

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

**Karin Anete Jahnke**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINÉIS DE  
VEDAÇÃO E MANTAS PARA SUBCOBERTURA COM A REUTILIZAÇÃO DE  
EMBALAGEM LV**

**Dissertação de Mestrado**

Florianópolis  
2006.

**Karin Anete Jahnke**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINÉIS DE  
VEDAÇÃO E MANTAS PARA SUBCOBERTURA COM A REUTILIZAÇÃO DE  
EMBALAGEM LV**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Santa Catarina como quesito para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador:  
Prof. João Carlos Souza, Dr.

Florianópolis  
2006.



Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Centro Tecnológico  
Programa de pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo

Área de Concentração:  
Projeto e Tecnologia do Ambiente Construído

Linha de Pesquisa:  
Sistemas e Processos Construtivos

**Karin Anete Jahnke**

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE  
PAINÉIS DE VEDAÇÃO E MANTAS PARA SUBCOBERTURA COM A  
REUTILIZAÇÃO DE EMBALAGEM LV**

**Dissertação de Mestrado**

Florianópolis  
2006

Karin Anete Jahnke

**ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE  
PAINÉIS DE VEDAÇÃO E MANTAS PARA SUBCOBERTURA COM A  
REUTILIZAÇÃO DE EMBALAGEM LV**

Esta dissertação foi julgada para obtenção de grau de  
**MESTRE EM ARQUITETURA E URBANISMO**  
na especialidade de PROJETO E TECNOLOGIA DO AMBIENTE  
CONSTRUIDO – SISTEMAS E PROCESSOS CONSTRUTIVOS e aprovada na  
sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo –  
PósARQ da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Florianópolis, 20 de novembro de 2006.

---

Prof. João Carlos Souza, Dr. – Orientador/ Moderador. PósARQ / UFSC

---

Prof<sup>a</sup>. Alina Gonçalves Santiago, Dra. – Coordenadora do PósARQ / UFSC

**BANCA EXAMINADORA:**

---

Prof. Fernando Barth, Dr. – PósARQ / UFSC

---

Prof. Wilson Jesus da Cunha Silveira, Dr. – PósARQ / UFSC

---

Prof. Anderson Claro, Dr. – PósARQ / UFSC

---

Avaliador externo ao programa: Prof. Arnaldo Debatin Neto, Dr. – CCE / UFSC

Aos meus queridos pais, Klaus e Nilsa,  
às minhas irmãs, Vanessa e Cristiane.

## **Agradecimentos**

O mestrado foi uma fase na minha vida que seria impossível passar em branco. Época de realizações, novas amizades, novos conhecimentos, novas perspectivas. Agradeço a Deus por ter me dado esta oportunidade - do começo ao fim. Agradeço a Ele por superar todos os desafios, pelo suporte familiar, pela calma e paciência para eu pudesse cumprir metas e prazos.

Agradeço ao meu “porto seguro”, meus maravilhosos pais, sempre tão presentes, estimulando e apoiando, minhas queridas irmãs, por toda a motivação.

A toda minha família, pelo carinho.

Ao grande professor Saulo Güths, pela paciência, dedicação e amizade. Ao professor Fernando Barth, sempre muito prestativo. Ao professor Wilson da Cunha, pela oportunidade do estágio de docência. Ao orientador João Carlos.

Aos membros da banca avaliadora pelos ensinamentos e incentivos.

À família LMPT (Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas - Eng. Mecânica/ UFSC), por ter concedido espaço e estrutura na realização da pesquisa. Por todo o espírito de equipe e principalmente ao Alexandre Alves, pelo companheirismo.

Ao LabSisCo (Laboratório de Sistemas Construtivos – Arquitetura/ UFSC) e toda sua equipe.

Ao PósARQ, pela formação e ensino durante o estudo. Igualmente à Ivonete, sempre tão gentil e dedicada aos alunos e professores do departamento.

À sempre presente amiga Beatriz Rebello. À Thaís Provenzano pelo companheirismo e fidelidade.

A todas as pessoas que em alguma etapa cruzaram meu caminho e que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Obrigada!

## RESUMO

O presente trabalho pretende avaliar a possibilidade de aproveitamento de resíduos sólidos urbanos na construção civil, especialmente embalagens do tipo longa vida e, complementarmente, valorizar a conscientização ambiental e os princípios de sustentabilidade. O estudo refere-se à aplicação de resíduo sólido urbano – embalagem do tipo Longa Vida (LV) - composta por alumínio, papel e polietileno na confecção de componentes para a construção. Considera-se que a construção civil apresenta maior capacidade de absorver novos materiais e novas tecnologias.

Tem-se por objetivo desenvolver painéis de vedação e manta para subcobertura térmica para habitação. Dois painéis são propostos: o primeiro é composto pela junção de camadas de polietileno e alumínio a uma placa de madeira, enquanto o outro painel consiste no reaproveitamento das unidades LV com argamassa.

Os painéis seguem o conceito de construção pré-fabricada, tecnologia esta que substitui as técnicas construtivas tradicionais e que, atualmente, já é incorporada aos projetos de edificações. Um exemplo também termicamente avaliado neste estudo é o gesso acartonado, material de referência indicado para parede de vedação interna de qualquer tipo de construção.

Para a análise térmica destes painéis e da subcobertura, foi utilizado o método fluximétrico, que tem por finalidade determinar a resistência térmica dos materiais. Este método proporciona maior precisão à utilização destes materiais em relação aos comercializados.

A aplicação de embalagem LV em subcoberturas, bem como em painel de vedação, contribui para a redução de das trocas de calor com o ambiente externo, proporcionando a redução do consumo de energia no condicionamento artificial de ar. O uso de resíduos sólidos urbanos na construção civil é uma possibilidade que não pode ser descartada, oferecendo melhor qualidade nas habitações, viabilidade econômica e auxilia a redução dos impactos ambientais.

PALAVRAS-CHAVE: sustentabilidade, embalagens LV, painel de vedação, subcobertura.

## **ABSTRACT**

*The paper intends to evaluate the possibility of exploitation of urban residues in the civil construction, especially packings of the Tetra Pak® type and, to value the ambient awareness and the principles of sustentability. It is considered that the civil construction have bigger capacity to absorb new materials and new technologies. The study of the application of urban solid residue is mentioned to it - here called of composed packing or LV paking, made of aluminum, paper and polyethylene in the confection of components for the construction.*

*This project aims to develop walls and blanket for thermal roof for habitation. Two walls are considered: the first one, is composed for the junction of layers of polyethylene and aluminum to a wooden plate, while the other panel, consists of the reuse of units LV with mortar.*

*The panels follow the concept of prefabricated construction, technology that substitutes the traditional constructive techniques and, currently, already it is incorporated the projects of constructions. An example also thermally evaluated in this study is Drywall, material of reference indicated for internal wall of any type of construction.*

*For the thermal analysis of these panels and the roof, the fluximetric method was used. It has for purpose to determine the thermal resistance of the materials. With this method, the use of these materials in relation to the commercialized ones can be evaluated with better precision.*

*The application of packing LV in the roof, as well as in panel, contributes for the reduction of the exchanges of heat with the external environment, providing the reduction of the consumption of energy in the artificial air conditioning. The use of urban solid residues in the civil construction is a possibility that cannot be discarded, offering quality in the habitations better, economic viability and assists the reduction of the ambient impacts.*

*Keywords: Sustentability, composed packing, wall, blanket for roof.*

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Dimensões do desenvolvimento sustentável. (Fonte: RIBEIRO, M.A. 2000). .....	15
Figura 2: Fluxograma da Identificação de alternativas com potencial técnico através de consultas a grupo de especialistas e seleção de alternativas mais viáveis a partir de análise ambiental, econômica, técnica e de saúde. (Fonte: JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sérgio C. (2003). ....	23
Figura 3: Ciclo de vida do produto, embalagem composta. Fonte: Tetra Pak (2004). .....	28
Figura 4: Apresentação do produto. Proposta para a confecção de componentes para construção civil (Fonte: Tetra Pak, 2004).....	31
Figura 5: Estrutura da unidade. (Fonte: Tetra Pak, 2004). ....	32
Figura 6: Unidades de LV, material reciclável (Fonte: Relatório Ambiental - 2002/2003) .....	34
Figura 7: Hidrapulper - Início do processo. Em alta consistência antes da desagregação. (Fonte: Tetra Pak, 2005).....	34
Figura 8: Hidrapulper - Final do processo. Após a desagregação. (Fonte: Tetra Pak, 2005) .....	35
Figura 9: Telha ondulada (Fonte: Tetra Pak, 2004).....	36
Figura 10: Condição para a transferência de calor (Fonte: INCROPERA; WITT, 1990). ....	40
Figura 11: Transferência de calor em parede plana. (Fonte: INCROPERA; WITT, 1990). ....	42
Figura 12: Transferência de calor em parede composta. (Fonte: INCROPERA e WITT, 1990). ....	42
Figura 13: Variáveis de desempenho térmico em uma edificação (Fonte: LAMBERTS, et al. 2005). ....	49
Figura 14: Esquema de uma placa que constitui o painel de vedação.....	52
Figura 15: Prensa e forma utilizadas para a confecção de placas. (Fonte: CÉROQUEIRA, 2005). ....	53
Figura 16: Painel de parede interna.....	55
Figura 17: Painel de parede externa. ....	56
Figura 18: Esquema do painel que recebeu argamassa de preenchimento. ....	57
Figura 19: Preparação do painel. União das caixas LV, com a possibilidade de receber as instalações elétricas e hidráulicas na fase de fabricação. ....	58

---

Figura 20: Forma, definição das dimensões.....	59
Figura 21: Colocação do painel na fôrma sobre argamassa. Colocação da treliça perimetral. ....	59
Figura 22: Aplicação da segunda camada de argamassa.....	60
Figura 23: Aparência final .....	61
Figura 24: Apresentação final, com detalhe para espessura da argamassa.....	61
Figura 25: Medição da Condutividade Térmica. (Fonte: GÜTHS,el al, 1995). ....	63
Figura 26: Transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial. (Fonte: GÜTHS et. al. ,1995). ....	63
Figura 27: Avaliação da placa (madeira/polietileno/alumínio), na análise da condução de calor pelo método fluximético. ....	67
Figura 28: Amostras superiores sem pasta térmica e, inferiores, sem a adição de pasta térmica. ....	68
Figura 29: Imagem do aparato, onde são realizados ensaios em amostras de 30x30cm.....	70
Figura 30: Painel Reciclado.....	80
Figura 31: Painel com embalagem LV + argamassa.....	82
Figura 32: Painel de gesso acartonado.....	84
Figura 33: Painel de gesso acartonado com embalagem de LV aberta.....	86
Figura 34: A imagem simula o posicionamento da manta em relação à cobertura, juntamente com detalhes de apoio.....	91
Figura 35: Esquema do dispositivo experimental. Fonte: GÜTHS & PAGHI (2004).....	92
Figura 36: Medição da eficiência térmica de caixa longa vida.....	93
Figura 37: Modelo térmico: a) sem a manta isolante, e b) com a manta isolante (Fonte: GÜTHS, 2004). ....	94
Figura 1a: Ensaios realizados com hamsters, simulação de sua ação nas coberturas com a presença de mantas confeccionadas com embalagens LV. ....	114
Figura 2a: Amostra A.....	116
Figura 3a: Amostra B. ....	116
Figura 4a: Amostra C – Frente e verso da embalagem.....	116
Figura 5a: Amostra D. ....	117



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Geração de resíduos sólidos urbanos <i>per capita</i> .....	26
Tabela 2: Reciclagem de embalagem LV .....	27
Tabela 3: Símbolos, definições e unidades .....	66
Tabela 4: Resultados do ensaio de condutividade .....	69
Tabela 5: Descrição das amostras compostas por polietileno e alumínio fixados a uma chapa de madeira .....	72
Tabela 6: Descrição das amostras compostas por unidades LV, em seu formato original, novamente fechadas e unidas .....	73
Tabela 7: Descrição das amostras compostas por gesso acartonado .....	74
Tabela 8: Resultados das amostras compostas por painel reciclado (polietileno/alumínio/ madeira) .....	75
Tabela 9: Resultados das amostras referentes ao uso de embalagens LV fechadas. ....	76
Tabela 10: Resultado do painel composto por argamassa, com a presença, em seu interior, de embalagem LV vazia .....	77
Tabela 11: Resultados dos ensaios do Gesso Acartonado, produto comercializado. ....	78
Tabela 12: Símbolos, variáveis e unidades .....	80
Tabela 13: Resultados obtidos .....	82
Tabela 14: Resultados obtidos .....	84
Tabela 15: Resultados obtidos .....	86
Tabela 16: Resultados obtidos .....	88
Tabela 17: Resultados experimentais com a diferença de temperatura constante ( $\Delta T$ ) .....	95
Tabela 1a: Resultado das amostras submetidas à ação de roedores .....	115
Tabela 1A: Resistência à Tração, Resistência à Flexão e Absorção de Água das Placas Recicladas .....	119
Tabela 2A: Resumo dos resultados das características da placa reciclada .....	120
Tabela 2B: Determinação do índice de propagação superficial de chama .....	121
Tabela 2C: Índice de propagação de chama, conforme NBR 9442/1986 .....	121

