possam ser reproduzidos com manutenção das qualidades; um produto deve ser acessível a um grande número de pessoas e ser facilmente encontrado;

SE08. Ênfase na economia local: selecionar materiais que sejam produzidos localmente para dar ênfase e maior independência na economia da região.

7.1 ALTERNATIVAS PARA CONSTRUIR COM CADA MATERIAL

Além das recomendações colocadas anteriormente, também foram desenvolvidas recomendações de utilização mais sustentável dos materiais de construção pelo fato de ter sido observada a necessidade de conhecer cada material mais a fundo para que escolhas mais conscientes possam ser feitas. A base dessas recomendações partiu de uma lista de passo-a-passo sugerida por Yeang (2006), em que se sugere:

1. Identificar a categoria do material;
2. Identificar as opções de construir com o material;
3. Adquirir informações técnicas;
4. Rever informações complementares;
5. Avaliar o material baseado nos critérios de sustentabilidade;
6. Selecionar.

A categoria dos materiais deve ser selecionada de acordo com a viabilidade econômica, recursos disponíveis ou produção local, ou seja, se há produção de cerâmica na região da obra, porque utilizar madeira que viria de outro ponto distante? Uma série de outros fatores também pode afetar a escolha, portanto foram reunidas, a seguir, as informações colhidas durante a pesquisa. As informações técnicas, opções de construir com o material e informações complementares são comentados e sistematizados por quadros.

Os quadros são apenas uma sistematização das informações, mas não substituem as informações contidas em toda a dissertação. Para melhor uso dos materiais e componentes, é imprescindível a aquisição de maior conhecimento por parte do projetista.

7.1.1 Alternativas mais sustentáveis para o uso da madeira na construção de edifícios

O que mais se tem exposto como alternativa sustentável para o uso da madeira hoje, é o uso de madeira de reflorestamento ou as madeiras com certificação, cuja proveniência pode ser garantida.

O manejo florestal sustentável é a ferramenta a ser utilizada para que se possa garantir o uso das florestas sem a ameaça de perdas ecológicas, econômicas e sociais graves no futuro. Como pôde ser estudado, nem sempre uma madeira é de reflorestamento, a maioria das madeiras no mercado é

de floresta plantada com monocultura e desmatamento de áreas de floresta nativa, causando perda da biodiversidade.

Apesar das preocupações com manejo, somente isso não garante a sustentabilidade do material. As certificações atuais não abrangem a toxicidade do tratamento da madeira ou a gestão ambiental nas madeireiras beneficiadoras. É preciso que o arquiteto, ao fazer a seleção, leve mais questões em consideração.

O mercado da madeira geralmente passa por modismos e algumas espécies são utilizadas em edificações por longo período, causando escassez destas na natureza. É o que aconteceu com a Peroba-Rosa, o Pinho do Paraná, o Mogno, a Cerejeira. Segundo o IPT (2004), existem mais de 200 espécies indicadas para edificações, porém o que se vê é uma variedade de no máximo 15 no mercado brasileiro.

Outra questão é o uso das espécies amazônicas em todo o território do Brasil, causando grande transporte de mercadoria e todas as implicações que este transporte possui, visto no capítulo anterior. Além de ser, na maioria das vezes, esta madeira retirada de forma ilegal.

O uso de espécies alternativas de madeiras nativas é o que se tem colocado como alternativa sustentável. Algumas espécies têm se mostrado com bom desempenho para edificações: angico-preto, cupiúba, garapa, itaúba, tatajuba, dentre outras. Apesar da madeira de reflorestamento ser uma boa alternativa, não se deve esquecer de que se trata de uma madeira de baixa resistência, devido seu rápido crescimento, que precisa de tratamento químico, por vezes tóxico e que provém de uma monocultura que restringe a variedade biótica.

Entre as madeiras próprias para reflorestamento, encontra-se o Pinus e o Eucalipto. O uso destas espécies deve ser monitorado, pois a inserção de espécies exóticas num ecossistema pode ter conseqüências negativas. Entre as espécies mais adaptadas ao clima brasileiro, pode ser citada a Teca, madeira resistente a intempéries e xilófagos que vem ganhando cada vez mais espaço no mercado de móveis; há também a Bracatinga, madeira com crescimento rápido e que existe em grande quantidade no sul do Brasil, mas infelizmente é pouco explorada na construção de edifícios e mereceriam maiores estudos neste sentido.

Em muitas construções mais sustentáveis no Brasil e no mundo o uso do Bambu também vem ganhando cada vez mais espaço. Lengen (2004) e Yeang (2006), entre outros autores, colocam o Bambu como a madeira do futuro. As melhores espécies desta gramínea gigante para a utilização na construção de edifícios são o Guadua (*Guadua Angustifolia*), o Bambu-Gigante (*Dendrocalamus giganteus*) e o bambu-mossô (*Phyllostachys pubescens*). Todos são encontrados no Brasil, onde existem grandes florestas inexploradas de várias espécies. O Bambu é pouco atacado por cupins, mas deve ser protegido com algum tratamento contra fungos e brocas. Seu uso geralmente é indicado para

estruturas, principalmente para coberturas. Lenggen (2004) indica o Bambu como substituto do ferro no concreto armado.

As madeiras de demolição também aparecem em construções sustentáveis. O reuso e recuperação de peças estruturais, até mesmo portas e esquadrias é, de certa forma, muito sustentável, já que prolonga a vida útil adiando sua remessa a aterros. Como a construção de madeira consiste numa montagem de materiais que não se agregam, podem facilmente ser desmontadas e remontadas, facilitando a substituição das peças e seu reuso. Alguns cuidados são necessários com relação aos preservantes utilizados e com relação à sua proveniência, já que a demolição pode estar alterando paisagem e arquitetura históricas.

O uso da madeira de forma menos processada, como no caso da residência Abuhad, onde foram utilizados troncos de eucalipto roliço, é uma forma de diminuir a energia embutida e os resíduos gerados do processo de beneficiamento.

O tratamento de madeiras menos resistentes a xilófagos foi abordada como campo que ainda precisa de maior desenvolvimento, tanto no sentido de estudos de toxicidade e contaminação, como lixiviação e volatilização dos componentes, como estudos de eficiência dos diferentes produtos. Com alternativa menos tóxica, a americana EPA (2006) indica os sais de Boro (Boratos) e preservantes hidrossolúveis com Cobre. O desenvolvimento de produtos preservantes da madeira a base de Tanino (extrato vegetal) são uma boa alternativa no sentido de inovação tecnológica sustentável. Infelizmente essas práticas e estudos são pouco desenvolvidos no Brasil, e outras inovações menos tóxicas ao ser humano, apesar de serem importantes para o uso futuro da madeira, ainda são dificilmente encontrados no mercado.

Alguns cuidados com a madeira tratada na construção podem ser feitos:

- Evitar o uso de madeira tratada com preservantes em locais em contato direto com seres humanos, solo ou água, principalmente se, no ambiente, haja manipulação ou plantio de alimentos;
- Toda a serragem da madeira tratada deve ser limpa e retirada da edificação, encaminhada para local adequado, já que não pode ser queimada a céu aberto, nem ficar em contato com o solo;
- As pessoas que trabalham com o material devem ser advertidas de sua toxicidade e devem usar máscaras de proteção;
- Os resíduos da madeira tratada na obra não devem ficar em contato direto com o solo e devem ser levados para entulhos apropriados para este tipo de material.

Por fim, coloca-se a questão do bom detalhamento, que é imprescindível para o prolongamento da vida útil, diminuição do uso de preservantes, o que aumenta muito o grau de sustentabilidade de uma estrutura. No Brasil, país quente e úmido, beirais largos e bem detalhados são indispensáveis. Para o melhor detalhamento também é necessário que os arquitetos e engenheiros

tenham maior conhecimento da madeira, de suas diferentes propriedades, resistência e, até mesmo, da organização dos seus tecidos celulares. O desconhecimento dos atributos e características da madeira inviabiliza a sua correta utilização. Projetos de construção utilizando aço e concreto não podem ser transferidos para a madeira - é preciso entendê-la como um material diferente.

7.1.2 Alternativas mais sustentáveis para o uso do cimento e agregados do concreto na construção de edifícios

Como foi levantado nos estudos de caso, procurar diminuir o volume de cimento e concreto das edificações é a principal alternativa para diminuição dos impactos de uma indústria ainda muito degradante. A substituição das estruturas em concreto armado por madeira, por exemplo, pode ser uma solução mais leve e menos impactante. O alívio de cargas nas fundações também deve ser projetado por meio de seleção de materiais mais leves. O uso de solo estabilizado também pode ser solução para rebocos, até mesmo pisos.

Mesmo quando o uso do cimento e concreto for a solução escolhida, é possível aliar alternativas melhores do ponto de vista da sustentabilidade. A alternativa mais considerada hoje é o uso de resíduos da própria construção como agregado. Esta medida aliada à preferência por cimento que possua menor energia embutida, conteúdo de resíduos (CPIII e CP IV) e menor emissão de CO₂ na fabricação, pode ser uma solução mais sustentável para o uso deste material tão flexível e globalizado.

O cimento também vem passando por inovações tecnológicas na busca de um material mais resistente e de menor volume na edificação.

7.1.3 Alternativas mais sustentáveis para o uso da terra na construção de edifícios

A terra na forma da cerâmica já é material consagrado e a transferência tecnológica do material e sua acessibilidade são questões muito relevantes a favor de seu uso. Apesar destas constatações, as indústrias da cerâmica podem emitir poluentes no ar, principalmente CO₂, além de fazer uso de combustíveis fósseis ou biomassa para queima dos componentes. Seu uso se faz, especialmente para as alvenarias e, como o volume de materiais deste sistema é grande, tornam-se relevantes os impactos do material selecionado.

Frente a estes problemas, tem-se feito inúmeros esforços e pesquisas para ampliar o uso do solo estabilizado, evitando assim, os impactos relativos à queima da cerâmica. A terra é acessível e na própria escavação necessária para a implantação das edificações pode ser feito o aproveitamento de

volumes de terra que seriam descartados. Este fato, apesar de ser mais trabalhoso e demandar tempo de ensaios, pode apresentar vantagens, já que recursos do próprio terreno podem ser utilizados, diminuindo de forma significativa o *input* de energia e materiais. Importante colocar que é necessário um bom detalhamento da obra com solo estabilizado, com proteção de paredes das intempéries e cuidados com impermeabilização das fundações.

A industrialização de tijolos de solo estabilizado também é algo crescente, mas que ainda não mostra mudanças definitivas, como visto no caso da residência Abuhad, em que se preferiu o bloco cerâmico comum.

A seleção por materiais cerâmicos de qualidade garantida ou de indústrias que possuem SGA pode minimizar os impactos do material, apesar de não garantir sua sustentabilidade.

7.1.4 Alternativas mais sustentáveis para o uso dos metais na construção de edifícios

O uso dos metais tem sido considerado para a construção de edifícios sustentáveis, pois o material apresenta uma série de fatores favoráveis, como longa vida útil e baixo desperdício. Porém, a indústria metalúrgica ainda é grande poluente e depletora de recursos naturais não-renováveis.

Para uso dos metais de forma menos impactante, ainda são necessárias uma ampla quantificação e análise dos impactos por uma metodologia tipo ACV, o que ainda não foi feito no Brasil. O que surge como alternativa mais viável é a seleção de metais provindos de indústrias com SGA ou ISO, pois assim pode garantir parte do processo, com resíduos tratados e emissões controladas. Também deve-se dar preferência a metais reciclados, principalmente o alumínio e o aço, que apresentam maior vida útil.

O planejamento da construção, com detalhe de peças que cheguem prontas à obra é imprescindível para o uso correto e sem desperdício que o material oferece.

7.1.5 Alternativas mais sustentáveis para o uso dos plásticos na construção de edifícios

Os plásticos atuais mostraram-se um grave problema ambiental, porém eles serão dificilmente substituídos devido a seu uso generalizado e falta de conhecimento das pessoas de seus perigos. Seu alto grau de degradação ambiental pelo uso de substâncias tóxicas e por terem matéria-prima não renovável e não abundante inviabilizam um uso contínuo deste material no futuro, com risco à qualidade ambiental do planeta.

Os plásticos mais perigosos e que deveriam ser eliminados das edificações são o PVC e os plásticos termorígidos, incluindo as resinas poliuretânicas, vinílicas e as melaminas, amplamente

utilizadas para acabamento de pisos, móveis e MDF. Não há nenhuma fase de seu ciclo de vida que não seja danosa ao ambiente natural e ao ser humano.