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 EMBALAGEM LV .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	5
1.2.1 Objetivo geral: .....	5
1.2.2 Objetivos específicos:.....	5
1.3 LIMITAÇÃO DO TEMA .....	5
1.4 JUSTIFICATIVA DO TEMA .....	6
1.5 METODO E TÉCNICA DE PESQUISA.....	7
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO .....	10
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	12
2.1 O HOMEM E O MEIO .....	12
2.1.1 A Sustentabilidade Ambiental.....	14
2.1.2 Desenvolvimento Sustentável .....	16
2.1.3 Lixo, Bens de Consumo e Sustentabilidade .....	17
2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS .....	18
2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos.....	20
2.3 RESÍDUO E RECICLAGEM .....	21
2.3.1 Resíduo: Caracterização, Identificação e Quantificação .....	25
2.3.2 Posição do Brasil no Cenário Internacional da Reciclagem .....	26
2.4 COLETA SELETIVA .....	27
3.4.1 Implantação da Coleta Seletiva.....	29
2.5 EMBALAGEM LV.....	30

---

2.5.1 Estrutura da Embalagem.....	31
2.5.2 Caracterização do Produto.....	32
2.5.2.1 Processos de Reciclagem para as Embalagens .....	33
2.5.3 Reuso de LV na Construção Civil.....	37
2.5.4 Materiais Alternativos na Construção.....	37
2.6 RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO.....	38
2.7 CONFORTO TÉRMICO NA ARQUITETURA .....	39
2.7.1 Radiação Ambiental .....	40
2.7.2 Transferência de Calor.....	40
2.7.3 Radiação de Corpo Negro.....	45
2.8 CONFORTO TÉRMICO .....	45
2.8.1 Sistemas Isolantes .....	46
2.8.1.1 Isolamento Térmico – Conceito.....	46
2.8.1.2 Análise da Eficiência Energética, Característica e Aspecto Físico.....	47
2.9 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA .....	48
2.10 PAINEL DE VEDAÇÃO.....	49
2.10.1 Elaboração do painel a partir da reciclagem de embalagem LV .....	51
2.10.1.2 Processo de fabricação das placas.....	52
2.10.2 Gesso Acartonado.....	53
<b>3 UTILIZAÇÃO DE EMBALAGEM LV NA CONSTRUÇÃO CIVIL (PAINEL E SUBCOBERTURA).....</b>	<b>55</b>
3.1 PAINEL RECICLADO .....	55
3.2 PAINEL LV+ ARGAMASSA.....	57

---

3.2.1 Montagem do Pannel .....	58
3.3 ENSAIOS REALIZADOS EM PAINÉIS DE VEDAÇÃO .....	61
3.3.1 Descrição do Aparato .....	62
3.3.1.1 Fluxímetro .....	64
3.3.1.2 Calibração do Fluxo de Calor .....	64
3.3.1.3 Símbolos e unidades .....	65
3.4 ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA EM PLACAS 10X10 cm .....	67
3.4.1 Resultados dos Ensaio de Condutividade Térmica em Placas 10x10cm	68
3.5 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DOS PAINÉIS 30X30CM. ....	69
3.5.1 Descrição do Aparato .....	70
3.5.2 Descrição das amostras .....	71
3.5.2.1 Resultados Obtidos .....	74
3.6 DESEMPENHO TÉRMICO DO PAINEL DE VEDAÇÃO SEGUNDO A NBR 15220/2005.....	79
3.6.1.1 Resultado Final e Comparação Segundo a Norma 15220/2005 e ensaios realizados com auxílio do aparato.....	88
3.7 MANTA PARA COBERTURA .....	89
3.7.1 Utilização da Manta em Cobertura .....	90
3.7.2 Desempenho térmico da manta isolante decorrente de sua instalação ....	91
3.7.3 Ensaio em barreiras radiantes em coberturas.....	92
3.7.3.1 Descrição do Aparato.....	92
3.7.3.2 Medição da Eficiência da Embalagem LV - Manta .....	93
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>97</b>

4.1 CONCLUSÕES GERAIS .....	97
4.2 CONCLUSÕES ESPECÍFICAS .....	98
SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES.....	102
REFERÊNCIAS.....	104
APÊNDICE .....	114
Apêndice 1: Desempenho das Unidades LV Submetidas ao Ataque de Roedores .....	114
Resultados Obtidos:.....	117
ANEXO.....	118
Anexo 1: Propriedades Mecânicas.....	118
Anexo 2: Ensaio de Impacto.....	119
Anexo 3: Absorção d'água .....	122
Anexo 4: Certificado de Calibração – Fibra de vidro .....	123

# 1 INTRODUÇÃO

A produção de lixo é uma questão milenar. Antigamente, o homem não tinha a menor preocupação com os resíduos produzidos, por serem quase que totalmente orgânicos e sua decomposição ocorrer de maneira natural. Com o passar do tempo, a agricultura passou a não ser a única fonte de renda e alimentação, pois a sociedade progrediu com a domesticação de animais, com a confecção de cestas para armazenamento dos alimentos e, assim, foram várias as transformações sociais, das aldeias às comunidades, até o advento da Revolução Industrial.

A partir da Revolução Industrial, cresce com a população a necessidade de consumo, levando, assim, ao desenvolvimento de novas tecnologias, da infraestrutura de transporte, da exploração de matérias-primas e, conseqüentemente, do aumento dos resíduos gerados.

Hoje, a preocupação com o meio ambiente está necessariamente sendo colocada em pauta; as indústrias estão começando a responsabilizar-se por seus próprios resíduos, bem como a sociedade começa a desempenhar o seu papel. Descobre-se que lixo não é lixo, mas uma fonte de renda; descobre-se que pode contribuir para um desenvolvimento sustentável.

Como foi definido no Relatório de Brundtland em 1987, o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que vai ao encontro das necessidades do presente sem comprometer a desempenho das futuras gerações de encontrar as suas próprias necessidades (Agenda 21, 2000). O desenvolvimento sustentável é um desenvolvimento que concilia crescimento econômico, preservação do meio ambiente e melhoria das condições sociais.

A conscientização da necessidade de reciclagem dos resíduos destacou-se principalmente no período pós-guerra, em função do desenvolvimento industrial. A mudança nos hábitos de consumo impulsionou cada vez mais a criação de novas necessidades que, para serem atendidas, conduzem a aquisição de bens manufaturados. O aumento na produção, aliado ao aumento do consumo, contribui para um acentuado descarte de subprodutos, cuja função original já foi esgotada. Afinal, toda a atividade industrial é uma resposta a um desejo ou necessidade da sociedade (GRAEDEL; ALLENBY.1995).

Com o impulso do desenvolvimento industrial, as empresas, (LORA, 2000), finalmente estão tomando um comportamento ambiental ativo, transformando uma postura passiva em oportunidades de negócio. Para elas, o meio ambiente deixa de ser um aspecto de pouco interesse, cujo único objetivo de preservação estava voltado apenas às suas obrigações legais, passando a ser uma fonte adicional de prestígio, competitividade, eficiência e fonte de renda.

Com o atual cenário econômico, muitas empresas fazem o possível para se tornarem competitivas nas questões de redução de custos, de minimização do impacto ambiental, agindo com responsabilidade social. O que as empresas têm descoberto é que controlar a geração e destinação de seus resíduos é uma forma de economia que possibilita a conquista de pontos preciosos junto à sociedade e ao meio ambiente (Bolsa de Reciclagem FINEP, 2003). Não se trata, portanto, apenas em gerar produtos, mas, uma preocupação maior com o destino final destes materiais produzidos.

Atualmente, sabe-se que no Brasil são consumidos cerca de seis bilhões de embalagens LV anualmente. Diante desta constatação, pretende-se contribuir, com esta dissertação, para o estudo de uma aplicação da embalagem LV na construção civil. Trata-se de uma embalagem composta, cuja descrição será detalhada nos tópicos seguintes.

## 1.1 EMBALAGEM LV

As embalagens compostas, confeccionadas com três diferentes materiais: alumínio, polietileno de baixa densidade e papel. Tais embalagens foram inventadas por Ruben Rausing a partir da premissa de que uma embalagem deve economizar mais do que custa. A sua comercialização iniciou-se em 1952, na Suécia, e, desde então, sua produção tem aumentado em todo o mundo.

No Brasil, o uso de embalagens LV iniciou-se em 1957, e com grande aceitação, pois tornou-se possível o transporte de produtos perecíveis, por um longo período de tempo, sem necessidade de refrigeração, chegando aos seus destinos, intactos e perfeitos para o consumo (necessidade de um país com grande extensão territorial), (CEMPRE, 2005).

A utilização deste material como embalagem de alimentos foi muito discutida no passado, com uma crescente preocupação com os impactos ambientais, razão pelas quais várias empresas e instituições passaram a realizar estudos com base na metodologia da Análise do Ciclo de Vida - ACV (CHEHEBE, 2002). Nas décadas de 80 e 90, muitas das análises realizadas concentravam-se em materiais para embalagem, especialmente embalagens de leite. Chehebe (2002) complementa que a principal razão era a diferença de opinião, pois entendia que a reciclagem de embalagens de vidro e de plástico seria ambientalmente mais amigável que a utilização de embalagens compostas (conhecidas no mercado como embalagens Tetra Pak®).



Vários foram os estudos realizados sobre a embalagem de leite. Um deles, desenvolvido em 1985, concluiu que a embalagem derivada do papelão seria a mais adequada para o leite, diferente dos dados coletados em 1992, publicados pela Ekvall<sup>1</sup>, cujo estudo constatou discrepância de dados, como maior consumo de energia elétrica e maior geração de resíduos, colocando que embalagens de vidro eram ecologicamente corretas. Considerando outros estudos sobre embalagem retornável, tipo a de policarbonato, concluíram que seria a melhor em termos ambientais (CHEHEBE, 2002).

A embalagem LV utilizada pelas indústrias produtoras de alimentos em grande escala, e descartada pela sociedade, já está sendo comercializada e beneficiada em novos produtos que utilizam este subproduto. Entretanto, neste trabalho, será mostrado que esta embalagem pode ser também aplicada como material isolante na construção civil, subcobertura e painel de vedação.

A motivação do estudo deu-se porque se sabe que as soluções construtivas e os materiais usualmente empregados nas edificações se transformam em importante ponto de entrada e de saída de calor, com influência no conforto térmico de seus ocupantes.

“Por outro lado, a intervenção humana, expressa no ato de construir seus espaços internos e externos, altera as condições climáticas locais, das quais, por sua vez, também depende da resposta térmica da edificação” (FROTA; SCHIFFER, 1995).

A arquitetura deve servir ao homem e ao seu conforto, inclusive o seu conforto térmico. Com melhores condições de vida e saúde, seu organismo pode funcionar qualitativamente sem ser submetido à fadiga ou estresse. O conforto térmico em edificação a partir de novos produtos confeccionados com embalagens LV é um dos objetivos a serem alcançados pela pesquisa, onde pode ser observado a seguir.

---

<sup>1</sup> Ekvall, empresa contratada pelo *Swedish Paper and Packaging Group* para descobrir as razões dos conflitantes estudos do suíço "*Ökobilanz von Packstoffen*" (1990) e o estudo sueco "*Packaging and The Environment*" (1991). Dois estudos realizados sobre o mesmo produto e utilizando os mesmos dados apresentavam consideráveis diferenças de resultados.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral:

Analisar o desempenho térmico, de embalagem LV na forma de painel de vedação e como barreira isolante em subcoberturas.

### 1.2.2 Objetivos específicos:

- avaliar a utilização da embalagem LV segundo o princípio de sustentabilidade;
- analisar o desempenho térmico do material;
- avaliar a condutividade térmica e resistência térmica da placa composta por alumínio e polietileno, bem como a composta por unidades de LV e argamassa;
- realizar uma análise térmica comparativa da proposta dos painéis de vedação com o meio de fabricação já comercializado – gesso acartondado;
- fazer uma análise térmica comparativa entre os resultados adquiridos em ensaios de laboratório dos painéis de vedação com o desempenho térmico segundo a NBR15220;
- estudar a subcobertura composta por embalagem LV como uma alternativa de retenção de calor absorvido pelo telhado.

## 1.3 LIMITAÇÃO DO TEMA

O presente trabalho limita-se a estudar os princípios de sustentabilidade e a possibilidade de reutilizar através do emprego de um resíduo sólido urbano, diga-se embalagem LV, na construção civil. No entanto, não foi considerado o estudo de viabilidade econômica, resistência mecânica, estrutural, impermeabilidade, dentre outros estudos dos componentes propostos.

#### 1.4 JUSTIFICATIVA DO TEMA

As embalagens LV são, atualmente, muito consumidas no país, devido às suas propriedades de conservar o alimento, considerando-se, assim, que o consumo é proporcional ao número de resíduos dispensados pela sociedade. Trata-se de um produto 100% reciclável. Na separação de seus componentes, o papel é reaproveitado pelas indústrias de papel e celulose. O plástico pode ser reciclado como material de uso domiciliar, na confecção de vassouras, por exemplo; e o alumínio, por sua vez, como alumínio polido. Entretanto, em condições normais, demorariam anos para se decompor. Uma forma de incrementar a reciclagem é aplicar este resíduo na construção civil.

Desenvolver um produto capaz de contribuir para o menor consumo de energia foi o ponto fundamental desta pesquisa, pois é ele o responsável pela diminuição do condicionamento de ar nas edificações.

O aumento da temperatura medida nos últimos anos é um grande estímulo para a preocupação com o conforto térmico das habitações. Para a redução de carga térmica, ultimamente vem sendo muito explorado o uso de barreiras radiantes, principalmente em coberturas, pois é o componente mais exposto ao clima externo. A utilização de mantas já é uma realidade podendo-se, então, aplicar resíduos de embalagens com a mesma finalidade, promovendo igual conforto térmico, com baixo custo de aquisição.

O mesmo raciocínio pode ser aplicado para os painéis de vedação, utilizando uma tecnologia pré-fabricada, ou seja, paredes prontas montadas *in loco* com desempenho térmico igual ou superior ao dos modelos convencionais.

“Nenhuma sociedade poderá atingir o desenvolvimento sustentável sem que a construção civil, que lhe dá suporte, passe por profundas transformações. A cadeia produtiva da construção civil apresenta grandes impactos ambientais em todas as etapas do seu processo: extração de matérias-primas, produção de matérias, construção, uso e demolição. Qualquer sociedade seriamente preocupada com esta questão deve colocar o aperfeiçoamento da construção civil como prioridade” (JOHN et. al., 2001).

Foram vários os fatores que motivaram a origem deste trabalho, quais sejam:

- a possibilidade de transformar lixo em renda, geração de empregos, colaborar com a conscientização ambiental e contribuir para o desvio deste lixo para aterros sanitários com materiais que podem ser reaproveitados na construção civil;

- o incentivo à integração social e tecnológica, aplicando resíduo de material LV na produção de componentes para a construção civil a partir do conceito de desenvolvimento sustentável.

### 1.5 METODO E TÉCNICA DE PESQUISA

Conforme o apresentado anteriormente, os métodos e técnicas buscam estabelecer meios para alcançar os objetivos específicos. A pesquisa foi dividida em três partes, conforme serão a seguir expostas.

A primeira parte consiste na revisão bibliográfica com o intuito de construir a fundamentação teórica sobre o assunto estudado na pesquisa. O método aplicado foi o da análise de referências: livros, artigos científicos, *sites* de internet técnicos e industriais, que possibilitaram uma previsão sobre os estudos da utilização de embalagem LV como uma barreira de baixa emissividade, em painéis de vedação e subcobertura de acordo com os princípios de sustentabilidade.

Já a segunda parte apresenta o estudo do material e a análise do emprego do mesmo. Para tanto, foi realizada uma visita à indústria produtora da Tetra Pak® em Campinas/SP, onde se pode coletar o material necessário para o estudo, o que contribuiu com alternativas para a reutilização da embalagem como matéria-prima de um novo produto.

A proposição e o desenvolvimento de dois tipos de componentes para a construção civil estão presentes na terceira e última parte do trabalho, onde são elaborados o painel de vedação e a manta para subcobertura.

#### Painel de Vedação

Duas propostas diferenciadas foram analisadas neste estudo para a produção de painel de vedação fazendo uso da mesma matéria-prima:

- a primeira é a reciclagem do material. Foi analisado o painel confeccionado pela indústria Tetra Pak®, com chapas de polietileno/alumínio/madeira que foram fornecidas pela empresa produtora;
- a segunda alternativa desenvolvida neste estudo ocorreu com reutilização das unidades – embalagem LV/argamassa.

Para o estudo dos dois painéis, foram desenvolvidas amostras que foram submetidas a análises térmicas. As amostras foram ensaiadas em laboratório, simulando uma situação real da incidência de calor pelas paredes de vedação de uma edificação.

Os ensaios de resistência térmica e condutividade aparente dos painéis foram realizados através do método fluximétrico, que consiste em medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, podendo-se deduzir por cálculo a condutividade térmica. Para os ensaios, foi utilizado um dispositivo presente no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas - LMPT - do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Foram confeccionados painéis de 10x10 cm para ensaios de resistência térmica e de 30x30 cm, para ensaios de condutividade aparente, utilizando o método fluximétrico.

Após realizar os primeiros ensaios com os diferentes painéis e com a finalidade de obter melhores resultados nas análises térmicas, foi necessário realizar novos ensaios, aplicando preenchimento interno nos painéis. Para tanto, foram estudadas diferentes formas de preenchimento, fazendo uso de material LV. O primeiro preenchimento apresenta-se em forma de filetes com aproximadamente 1 cm de espessura (420 g em cada amostra) e, posteriormente, foi proposto preencher os painéis com unidades de LV abertas e caixas LV fechadas em seu formato original.

Para a análise comparativa dos resultados de resistência térmica dos painéis propostos pelo trabalho, foi utilizado um produto de referência já comercializado, o *Drywall®*, ou gesso acartonado, que também foi submetido a ensaios térmicos. Assim o estudo avaliou o desempenho térmico do painel de gesso acartonado com a utilização de embalagem LV como preenchimento de seu interior.

Outra avaliação do desempenho térmico dos painéis foi caracterizada conforme a Norma Brasileira de Desempenho Térmico em Edificações – NBR 15220/2005. Através de cálculo foram avaliados: a transmitância térmica, a capacidade térmica, o atraso térmico e o fator de calor solar. O resultado desta análise permite verificar a utilização destes painéis em uma região de clima semelhante ao de Florianópolis/SC.

#### Manta para subcobertura

O trabalho analisa, também, a utilização de LV como subcobertura. A utilização de manta térmica na construção é uma prática bastante conhecida, mas as suas propriedades térmicas são pouco difundidas em relação às mantas já comercializadas.

Para a análise do fluxo de calor, os testes foram realizados com a utilização de um dispositivo experimental, cujo mecanismo procura reproduzir as características de um telhado convencional, no que se refere à resistência térmica. O dispositivo utiliza um tipo de transdutor de fluxo de calor de grande sensibilidade ( $> 3$  mV/W) e pequena espessura (300 micra). Os testes foram realizados no LMPT /UFSC.

A intenção do teste foi considerar a cobertura sob forte insolação (aproximadamente  $1000$  W/m<sup>2</sup>). Os testes foram feitos com as embalagens LV fixadas em uma superfície de 60x60cm, totalizando seis caixas de leite abertas, durante o período de quinze minutos.

Por se tratar de uma embalagem utilizada para armazenar alimento, pode atrair a presença de insetos e roedores, entre outros animais, devido à possibilidade de haver resíduos ou até mesmo manter o odor de alimento na subcobertura. A presença destes animais pode prejudicar o desempenho da manta, bem como atraí-

los para dentro da edificação. Com esta finalidade, foi analisado, também, o desempenho da manta quando submetida aos ataques de roedores.

Como complemento da pesquisa, também foi realizado um teste em laboratório para verificar a ação de roedores nas amostras de embalagens LV. Os testes foram realizados no Biotério do curso de Biologia da UFSC e sua descrição e os resultados iniciais estão apresentados no primeiro apêndice.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta dissertação está estruturada em cinco capítulos. O capítulo 1 - Introdução apresenta a explicação do problema que motivou a pesquisa, ou seja, a justificativa da pesquisa, bem como os objetivos a serem alcançados, a importância do trabalho, suas possibilidades de aplicação, bem como suas limitações.

Ademais, este capítulo aborda também sobre os métodos e técnicas que foram aplicados no desenvolvimento da pesquisa, os aparatos utilizados nas medições dos painéis de vedação, e o trabalho realizado com as mantas de cobertura.

O capítulo 2 trata da revisão bibliográfica, traz o conceito de sustentabilidade, e as relações do homem no meio onde está inserido, conceitos de resíduos sólidos urbanos, classificação e sua potencialidade de reciclagem. Ademais, traz a importância da conscientização ambiental e da coleta seletiva, a conceituação de embalagem composta, caracterização, estrutura do produto e possibilidade de reutilização de resíduos de material composto como matéria-prima de novos produtos já encontrados no mercado.

Este capítulo também revisa os fundamentos teóricos da radiação ambiental, o conceito de emissividade térmica e os demais conceitos fundamentais, no quesito transferência de calor.

O capítulo 3 apresenta informações e dados sobre a viabilidade do produto para a elaboração de componentes para a construção civil, de acordo com o desempenho térmico, estuda a aplicação da embalagem LV em painéis de vedação, e também apresenta os ensaios realizados em aparato e análise dos resultados. Ainda detalha a análise da resistência térmica segundo cálculos da NBR. Também estuda a subcobertura com a mesma matéria-prima e mostra ensaios do desempenho térmico das subcoberturas.

No capítulo 4 encontram-se os resultados das avaliações térmicas, a aplicação dos componentes e as informações da pesquisa, concluindo e recomendando sistemáticas para futuros trabalhos relacionados ao tema.



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica busca fundamentar o trabalho, baseada nos conceitos de desenvolvimento sustentável e nas relações do homem com o meio em que vive. Cobre, portanto, temas como: (I) conceitos de resíduos sólidos urbanos, classificação desses resíduos sólidos e sua potencialidade de reciclagem; (II) importância da conscientização ambiental e da coleta seletiva; (III) conceituação de embalagem composta, caracterização de um resíduo isolante, responsável pela troca de calor nas paredes de vedação e coberturas, (IV) estrutura do produto e possibilidade de reutilização de resíduos de material composto como matéria-prima de novos produtos em relação aos já comercializados.

### 2.1 O HOMEM E O MEIO

O homem é produto do meio e, desta forma, também, o meio é produto do homem. O processo evolutivo do homem, num contexto cultural, desde a pré-história, com a coleta, com a caça e pesca até a domesticação de animais, chegando à agricultura, fez com que ele se tornasse sedentário. Já no século XIX, a revolução industrial acelerou a apropriação de recursos naturais, a urbanização criou novos ambientes construídos pelo homem. Atualmente o homem interfere na qualidade do clima global, provocando a aceleração do efeito estufa e a destruição do ozônio (RIBEIRO, 2000).

Em seu longo período evolutivo, o homem aprendeu a produzir e, com isso, aprendeu, por desleixo, a agredir a natureza com o excesso de resíduos depositos. Para Baasch (1995, p.48):

*“Problemas com o manejo dos resíduos existem desde que os seres humanos passaram a se congregarem em tribos, vilas e comunidades e o acúmulo de resíduos tornou-se uma consequência de vida. O descarte dos resíduos nas ruas, terrenos baldios, etc, durante a Idade Média, provocou o aumento de ratos e, conseqüentemente, o aparecimento da peste bubônica, que dizimou metade dos europeus”.*

Theis (1996, p.54) comenta que foi no período da Revolução Industrial que houve a aceleração da degradação ambiental, com a corrida para o desenvolvimento econômico. Perin (1999, p.22) complementa:

“O problema do lixo, associado à degradação ambiental, remota ao final do século XVIII. Foi com o advento da Revolução Industrial – que marca o início da era capitalista moderna – que começam a ser produzidas quantidades maiores de bens de consumo. Com o crescimento populacional da época, começam a surgir às primeiras conseqüências notáveis em relação ao meio ambiente, como, por exemplo, poluição dos rios e do ar. Porém, com a população mundial era bem menor, o problema passou a ser despercebido por décadas”.