O PET, apesar de envolver poluentes (ftalatos e dioxinas) e ser um derivado de petróleo, é menos tóxico e pode ser facilmente reciclado, mas seu uso deve ser diminuído, procurando diminuir sua fabricação e manter o volume existente, por reciclagem. Os plásticos PE e PP mostraram-se como os menos tóxicos e com alto grau de reciclagem, devem ser os preferidos em projetos de edificações sustentáveis. Em tubulações de água quente, substituir o PVC por outro plástico, com risco de contaminação da água, neste caso, dar preferência ao uso de tubulações de PEX ou PPR.

A indústria plástica, sob um futuro mais sustentável, corre sério risco se não procurar por inovações tecnológicas que substituam os plásticos existentes hoje. Algumas pesquisas vêm sendo desenvolvidas neste sentido, em busca de plásticos com base em produtos agrícolas como soja e milho, que possuam características mais sustentáveis, mais naturais, biodegradáveis e, mesmo assim, duráveis e maleáveis.

7.1.6 Alternativas mais sustentáveis para o uso de tintas, vernizes, lacas e esmaltes na construção de edifícios

Os materiais de acabamento têm bastante importância com relação ao impacto da edificação, pois podem afetar a qualidade do ar no interior do edifício e podem ser causa de contaminação atmosférica mesmo durante o uso da edificação. Os solventes, presentes nos vernizes e esmaltes, e tintas acrílicas compostas de hidrocarbonetos aromáticos, que geram VOC, tão comuns no mercado imobiliário, são comprometedores do bem-estar no interior da edificação, e, conseqüentemente, do ser humano em geral.

Frente a estes problemas, algumas alternativas mais sustentáveis vêm sendo buscadas. Há uma volta para materiais antigos, consagrados e naturais: as tintas de cal, ceras de abelha, óleo de linhaça, caseína, entre outros. Alguns materiais com estes componentes já vem sendo fabricados por pequenas indústrias, ou são feitos no local da obra.

Uma alternativa apontada pelo caso da Casa Eficiente mostra que a seleção por produto a base de água, também pode minimizar a ação maléfica dos solventes que geram VOC. Hoje, no mercado, já existem algumas opções de tintas e vernizes “sem cheiro” ou a base de água. Apesar destas indicações não classificarem o material como sustentável, podem garantir o menor impacto (segundo alguns atributos) do que o material convencional. Algumas empresas também vêm buscando certificações internacionais e o consumidor pode identificá-las em seus rótulos, garantindo uma escolha mais consciente.

Com relação às cores, também é possível fazer escolhas mais sustentáveis. Os tons claros têm sido indicados em edificações sustentáveis pelo de baixo grau de absorção de radiações, o que torna a superfície mais fria e melhora a temperatura no microclima urbano.

7.1.7 Alternativas mais sustentáveis para o uso dos vidros na construção de edifícios

Os vidros são imprescindíveis nas edificações, pois são eles que conectam interior e exterior visualmente e trazem claridade para o ambiente interno, promovendo a qualidade ambiental da edificação, afetando o conforto térmico, lumínico e psicológico dos usuários.

Devido à simplicidade de sua estrutura e de sua fabricação e alto grau de reciclagem, o vidro comum é o mais sustentável. Porém, por vezes, a iluminação natural ou mesmo visuais externos são importantes para edificação ao mesmo tempo em que podem afetar negativamente o conforto interno, por estarem voltados para direcionamentos não propícios. Nestes casos, a opção por vidros mais eficientes pode ser feita devido à variedade de soluções atuais.

O uso do vidro é algo que deverá demandar maior conhecimento de suas propriedades e de soluções bioclimáticas por parte dos profissionais. Os vidros, por terem maior transmissão térmica do que outros materiais, podem provocar perdas e ganhos de calor. A variedade de soluções pode levar à confusão e o profissional deverá dominar alguns termos e coeficientes para aliar a escolha ao projeto de forma competente. Deve-se dar preferência aos vidros com maior transparência e transmissão luminosa e menor transferência de calor e passagem de radiações infravermelhas (no caso de locais de clima quente, como o Brasil).

Com base na pesquisa, foram desenvolvidos quadros que sistematizam as informações sobre o uso mais sustentável de cada material, a seguir:

Quadro 10 - Uso mais sustentável da madeira na construção de edifícios

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens	
Madeira	Madeiras nativas	Madeira roliça, serrada ou beneficiada para uso em peças estruturais; Esquadrias; Vedações; Pisos; Pérgolas e brises.	<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil mais longa do que madeiras de florestas plantadas; - Recurso renovável e que mantém a biodiversidade; - Seqüestro de CO₂; - Precisão construtiva e menor peso da estrutura; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Praticamente sem emissão de poluentes; - Energia embutida baixa; - Resíduos atóxicos e biodegradáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material combustível; - Baixa durabilidade natural; - Maior manutenção.
	Madeiras de florestas plantadas (Pinus e Eucalipto)	Madeira roliça, serrada ou beneficiada para uso em peças estruturais ou fôrmas; Madeira laminada colada; Chapas de OSB e MDF; Esquadrias; Vedações; Pisos; Pérgolas e brises.	<ul style="list-style-type: none"> - Recurso altamente renovável; - Seqüestro de CO₂; - Precisão construtiva e menor peso da estrutura; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Baixa emissão de poluentes; - Grande aproveitamento de matéria-prima; - Energia embutida baixa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material combustível; - Menor resistência e durabilidade do material; - Plantio com monocultura restringe a biodiversidade; - Necessita tratamento com preservantes; - Maior manutenção; - MDF, OSB e madeira laminada colada podem conter formaldeído.
	Bambu	Peças estruturais; Vedações; Pisos; Pérgolas e brises; Chapas; Pisos; Vedações.	<ul style="list-style-type: none"> - Recurso altamente renovável; - Seqüestro de CO₂; - Precisão construtiva e menor peso da estrutura; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Praticamente sem emissão de poluentes; - Energia embutida baixa; - Resíduos atóxicos e biodegradáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Material combustível; - Plantio com monocultura restringe a biodiversidade; - Necessita tratamento com preservantes; - Maior manutenção.
Alternativas mais sustentáveis para o uso da madeira na construção de edifícios:				
1. Dar preferência a madeiras que não necessitem tratamento de profundidade;				
2. Usar madeiras de reflorestamento certificadas e tratadas com sais de Boro (CCB), ao invés de CCA;				
3. Dar preferência ao uso de madeiras nativas ou bambu, de espécies pouco exploradas e naturalmente resistentes, cuja extração seja, preferencialmente, certificada;				
4. Dar preferência a madeiras de demolição, com cuidado de verificar o tratamento utilizado e protegê-la;				
5. Elaborar o correto detalhamento das peças, de forma a proteger das intempéries, aumentar sua durabilidade e diminuir o uso de preservantes;				
6. Dar preferência ao uso de troncos roliços, ou madeira com pouco beneficiamento;				
7. Evitar ou diminuir o uso de tratamentos que contenham Poluentes Orgânicos Persistentes, tais como: Creosoto, Pentaclorofenol, furanos, dioxinas.				

Quadro 11 – Uso mais sustentável do concreto, cimento e agregados na construção de edifícios

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
	Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens
Concreto, cimento e agregados	Cimento e argamassa	Rebocos, emboço; Colas para assentamento de revestimentos; Impermeabilizantes; Entre outros.	- Variedade de soluções para construção; - Longa vida útil; - Alto grau de transferência da técnica; - Material que pode ser reaproveitado como agregado.	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida moderada; - Desperdício na construção; - Matéria-prima não renovável; - Emissão de radônio na pós-ocupação.
	Concreto pré-moldado	Placas para lajes; Blocos para fundações; Peças estruturais; Pisos e Revestimentos; Elementos vazados; Blocos de vedação; Tubulações e fossas pré-fabricadas.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Material que pode ser reaproveitado como agregado; - Menor volume de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Volume grande e maior peso das peças; - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida moderada; - Matéria-prima não renovável; - Emissão de radônio na pós-ocupação.
	Concreto armado moldado in loco	Placas e perfis; Esquadrias e grades; Estruturas leves; Calhas; Telhas para coberturas e chapas para revestimento e vedação vertical.	- Longa vida útil; - Liberdade de criação arquitetônica; - Material que pode ser reaproveitado como agregado; - Alto grau de transferência tecnológica.	- Volume grande e maior peso das peças; - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Maior desperdício na construção; - Energia embutida moderada; - Matéria-prima não renovável; - Emissão de radônio na pós-ocupação.
Alternativas mais sustentáveis para o uso concreto, cimento e agregados na construção de edifícios:				
1. Diminuir o volume de cimento utilizado na construção: pela escolha de materiais mais leves que diminua as cargas na estrutura; e substituição do concreto e cimento por outro material menos impactante e que cumpra a mesma função;				
2. Dar preferência aos elementos pré-fabricados que diminuem os resíduos na obra e permitem racionalização de materiais;				
3. Dar preferência ao cimento CPIII, que é composto em 60 a 70% de subprodutos de outra indústria e possui menor energia embutida;				
4. Ver a possibilidade de substituir os agregados por RCD, sempre que possível.				

Quadro 12 – Uso mais sustentável da terra na construção de edifícios

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
	Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens
Terra	Solo estabilizado	Blocos ou tijolos para vedações; Paredes monolíticas portantes; Taipa, adobe; Piso com solo estabilizado compactado.	<ul style="list-style-type: none"> - Pode ser utilizado o solo das escavações, no próprio local; - Viabilidade econômica; - Baixa emissão de poluentes; - Bom desempenho térmico e acústico; - Incombustível; - Matéria-prima abundante; - Resíduos atóxicos e reutilizáveis; - Energia embutida baixíssima. 	<ul style="list-style-type: none"> - Exige experimentações, demanda maior tempo de obra e conhecimento sobre o material; - Reformas geram mais obra e demolições; - Aumento de carga nas fundações; - Baixa aceitação pela mão-de-obra; - Material sensível a umidade e a sulfatos.
	Cerâmica	Blocos e tijolos para paredes portantes ou de vedação; Revestimentos (pisos e azulejos); Telhas; Louças sanitárias.	<ul style="list-style-type: none"> - Culturalmente aceito e possui alta transferência tecnológica; - Viabilidade econômica; - Bom desempenho térmico e acústico; - Matéria-prima abundante; - Energia embutida baixa; - Incombustível; - Resíduos atóxicos e reutilizáveis. 	<ul style="list-style-type: none"> - CO2 embutido e emissões de NOx; - Uso de biomassa ou de combustíveis fósseis para a queima dos tijolos; - Grande número de indústrias informais.
Alternativas mais sustentáveis para o uso da terra na construção de edifícios:				
1. Dar preferência ao uso de solo estabilizado ao invés da cerâmica, pois há diminuição de energia embutida e emissão de poluentes;				
2. Caso haja escavações com grande quantidade de terra, procurar usar este material na obra;				
3. Ao optar pela cerâmica, dar preferência a indústrias locais e com material de qualidade garantida.				

Quadro 13 – Uso mais sustentável dos metais na construção de edifícios

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens	
Metais	Ferro	Placas; Perfis e barras; Esquadrias e grades; Peças estruturais; Pregos, parafusos e junções; Condutores elétricos.	<ul style="list-style-type: none"> - Menor custo se comparado a outros metais; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Precisão construtiva; - Menor volume de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças. 	<ul style="list-style-type: none"> - Vida útil menor e com maior manutenção do que outros metais; - Energia embutida alta; - Emissão de poluentes; - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO₂, NO_x, SO₂, CO, VOC e dioxinas; - Matéria-prima não renovável.
	Aço	Placas; Blocos para fundações; Perfis e barras; Esquadrias e grades; Peças estruturais; Pregos, parafusos e junções; O aço inox ainda é utilizado em revestimento, mobiliário (bancadas e cubas) e utilitários de cozinha.	<ul style="list-style-type: none"> - Longa vida útil; - Liberdade de criação na arquitetura; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Precisão construtiva; - Menor volume de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO₂, NO_x, SO₂, CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida alta; - Preço alto; - Matéria-prima não renovável.
	Alumínio	Placas e perfis; Esquadrias e grades; Estruturas leves; Calhas; Telhas para coberturas e chapas para revestimento e vedação vertical.	<ul style="list-style-type: none"> - Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Precisão construtiva; - Menor volume e peso de materiais utilizados; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alta emissão de poluentes na fabricação: CO₂, NO_x, SO₂, CO, VOC e dioxinas; - Energia embutida alta; - Matéria-prima não renovável.
Alternativas mais sustentáveis para o uso dos metais na construção de edifícios:				
1. Se houver viabilidade econômica, dar preferência ao uso do aço inoxidável pela sua longa vida útil;				
2. Dar preferência ao uso de metais reciclados ou peças metálicas de reuso;				
3. O uso do metal é mais válido quando é aliado a soluções bioclimáticas, como brises ou esquadrias com vidros duplos.				