Na sociedade urbana atual, há um forte apelo ao consumismo, e quanto mais necessidades satisfeitas, novas necessidades aparecem, não só físicas, mas também psicológicas. O conceito de saciedade tem pouco prestígio na economia. “Não se considera nem útil nem científico especular sobre os anseios comparativos do estômago e da mente” (OPASCHOWSKI, 1995). A qualidade de vida está associada ao maior consumo de bens materiais. Esquece o fato que a essência do homem é sua qualidade e não quantidade, o ponto em questão não é a economia e sim a cultura, não o padrão de vida e, sim, a qualidade de vida. Muitas vezes a globalização destrói a essência de humanidade. Tenta-se salvar uma situação sem querer saber as origens do problema, “... o ambientalismo passou a se preocupar em achar maneiras de preservar e sustentar o modo de vida existente, a reciclar latas de refrigerante ao invés de aprender a beber água” (MANU,1995).

Desta forma expõe Schumacher (1973, p.257) expõe que:

“Na excitação em torno do desenrolar de suas potencialidades científicas e técnicas, o homem moderno constituiu um sistema de produção que violenta a natureza e um tipo de sociedade que mutila o homem”.

As novas tecnologias para produção de novos produtos são rapidamente desenvolvidas, num processo desproporcional de obtenção de recursos naturais renováveis, em contrapartida com alternativas que não agridam o homem e ao meio ambiente.

Para Arbuckle (1995), o homem vive em uma ecosfera, e nela é criatura, vive em uma tecnosfera, e nesta é criador. A sociedade se coloca numa mera redoma, onde cada pessoa se coloca de maneira singular e egoísta, esquecendo, muitas vezes, de se abrir para novas possibilidades, e de olhar para o futuro de modo diferente.

### 2.1.1 A Sustentabilidade Ambiental

Ao longo dos séculos, indivíduos e organizações têm causado danos ao ambiente, provocando o desequilíbrio do sistema ecológico numa velocidade desproporcional à capacidade de regeneração da natureza, seja devido à extração desordenada de recursos naturais, seja devido à geração de resíduos no processo produtivo. Tudo para atender ao crescente desejo de consumo.

A definição mais aceita para o desenvolvimento sustentável, segundo a *World Wildlife Fund* – WWF (2005), é o desenvolvimento que não esgota os recursos naturais para o futuro. Essa definição surgiu na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pelas Nações Unidas para discutir e propor meios de harmonizar dois objetivos: o desenvolvimento econômico e a conservação mundial (como já citado, o Relatório de Brundtland de 1987).

A busca por um equilíbrio das relações de produção de consumo tenta ser um resgate da situação em que o mundo se encontra, com o aumento da violência, no campo e nas cidades, a profusão de conflitos armados que trazem uma série de conseqüências ambientais, com a fome endêmica, a multiplicação de bolsões de miséria, a disseminação de doenças epidêmicas, com o uso de energia nuclear e os desafios da destinação de seu lixo. Para isso, procuram-se iniciativas que envolvem nações e procuram criar compromissos globais, pois apenas iniciativas isoladas não resolverão problemas de dimensões planetárias.

Diante de um futuro incerto, governos e organizações não-governamentais começam a avaliar saídas para evitar um colapso mundial. Para isso, o grande desafio é organizar todas as ferramentas disponíveis de forma que realmente sejam úteis à sociedade.

Segundo Ribeiro (2000), “a sustentabilidade depende também da base cultural, fundada em padrões de consumo e estilos de vida globalmente perduráveis”, (Figura 1) dependerá da capacidade de encontrar substitutos para a fonte de energia, de reduzir desperdícios e promover a conservação desse recurso estratégico será crucial para dar sobrevida à atual civilização. O meio ambiente é muito importante para ser tratado apenas a partir da razão, da ciência e da tecnologia.

#### DIMENSÕES DA SUSTENTABILIDADE

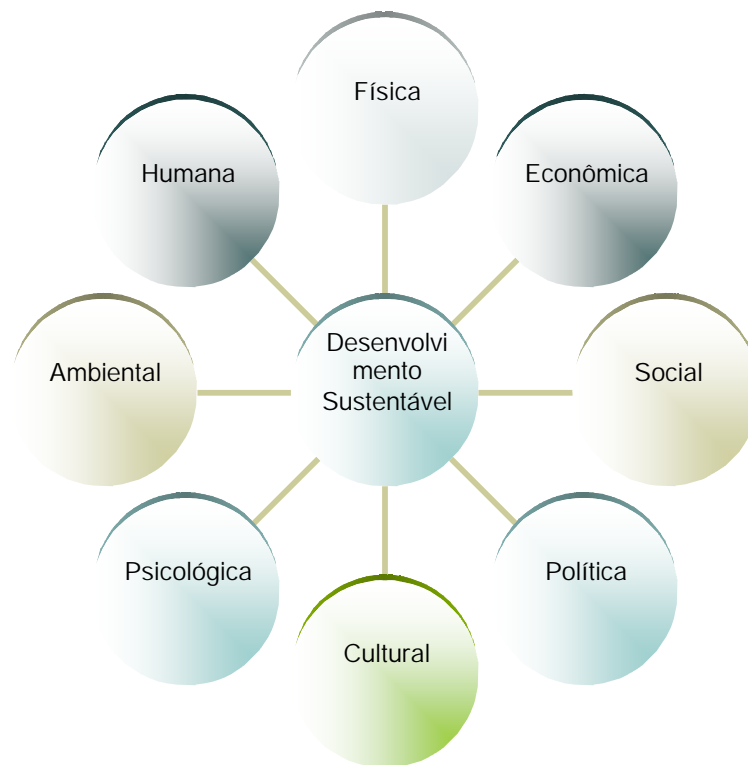


Figura 1: Dimensões do desenvolvimento sustentável. (Fonte: RIBEIRO, M.A. 2000).

A preocupação com a preservação do ambiente vem crescendo nos últimos anos e, especialmente no Brasil, deve aprofundar-se na próxima década. Vários fatores apontam para este crescimento, destacando-se o aumento do interesse da população com as questões ambientais, o aumento de organizações da sociedade civil dedicadas ao tema e a imposição de processos de certificação ambiental às empresas brasileiras exportadoras.

### 2.1.2 Desenvolvimento Sustentável

Segundo Leadbitter (2002), é importante diferenciar desenvolvimento sustentável e sustentabilidade. Desenvolvimento sustentável é o processo a enfrentar para atingir a sustentabilidade, ou seja, processo que conduz a sustentabilidade.

O desenvolvimento sustentável depende de planejamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos. É um conceito que busca conciliar as necessidades econômicas, sociais e ambientais, sem comprometer o futuro de quaisquer dessas demandas (CDBS, 2005<sup>2</sup>).

Muitas vezes, o desenvolvimento é confundido com crescimento econômico, que depende do consumo crescente de energia e de recursos naturais. Esse tipo de desenvolvimento tende a ser insustentável, pois leva ao esgotamento dos recursos naturais dos quais a humanidade depende. Atividades econômicas podem ser encorajadas em virtude da base de recursos naturais dos países. Desses recursos depende não só a existência humana e a diversidade biológica, como o próprio crescimento econômico. O desenvolvimento sustentável sugere, de fato, qualidade em vez de quantidade, com a redução do uso de matérias-primas e produtos, a preocupação com o destino final do resíduo e o aumento da reciclagem.

O desenvolvimento econômico é vital para os países pobres, mas o caminho a seguir não pode ser o mesmo que o adotado pelos países industrializados. Mesmo porque não seria possível. Caso os países do Hemisfério Sul copiassem os padrões das sociedades do Norte, a quantidade de combustíveis fósseis consumida atualmente aumentaria 10 vezes e a de recursos minerais, 200 vezes. Ao invés de aumentar os níveis de consumo dos países em desenvolvimento, é preciso reduzir os níveis observados nos países industrializados (SOUZA, Okky. 2005).

Conta-se que Mahatma Gandhi, ao ser questionado se, depois da independência, a Índia seguiria o estilo de vida britânico, teria respondido: "... a Grã-Bretanha precisou de metade dos recursos do planeta para alcançar sua prosperidade; quantos planetas não seriam necessários para que um país como a Índia alcançasse o mesmo patamar?".

---

<sup>2</sup> CDBS - Conselho empresarial brasileiro para o desenvolvimento sustentável. Julho de 2005. Disponível em: <http://www.cebds.org.br/cebds/cebds-missao.asp>

A sabedoria de Gandhi indicava que os modelos de desenvolvimento precisavam mudar. Os estilos de vida das nações ricas e a economia mundial devem ser reestruturados para levar em consideração o meio ambiente. (WWF, 2005).

### 2.1.3 Lixo, Bens de Consumo e Sustentabilidade

A sustentabilidade depende da base cultural, fundada em padrões de consumo e estilos de vida globalmente duradouros. Tal não ocorre com o modelo de desenvolvimento dos países ocidentais industrializados, que, ao ser adotado por toda a humanidade, levaria à exaustão os recursos naturais. Na realidade, se todos os países objetivassem fazer uso do mesmo índice de “qualidade de vida”, seriam necessários mais uns três planetas Terra para o aproveitamento de recursos naturais (GOLDEMBERG, 2004).

Mudanças de valores, mentalidade e comportamento são fundamentais para o futuro da espécie humana. Consumismo e valores materiais exercem pressão sobre os recursos naturais e as matérias-primas. Sabe-se que quanto mais aumenta o consumismo, aumenta ainda mais o apetite por novos produtos (RIBEIRO, 2000).

Na sociedade urbana há um enorme apelo ao consumismo, à transformação da matéria-prima em bens de consumo e, posteriormente, o descarte de milhares de toneladas de lixo e resíduos sólidos que se produzem diariamente.

As próprias cidades, mais que bens culturais, tornam-se mercadoria com valor de troca, sujeita à especulação imobiliária. “Mobilizar um quarto vazio é uma coisa. Continuar a enchê-lo de mobília até a fundação vergar é outra muito diferente” (GALBRAITH, J. K., 1995).

A definição de lixo segundo Teixeira (2005):

“Fomos acostumados a associar esta palavra à sujeira, imundice, restos. Derivada do latim *lix* (cinza), o lixo tecnicamente é conhecido como “Resíduo Sólido Urbano” (RSU). Se até o começo da Revolução Industrial o lixo era composto basicamente de restos e sobras de alimentos, a partir dessa era passou a ser identificado, também, por todo e qualquer material descartado e rejeitado pela sociedade”.

O crescimento das áreas urbanas não levou em consideração a necessidade de adequação de locais específicos para depósito e tratamento dos resíduos sólidos. Hoje no Brasil, por exemplo, estima-se que a produção anual de lixo esteja em torno

de 44 milhões de toneladas, sendo que a maior parte dos resíduos recolhidos nos centros urbanos é simplesmente jogada sem qualquer cuidado em depósitos existentes nas periferias das cidades (IBGE, 2004).

No Brasil, estima-se que técnicas como a reciclagem pode fazer com que os 44 milhões de toneladas anuais estimadas de lixo produzam pelo menos 30% da energia gerada na Hidrelétrica Binacional de Itaipu. Cita Oliveira (2003), algumas "rotas para aproveitamento energético do lixo": a utilização do seu poder calorífico por meio da queima direta ou da gaseificação; o aproveitamento calorífico do biogás ou GDL; ou a produção de um combustível sólido a partir dos restos alimentares, "a celulignina, para ser queimada em caldeiras e mover turbinas a vapor ou um combustor externo e mover turbina a gás - sendo possível o aproveitamento do ciclo combinado".

A reciclagem desses resíduos sólidos geraria um invejável incremento de R\$ 10 bilhões na economia e criaria um milhão de empregos, além, é claro, de proporcionar o reaproveitamento de produtos para a fabricação de novos utensílios, o que representa economia de matéria-prima e de energia (OLIVEIRA, 2003).

Diante desses fatos, é fundamental que governo e sociedade assumam novas atitudes, visando a gerenciar de modo mais adequado a grande quantidade e diversidade de resíduos que são produzidos diariamente nas empresas e residências. (PEREIRA; TOCCHETTO, 2003).

## 2.2 RESÍDUOS SÓLIDOS

"Tudo que nos cerca um dia será resíduo, casas, automóveis, móveis, pontes, aviões. A este total, devemos somar todos os resíduos do processo de extração de matérias-primas e de produção de bens. Assim, em qualquer sociedade, a quantidade de resíduos gerados supera a quantidade de bens consumidos" (ROCHA; JOHN, 2003).

Os resíduos fazem parte da paisagem das cidades e, muitas vezes, interferem no progresso delas, pois em tudo que é produzido e consumido é gerado lixo. Conforme a norma brasileira NBR 10.004/87 Resíduos sólidos - classificação, resíduos sólidos são:

“Aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face de melhor tecnologia disponível.”