Quadro 14 – Uso mais sustentável dos plásticos na construção de edifícios

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens	
Plásticos	PET	Conduítes; Telhas; Tubulações.	- Baixo custo; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável.	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na produção, que envolve CFC; - Matéria-prima não renovável.
	PVC	Telhas e forros; Calhas; Mobiliário; Tubulações; Materiais elétricos; Esquadrias.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Alta emissão de poluentes: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC, ácido clorídrico, monovinil cloreto, dicloreto de etileno, ftalatos e dioxinas; - Emissão de VOC na pós-ocupação; - Energia embutida muito alta; - Matéria-prima não renovável; - Reciclagem difícil, custosa e poluidora.
	PE	Conduítes, e outros materiais elétricos; Embalagens.	- Baixo custo; - Altamente reciclável; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Energia embutida alta; - Matéria-prima não renovável.
	PS	Materiais elétricos; Isolantes térmicos.	- Baixo custo; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo;	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na produção; - Reciclagem difícil e poluidora; - Matéria-prima não renovável.
	PP	Materiais elétricos; Tubos e conexões; Telhas; Caixas de água.	- Baixo custo; - Obra limpa com menor desperdício e racionalização do sistema construtivo; - Altamente reciclável; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças.	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na produção; - Matéria-prima não renovável.
	Termorígidos	Tintas e vernizes; Colas e resinas; Melaminas.	- Longa vida útil.	- Energia embutida alta; - Emissão de poluentes na fabricação, que pode envolver: CO ₂ , CO, ácido clorídrico, dioxinas e furanos; - Emissão de VOC na pós-ocupação; - Matéria-prima não renovável e não-reciclável.
Alternativas mais sustentáveis para o uso dos plásticos na construção de edifícios:				
1. Diminuir o uso dos plásticos nas edificações, principalmente o PVC e os termorígidos;				
2. Dar preferência ao uso de plásticos menos tóxicos e mais recicláveis como PE, PP e PET;				
3. O uso do plástico é mais válido quando é aliado a soluções bioclimáticas, como brises ou esquadrias com vidros duplos.				

Quadro 15 – Uso mais sustentável das tintas, vernizes, lacs e esmaltes na construção de edifícios

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens	
Tintas, vernizes, lacs e esmaltes	Tintas PVA	Revestimento de tetos e paredes de alvenaria.	- Prolongam a vida útil da edificação; - Baixa emissão de VOC.	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ e VOC; - Emissão de VOC durante o uso da edificação; - Podem conter metais pesados; - Resíduos poluentes; - Matéria-prima não renovável.
	Tintas Acrílicas		- Prolongam a vida útil da edificação; - Tintas acrílicas podem ser fabricadas a partir de reciclagem de PET.	
	Tintas a base de cal		- Prolongam a vida útil da edificação; - Matéria-prima abundante; - Nenhuma emissão de VOC; - Promove a troca de ar e umidade pelas paredes da edificação.	
	Esmaltes e vernizes acrílicos	Revestimento e acabamento com proteção para madeiras e metais.	- Prolongam a vida útil dos materiais;	- Alta emissão de poluentes na fabricação: CO ₂ , NO _x , SO ₂ , CO, VOC e dioxinas; - Emissão de VOC; - Resíduos poluentes, os resíduos do poliuretano contêm POP; - Matéria-prima não renovável e não-reciclável.
	Vernizes poliuretânicos			
	Esmaltes e vernizes a base de água		- Baixa emissão de VOC; - Maior rapidez de secagem e facilidade de aplicação.	- Emissão de poluentes na fabricação e na utilização; - Resíduos poluentes; - Matéria-prima não renovável e não-reciclável.
Stains	Revestimento e proteção para madeiras	- Prolongam a vida útil da madeira; - O acabamento penetra nas fibras da madeira, garantindo melhor proteção.	- Emissão de poluentes na fabricação; - Podem envolver o uso de VOC e pesticidas perigosos; - Matéria-prima não renovável.	
Alternativas mais sustentáveis para o uso das tintas, vernizes, lacs e esmaltes na construção de edifícios:				
1. Dar preferência aos acabamentos a base de água e evitar os que possuem hidrocarbonetos aromáticos, formaldeído, benzeno ou outro VOC ou POP;				
2. Utilizar tintas com certificação que garantam o menor conteúdo de substâncias tóxicas ou prejudiciais;				
3. Dar preferência a tintas com conteúdo reciclado e que são fabricadas com SGA ou de acordo com normas ISO.				

Quadro 16 – Uso mais sustentável do vidro na construção de edifícios

USO MAIS SUSTENTÁVEL				
Tipos	Possibilidades de uso	Vantagens	Desvantagens	
Vidro	Comum	Esquadrias; Revestimentos de pisos e paredes; Mobiliário.	- Viabilidade econômica; - Altamente reciclável; - Facilidade de desmonte e reaproveitamento das peças; - Material atóxico; - Matéria-prima abundante; - Facilidade de desmonte, corte e reaproveitamento das peças.	- Vida útil menor que outros vidros; - Energia embutida moderada; - Emissão de poluentes na fabricação.
	Temperado	Esquadrias; Revestimentos de pisos e paredes; Mobiliário e divisórias.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício; - Matéria-prima abundante.	- Emissão de poluentes na fabricação; - Energia embutida alta; - Material não-reciclável, resíduos não-biodegradáveis.
	Laminados e refletivos	Esquadrias; Revestimentos de pisos e paredes; Mobiliário e divisórias.	- Longa vida útil; - Obra limpa com menor desperdício; - Matéria-prima abundante; - Maior eficiência no controle das radiações solares.	- Emissão de poluentes na fabricação; - Energia embutida alta; - Custo alto; - Material não-reciclável, resíduos não-biodegradáveis.
Alternativas mais sustentáveis para o uso do vidro na construção de edifícios:				
1. Dar preferência ao uso de vidro comum reciclado;				
2. Aliar as estratégias bioclimáticas com a escolha do vidro;				
3. Evitar o uso de materiais de fibra de vidro.				

7.2 INICIATIVAS DE PROJETO ALIADAS À SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES

A seleção dos materiais e componentes para construções geralmente fez parte das etapas finais do projeto de arquitetura, porém muitas soluções arquitetônicas iniciais podem surgir a partir dos materiais, de suas possibilidades estéticas e tecnológicas. Portanto, a seleção de materiais deve estar sempre em conjunto com muitas das etapas do projeto de arquitetura, é um caminho concomitante. Conforme pode-se perceber pela figura abaixo, a seleção de materiais e componentes para construções mais sustentáveis deve iniciar junto das primeiras etapas de projeto.

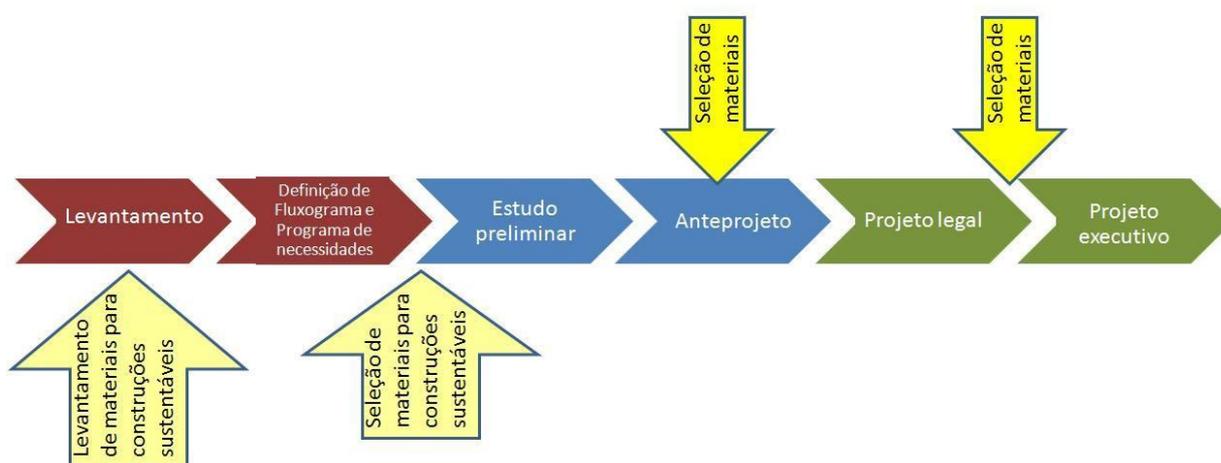


Figura 36: Seleção de materiais e componentes nas etapas do projeto de arquitetura.

Assim sendo, deve fazer parte da etapa de levantamentos, a verificação dos fornecedores e recursos disponíveis e menos impactantes. Antes de se iniciar o estudo preliminar, alguns materiais básicos já devem ser selecionados, que estejam adequados climaticamente, socialmente, economicamente e, claro, ambientalmente. Com as definições de anteprojeto traçadas, parte-se para o projeto executivo e detalhamento, quando o uso dos materiais deve ser mais bem explorado, assim como a interface dos diversos componentes.

O uso dos materiais deve ser aliado a um bom projeto, por isso foram traçadas algumas diretrizes que precisam estar conjuntas à seleção de materiais e componentes:

Na etapa de estudos preliminares, faz-se necessário:

Projetar com soluções bioclimáticas: de nada adianta escolher um material de baixo impacto, se seu uso não for aliado a boas estratégias bioclimáticas para melhor conforto dos usuários. As soluções bioclimáticas também interferem muito tanto na durabilidade da edificação como na

diminuição de ilhas de calor nas cidades, pela diminuição do uso de ar condicionado e diminuição de absorvância térmica do envoltório construído.

Deve-se aproveitar as qualidades inerentes de cada material: como baixa transmissão térmica (U), por exemplo. A partir da carta climática de cada região, pode-se traçar quais soluções bioclimáticas são mais adequadas. Junto a essas soluções, estão as características de muitos dos materiais a serem utilizados, como inércia térmica, por exemplo.

O conforto interno do edifício dependerá, além das soluções arquitetônicas (direcionamento da construção, posicionamento e detalhamento das aberturas, entre outros), dos materiais utilizados, de sua capacidade de reter ou transferir calor, de suas propriedades acústicas, até mesmo da emissividade de substâncias, que pode afetar a qualidade do ar no interior do edifício.

Aliado às estratégias de conforto interno, é importante pensar em estratégias de conforto no entorno, como a diminuição de superfícies que absorvem calor, pela correta seleção de materiais.

Projetar de forma flexível: projetar de forma a prever as futuras reformas e ampliações e aliar o projeto a seleção de materiais que permitam o desmonte facilitado.

Na etapa de anteprojeto, faz-se necessário:

Projetar de forma a diminuir a manutenção e substituição das peças: apesar de ser observado nas edificações dos estudos de caso, um aumento de manutenções, alguns detalhes de projeto podem diminuir a necessidade de manutenção da edificação. Um exemplo são os beirais largos que protegem paredes e peças de madeira da ação das intempéries, peças de madeira e paredes em solo estabilizado bem detalhadas podem evitar que intempéries provoquem seu apodrecimento. Com relação à diminuição da substituição das peças, o que pode ser feito é projetar de forma a evitar a obsolescência estética e tecnológica;

Aliar o melhor material para o uso solicitado em projeto: não é válido selecionar um material de baixo impacto, se, para o que ele está sendo solicitado, ele não for eficiente. Por exemplo, estruturas de vão muito grande, se forem feitas em concreto armado (que teoricamente possui menor impacto do que o aço, por exemplo), terão baixa eficiência tanto física, como ambiental, pelo volume que necessitam. Portanto, o material selecionado, para seu melhor uso, deve estar muito alinhado com as propriedades físicas e mecânicas solicitadas;

Projetar de forma a multiplicar os usos dos componentes e sistemas construtivos: aliar usos a um componente, por exemplo: um armário que serve de vedação vertical, uma parede de pedra que serve como forma de ganho de calor no interior; vedação vertical e horizontal em um só sistema, como o uso dos mezaninos nas edificações estudadas; Quando se multiplica o uso de um componente construtivos está se diminuindo de forma considerável o Input de materiais e, conseqüentemente o gasto energético, a geração de resíduos, entre outros impactos.

Na etapa de projeto executivo, algumas últimas medidas podem ser tomadas:

Projetar de forma a facilitar a manutenção e substituição de peças: um exemplo desta iniciativa foi encontrado na Casa Eficiente, em que as tubulações elétricas e hidráulicas ficam aparentes. Facilitar a substituição das peças diminui a quantidade de material e energia utilizados para fazer a manutenção, assim como a quantidade de lixo e entulho gerado, pois se diminui a necessidade de demolições;

Projetar de forma padronizada e racional: com o material já escolhido, é necessário readaptar o projeto modulando-o de acordo com as dimensões do material. Assim, diminui-se de forma considerável o entulho na construção, além de se poder calcular de forma mais precisa a quantidade de material e obter uma obra mais limpa;

Projetar com bom detalhamento: facilita o alcance dos objetivos, já que melhora o entendimento da obra pela mão-de-obra que faz uso dos materiais em sua melhor forma.

7.3 INICIATIVAS NA OBRA ALIADAS A SELEÇÃO DE MATERIAIS E COMPONENTES

Os materiais e componentes também devem passar por cuidados na obra, com implantação de sistemas de gestão de obra e "5S" no canteiro, para diminuir desperdícios. Algumas diretrizes que precisam estar conjuntas à seleção de materiais e componentes:

Uso racional de água na obra, com uso de água de chuva ou seleção de dispositivos economizadores nas torneiras da obra; evitar vazamentos e desperdício;

Uso racional de materiais, que pode dar-se pelo correto cálculo dos materiais a serem utilizados. A organização dos materiais na obra também é importante, com construção de baias que evitem que materiais como areia, terra, brita se espalhem, causando desperdício. Deve-se também cuidar para o correto empilhamento e armazenamento de outros materiais, para evitar que quebrem, apodreçam ou estraguem;

Uso racional de energia, evitando seu desperdício nas tarefas cotidianas;

Separação dos resíduos, pelo uso de compartimentos separados para materiais que podem ser coletados e enviados para reciclagem.

8 CONCLUSÃO

A presente pesquisa mostrou que a maioria dos materiais de construção possui algo em seu ciclo de vida que está em desconformidade com um desenvolvimento mais sustentável da construção de edifícios.

Atingindo o primeiro objetivo específico, abordou-se critérios e conceitos de sustentabilidade na construção de edifícios e a importância da seleção de materiais e componentes no impacto total da edificação pôde ser observada. A seleção de materiais e componentes está diretamente ligada a todas as outras premissas de projetos sustentáveis, como manter a qualidade ambiental do edifício, entorno sustentável, aumentar a eficiência energética, diminuir desperdício e resíduos sem aliar estas ações a uma correta seleção de materiais?

Ao se avaliar, com uma visão mais sistêmica, os impactos do setor da construção de edifícios, pôde-se notar a sua complexidade. Isto dificulta as ações em favor da sustentabilidade, pois existe dificuldade de obter uma visão abrangente de todos os aspectos envolvidos. Uma série de dados sobre materiais e componentes ainda precisa ser levantada no Brasil, como estudos de durabilidade; de viabilidade econômica; estudos de contaminação do material, o que levaria a ensaios de lixiviação de substâncias, ensaios de emissões aéreas por volatilização ou combustão, entre outros. Os impactos precisam ser medidos por toda a vida dos materiais, ocasionando uma análise de ciclo de vida bastante abrangente.

Apesar desta complexidade, ao se abordar as principais implicações dos materiais e componentes construtivos sobre a natureza e o ser humano, proposto no segundo objetivo específico, foi possível identificar, uma série de fatores e dados. Mesmo nas características mais básicas de cada material foi possível identificar poluentes, substâncias prejudiciais à saúde humana e da biosfera que são pouco ou nada divulgados ou considerados pelos profissionais ou usuários.

A maior parte destes problemas ainda pode ser resolvida dentro das grandes indústrias, pela inserção de um Sistema de Gestão Ambiental, onde as emissões seriam controladas, resíduos tratados e trabalhadores protegidos. Porém, alguns materiais estudados são apontados como comprometidos no mercado futuro, que deverá ser mais restrito com os menos sustentáveis.

O campo institucional também se mostra como um ponto forte de ação para a melhoria da qualidade ambiental e humana do ambiente construído, principalmente no que trata da normatização de produtos da construção de edifícios. A pesquisa mostrou que o Brasil está defasado no que tange as certificações para materiais e componentes mais sustentáveis com relação a outros países. O que

há no Brasil hoje, na área da construção, são apenas as definições e aspectos gerais, contemplados pela ABNT e o documento base de Rotulagem Ambiental. Isto acaba por gerar a autodeclaração, que pode ser perigosa e enganadora.

Com a ausência de certificações brasileiras, produtos com ISO 14.001 são a opção mais comum de mercado. Porém, deve-se lembrar que a ISO 14.000 foca-se apenas na redução de alguns impactos e não certifica materiais como sustentáveis. O uso do selo PROCEL nos três casos estudados mostrou que a certificação pode estar presente nos fatores de seleção, tornando-se um importante campo para melhoria do ambiente natural e das condições sócio-econômicas da população. Trata-se de uma forma eficiente para ampliar a escolha por materiais mais sustentáveis.

Ao se abordar os ecoprodutos que vêm sendo desenvolvidos no Brasil e no mundo, pode-se perceber que muitas inovações tecnológicas podem ser feitas em direção a um futuro mais sustentável. As inovações tecnológicas mostram que a tecnologia empregada no futuro da construção, que deverá ser mais sustentável, não será somente uma volta ao passado, pois a inovação tecnológica traz grandes soluções em diferentes níveis. A invenção do sistema de aquecimento solar da água, da geração de energia elétrica a partir da energia solar ou eólica ou mesmo das chapas de fibras vegetais aglomeradas, que substituem o uso de placas inteiras em madeira, são apenas alguns exemplos disso.

Ainda com relação aos ecoprodutos, levantou-se a importância dos fatores econômicos, já que a sustentabilidade vista em seu sentido mais amplo, deve abranger uma maior equidade social. Infelizmente, o que se vê hoje é uma superavaliação econômica dos materiais e componentes considerados ecológicos. Isto parece incabível considerando que um material sustentável gastou menos energia e água em sua produção, ou seja, teve menor custo. Assim, o que se paga não é o custo do material em si, é a inovação. Esta constatação mostra, hoje, a inovação tecnológica distante da realidade social dos países em desenvolvimento.

Soluções de baixa tecnologia e baixo impacto, com releitura de tecnologias vernaculares, podem ser os recursos efetivos para a população de mais baixa renda. Porém, para a mudança por um novo modelo nos processos de construção de edifícios segundo a ética da sustentabilidade é necessário um longo processo para vencer a resistência da sociedade atual, que ainda prioriza o rápido, barato, fácil e o comum - paradigma que se mostrou muito forte nos casos estudados. O imediatismo, fruto da sociedade atual, impede a escolha por materiais menos impactantes que tem seu custo ou uso válido em longo prazo.

Durante a pesquisa, também foram explorados os métodos de seleção de materiais e componentes atuais, que faz parte do terceiro objetivo específico apontado.

Com relação ao método de seleção por indicadores de energia embutida e de CO₂ embutido, verificou-se que muitos outros fatores que podem afetar a sustentabilidade do material não são considerados, como impacto de outras emissões, de resíduos ou tipo de matéria-prima.

Já a opção por materiais preferenciais mostrou maior abrangência de questões. Isto não significa que opções por materiais preferenciais sejam a melhor forma de selecionar materiais e componentes de forma mais sustentável. Verificou-se que algumas destas metodologias não abrangem alguns aspectos, como o correto uso e detalhamento, por exemplo. O uso na edificação também pode afetar o impacto do material e mesmo um material com baixa energia embutida, por exemplo, pode apresentar desvantagens se seu uso for explorado de forma ineficiente. De qualquer forma, alguns materiais devem ser condenados e seu uso minimizado. A exemplo disso tem-se o uso de um plástico poluente que não pode ser melhor do que um material natural ou bioplástico, sem nenhum produto químico, mesmo que o primeiro tenha maior vida útil ou maior viabilidade econômica.

A seleção por análise de ciclo de vida abrange uma gama maior de questões, porém estas informações são dificilmente reunidas. A ACV envolve pesquisas e experimentações que são inviáveis para a prática do arquiteto. Uma solução mais viável seria a criação de um banco de dados, em que as pesquisas pudessem ser divulgadas, facilitando a consulta por parte dos projetistas.

É importante lembrar que arquitetura está intimamente ligada às aspirações humanas e questões estéticas e, portanto, basear soluções somente a partir de bancos de dados pode ser errôneo. O arquiteto será o responsável em aliar as soluções apresentadas por informações colhidas sobre os materiais com as soluções de projeto que tragam a realização de projetos completos sob todos os pontos de vista: estético, social, econômico e ambiental.

A falta de um pensamento mais sistêmico e de maiores estudos neste campo acaba gerando ferramentas de seleção ainda restritas e ineficientes. O problema é que quanto mais sistêmica a análise, mais inviável ela se torna na prática, pois seria necessário um grande levantamento de dados e informações.

A seleção por sistemas de apoio à decisão, como no caso de matrizes comparativas ou sistemas computacionais, pode ser o modelo mais próximo do trabalho cotidiano dos arquitetos e que abraça muitas questões, desde aspectos ambientais, até mesmo sociais, estéticos ou econômicos. A dificuldade encontrada é a valoração destes aspectos, pois para a tomada de decisão é preciso oferecer pesos para cada um deles, o que pode provocar erros de julgamento. Além disso, as decisões precisam ser baseadas em aspectos quantitativos de impactos ambientais, dados ainda dispersos e pouco pesquisados no Brasil, sendo preciso recorrer a bancos de dados internacionais que não refletem a realidade brasileira.

Para explorar melhor a prática da seleção mais sustentável de materiais e componentes, os estudos de caso mostraram a realidade da questão e situações interessantes.

O edifício Curucaca mostrou que mesmo com a menor especialização do empreendedor, a busca intuitiva por materiais locais e naturais levou a uma diversidade maior e mais criativa de soluções. Apesar disso, questões importantes que afetam a sustentabilidade do edifício não foram utilizadas, tais como: soluções bioclimáticas, flexibilidade da edificação, entre outros. Isto mostra a importância do arquiteto no projeto sustentável.

A residência Abuhad mostrou o resultado do trabalho de uma equipe mais especializada, e a influência do proprietário e futuro usuário no resultado prático da edificação, o que afetou de forma definitiva as escolhas. As preocupações sócio-econômicas foram bastante evidentes na entrevista e nortearam as decisões de forma bastante determinante. Algumas questões apresentadas tiveram bastante contribuição à pesquisa, como a da obsolescência tecnológica ou estética, que pode ser fonte de desperdícios e precisa ser considerada nos projetos sustentáveis.

Na Casa Eficiente, a preocupação com a transferência tecnológica dos materiais e componentes, que deveriam ser comuns no mercado, levou ao uso de materiais ruins sob a ótica da sustentabilidade, como o PVC. A falta de materiais sustentáveis industrializados apareceu como empecilho para o alcance de uma variedade maior de soluções. Porém, a alta especialização dos envolvidos mostrou escolhas menos intuitivas e mais baseadas em fatores quantitativos, como propriedades térmicas, acústicas e energia embutida dos materiais. Estes conhecimentos técnicos são importantes, pois levam a uma maior precisão do projeto sustentável.

Na análise desses estudos foi possível levantar uma série de soluções para construções sustentáveis. Avaliando cada fase da obra, foi possível encontrar muitas soluções para seleção de materiais e componentes:

1. Uso de coberturas verdes, ou com materiais locais e de baixo impacto;
2. Vedações com maior desempenho térmico e acústico, diminuição do uso de acabamentos (como reboco e massa corrida), uso de materiais atóxicos e de baixa emissividade;
3. Instalações prediais que diminuem o consumo de água e energia e utilizam materiais de menor impacto;
4. Esquadrias com materiais naturais e maior desempenho térmico, lumínico e acústico;
5. Uso de revestimentos naturais, atóxicos e com soluções locais criativas;
6. Materiais que mantêm as áreas externas permeáveis.

Apesar dessas soluções, constatou-se a preferência por materiais consagrados como a cerâmica e o concreto armado nos três casos, mostrando que ainda existe resistência a mudanças de paradigmas e que a capacidade de transferência desses materiais é inquestionável. Mesmo entre

pessoas que possuem um conhecimento mais aprofundado sobre as questões da sustentabilidade, o que se constatou foi que existe baixa transferência do conhecimento técnico para a prática.