Os resíduos são provenientes de atividades de transformação de matérias-primas e substâncias orgânicas ou inorgânicas, por processos específicos, gerados em grande quantidade. Os bens industriais apresentam ciclos de vida útil de algumas semanas ou de vários anos. Posteriormente são descartados pela sociedade, de diferentes maneiras, constituindo os produtos de pós-consumo e os resíduos sólidos em geral (LEITE, 2003). Nos casos em que ainda apresentem condições de utilização, podem destinar-se ao mercado de segunda mão, sendo comercializados ou se tornando um componente de um novo produto, até um dia atingir o fim da sua vida útil.

Para Ferreira (2003), os resíduos domiciliares, ou resíduos sólidos urbanos, são produzidos nas residências e nos estabelecimentos comerciais, excluídos os serviços de saúde e indústrias. Também podem fazer parte dos resíduos domiciliares, resíduos de refeitórios, assim como os resultantes de processos de pequenas empresas.

Até pouco tempo atrás, os resíduos domiciliares eram considerados de pequeno risco ao ambiente, mas atualmente, com a introdução de novos produtos, sejam eles pela utilização de novos materiais de impacto ambiental, ou pela quantidade crescente desses resíduos, considera-se que eles apresentam ameaça à integridade do ambiente e contêm itens que podem ser classificados como perigosos (FERREIRA, 2003),

Os resíduos domiciliares apresentam, como principais componentes, restos de alimento, papel, embalagens compostas, embalagens de papelão, de vidro, de plástico, metais, pano, madeira, osso, matéria inerte (terra, poeira etc.), matérias geradas pelas atividades do cotidiano (FERREIRA, 2003).



De acordo com os dados fornecidos pela Pesquisa Nacional de Saneamento Básico - PNSB (2002), realizada pelo IBGE, o Brasil possui uma população aproximada de 170 milhões de habitantes, produzindo diariamente cerca de 126 mil toneladas de resíduos sólidos, e mil toneladas, que devem ser coletadas, transportadas e dispostas em aterros sanitários, com o intuito de preservar a saúde pública e o ambiente. Quanto à destinação final, os dados relativos às formas de disposição final de resíduos sólidos distribuídos de acordo com a população dos municípios obtidos junto ao PNSB indicam que 63,6 % dos municípios brasileiros depositam seus resíduos sólidos em "lixões", somente 13,8 % informam que utilizam aterros sanitários e 18,4 % dispõem seus resíduos em aterros controlados, totalizando 32,2%. Os 5 % dos entrevistados restantes não declaram o destino de seus resíduos.

### 2.2.1 Classificação dos Resíduos Sólidos

Existem vários tipos de classificação dos resíduos sólidos e se baseiam em determinadas características ou propriedades identificadas. A classificação é relevante para a escolha da estratégia de gerenciamento mais viável. A Norma NBR 10.004/87 trata da classificação de resíduos sólidos quanto à sua periculosidade, ou seja, característica apresentada pelo resíduo em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, que podem apresentar potencial de risco à saúde pública e ao meio ambiente. De acordo com sua periculosidade, os resíduos sólidos podem ser enquadrados como resíduos perigosos, não-inertes e inertes.

#### **Classe I – Resíduos Perigosos**

São os que apresentam periculosidade, conforme definido anteriormente, ou uma das características seguintes: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade, patogenicidade.

#### **Classe II – Não-Inertes**

São os que não se enquadram nas classes I ou III. Os resíduos desta classe podem ter propriedades tais como: combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade em água.

### **Classe III - Inertes**

São os que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente, e que, quando amostrados de forma representativa, segundo a norma NBR 10.007, e submetidos a um contato estático ou dinâmico com água destilada ou deionizada, a temperatura ambiente, conforme teste de solubilização segundo a norma NBR 10.006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade da água, conforme listagem nº. 8, constante do Anexo H da NBR 10.004, excetuando-se os padrões de aspecto, cor, turbidez e sabor.

### **2.3 RESÍDUO E RECICLAGEM**

A sociedade contemporânea dita desenvolvida associa o consumo de bens materiais com uma melhor qualidade de vida, que garanta ou amplia o conforto e o bem-estar. Entretanto, segundo Ribeiro (2000), quando se instala o apego àquilo que proporciona o prazer, o desejo compulsivo de adquirir e acumular, estimulada pela publicidade, advém a produção de lixo em grande escala.

Gerar novos produtos a partir da reciclagem de resíduos é uma atividade promissora, lucrativa e ecologicamente correta. Mas, para isso, é necessário colocar alguns fatores que influenciam esta prática. Segundo Costa (et. al., 2004), a reciclagem depende de fatores regionais, e seu sucesso está diretamente relacionado às características sociais, políticas e econômicas de cada região. Os aspectos sociais referem-se ao crescimento populacional, educação, densidade e consciência ambiental, interfere diretamente a necessidade de infra-estrutura urbana justificada pela preservação do meio ambiente. Quanto aos aspectos econômicos, são eles relacionados e influenciados pelo poder aquisitivo da população, quando existe a oferta de emprego e bem-estar, apresentando uma economia saudável e infra-estrutura para estimular este crescimento. Os aspectos políticos estudam as ações de ordem normativa, legislativa, e os aspectos relacionados com os resíduos e a atividade construtiva.

Mesmo com estes fatores característicos é bom contar com os processos que contribuem para estudo da natureza destes materiais. Avaliar se há necessidade de estudo químico e mecânico, verificar se possuem matéria orgânica incorporada, para buscar o benefício social e ambiental com a atividade de reutilização e reciclagem. Avaliar se a produção do novo produto possibilita a geração de empregos. Fazer uma análise da quantidade de resíduo no mercado e se a demanda justifica esta aplicação, juntamente com a viabilidade econômica, se o produto reciclável é igualmente ou mais econômico que os produtos encontrados no mercado. Deverá ser um novo produto que possa satisfazer as necessidades do usuário e, principalmente, vença o preconceito que existe a respeito dos produtos de segunda mão (JOHN; ÂNGULO, 2003).

A praticidade de reunir grande variedade de conhecimento é o de envolver-se no processo multidisciplinar, analisar as características do resíduo com base na experiência do pesquisador, atingindo alternativas de reciclagem. Isso pode ser observado na Figura 2. A análise das etapas industriais, necessidades ou possibilidades de integração das fases, geração de resíduos durante o processamento, dificuldades esperadas na pesquisa e desenvolvimento, auxilia na formação de uma opinião mais definida para cada aplicação, sugestão de alternativas no processo de geração ou gestão de resíduos, entre outros (JOHN; ÂNGULO, 2003).

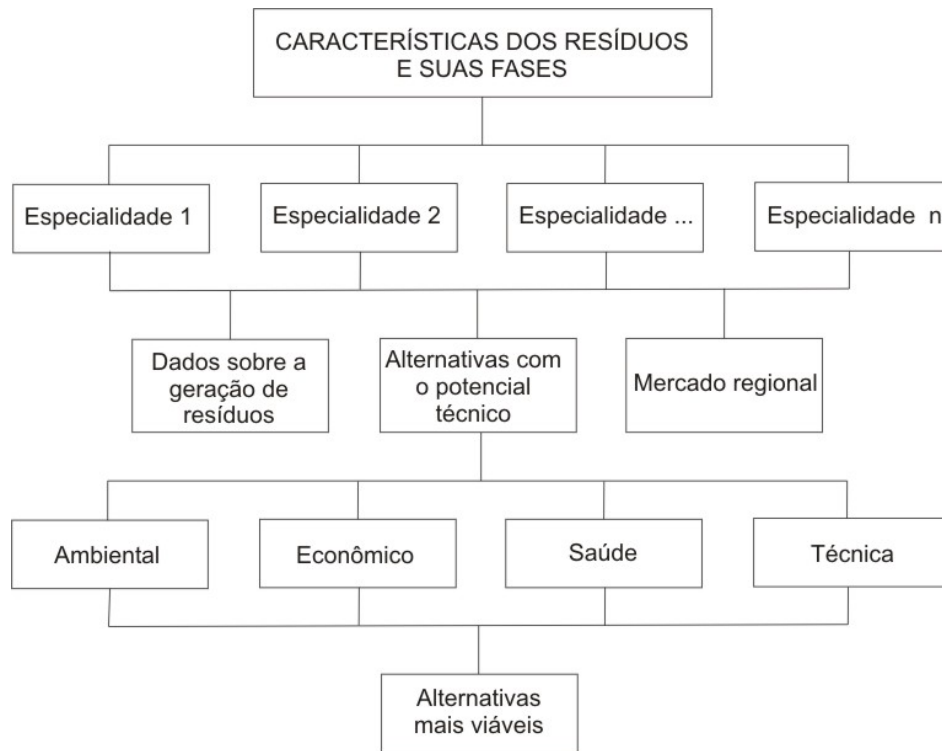


Figura 2: Fluxograma da Identificação de alternativas com potencial técnico através de consultas a grupo de especialistas e seleção de alternativas mais viáveis a partir de análise ambiental, econômica, técnica e de saúde. (Fonte: JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sérgio C. (2003).

Segundo Gomes (2005), duas alternativas, não excludentes, podem ser consideradas quando se busca a redução dos custos de deposição e tratamento de resíduos:

- redução do volume de resíduos produzidos,
- reciclagem dos resíduos.

A redução do volume de resíduos produzidos apresenta limites técnicos difíceis de serem ultrapassados em uma determinada base tecnológica. A reciclagem ou o reaproveitamento dos resíduos não apresenta, a princípio, qualquer limite desta natureza e é a única alternativa que pode gerar recursos financeiros.

Mesmo atividades de tratamento de resíduos podem gerar resíduos. A incineração de resíduos sólidos municipais gera cinzas e outros detritos. Filtros e lagoas de decantação, utilizados para remover contaminantes do ar e água geram,

por sua vez, pós e lamas. Muitas vezes os custos de manuseio desses resíduos são, também, muito elevados (GOMES, 2005).

A produção de materiais possui significativo impacto ambiental e a reciclagem de resíduos, como materiais de construção, permite:

- redução no volume de extração de matérias-primas,
- conservação de matérias-primas não renováveis,
- redução do consumo de energia,
- menores emissões de poluentes (como CO<sub>2</sub>, etc.),
- melhoria da saúde e segurança da população.

O reaproveitamento do resíduo deve ser justificado por um fator econômico. O ideal é que seja utilizado como produto final ou matéria-prima sem qualquer beneficiamento e com distância de transporte mínima ou, pelo contrário, que o fosse por meios mais econômicos (GOMES, 2005).

Há uma ausência de metodologia simplificada que possa avaliar alternativas sob o ponto de vista de impacto ambiental, saúde, desempenho econômico e diminuir o risco de fracasso no processo de pesquisa e desenvolvimento. Desta forma, segundo John e Ângulo (2003), são propostos critérios para alternativas mais favoráveis, tais que:

- a) minimizem a necessidade de separação, classificação e transformação industrial do resíduo;
- b) minimizem impactos de transporte até o local de transformação e, assim, até o consumidor;
- c) minimizem os riscos de lixiviação ou volatilização de eventuais fases perigosas, principalmente em aplicações que não se tenha contato com seres humanos ou lençol freático;
- d) não utilizem ou liberem produtos tóxicos;
- e) apresentem um alto potencial de retorno financeiro;

- f) resultem potencialmente em produtos recicláveis;
- g) que o novo produto seja potencialmente vantajoso e competitivo sobre os existentes no mercado.

A reciclabilidade do novo produto oferece a possibilidade de que esse produto não se converta, no final da vida útil, em um resíduo (SIMONE; POPOFF, 1998). O novo produto será composto por resíduos de um outro produto, resultando em uma massa final maior que a massa do resíduo que nele foi empregado como matéria-prima.

### 2.3.1 Resíduo: Caracterização, Identificação e Quantificação

O crescimento quantitativo e a multiplicidade dos resíduos da construção tornam-se um grande desafio, tanto para os organismos de controle ambiental, quanto para as atividades geradoras, de onde a necessidade da elaboração de programas que visem à minimização destes resíduos. Os rejeitos depositados em instalações inadequadas, eliminados em aterros sanitários ou abandonados em rios e encostas, fazem com que o impacto desses resíduos se torne difícil de quantificar. Com isso, cada profissional é responsável pelos efeitos e impactos ambientais que sua atividade provoca (RIBEIRO, 2000).

“A avaliação quantitativa de resíduos é muito importante para detectar eventual sazonalidade na geração de resíduo e o volume existente em estoque” (ÂNGULO et al., 2001).

A análise das características físico-químicas é fundamental para a avaliação de futuras aplicações deste resíduo, fornecendo informações para a concepção de estratégias e para a viabilidade de uso no mercado, juntamente com o valor econômico que será agregado no mercado, principalmente quando se focaliza a utilização em habitações de interesse social. É importante investigar a variabilidade das fontes de matérias-primas, variando na composição dos resíduos (ÂNGULO et al., 2001).

Para viabilizar o produto no mercado, é importante garantir que seu preço de venda seja competitivo com a solução técnica já estabelecida, que seja econômico em relação aos materiais semelhantes na construção civil ou que exista em

quantidades suficientes para o seu emprego. O uso de subproduto é justificado se apresentar um custo mais reduzido que o de material já existente no mercado (JOHN; ÂNGULO, 1999).

Prevenção e Reciclagem: Preserva os recursos ambientais, obtendo assim, melhor qualidade do material a ser obtido e, fundamentalmente, redução dos custos ao executor e ao usuário com a disponibilidade comercial.

### 2.3.2 Posição do Brasil no Cenário Internacional da Reciclagem

De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE (2006), o Brasil mantém excelente desempenho na reciclagem de latas de aço e de alumínio e de embalagens LV, destacando-se frente a várias nações européias quanto a reciclagem de plástico, apresentando bons níveis de recuperação de papel e papelão.

A geração de resíduos sólidos urbanos cresceu em razão do aumento do consumo por parte dos brasileiros. Mas a reciclagem geral continua bem posicionada, com uma participação de 10%, semelhante à da Grécia e da Hungria e próxima à da República Tcheca e do Reino Unido, como pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Geração de resíduos sólidos urbanos *per capita*.

Geração de resíduos sólidos <i>per capita</i>	
Brasil	0.80 kg/dia
Polônia	0.78 kg/dia
Dinamarca	1.55 kg/dia
Suécia	1.04 kg/dia
Reino Unido	1.36 kg/dia
Itália	1.23 kg/dia
Alemanha	1.46 kg/dia
Eslovênia	1,63 kg/dia

Fonte: CEMPRE<sup>3</sup>, 2006.

<sup>3</sup> Cempre e Eurostat – Statistical Office of the European Communities

Na Tabela 2, o Brasil segue liderando (entre os países em desenvolvimento) a reciclagem de embalagens LV, e a recente descoberta da Tecnologia Plasma<sup>4</sup> contribuiu para impulsionar os índices nacionais.

Tabela 2: Reciclagem de embalagem LV

Reciclagem de embalagem LV	
Brasil	23%
Argentina	3.2%
Colômbia	5.6%
Chile	2.5%

Fonte: Tetra Pak, 2006.

## 2.4 COLETA SELETIVA

A geração de resíduos sólidos no Brasil é um dos grandes problemas enfrentados pelo poder público, principalmente no nível municipal.

“A população não atendida algumas vezes queima seu lixo ou dispõe-no junto a habitações, logradouros públicos, terrenos baldios, encostas e cursos de água, contaminando o ambiente e comprometendo a saúde humana” (VAZ; CABRAL, 1998).

Pelo fato da Embalagem LV ser um material estável e atóxico, a sua destinação para aterros sanitários contribui para a ocupação de áreas e aumenta o volume a ser depositado. Estudos da Universidade de São Paulo (2000) atestam que, após seis meses, 49% da embalagem se decompõem totalmente quando depositadas em aterros sanitários adequados.

Estudos realizados na Alemanha mostram que as embalagens LV geram 60% menos volume em aterros sanitários em comparação com outros tipos de materiais. Sabe-se que, 300 embalagens cartonadas de 1 litro, vazias e compactadas, ocupam o espaço equivalente a 11 litros (CEMPRE, 2005).

---

<sup>4</sup> Tecnologia Plasma: Tecnologia desenvolvida no Brasil que permite a separação total do alumínio e do plástico que compõe a embalagem. Atualmente permite mais uma opção de reciclagem, com o retorno dos três componentes para a cadeia produtiva como matéria-prima. (Fonte: Tetra Pak, [http://www.tetrapak.com.br/htmls/press\\_release/index\\_press\\_release.asp?nid=95](http://www.tetrapak.com.br/htmls/press_release/index_press_release.asp?nid=95) . Acesso: junho de 2006).



A Coleta Seletiva é um processo de separação do lixo doméstico que se inicia nas próprias residências, evitando que materiais como vidro, alumínio, plástico e papel sejam contaminados com matéria orgânica, prejudicando e encarecendo a sua reciclagem. Em muitos casos, a contaminação prejudica completamente a recuperação dos materiais. Além disso, é necessário que exista um sistema adequado de coleta desses materiais recicláveis, para que cheguem com melhores condições ao local da reciclagem (Figura 3).



Figura 3: Ciclo de vida do produto, embalagem composta. Fonte: Tetra Pak (2004).

A miséria socioeconômica brasileira faz com que o lixo acabe se transformando numa fonte de sustento para milhares de pessoas, adultos e crianças, homens e mulheres. Segundo a UNICEF<sup>5</sup> (2004), 45 mil crianças e adolescentes brasileiros vivem da garimpagem do lixo. Crianças de todas as idades ganham aproximadamente de R\$ 1,00 a R\$ 6,00 diários, que ajudam a aumentar a renda de suas famílias.

A implantação de sistemas para a coleta seletiva de lixo, começando nas residências, é uma das soluções para amenizar o problema da destinação dos resíduos sólidos urbanos, o lixo gerado diariamente nas cidades. A coleta seletiva possibilita a diminuição da quantidade de lixo enviada para aterros sanitários, o desenvolvimento das indústrias de reciclagem, a diminuição da extração de recursos naturais, a redução do consumo de energia e da poluição e, ainda, contribui para a limpeza da cidade, para a conscientização dos cidadãos a respeito do reaproveitamento de materiais de “segunda mão” e a possibilidade de geração de empregos (TETRA PAK, 2004).

<sup>5</sup> UNICEF 2004, United Nations Children's Fund.

Os alimentos (matéria orgânica) são responsáveis por quase 60% do volume de lixo doméstico produzido diariamente no Brasil. O papel/papelão corresponde a 20% e os 20% restantes são compostos por vidros, alumínio, metais e plásticos em geral. No Brasil, as embalagens compostas representam cerca de 1% do lixo doméstico produzido (TETRA PAK, 2004).

#### 3.4.1 Implantação da Coleta Seletiva

A coleta seletiva e a reciclagem de resíduos se constituem numa solução indispensável, por permitir a redução do volume de lixo para disposição final em aterros sanitários, porém não é a única forma de tratamento e disposição (MUÇOUÇA, 1993)

O fundamento deste processo é a separação, pela população, dos materiais recicláveis (papéis, vidros, plásticos e metais) do restante do lixo, que é destinado a aterros ou usinas de compostagem.

Da avaliação dessas experiências, pode-se dizer que a participação da população é a principal condição para o sucesso da coleta seletiva. Para Vaz e Cabral<sup>6</sup> (1998), podem ser obtidos alguns resultados, ambientais, econômicos e políticos, especificados a seguir.

##### a) Ambientais

Os maiores beneficiados por esse sistema são o meio ambiente e a saúde da população. A reciclagem de papéis, vidros, plásticos e metais - que representam em torno de 40% do lixo doméstico - reduz a utilização dos aterros sanitários, prolongando sua vida útil. Se o programa de reciclagem contar, também, com uma usina de compostagem, os benefícios são ainda maiores. Além disso, a reciclagem implica uma redução significativa dos níveis de poluição ambiental e do desperdício de recursos naturais, através da economia de energia e matérias-primas.

---

<sup>6</sup> VAZ; CABRAL (1998): Coleta Seletiva de Lixo, de Paulo Sérgio Muçouça, publicação do Instituto Polis <http://federativo.bndes.gov.br/dicas/D001%20Coleta%20seletiva%20e%20reciclagem%20do%20lixo.htm>

#### b) Econômicos

A coleta seletiva e a reciclagem do lixo doméstico apresentam, normalmente, um custo mais elevado do que os métodos convencionais. Iniciativas comunitárias ou empresariais, entretanto, podem reduzir a zero os custos da prefeitura e mesmo produzir benefícios para as entidades ou empresas. De qualquer forma, é importante notar que o objetivo da coleta seletiva não é gerar recursos, mas reduzir o volume de lixo, gerando ganhos ambientais. É um investimento no meio ambiente e na qualidade de vida. Não cabe, portanto, uma avaliação baseada unicamente na equação financeira dos gastos da prefeitura com o lixo, que despreze os futuros ganhos ambientais, sociais e econômicos da coletividade. Em curto prazo, a reciclagem possibilita a aplicação dos recursos obtidos com a venda dos materiais em benefícios sociais e melhorias de infra-estrutura na comunidade que participa do programa.

#### c) Sociais

Além de contribuir positivamente para a imagem do governo e da cidade, a coleta seletiva exige um exercício de cidadania, no qual os cidadãos assumem uma postura ativa em relação à administração da cidade. Além das possibilidades de aproximação entre o poder público e a população, a coleta seletiva pode estimular a organização da sociedade civil (VAZ; CABRAL, 1998).

### 2.5 EMBALAGEM LV

A embalagem composta, aqui denominada de embalagem *LV* (Figura 4), pode ser definida segundo o Ministério do Trabalho e Emprego, como sendo:

“Embalagens que são constituídas por uma embalagem externa e um recipiente interno, construídos de tal forma que o recipiente interno e a embalagem externa formam uma unidade que permanece integrada, que se enche, manuseia, armazena, transporta e esvazia como tal. Sendo assim, embalagens de multi camadas, feitas de materiais combinados”.



Figura 4: Apresentação do produto. Proposta para a confecção de componentes para construção civil (Fonte: Tetra Pak, 2004).

Constata-se que no ano de 2000 foram gerados aproximadamente seis bilhões de unidades (SCHMUTZLER, 2001). Apesar deste material ser 100% reciclável, uma grande parte ainda é lançada em aterros sanitários. Segundo a Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB (2005), as unidades podem levar até cem anos para decompor-se, causando grande impacto ambiental. Além disto, sabe-se que a incineração deste material produz gases tóxicos provenientes da combustão do plástico.

#### 2.5.1 Estrutura da Embalagem

As embalagens acartonadas de 28 gramas, utilizadas para envase asséptico após o processo de ultra-pasteurização, são compostas por papel (cartão), plástico (polietileno de baixa densidade) e alumínio. O papel duplex (fibra longa) corresponde a 75% da embalagem, o alumínio 5%, e o plástico 20% (Figura 5). O papel usado nas embalagens é produzido a partir de fibras de celulose encontradas em madeiras de pinus, o polietileno é produzido a partir do petróleo, e o alumínio é extraído do solo, de uma rocha chamada bauxita (TETRA PAK, 2004).

##### Identificação dos componentes

- 1. Polietileno:** Protege contra a umidade exterior.
- 2. Papel:** Para estabilidade e resistência.
- 3. Polietileno:** Camada de aderência.
- 4. Folha de alumínio:** Barreira contra oxigênio e luz (proteção ao aroma).
- 5. Polietileno:** Camada de aderência.

## 6. Polietileno: Protege o líquido.

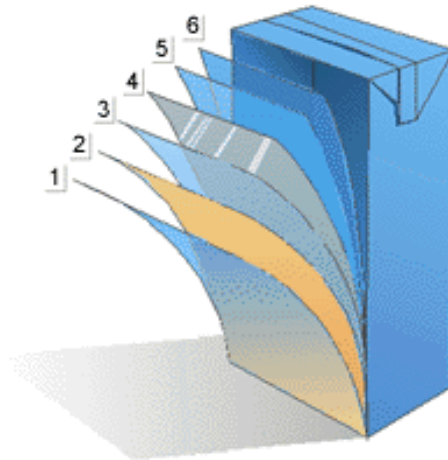


Figura 5: Estrutura da unidade. (Fonte: Tetra Pak, 2004).

Estas camadas criam uma barreira que impede a entrada de luz, ar, água e microorganismos e, ao mesmo tempo, não permitem que o aroma dos alimentos deixe a embalagem (TETRA PAK, 2004).

Um dos objetivos das embalagens é proteger o seu conteúdo, e neste sentido, a embalagem composta mantém bactérias e outros microorganismos longe de alimentos. A embalagem, ademais, facilita a distribuição e o armazenamento dos produtos. Com uma embalagem composta, o alimento pode ser mantido sem refrigeração, economizando energia da geladeira e de caminhões frigoríficos. Desta forma, economiza recursos naturais e gasto de combustível durante o transporte.