Os processos decisórios também mostraram pouca quantidade de requisitos utilizados nas escolhas, provavelmente ocasionado por ainda inexistir um conhecimento total sobre os impactos dos materiais e componentes, principalmente acerca das emissões dos materiais e perigos do fim do ciclo de vida. Os principais requisitos utilizados foi o uso de materiais locais e a preocupação com a energia embutida, que apenas na Casa Eficiente foi quantificada. Mesmo com a preocupação com materiais atóxicos, percebeu-se a utilização de materiais emissivos, mostrando falta de conhecimento por parte dos idealizadores. A falta de uma fonte de pesquisa que reúna todos esses dados acaba tornando o processo de escolhas uma tarefa difícil. Materiais como PVC, preservantes da madeira, OSB contendo formaldeído, ainda são utilizados de forma ampla.

O peso sócio-econômico foi fator muito forte nas decisões e precisa ser mais considerado nas pesquisas da construção sustentável. Nos estudos de caso, apesar dos conhecimentos sobre o peso ambiental de certas soluções, na prática, as questões de custo, facilidade de encontrar e de construir com o material foram mais fortes.

Outra questão levantada foi o fato da complexidade ser muito maior em edificações sustentáveis. Isto se deve ao fato dos sistemas de água, esgoto, energia, serem especiais e precisarem estar compatibilizados com o restante do sistema construtivo. Isto pode levar a uma maior dificuldade na mudança de paradigmas, assim como a questão do aumento da manutenção das edificações. A necessidade de trabalho multidisciplinar para lidar com questões complexas é necessário, porém a equipe deve trabalhar em conjunto para que as soluções se complementem o tempo todo, este é um grande desafios para as edificações sustentáveis.

Atingindo o último objetivo específico, os principais aspectos a serem considerados para uma seleção mais sustentável de materiais e componentes foram traçados na forma de recomendações. Elas foram baseadas nas questões levantadas em bibliografia e que apareceram durante os estudos de caso. Abrangem sete categorias relativas às implicações ambientais e humanas da construção de edifícios e visam o menor impacto ambiental e social:

CATEGORIA A: Água – selecionar materiais e componentes que contribuam para o uso racional de água, ou que não comprometam os recursos hídricos;

CATEGORIA MP: Matéria-prima – selecionar materiais e componentes com matéria-prima local, natural, com longa vida útil, de fonte certificada, com extração sem impactos, reciclada ou de reuso, de fonte renovável, sem componentes poluentes;

CATEGORIA EN: Energia – selecionar materiais e componentes que contribuam para o uso racional de energia, que priorizem o uso de energia de fontes renováveis;

CATEGORIA EM: Emissões – selecionar materiais e componentes que possuam baixa emissão de gases de efeito estufa, gases tóxicos ou perigosos, principalmente VOC;

CATEGORIA RE: Resíduos – selecionar materiais e componentes cujos resíduos são atóxicos, sem POP, recicláveis, recuperados pelo fabricante, reutilizáveis ou biodegradáveis;

CATEGORIA T: Transporte – selecionar materiais locais, diminuindo transporte de mercadorias, ou materiais transportados por meios de baixo impacto;

CATEGORIA SE: Aspectos sócio-econômicos – selecionar materiais que possuam viabilidade econômica; contribuam para um ambiente saudável e seguro; possuam boa transferência tecnológica, viabilidade de industrialização e comercialização; sejam produzidos com respeito às condições humanas, com políticas empresariais de ações sociais; e que dão ênfase à economia local.

Para a seleção ainda é preciso buscar os dados quantitativos de cada categoria e compará-los em uma matriz ou quadro comparativo, tem-se como exemplo:

Quadro 17: Dados quantitativos para cada categoria de impacto dos materiais e componentes para edificações

	Água	Matéria-prima	Energia embutida	Emissões	Resíduos gerados	Transporte	Aspectos sócio-econômicos
Material ou componente	Porcentagem de água economizada na produção.	Disponibilidade de recursos naturais (se é alta ou baixa).	Energia embutida em todo o ciclo de vida em GJ/Kg.	Quantidade de CO ₂ embutido em todo o ciclo de vida (CO ₂ /Kg).	Quantidade de resíduos tóxicos ou perigosos, tais como POP ou metais pesados.	Distância transportada (em Km).	Custo
		Conteúdo de substâncias tóxicas ou perigosas (se há ou não).		Emissão de outros gases de efeito estufa na produção (se há ou não).			Vida útil adequada ²⁶ do material (em anos).
	Porcentagem de água economizada no uso.	Porcentagem de fonte reciclada.	Energia embutida por metro quadrado construído com o material ou componente (GJ/m ²).	Emissão de poluentes do ar interno (vide ANEXO B).	Porcentagem que pode ser reciclado ou reutilizado.	Emissões do transporte.	Capacidade de transferência tecnológica (valor subjetivo)
		Capacidade de renovação do recurso (em anos) e capacidade de biodegradação		Emissão de óxidos de nitrogênio e enxofre.	Conformidade técnica do material e capacitação profissional necessária.		Políticas empresariais (se há ou não)

Visto a dispersão e diferentes modos de produção industrial, assim como as realidades diferentes para cada edificação, este quadro não pode ser completado neste trabalho. Na hora da

²⁶ Vida útil adequada é aquela em o material tem não só alta durabilidade, mas durabilidade suficiente para não sofrer obsolescência tecnológica ou estética.

seleção, cada caso será diferente, pois cada edificação tem uma realidade diferente, pois estará em localizações diferentes, com diferentes modos de produção industrial e diferentes recursos de água, matéria-prima e energia disponíveis. Os fatores sociais e econômicos também podem ser diferentes para cada caso, mostrando que não há solução pronta e, sim, a mais adequada dependendo de uma série de variáveis. Este fator pôde ser observado nos estudos de caso que mostraram soluções bem diferenciadas e até mesmo pouco comparáveis.

A pesquisa com relação aos materiais de construção mostrou que conhecer a fundo os materiais a serem utilizados na obra é de fundamental importância. O conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas são relevantes para que seu uso seja feito da melhor forma, com o devido fim e detalhamento. Partiu-se do pressuposto que, entre os materiais básicos existentes, não existe bom ou mau sob a ótica da sustentabilidade, existem escolhas por melhores alternativas para cada caso.

O correto projeto, detalhamento e a gestão dos materiais na obra também são imprescindíveis, não bastando somente a correta seleção para que os impactos dos materiais sejam minimizados. Na realidade, a correta seleção vem somente para complementar as estratégias traçadas e as soluções encontradas no projeto de arquitetura.

As recomendações finais apontadas são um primeiro passo, que necessita ser mais bem desenvolvido, com inclusão de aspectos quantitativos. A necessidade de pesquisas mais aprofundadas na área são diagnosticadas, visto a dificuldade encontrada para reunir dados tão dispersos e, por vezes, não representativos ou insuficientes.

Isto mostra um vasto campo para uma série de trabalhos futuros para o alcance de edificações mais sustentáveis. Sendo assim, recomenda-se:

1. Traçar critérios quantitativos para cada categoria apontada demonstra um importante passo e uma grande contribuição para esta área;
2. Desenvolver ou aplicar métodos de tomada de decisão para a seleção de materiais e componentes para edificações mais sustentáveis, que levem em considerações a variedade de aspectos estudados;
3. Aprofundar os estudos de análise de ciclo de vida dos diferentes materiais e componentes de construção de edifícios;
4. Abordar a questão social em estudos que avaliem o grau de aceitação da população e a mudança de paradigmas.

REFERÊNCIAS

- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **A versatilidade do cimento brasileiro**. Disponível em: www.abcp.org.br/basico_sobre_cimento/tipos.shtml. Acesso em: 16 ago. 2006.
- ABCTerra. **Associação Brasileira dos Construtores com Terra**. Disponível em: www.abcterra.com.br. Acesso em: 16 ago. 2006.
- ABNT. Projeto 02:136.01.001/1:2007 - Desempenho de Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos – Parte 1: Requisitos gerais. São Paulo, 2007.
- ANAB. **Arquitetura Bioecológica**: construções inteligentes, modernas e viáveis para o país. Disponível em: www.anabbrasil.org. Acesso em: 28 dez. 2007.
- ARAÚJO, Márcio. **A Moderna Construção Sustentável**. Disponível em: www.idhea.com.br/artigos1.asp. Acesso em: 20 abr. 2006.
- ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO. São Paulo: Abril, 01 set. 2007. Mensal.
- BAUER, L. A. Falcão. **Materiais de construção**: Novos materiais para construção civil. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1994.
- BED ZED HOUSE. **Bed Zed House**. Disponível em: www.bedzedhouse.co.uk. Acesso em 26 out 2008.
- BELLEN, Hans Michael van. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005. 253p.
- BEN. **Balanco Energético Nacional 2007/Ano base 2006**. Disponível em: www.ben.epe.gov.br/downloads/BEN2007. Acesso em: 18 dez. 2007.
- BFRL – *Building and Fire Research Laboratory*. **BEES® 4.0**. Disponível em: <http://www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees/bees.html>. Acesso em: 05 dez. 2008.
- BIOREGIONAL. **BedZED & Eco-Village Development**. Disponível em: www.bioregional.com/programme_projects/ecohous_prog/bedzed/bedzed_hpg. Acesso em 20 out. 2008.
- BIRAL, Antonio Renato. **Radiações Ionizantes para médicos, físicos e leigos**. Florianópolis: Editora Insular, 2002.

BRASIL. Secretaria de Políticas para o Desenvolvimento Sustentável. **Rotulagem ambiental**: base para o programa brasileiro. Brasília: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE-SPDS, 2002. 210p.

_____. **Déficit habitacional no Brasil**. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/media/DeficitHabitacionalBrasil.pdf>. Acesso em 12 mar. 2007.

CAPRA, Fritjof. **O Ponto de mutação**: a ciência, a sociedade e a cultura emergente. 22. ed. São Paulo: Cultrix, 2001.

CASA AUTÔNOMA. **Casa Autônoma**. Disponível em: www.casaautonoma.com.br. Acesso em 26 out. 2008.

CASA EFICIENTE. Ambiente Acadêmico. Disponível em:

<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=50>. Acesso em: 20 nov. 2008.

CASANOVA, Francisco. **Histórico das Edificações**. Disponível em: www.habitare.org.br. Acesso em: 15 jun 2006.

CIB-UNEP. **Agenda 21 for sustainable construction in developing countries: A discussion document**. Pretoria, 2002. 91 p. Disponível em:

http://www.cibworld.nl/website/priority_themes/agenda21book.pdf Acesso em: 05 mai 2006.

COLOMBO, Ciliana R. **Pilares para a construção do futuro**: as dimensões éticas e estéticas da vida gerados por uma Construção Civil baseada nos princípios da sustentabilidade. In: ENTAC, 11., 2006, Florianópolis. A Construção do Futuro. Florianópolis: Antac, 2006. p. 3579 - 3588. CD-ROM.

_____; SATTLER, Miguel A; ALMEIDA, Marcos J. **Bioconstrução**: construção do passado ou do futuro? In: ENTAC, 11., 2006, Florianópolis. A Construção do Futuro. Florianópolis: Antac, 2006. CD-ROM.

CONAMA. Dispõe sobre a classificação de corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Resolução n. 357, 17 de março de 2005. **Lex**: CONAMA, São Paulo, 2005.

CORCUERA, Daniela. Edifício de Escritórios: O Conceito de Sustentabilidade nos Sistemas de Vedação Externa. 1999. 150 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Tecnologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

CRINNION, Walter J. Health effects of and protection from ubiquitous airborne solvent exposure. **Alternative Medicine Review**, Washington, v. 5, n. 1, p.133-143, dez. 2000. Disponível em: http://www.thorne.com/pdf/journal/5-2/environmental_2_solvents.pdf. Acesso em: 15 out. 2006.

CURUCACA. **Condomínio Curucaca**. Disponível em: www.condominiocurucaca.com.br. Acesso em 20 out 2007.

DECA. **Uso racional de água**: sistemas de descarga. Disponível em: www.deca.com.br. Acesso em: 05 dez. 2008.

DICKEY, Philip. **Guidelines for Selecting Wood Preservatives**. San Francisco: The San Francisco Department of the Environment, 2004. 56 p. Disponível em:

<<http://www.sfenvironment.com/aboutus/innovative/greenbldg/wood/preservatives.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2006.

EASTON, David. **Important Facts of Stabilized Earth**. Disponível em: www.rammedearth.com. Acessado em: 10 jul 2006.

ECOHOUSE. **Ecohouse Urca**. Disponível em: www.ecohouse.com.br. Acesso em 10 dez 2007.

ECOLEO. **Produtos ecológicos**. Disponível em: www.leomadeiras.com.br. Acesso em 05 dez. 2008.

ECO&TAO. **Memorial descritivo de Obra**: Residência Abuhad. Florianópolis: Eco&Tao, 2004. 32 p.

_____. **Projetos**: Abuhad. Disponível em: www.ecoetao.net.br. Acesso em: 10 set. 2008.

ECOTINTAS. **Ecotintas**. Disponível em: www.ecotintas.com.br. Acesso em 05 dez 2008.

EKO, Medjo R.; RISKOWSKI, G. A Procedure for processing Mixture of soil, cement and sugar cane bagasse. **The CIGR Journal of Scientific Research and Development**, 11p. 01 dez. 2001. Disponível em: <www.cigr-ejournal.tamu.edu>. Acesso em: 20 jun. 2006.

ESPANHA. Ministerio de Trabajo e Asuntos Sociales (Org.). **NTP 289**: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo. Disponível em: www.mtas.es. Acesso em: 10 ago 2006.

EPA - Environmental Protection Agency (Org.). **Radon Frequent Questions**. Disponível em: www.epa.gov/radiation/understand. Acesso em: 10 ago. 2006.

_____. **Pesticides**. Disponível em: www.epa.gov/pesticides/index.htm. Acesso em: 29 nov. 2006.

_____. **Indoor air**. Disponível em: www.epa.gov/iaq/index.html. Acesso em: 19 nov. 2007.

_____. **Vinyl chloride**. Disponível em: www.epa.gov/ttn/atw/hlthef/vinylchl.html. Acesso em: 14 out. 2008.

FERREIRA, Oswaldo Poffo (Org.). Instituto de Pesquisas Tecnológicas (São Paulo). **Madeira**: Uso sustentável na Construção Civil. São Paulo: IPT/SVMA/SindusCon - SP, 2003. 10 p.

GBC. **Building Materials: What Makes a Product Green?** Disponível em: www.buildinggreen.com/auth/article.cfm?fileName=090101a.xml. Acesso em: 18 nov. 2006.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GOOGLEMAPS. Googlemaps. Disponível em: www.googlemaps.com. Acesso em: 9 out. 2008.

GREEN HOME BUILDING. **CordWood**. Disponível em:

<http://www.greenhomebuilding.com/cordwood.html>. Acesso em: 28 out. 2007.

IBAMA. **Lista de Produtos Registrados no Ibama**. Disponível em:

<<http://www.ibama.gov.br/qualidadeambiental/madeira/>>. Acesso em: 15 nov. 2006.

IDHEA, Empresa. Apostila do curso: Materiais Ecológicos e Tecnologias Sustentáveis para Arquitetura e Construção Civil – Práticas e Aplicações. São Paulo: Idhea - Instituto de Desenvolvimento da Habitação Ecológica, 2006. 198 p. CD-ROM.

IPEMA. **A Permacultura**. Disponível em: www.ipemabrasil.org.br/permacultura. Acesso em: 10 nov 2007.

IPEC. **A Práxis da Sustentabilidade**. Disponível em: www.ecocentro.org/menu.do?acao=tecnologias. Acesso em: 10 nov 2007.

JOHN, Vanderley M. Reciclagem de Resíduos na Construção Civil: Contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. 2000. 113 f. Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Usp, São Paulo, 2000.

_____ ; SILVA, Vanessa G. da; AGOPYAN, Vahan. **Agenda 21**: uma proposta de discussão para o *construbusiness* brasileiro. In: Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. Canela: Antac, 2001.

_____ ; OLIVEIRA, Daniel Pinho de; AGOPYAN, Vahan. **Critérios de sustentabilidade para seleção de materiais e componentes**: uma perspectiva de países em desenvolvimento. Puc, 2006. Disponível em: http://pcc2540.pcc.usp.br/Material%202006/VMJOHN_AGOPYAN_OLIVEIRA_05_v4_TRADU__O.pdf. Acesso em: 10 nov 2007.

_____ ; OLIVEIRA, Daniel P. de; LIMA, José A. R. de. **Levantamento do estado da arte**: Seleção de materiais. In: Habitação mais sustentável. São Paulo: Projeto FINEP, 2007. Disponível em: www.habitacaosustentavel.pcc.usp.br. Acesso em: 4 out 2008.

KEN Yeang: Exploring His Vision. **CNN**, Hong Kong. 20 jul. 2007. Disponível em: <<http://www.cnn.com/2007/TECH/science/07/18/yeang.vision/>>. Acesso em: 20 nov. 2007.

KOHLRAUSCH, Aline K. A rotulagem ambiental no auxílio à formação de consumidores conscientes. Florianópolis, 2003. 153 f. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção.

KRONKA, Roberta C. **Arquitetura de Baixo Impacto Humano e Ambiental**. São Paulo, 2003. Tese (Doutorado) – USP.

KRÜGER, Eduardo Leite (Org). **Tecnologias Apropriadas** in Coletânea Educação e Tecnologia. Curitiba: CEFET-PR, 2000. 135p.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O. Ruttkay. **Eficiência energética na arquitetura**. São Paulo: PW Editores, 1997.

LENGEN, J. V. **Manual do Arquiteto Descalço**. Rio de Janeiro: Livraria do Arquiteto, 2004.

MACIEL, Alexandra, *et al.* **Projeto de demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar**. Painel. In: ENTAC, 10., 2004, São Paulo. Disponível em:

<http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/arquivos/arquivo1.pdf> Acesso em: 20 nov 2008.

_____; LAMBERTS, Roberto; ANDRADE, Suely. **Projeto de demonstração de eficiência energética em habitação unifamiliar**. Artigo. In: ENTAC, 10., 2004, São Paulo.

MANZINI, Ezio; VEZZOLI, Carlo. **O Desenvolvimento de produtos sustentáveis**: Os requisitos ambientais dos produtos industriais. São Paulo: Edusp, 2002.

MARQUES, Flávia M. A importância da seleção de materiais de construção para a sustentabilidade ambiental do edifício. Rio de Janeiro, 2007. Dissertação (Mestrado) – UFRJ, FAU. PROARQ.

MASCARO, Juan L.; CLARO, Anderson; SCHNEIDER, Ingrid E. **A evolução dos sistemas de construção com o desenvolvimento econômico**: uma visão retrospectiva. São Paulo: USP, 1978.

MARTINE, George (Org.). **População, meio ambiente e desenvolvimento**: verdades e contradições. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 1996. 207p.

MILANI, Ana P. S. e FREIRE, Wesley J. Características Físicas e Mecânicas de Misturas de Solo, Cimento e Casca de Arroz. Artigo Engenharia Agrícola, v.26, n.1, p 1-10. Jaboticabal, 2006.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **PBQP-H**. Disponível em www.cidades.gov.br/pbqp-h/pbqp_objetivos.php. Acessado em 20 nov 2007.

MINKE, Gernot. **Manual de construccion en tierra**: la tierra como material de construccion y su aplicacion en la arquitectura actual. Montevideo: Nordan Comunidad, 2001. 222p.

MIZUMO. **Produtos**. Disponível em: <http://www.mizumo.com.br/site/site.asp?w=780&h=580>. Acesso em: 05 dez 2008.

MONTEIRO, José H. P, *et al.* **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: IBAM, 2001.

MONTIBELLER FILHO, Gilberto. **O mito do desenvolvimento sustentável**: o meio ambiente e custos sociais no moderno sistema produtor de mercadorias. Florianópolis: Editora UFSC, 2001.

NEVES, Célia Maria Martins et al. Seleção de Solos e Métodos de Controle em Construções com Terra – Práticas de Campo. Artigo CEPED. 10p. Lauro de Freitas, 2006.

NOSSO FUTURO ROUBADO. **Aditivos e plastificantes**. Disponível em:
www.nossofuturoroubado.com.br. Acesso em: 20 jun. 2008.

NST. **High Performance Construction Materials and Systems**. Disponível em:
<http://www2.bfrl.nist.gov/projects/2008ProgramContainer.asp?BFRLProgram=SLP>. Acesso em: 15 dez 2008.

NUNES, Fabiano Pereira. Estudo da Influência do Teor de Cimento na Resistência Mecânica de Misturas em Solo-Cimento Aditivado. Pesquisa UFJF, 8 f. Juiz de Fora, 2000.

OLIVEIRA, Sérgia de S. **Preservativos de Madeira POPs utilizados no Brasil: abordagem das convenções internacionais**. Brasília: Ministério do meio Ambiente PRIORISC: 2005. 16 slides, color. Palestra ministrada no 1º seminário de Preservativos de Madeiras. Disponível em:
<http://www.ibama.gov.br/qualidadeambiental/madeira/palestra.php>. Acesso em: 27 nov. 2006.

ONDULINE. Produtos. Disponível em: www.onduline.com.br. Acesso em: 05 dez. 2008.

PADILHA, Camila; GARCIA, C. V.; MELO, F. M.; ARAÚJO, R. M.; BRAZETTI, R. Caracterização dos Compósitos Físico-Mecânicas de Compósitos Solo-Resina. 10p. Artigo Anais ENTAC. Florianópolis, 2006.

POMATTI, Kátia Elisa. Estabilização de solo da região de São Pedro de Alcântara – SC com cal visando seu emprego na pavimentação. Florianópolis, 2000. Dissertação (Mestrado). UFSC, Programa de Pós Graduação da Engenharia Civil.

RELATÓRIO BRUNDTLAND. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: FGV. 1988.

ROSSI, Amanda. Edifícios verdes e inteligentes: Construções modernas adotam alumínio em projetos arrojados. **Revista Alumínio**, São Paulo, n. 12, jun. 2007. Disponível em: <<http://www.revistaaluminio.com.br>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

REVISTA DA MADEIRA. **Manejo Florestal Sustentável**. Disponível em:

www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=116&id=1310. Acesso em: 20 out. 2008.

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

ROAF, Sue. **Closing the loop: benchmarks for sustainable building**. Londres: Ed Riba Enterprises, 2004.

_____; FUENTES, Manuel; THOMAS, Stephanie. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. 408 p.

SABATELLA, Roberto. **Princípios do ecoedifício: Interação entre ecologia, consciência e edifício**. São Paulo: Editora Aquariana, 2001.

SAHARA. **Manual de construção com o bloco Tijolito**. Disponível em: www.sahara.com.br. Acesso em: 10 jul. 2006.

SÁNCHEZ, Fernandez. **Protección preventiva de la madera**. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). Madri, 2002. 437 p.

SANTOS, Maurício Diogo. **Construção com Terra Crua: Viabilidade Tecnológica e Energética em Habitações Sociais**. Curitiba, 2002. Dissertação (Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. 106p.

SANTI, Maria M; SEVÁ FILHO, Arsênio O. Combustíveis e riscos ambientais na fabricação de cimento: casos na região do calcário ao norte de Belo Horizonte e a destruição dos monumentos fluviais. In: II Encontro Anual. São Paulo: ANPPAS, 2005. Disponível em:

www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2. Acesso em: 10 out. 2008.

SILVA, José de Castro. Madeira preservada: Impactos Ambientais. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 100, nov. 2006. Disponível em: www.remade.com.br/pt/revista_materia.php?edicao=100&id=985. Acesso em: 28 dez. 2008.

SILVA, Vanessa G. Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica. São Paulo, 2003. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SILVEIRA, Wilson J. da C. Sistemas Construtivos para Habitação de Interesse Social. Florianópolis, 1994. Dissertação (Mestrado). UFSC, Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção.

SIDRA. **Censo Demográfico 2000**. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 20 nov 2007.

SOARES, Sebastião R; SOUZA, Danielle M de; PEREIRA, Sibeli W. A avaliação do ciclo de vida no contexto da construção civil. In: SATTLER, Miguel Aloysio; PEREIRA, Fernando O. R. **Construção e meio ambiente**. Porto Alegre: ANTAC, 2006. 296p.

SOLANO, Carlos. **Arquitetura ambiental chinesa**. São Paulo: Editora Pensamento, 2000.

SOUZA, Márcia I. B. et al. Estudo da Utilização de Agregados Reciclados de Concreto na Fabricação de Tijolos Prensados de Solo Cimento. 10p. Artigo Anais ENTAC. Florianópolis, 2006.

SPIEGEL, Ross; MEADOWS, Dru. **Green building materials: a guide to product selection and specification**. New York: John Wiley & Sons, 2006.