### 2.5.2 Caracterização do Produto

De acordo com Schmutzler (2001), a Tetra Pak® reprocessa, atualmente, 15% das embalagens, destruindo-as e vendendo os resíduos para fábricas de plástico e de papelão.

“Essas seis bilhões de unidades poderiam, se reaproveitadas, garantir 375 milhões de metros quadrados de isolante térmico, o suficiente para 40 mil pequenas moradias. Para cada metro quadrado de manta, são necessárias 16 caixinhas de leite”.

Contudo, questiona-se a afirmação do autor, quando apresenta o valor de apenas 9,3 m<sup>2</sup> por moradia.

No Brasil, as embalagens compostas representam 0,2% de lixo doméstico produzido (Tetra Pak, 2004). Hoje, as embalagens são comercializadas com valores em torno de R\$50,00 a R\$140,00, por tonelada (CEMPRE, 2004).

Numa avaliação deste material, constatou-se que a embalagem é combustível por ser um composto em que predominam papel e polietileno. Desta forma, quando queimado, o fogo se alastra com combustão completa da embalagem, separando a camada de alumínio. Em testes realizados de superaquecimento da embalagem, foi apoiada uma embalagem diretamente sobre uma lâmpada de 100W, onde não houve formação de chama, apenas uma lenta queima em uma área limitada na camada de papelão. Como o alumínio tem baixa emissividade (aproximadamente 5%), e é um bom condutor de calor, este se propaga rapidamente por uma grande área, não havendo nenhum ponto de superaquecimento, e também impedindo a formação de um ponto de labareda, devido à impossibilidade de entrada de oxigênio (LABAKI, Lucila Chebel; OLIVEIRA, Mariela Cristina Ayres de; CIOCHI, Fabio Alves, 2003).

#### 2.5.2.1 Processos de Reciclagem para as Embalagens

É crescente o uso de fibras recicladas de embalagens LV, pois se trata de uma matéria-prima que possibilita o aproveitamento de toda a embalagem. Atualmente, existem várias tecnologias disponíveis para a reciclagem de embalagem LV. Segundo dados fornecidos pela empresa Tetra Pak (2004), a principal é o aproveitamento do papel, porém há várias possibilidades de tecnologias que recuperam energeticamente o polietileno e obtêm o alumínio metálico (Figura 6).

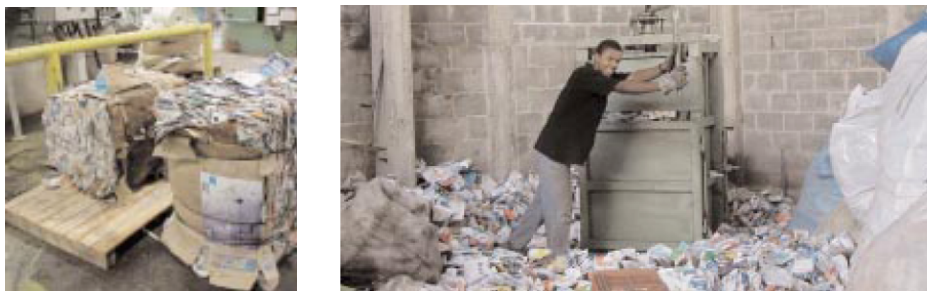


Figura 6: Unidades de LV, material reciclável (Fonte: Relatório Ambiental - 2002/2003)

A reciclagem das fibras e do alumínio/polietileno que compõem a embalagem começa nas fábricas de papel, em um hidrapulper<sup>7</sup> (Figura7). Durante a agitação do material com água, as fibras são hidratadas, isto é, absorvem água, separando-se das camadas de alumínio e polietileno. Sabe-se que é necessário um tempo de resistência de 30 a 40 minutos, para que as fibras presentes na embalagem se destaquem e fiquem suspensas, possibilitando a retirada por bombeamento (figura 8). Sua desagregação não requer o uso de qualquer aditivo químico ou térmico no processo (Tetra Pak, 2006). Em seguida são higienizadas. Após a purificação, podem ser usadas para a produção de papel reciclado utilizado na confecção de caixas de papelão, por exemplo.

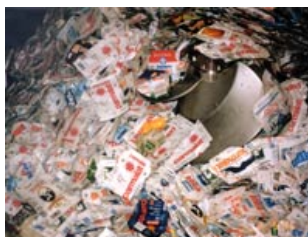


Figura 7: Hidrapulper - Início do processo. Em alta consistência antes da desagregação. (Fonte: Tetra Pak, 2005).

---

<sup>7</sup> Equipamento industrial, responsável pela separação das diversas camadas de material, semelhante a um grande liquidificador.

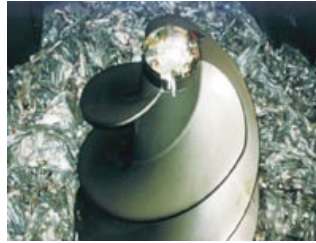


Figura 8: Hidrapulper - Final do processo. Após a desagregação. (Fonte: Tetra Pak, 2005)

O material restante, composto de alumínio e polietileno, pode ser destinado às fábricas de processamento de plástico ou reciclado através de um processo de termo-injeção, ou de um processo de rotomoldagem, através do qual, este pode ser usado para produzir peças plásticas, como cabos de pá, canetas, réguas, coletores, *pallets* e outros (Tetra Pak, 2004).

O processo de reciclagem da embalagem torna-se economicamente viável, pois as fibras das embalagens apresentam alto valor para a indústria de papel e papelão, que pode utilizá-las como matéria-prima para produção de caixas de papelão, papel *kraft*, entre outros. As outras camadas são utilizadas em fábricas de plástico como alternativa de uso do polietileno de alta densidade ou na produção de telhas.

As Telhas (Figura 9) podem ser fabricadas a partir do polietileno e do alumínio restantes da reciclagem primária das embalagens (fase em que são extraídas as fibras de papel) que vêem nela uma alternativa de substituição de telhas de fibrocimento. Com as mesmas características de produção, são confeccionadas chapas, placas não onduladas, com grande resistência mecânica. Estas placas, são muito procuradas pela indústria moveleira, para a fabricação de encostos e painéis, e pela construção civil, na utilização de tapumes de obras.



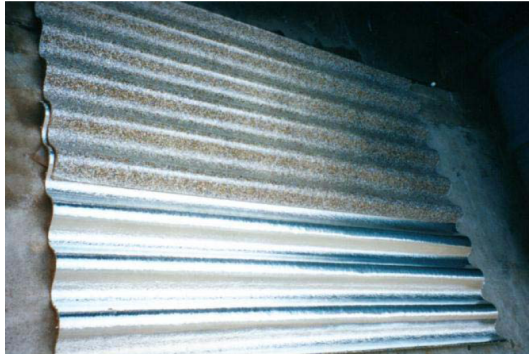


Figura 9: Telha ondulada (Fonte: Tetra Pak, 2004)

Atualmente, diversas empresas utilizam essa tecnologia: Ecoways, em Itupeva (SP); Ecoplac, em Iracemápolis (SP); Ecofuturo, em Campinas (SP); Ibaplac, em Ibaté (SP); Reciplac, em Limeira (SP); Eco Industrial, em Cuiabá (MT); Ibicunha, em Marialva (PR) e Ecoformas, em Rio das Pedras (SP) (TETRA PAK, 2004).

Existem testes para a re-produção de embalagens com fibras recuperadas após o consumo. Entretanto, há um limite para a adição de fibras recicladas a fim de não afetar a estrutura da embalagem. Quando a fibra de celulose é reciclada, ocorre a diminuição em seu comprimento, isto é, ela é cortada durante o processamento dentro das máquinas de reciclagem. Isso causa diminuição na qualidade do papel, impedindo que a embalagem nova seja produzida com cartão 100% reciclado. Além disso, as embalagens são para alimentos e, no Brasil, os papéis e plásticos, em contato com alimentos não devem ser provenientes de reciclagem, conforme legislação em vigor (TETRA PAK, 2004).

Outra tecnologia, desenvolvida no país para a reciclagem de embalagem LV, é o trabalho com o processamento do composto de plástico e alumínio em um forno de plasma. O sistema aquece a mistura de plástico e alumínio em uma atmosfera sem oxigênio (que preserva a qualidade do alumínio). Neste processo, o plástico se quebra em moléculas, transformando-se em parafina e o alumínio se funde, tornando-se matéria-prima pura novamente, que pode voltar a ser folha para uso em embalagens LV.

### 2.5.3 Reuso de LV na Construção Civil

“A habitação com qualidade é uma necessidade que deve ser satisfeita sem o comprometimento dos ecossistemas existentes. A consciência quanto à finitude dos recursos naturais e a degradação ambiental fomentada pela construção civil vêm despertando preocupação, principalmente pelo déficit habitacional de 5,4 milhões de novas habitações” (CREA-RJ, 2005).

A questão ambiental, atrelada à gestão empresarial, é vista como uma necessidade de sobrevivência num mercado competitivo, bem como preocupação, no que diz respeito à proteção de ciclos renováveis.

A utilização de resíduos sólidos urbanos, como, no caso, o uso de LV na construção civil, dedica-se ao estudo de obtenção de novos produtos com matéria-prima facilmente adquirida, oferecendo maior relevância, tanto do ponto de vista ambiental, como do social e econômico.

A habitação com qualidade é uma necessidade a ser adquirida, levando as empresas colaboradoras a assumirem uma postura ética e de valorização do meio ambiente. A aplicação de subproduto não pode ser avaliada como modismo, mas como necessidade de sobrevivência dentro de um mercado competitivo e uma sociedade mais atenta aos seus direitos como consumidora e cidadã.

### 2.5.4 Materiais Alternativos na Construção

Para Freire (2003), a tecnologia alternativa engloba os conceitos e sistemas construtivos alternativos, remetendo ao conceito de tecnologia apropriada. Com isso, o fato de “não possuir normas técnicas específicas regulamentando a sua utilização” leva o pesquisador a criar métodos próprios e originais, ou adotar, por analogia, normas técnicas aplicáveis a materiais convencionais, adaptando-as ou utilizando-as de acordo com as novas necessidades.

O Ministério do Orçamento e Gestão – MOG, juntamente com a Caixa Econômica Federal - CEF e o Instituto de Tecnologia e Qualidade da Construção - ITQC elaboraram um manual de avaliação tecnológica, no qual estabelecem critérios para avaliação de propostas de inovações tecnológicas para fins de emissão da Aceitação Técnica FDS (Fundo de Desenvolvimento Social).

No Brasil, não existe “cultura tecnológica consolidada para o desenvolvimento de novos produtos para a construção civil”. O ITQC, em parceria com a Secretaria de Política Urbana do Ministério do Orçamento e Gestão, elaborou uma documentação que apresenta de forma simplificada, e baseada na metodologia disponível de avaliação de desempenho de edificações, com o intuito de atender às diretrizes específicas do Programa de Apoio à Utilização de Materiais e/ou Sistemas de Construção Alternativa. Desta forma, combina critérios classificatórios com eliminatórios, possibilitando classificar as tecnologias segundo a sua competitividade, agrupando as exigências metodológicas em nove itens de avaliação, quais sejam: custo, segurança estrutural, segurança ao fogo, estanqueidade, durabilidade e manutenção, desempenho térmico, desempenho acústico, adequação ao projeto e gestão de qualidade (FREIRE, 2003).

## 2.6 RACIONALIZAÇÃO DA CONSTRUÇÃO

Para Rosso (1980), pode-se entender por racionalização de um processo de produção como sendo um “conjunto de ações reformadoras que se propõem substituir as práticas rotineiras tradicionais por recursos e métodos baseados em raciocínio sistemático, visando a eliminar a casualidade nas decisões”.

Lordsleem (2001) entende, por racionalização da construção, a otimização dos recursos disponíveis na construção em todas as fases. É um meio diferenciado da alvenaria tradicional, caracterizado por grande desperdício devido à adoção de soluções construtivas no próprio canteiro de obras, a ausência de fiscalização dos serviços e deficiência no processo de padronização de produção e ausência de planejamento prévio à execução.

Henrique Cambiaghi (diretor da Asbea - Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura)<sup>8</sup> comenta que os pré-fabricados foram bastante difundidos no Brasil até a década de 1980, especialmente em galpões e indústrias devido à sua linguagem arquitetônica pesada.

---

<sup>8</sup> Texto resumido a partir de reportagem de Nanci Corbioli. Publicada originalmente em **PROJETODESIGN** Edição 256 Junho 2001.

O uso de pré-fabricados impõe o conhecimento técnico profundo de cada item empregado e a consciência de que será preciso trabalhar em equipe desde o desenvolvimento da idéia inicial, para que os projetos de arquitetura, estrutura, esquadrias, instalações e ar condicionado sejam compatíveis.