SUSTAIN DESIGN STUDIO (Canadá). **MiniHome**. Disponível em: <www.sustain.ca/specs>. Acesso em: 21 jan. 2008.

THORNTON, Joe. **Impactos ambientais do Polivinilcloro em materiais de construção da construção civil e arquitetura**. Disponível em:

<<http://www.nossofuturoroubado.com.br/pvccontru.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2008.

TOCCHETTO, Regina L.; PEREIRA, Lauro C. **Água: esgotabilidade, responsabilidade, sustentabilidade**. Disponível em: www.ambientebrasil.com.br. Acesso em: 16 dez. 2008.

TRIANA, Maria Andréa. Diretrizes para incorporar conceitos de sustentabilidade no planejamento e projeto de arquitetura residencial multifamiliar e comercial em Florianópolis. Florianópolis, 2005. Dissertação (Mestrado) – UFSC, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo - PósArq.

UEMOTO, Kai Loh; AGOPYAN, Vahan. Compostos Orgânicos Voláteis de Tintas Imobiliárias. In: ENTAC, 11., 2006, Florianópolis. **Construção do Futuro**. Porto Alegre: Antac, 2006. p. 3873 - 3884. CD-ROM.

URUBICI. **Portal Urubici**. Disponível em: www.urubici.com.br. Acesso em: 20 set. 2007.

VALLE, Cyro Eyer do. **Como preparar para as normas ISO 14000: qualidade ambiental**. 2. ed. atual São Paulo: Pioneira, 1996. 137p.

VARGAS, Milton. **Introdução à Mecânica dos Solos**. Editora McGraw – Hill. São Paulo, 1977.

VELTEN, R. Z. et al. Caracterização Mecânica de Mistura Solo-Escória de Alto-Forno Granulada Moída Para Aplicações em Estradas Florestais. Artigo anais SIF v.3 n.2, p. 235-240. Viçosa, 2006.

VIANNA, Nelson S. Tecnologia e Arquitetura. In: MASCARÓ, Lucia R. **Tecnologia e arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1990. 129p.

YEANG, Ken. **Ecodesign**: a manual for ecological design. Londres: Willey Academy, 2006.

YIN, Robert K. **Case study research**: design and methods. 2nd ed. London: SAGE, 1994. 171p

YPMA, Herbert J. M. **India Modern**: traditional forms and contemporary design. London: Phaidon, 2004. 239p.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

BERBETA, Gabriel. Mejora de la tierra estabilizada en el desarrollo de una arquitectura sostenible hacia el siglo XXI. 2000. 176 f. Tese (Doutorado) - Curso de Escola Tecnica Superior D´arquitectura de Barcelona, Universidad Politecnica Cataluña, Barcelona, 2000. Disponível em: <www.tdx.cesca.es/TESIS_UPC/AVAILABLE/TDX-1105102-161519/02TESI1.pdf>. Acesso em: 12 out. 2006.

BUENO, Mariano. **O Grande Livro da Casa Saudável**. São Paulo: Editora Roca, 1995.

CAPRA, Fritjof. **O Tao da física**: um paralelo entre a física moderna e o misticismo oriental. 21. ed. São Paulo: Cultrix, 2002.

CROSBIE, Michael J. (Org). **Green Architecture**. Washignton D.C: The American Institute of Architects Press, 1994.

HESSSEN, J. **Teoria do conhecimento**. São Paulo: Martins Fontes, 1999.

LA MAYA, Jacques. **Medicina da habitação**. São Paulo: Rocca, 1994.

MASCARO, Lucia R. **Tecnologia e arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1990. 129p.

PAPANEK, Victor. **The green imperative**: ecology and ethics in design and architecture. Singapura: Editora Thames & Hudson, 1995.

PEARSON, David. **The Natural House Handbook**. Sidnei: Conrad Octopus, 1989.

SABATELLA, Roberto. **Princípios do ecoedifício**: Interação entre ecologia, consciência e edifício. Editora Aquariana, 2001.

SCHUMACHER, E.F. **O Negócio é Ser Pequeno**. São Paulo: Círculo do Livro: 1973. 271p.

VAN VLACK, Lawrence H. **Princípio de Ciência dos Materiais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1920. 412p.

WINES, James. **Green Architecture**. Los Angeles: Taschen, 2008.

ANEXOS

ANEXO A – AGENDA 21 PARA O SETOR DA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO (JOHN, SILVA E AGOPYAN, 2001).

Aspectos Ambientais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
Atmosfera (9)	Mudança climática	<p>Evitar emissão de gases causadores de efeito estufa (GHG), durante:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produção de materiais de construção, <i>(processos mais limpos; uso de energia renovável; e adição de resíduos e materiais reciclados aos produtos)</i> • Transporte de materiais de construção, <i>promovendo o uso de materiais locais</i> • Operação de edifícios (NO_x, SO_x²⁶) <i>(interface com Padrões de Produção e consumo econômico)</i>
	Dano à camada de ozônio	<p>Evitar uso e planejar a substituição de materiais de construção e componentes de sistemas prediais (combate a incêndio e ar condicionado), cuja produção ou uso envolva emissão de substâncias nocivas à camada de ozônio (CFCs²⁹, HCFCs³⁰ e halogêneos)</p>
	Qualidade do ar	<p>Evitar emissão de poluentes do ar em áreas urbanas, causados principalmente por</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produção, transporte e armazenamento de materiais • Canteiros de obras e atividades de manutenção e demolição (poeira e emissões liberadas pelos equipamentos) • Operação de edifícios (NO_x, SO_x) • Transporte urbano

Aspectos Ambientais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
Solo (10) (equilíbrio de usos competitivos do solo)	Poluição do Solo	<p>Evitar poluição: do solo, causada principalmente por:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Produção e armazenamento de materiais (necessidade de processos de produção mais limpa); • Atividades de preparação do terreno (limpeza, movimento de terra); • RCD (necessidade de processos de construção mais limpa); e materiais com produtos lixiviáveis; • Resíduos de uso de edifícios <p>Fazer gestão de resíduos (<i>ver Padrões de produção e consumo</i>)</p>
	Agricultura (14)	<p>Critério na seleção de área para novos empreendimentos: evitar áreas aráveis ou de pecuária permanente</p>
	Florestas (11)	<p>Critério na seleção de área de novos empreendimentos</p> <p>Usar madeira de maneira responsável:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Não usar espécies ameaçadas • Privilegiar compra de madeira proveniente de fontes de manejo sustentável/certificadas • Aderir a grupos de compradores de madeira certificada
	Desertificação (12) e erosão	<p>Observar cuidados na preparação do sítio (movimento de terra, com conservação da cobertura vegetal e camada superficial de solo)</p> <p>Observar padrões de drenagem natural do terreno</p>
	Urbanização (7) e assentamentos	<p>Selecionar área para novos empreendimentos de modo a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Direcionar crescimento urbano evitando densidades muito baixas (que competem com outros usos e podem contribuir para perda de biodiversidade), áreas aráveis, de pecuária permanente, de valor ecológico • Priorizar vazios urbanos e recuperação áreas degradadas <p>Controle da proliferação de assentamentos informais</p> <p>Planejamento de necessidade e uso de transporte</p>
Oceanos, mares e áreas costeiras (17)		<p>Evitar poluição: Prover facilidades adequadas para coleta e tratamento de esgoto</p> <p>Ocupação adequada de áreas litorâneas.</p>
Água doce (18)	Quantidade de água	<p>Conservar e reduzir o consumo de água</p> <p>Resguardar permeabilidade do solo</p> <p><i>(interface com interface com Consumo de materiais/uso de água (econômico)</i></p>

Aspectos Ambientais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
	Qualidade da água <i>(interface com Condições sanitárias (social))</i>	<p>Evitar poluição: Tratamento da água que deixa o ambiente construído e retorna aos corpos d'água</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reduzir uso de fertilizantes (eutroficação) e pesticidas (poluição do ar, do solo e da água) na manutenção de jardins públicos e privados • Nos canteiros de obra: <ul style="list-style-type: none"> • Prover facilidades sanitárias e ligação adequada à rede municipal de esgoto • Prover facilidades adequadas para retenção de materiais poluentes (silte, particulados, óleos, água alcalina residual etc) antes de descarga na rede pública • Empregar materiais sem produtos lixiviáveis • Na escala urbana: prover facilidades sanitárias e de coleta, tratamento e disposição adequada de resíduos municipais
	Saneamento <i>interface com Qualidade da água (ambiental) e Saúde/Condições sanitárias (social)</i>	Evitar poluição: Prover infra-estrutura de saneamento básico para reduzir poluição do solo e corpos d'água
Biodiversidade (15)	Ecossistemas e espécies-chave	<p>Selecionar áreas para novos empreendimentos para direcionamento de crescimento urbano, que priorizem a proteção de áreas contendo ecossistemas-chave e a recuperação de ecossistemas e áreas degradadas</p> <p>Estudo de implantação para minimizar perturbação em sítios com valor ecológico</p> <p>Tomar precauções para conservação de vegetação e camada de solo superficial durante a execução da obra</p>
Reservas de recursos <i>(interface com Padrões de Produção e consumo (econômico))</i>		

Aspectos Sociais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
Justiça social	Erradicação de pobreza (3)	Gerar empregos diretos, indiretos e induzidos, com salários adequados
	Igualdade de gênero (24)	Reduzir desigualdade de salários e acesso a oportunidades de carreira para homens e mulheres
	Relações trabalhistas	Política de remuneração justa e melhoria das relações trabalhistas
	Fortalecimento de comunidades locais <i>(interface com Padrões de Produção e consumo (econômico))</i>	Usar recursos humanos locais
Educação (36)	Capacitação técnica e para sustentabilidade	Encorajar programas formais de treinamento e atualização profissional e ambiental

Aspectos Sociais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
	Alfabetização	Incentivar programas de alfabetização e aumento de escolaridade
	Conscientização pública <i>(interface com Padrões de Produção e consumo econômico)</i>	Divulgar relatos de sustentabilidade de empresas, edifícios e produtos de construção para conscientização e permitir LCA
Saúde (6)	Qualidade do ambiente interno	Incluindo a emissão de VOCs ³¹ , limpeza e renovação do ar
	Saúde e segurança no trabalho	Reduzir exposição a LER ³² ; observar ergonomia na realização de tarefas Melhorar segurança no ambiente de trabalho (redução de acidentes) Disponibilizar equipamentos de segurança para trabalho em situações de risco e manuseio de substâncias perigosas Infra-estrutura adequada para pessoal operacional do edifício
	Condições sanitárias (acesso a serviços e redução de enfermidades) <i>interface com aspectos ambientais (Qualidade da água, redução de concentração de matéria orgânica e coliformes fecais em corpos d'água), e econômicos (Padrões de consumo e produção)</i>	Abastecimento de água Aumentar acesso a infra-estrutura de abastecimento de água tratada Procurar reduzir demanda na rede municipal Programas de conscientização <i>(interface com Padrões de consumo e produção)</i>
		Esgotamento Sanitário Aumentar acesso a infra-estrutura para coleta e tratamento de esgoto <i>(redução de enfermidades e poluição de corpos d'água)</i> Procurar reduzir carga na rede municipal <i>(interface com Padrões de consumo e produção)</i> <ul style="list-style-type: none"> • Sistemas de pré-tratamento <i>in situ</i> Drenagem Urbana Prover infra-estrutura adequada de drenagem Reduzir áreas impermeáveis Procurar reduzir carga na rede municipal <i>(interface com Padrões de consumo e produção)</i> <ul style="list-style-type: none"> • Usar mecanismos de retenção de partículas sólidas e produtos de erosão do solo, evitando entupimentos • Usar mecanismos de retenção de óleos e poluentes liberados por veículos automotores, evitando poluição de lençol freático e cursos d'água

Aspectos Sociais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
		<p>Limpeza Urbana e Coleta de Lixo</p> <p>Prover coleta e destinação apropriada de lixo e resíduos sólidos (com separação e tratamento da fração reciclável)</p> <p>Procurar reduzir pressão nas facilidades municipais (<i>interface com Padrões de consumo e produção</i>)</p>
Infra-estrutura e acesso a serviços urbanos	<p>Acesso a parques e áreas de lazer/áreas públicas em edifícios</p> <p>Transporte</p>	<p>Reduzir o <i>deficit</i> e recuperar a capacidade de investimento em infra-estrutura de serviços urbanos</p> <p>Prover e melhorar infra-estrutura de transporte público urbano (menor uso/alternativas mais limpas)</p> <p>Planejar pra evitar pressionar o sistema viário/de transporte existente</p>
	Habitação(7) e condições de vida urbana	<p>Reduzir o <i>deficit</i> de habitações (<i>quantitativo e qualitativo</i>). Formalizar políticas, estratégias e mecanismos de crédito e financiamento.</p> <p>Melhorar qualidade de vida nos assentamentos formais e informais (inclui urbanização de favelas)</p>

Aspectos Económicos		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
Padrões de produção e consumo (4) <i>(relaciona-se com aspectos sociais e ambientais)</i>	Consumo de materiais	Aumentar eficiência <i>na produção e uso de materiais</i> : Reduzir resíduos da indústria de materiais de construção Melhorar qualidade da construção (gestão) Aumentar durabilidade (de materiais e edifícios) e planejamento da manutenção Reduzir desperdício e RCD (práticas construtivas e tecnologias com uso eficiente de materiais). Aumento no uso de reciclados como materiais de construção. Fortalecer reciclagem de RCD. Modular e otimizar dimensionamento
	Gestão de resíduos (19-22)	Reciclar resíduos e reutilizar componentes Estabelecimento de programas de coleta seletiva, reciclagem, reuso e disposição de RCD e resíduos da indústria <i>(interface com Atmosfera e Solo (ambiental))</i>
	Uso de energia <i>(interface com Atmosfera, Água doce e Biodiversidade (ambiental))</i>	Reduzir intensidade de uso de energia e aumentar eficiência no uso de energia na produção de materiais e na operação de edifícios Suprir demanda por tecnologias de conservação de energia Usar energia renovável
	Uso de água <i>(interface com Água doce/ quantidade de água (ambiental))</i>	Conservar água Investigar e incentivar reuso de água e aproveitamento de água de chuva
	Transporte	Reduzir distância percorrida por modo de transporte de materiais (uso de materiais locais) <i>(interface com Mudança climática (ambiental))</i> Reduzir distância percorrida por funcionários (uso de recursos humanos locais) <i>(interface com Fortalecimento de comunidades locais (social))</i> Criar programas para redução uso de automóveis <i>(interface com Infra-estrutura e serviços públicos (social))</i>
	Ampliação e aquecimento de mercado de soluções mais sustentáveis	
	Auxílio na tomada de decisão com base em qualidade ambiental e sustentabilidade <i>(interface com Educação (social))</i>	Prover instrumentos de informação a consumidores: relato de sustentabilidade de empresas, serviços, materiais e edifícios

Aspectos Institucionais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
Estrutura institucional (38, 39)	Contribuição na implementação estratégica do desenvolvimento sustentável (8)	Definir e implementar estratégias em nível setorial e organizacional em relação a sustentabilidade

Aspectos Institucionais		
Tema	Sub-tema	Possibilidades de ação relacionadas ao setor
	Desenvolvimento de mecanismos normativos e legais	Desenvolver normalização orientada à sustentabilidade/qualidade ambiental de edificações e produtos de construção Melhorar a efetividade, e integrar instrumentos legais e políticos nacionais (congregando fatores sociais, econômicos e ambientais) a instrumentos internacionais <ul style="list-style-type: none"> • <i>formulação, coordenação e consistência entre instrumentos legais</i> • <i>identificação de problemas novos e emergentes</i>
	Desenvolvimento de incentivos e mecanismos de financiamento	Desenvolver subsídios, incentivos fiscais, linhas de crédito e mecanismos de financiamento para: <ul style="list-style-type: none"> • investimento e operação de indústria mais sustentável • desenvolvimento e produção de materiais e tecnologias de construção mais sustentáveis • adoção de medidas, produtos, tecnologias e sistemas sustentáveis na produção e operação de edifícios
	Contribuição na cooperação internacional	Atuar para cooperar no cumprimento de metas de acordos internacionais ratificados pelo Brasil Desenvolver rede internacional de P&D em Construção Sustentável/Integração a redes existentes (GABS ³³ , GBC, iISBE Polices Network; CIB)
Capacidade institucional (37)	Acesso a informação (40) e participação das partes interessadas e auxílio à tomada de decisões	Desenvolver e usar instrumentos para coleta de informações, <i>benchmarking</i> e divulgação de desempenho (<i>relaciona-se com Padrões de produção e consumo</i>) Encorajar avaliações e relato de sustentabilidade de empresas, edifícios e produtos de construção, e comunicação estruturada às partes interessadas
	Transferência de tecnologia, cooperação e capacitação(34)	Utilizar estrutura PBQP-H para implementar a Agenda 21 Setorial <ul style="list-style-type: none"> • Planos Setoriais de Sustentabilidade (PSS), com metas e ações específicas, envolvendo as partes interessadas Estabelecer redes sinérgicas para coordenação de esforços e recursos para <ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver soluções abrangentes e mais sustentáveis para edifícios e produtos de construção • Transferência de tecnologias mais eficientes e limpas • Educação de profissionais de construção
	Ciência e Tecnologia (35)	Investir em P&D para aumentar a sustentabilidade em nível setorial, organizacional, de edifícios e do ambiente construído

ANEXO B - poluentes do ar interno

Poluentes do ar interno	Fontes	Efeitos para a saúde
Amianto	Isolamento deteriorado, estragado, à prova de fogo, materiais acústicos e ladrilhos de piso.	Risco de câncer de doenças de pulmão
Poluentes Biológicos	Plantas, animais, urina de animal, plantas e solos de escombros, sistemas contaminados de ar condicionado central.	Reação alérgica, doenças infecciosas, irritação dos olhos, nariz e garganta, febre, problemas digestivos, vertigem.
Monóxido de carbono	Fogões, fornos, lareiras, aquecedores, fumaça de cigarro, escapamento de automóvel em garagens.	Fadiga, dor no peito, dores de cabeça, vertigens, problema de visão, náusea, é fatal em altas concentrações.
Formaldeído	Produtos de madeira prensada, uréia-formaldeído de espuma de isolamento, fumaça de cigarro, fontes de combustão, colas.	Irritação dos olhos, nariz e garganta, náusea, dificuldade de respirar, fadiga, erupção cutânea, reações alérgicas, pode causar câncer.
Chumbo	Tinta a base de chumbo, água que se bebe, solo contaminado, poeira.	Níveis baixos podem prejudicar o sistema nervoso, os rins e células sanguíneas, níveis altos podem causar convulsões, coma e levar a morte.
Dióxido de nitrogênio	Fogões, aquecedores, fumaça de cigarro.	Irritação dos olhos, nariz e garganta, infecções respiratórias, danos ao pulmão.
Pesticidas	Inseticidas, desinfetantes.	Irritação dos olhos, nariz e garganta, danos ao sistema nervoso e rins, alto risco de câncer.
Radônio	Solo e água contaminados.	Alto risco de câncer.
Partículas respiráveis	Lareiras, fornos a lenha, aquecedores a querosene.	Irritação dos olhos, nariz e garganta, infecções respiratórias, câncer de pulmão.
Compostos orgânicos voláteis (VOC)	Tinta e outros solventes, protetores de madeira, desinfetantes, sprays de aerossol, repelentes de traça, roupas lavadas a seco.	Irritação dos olhos, nariz e garganta, náusea, danos ao fígado, rins e sistema nervoso.

Tabela dos poluentes do ar interno.

Fonte: Yeang (2006).

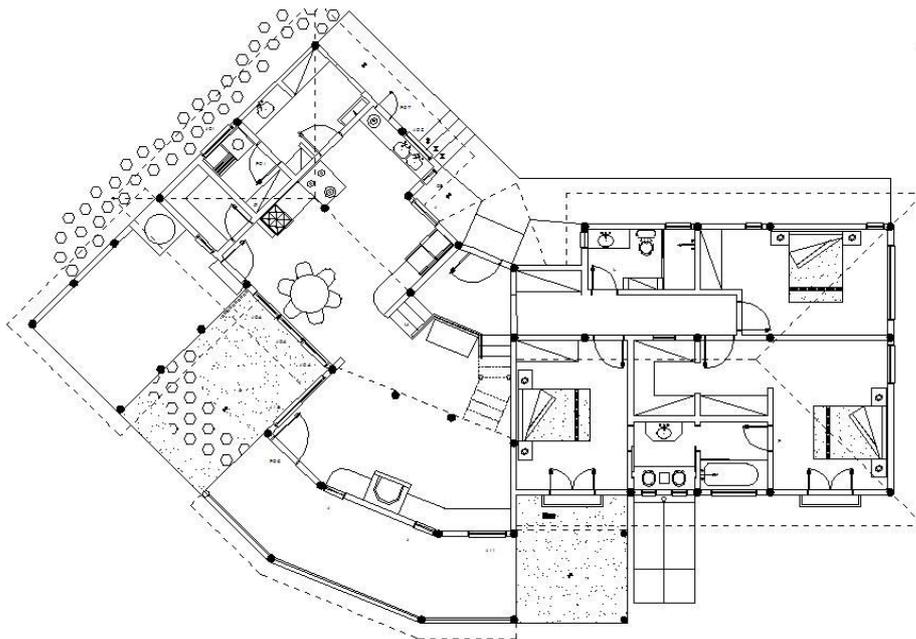
ANEXO C – Comparação de critérios de seleção de materiais segundo certificadores LEED e GBTool:

Critérios para de seleção de materiais:	LEED	GBTool
Reutilização da edificação	Revitalização e renovação das estruturas existentes para edificações novas. Manter cerca de 75 a 100% da estrutura e casca do edifício (sem incluir janelas), ou ainda manter mais 50% da não casca (paredes, janelas, pisos, forro e teto). Remover elementos que possam ser contaminantes e atualizar janelas, sistemas mecânicos e de encanamento.	Incentivar o uso de estruturas existentes no local como parte do planejado.
Reutilização de recursos	Re-uso de 5 a 10% (do custo) de materiais, produtos e mobiliário recuperado, renovado ou reusado.	Incentivar reutilização de materiais recuperados.
Conteúdo reciclado	Especificar de 5 a 10% (do custo) de materiais do edifício de conteúdo reciclável.	Incentivar o uso de materiais reciclados de fontes fora do local, quando possível.
Materiais locais/regionais	Especificar 20% (do custo) dos materiais do edifício que são manufaturados dentro de um raio de 800Km se transportados por caminhão e 3500Km de transportados por trem. Dentre desses 20%, especificar 50% que sejam extraídos, colhidos ou recuperados dentro dos raios acima.	Incentivar o uso planejado de materiais que sejam produzidos dentro da grande região urbana, especialmente materiais pesados como agregados, concreto, alvenaria, aço, vidro.
Materiais rapidamente renováveis	Especificar (por custo) 5% dos materiais do edifício que sejam rapidamente renováveis (bambu, linóleo, lâ...).	Não especifica.
Uso de madeira certificada	Usar madeira certificada para mínimo 50% da madeira usada no prédio, que deve ser mínimo de 2% dos materiais do edifício.	Incentivar o uso planejado de produtos bio base obtidos de fontes sustentáveis, que sejam certificados.
Uso de substitutos para o cimento	Não especifica.	Incentivar uso de substituto de cimento no concreto, como cinza volante, cinza pesada ou cinza de casca de arroz.
Uso de materiais de baixa emissividade	Reduzir a quantidade de contaminantes do ar interno que tenham cheiro ou sejam potencialmente irritadores para a saúde e conforto dos ocupantes. Adesivos, seladores, pinturas, carpetes devem alcançar os limites de VOCs requeridos pelos respectivos órgãos. Madeira composta ou produtos de agrofibras não devem conter urea-formaldeído. Especificar materiais de construção que contenham baixo VOC.	Seleção de materiais de acabamento interno como pinturas, seladores, produtos de madeira composta etc. que contenham baixo VOC. Não usar produtos de madeira composta que tenha uréia-formaldeído.
Proteção da camada de ozônio	Reduzir o dano à camada de ozônio por meio de instalação de equipamentos e materiais que não possuam gases que afetem tal camada.	Não especifica.
Materiais com emissão de CO2 reduzida.	Não especifica.	Minimizar a quantidade de emissões de CO2 de fontes não renováveis de energia, usadas na extração, fabricação e transporte de materiais e componentes.
Materiais que reduzem o uso de água	Usar metais e louças de banheiros que utilizem menor quantidade de água do que os convencionais – 80% a menos.	

Tabela de comparação de requisitos ambientais para os materiais de construção.

Fonte: Adaptado de Triana (2005).

ANEXO D – Projeto arquitetônico da residência Abuhad (ECO&TAO, 2004).



ANEXO E – Projeto arquitetônico da Casa Eficiente (CASA EFICIENTE, 2008).