As paredes de alvenaria são mais tradicionais e freqüentes elementos empregados na construção de uma edificação, alcançando apenas 6% do custo total da obra. A racionalização leva em consideração sua inter-relação com o conjunto das esquadrias, das instalações elétricas e hidrossanitárias e dos revestimentos (LORDSLEEM, 2001).

Além do estudo possibilitar a utilização do resíduo de LV em painel de vedação e subcobertura, com a proposta de industrializar o processo de fabricação, a embalagem LV trata-se de material refletivo para a cobertura, bem como para o painel de vedação devido a presença do alumínio como camada interna da embalagem. Como as superfícies metálicas têm uma emissividade muito baixa, diminui significativamente o calor irradiado na edificação. Trata-se de um assunto a ser abordado nos tópicos seguintes.

## 2.7 CONFORTO TÉRMICO NA ARQUITETURA

A adequação da arquitetura ao clima de um determinado local significa construir espaços que proporcionem ao homem condições de conforto. A arquitetura contribui para amenizar as sensações de desconforto causadas por climas muito rígidos, calor em excesso, frio e vento.

São vários os fatores climáticos que interferem no desempenho térmico dos espaços construídos, como, por exemplo, oscilação da temperatura, umidade relativa, quantidade de radiação solar incidente, nebulosidade do céu, índices pluviométricos, sentido dos ventos, entre outros (FROTA; SCHIFFER, 1995).

A racionalização do uso de energia apresenta estreitos laços com a adequação da arquitetura ao clima, reduzindo e, até mesmo, evitando os sistemas de condicionamento artificial de ar, tanto para aquecer quanto refrigerar ambientes.

O processo criativo está implícito a uma nova proposta, um método de previsão de desempenho térmico. Responsáveis na área da construção têm a

obrigação de fornecer melhor conforto aos seus usuários, propondo melhor adequação projetual, bem como aplicação de sistemas isolantes em habitações.

### 2.7.1 Radiação Ambiental

Para melhor compreender o uso de barreiras radiantes em edificação é apropriado comentar a radiação que faz parte do ambiente. A necessidade de radiação é importante para toda a vida na terra, seja ela através da fotossíntese garantindo alimentação, fibras e combustível, ou através dos processos térmicos e fotovoltaicos, nos processos de eletricidade e calor. A atmosfera pode ser considerada uma gigantesca máquina térmica, alimentada pela energia oriunda do sol, responsável por 99,97 da energia utilizada na Terra (INCROPERA; WITT, 1990).

Para que o homem viva de maneira saudável é importante que tenha conforto térmico no meio em que vive. De acordo com Ashrae, o conceito de conforto térmico se dá a um “estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa” (apud, LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

### 2.7.2 Transferência de Calor

Segundo Incropera e Witt (1990), transferência de calor é o transito de energia provocado por diferenças de temperatura (Figura 10).

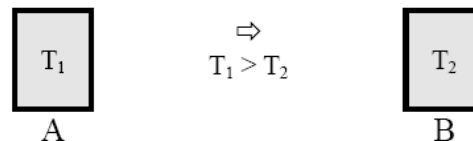


Figura 10: Condição para a transferência de calor (Fonte: INCROPERA; WITT, 1990).

O corpo A cede parte de sua energia térmica, o que provoca uma redução de sua temperatura enquanto o B, ao assimilar esta energia térmica, aumentará sua temperatura. O processo continua até que as temperaturas se igualem ( $T_1 = T_2$ ), ou seja, até que se atinja o equilíbrio térmico.

Toda vez que ocorre esta diferença de calor entre dois meios, ou vários meios, esta transferência de calor ocorre obrigatoriamente por *condução*, *convecção* e *radiação*.

Onde, segundo Costa (1982):

**Condução:** É a passagem de calor de uma face para outra de um mesmo corpo ou de diversos corpos, devido ao movimento molecular deles, sem que se verifiquem deslocamentos materiais dos corpos. A velocidade desta vibração é maior quanto mais elevada for a temperatura. Sendo que este movimento permite um intercambio de energia cinética entre as moléculas.

**Convecção:** É a passagem de calor de uma face para outra de um fluido por efeito do movimento das partículas, movimento esse provocado pela diferença de pressão ocasionado pela diferença de temperatura, desta forma, diferença da densidade da massa fluida considerada.

**Radiação:** Todos os corpos emitem energia calorífica sob a forma de radiação semelhante à da luz, onde a quantidade depende da sua natureza e temperatura. Então, a radiação é a transmissão de calor verificada entre dois corpos de temperaturas diferentes, imersos em um meio mais ou menos transparente a essa espécie de radiação.

Segundo Frota e Schiffer (1995), o sol é uma importante fonte de calor que incide sobre uma edificação, representando certo ganho de calor, que será a função da intensidade da radiação incidente e das características térmicas dos paramentos do edifício.

Eis, como exemplo, a transferência de calor em parede plana (Figura 11):

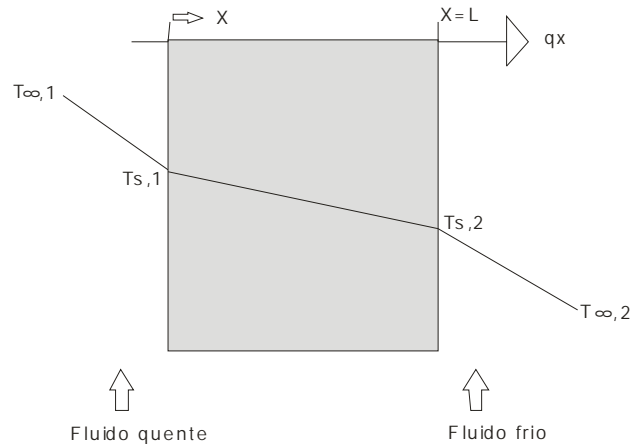


Figura 11: Transferência de calor em parede plana. (Fonte: INCROPERA; WITT, 1990).

A transferência de calor, neste exemplo, ocorre:

- por convecção do fluido quente a  $T_{\infty,1}$  para o lado da parede  $T_{s,1}$ ;
- por condução através da parede;
- por convecção através da outra face da parede a  $T_{s,2}$  para o fluido frio a  $T_{\infty,2}$ .

Para parede composta, a transferência de calor é dada em camadas diferentes, como mostra a Figura 12.

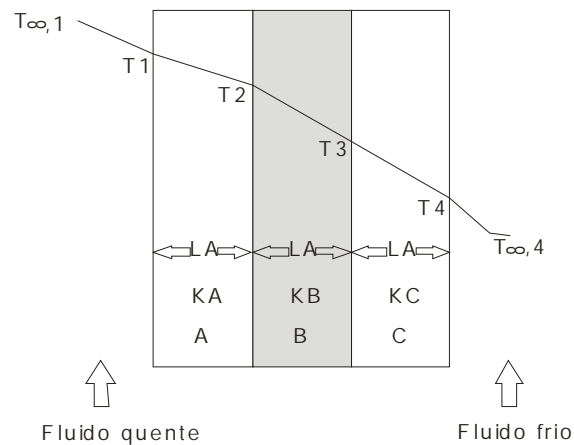


Figura 12: Transferência de calor em parede composta. (Fonte: INCROPERA & WITT, 1990).

A transmitância térmica pode ser determinada através dos procedimentos apresentados pelo Projeto 02:135.07-002 (1998) de Norma da ABNT: Desempenho

térmico de edificações - Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações.

Então, a diferença entre temperatura externa e interna, traduzir-se-á na troca de calor entre as superfícies, onde a troca de calor será por condução e a intensidade do fluxo de calor dependerá da condutividade térmica ( $\lambda$ ). A condutividade térmica é a propriedade que depende da densidade do material e representa a sua capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de calor por unidade de tempo. Abaixo, alguns exemplos de condutividade térmica de materiais:

Concreto = 1,50 (W/mK),

Tijolo = 0,65 (W/mK),

Madeira = 0,14 (W/mK),

Isopor = 0,03 (W/mK).

Quanto maior for o valor da condutividade térmica, maior será o valor de calor transferido entre as superfícies.

As trocas de calor em uma vedação podem ser reduzidas com o emprego de materiais com baixas condutividades, ou construir fechamentos com múltiplas camadas, sendo uma delas constituída de câmara de ar. Na câmara de ar, as trocas térmicas são normalmente por convecção e radiação. A convecção dependerá da inclinação do fechamento e da direção do fluxo (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

A troca térmica por radiação depende da emissividade da superfície do material em contato com a camada de ar ( $\epsilon$ ).

A emissividade é uma propriedade física dos materiais que diz qual a quantidade de energia térmica que é emitida por unidade de tempo. Esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor. A embalagem LV é um material de baixa emissividade, justificando o estudo da transferência de calor nas paredes de vedação e cobertura.



A absorção da radiação térmica na superfície dos materiais é função da quantidade de elétrons livres presentes (MODEST, 1993). Nos materiais condutores de eletricidade, como os metais, há uma grande quantidade de elétrons livres que fazem com que seja refletida grande parte da energia térmica incidente, resultando em pequena absorção e, portanto, pequena emissão de energia térmica. Nos materiais não condutores há poucos elétrons livres e a absorção da energia térmica se dá em grande quantidade no reticulado estrutural do material. (VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. 2003).

Como a maioria dos materiais de construção civil é de natureza não metálica, como, por exemplo, pinturas, concreto, madeira, absorve grande parte da energia térmica de onda longa incidente e a irradia novamente para o ambiente.

Os materiais de construção são organizados em categorias bem definidas: os materiais metálicos, que apresentam emissividade compreendida entre 0,05 a 0,30, e os não metálicos, com emissividade entre 0,85 a 0,90. Abaixo a emissividade (•) de alguns materiais:

alumínio polido = 0,05,

ferro galvanizado= 0,20,

demais materiais de construção = 0,90.

Entretanto, vale destacar que, se, por exemplo, uma chapa metálica cuja emissividade for de 0,20 for pintada com tinta não-metálica de qualquer tipo, sua emissividade passará a ser de 0,90.

A radiação incidente em uma vedação opaca terá uma parcela refletida e outra absorvida, sendo que o valor dependerá da refletividade (•) e da absorvidade (•) do material. Então:  $\bullet + \bullet = 1$ .

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (1997), os materiais de construção são seletivos ante a radiação de ondas curtas (radiação solar), considerando que a principal determinante é a sua cor superficial, como, por exemplo:

tons escuros = 0,7 a 0,9,

tons médios (tijolos) = 0,5 a 0,7,

tons claros = 0,2 a 0,5.

### 2.7.3 Radiação de Corpo Negro

O corpo negro é uma superfície ideal, que absorve toda a radiação incidente, independentemente do seu comprimento de onda e direção.

Para uma dada temperatura e comprimento de onda, nenhuma superfície pode emitir mais energia do que um corpo negro. Embora a radiação emitida por um corpo negro seja em função do comprimento de onda e da temperatura, ela é independente da direção. Isto é, o corpo negro é um emissor difuso.

## 2.8 CONFORTO TÉRMICO

Segundo Corbella e Yannas (2003), uma pessoa está em conforto com um acontecimento ou fenômeno quando pode observá-lo ou senti-lo sem preocupação ou incômodo. Desta forma, uma pessoa está em um ambiente físico confortável quando se sente em neutralidade em relação a ele.

Para a habitação, o objetivo de um projeto de arquitetura é promover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, sendo ele adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia, com menor utilização de potência térmica, garantindo, assim, um projeto sustentável com a mínima produção de poluição.

Para Corbella e Yannas (2003), controlar os ganhos de calor seria interessante para minimizar a energia solar que entra pelas aberturas, minimizar as energias absorvidas pelas paredes externas, colocar isolamento térmico nas superfícies mais castigadas pelo sol (paredes ou teto). "A radiação que ingressa pelas aberturas é absorvida, em parte nas superfícies do chão ou das paredes, convertendo-se em energia térmica."

Essa energia térmica eleva a temperatura da superfície, emitindo mais energia infravermelha para os outros elementos de construção. Assim, aquece todo o ar do ambiente. “A energia solar que é absorvida nas superfícies das paredes externas se converte em calor, que aumenta a temperatura desta superfície” (CORBELLA; YANNAS, 2003). O desempenho térmico das paredes se dá quando a condição essencial para a transmissão de calor e que os corpos tenham temperaturas diferentes.

### 2.8.1 Sistemas Isolantes

Os isolantes térmicos são constituídos, segundo Incropera e Witt (1990), por material de condutividade térmica baixa, é uma regra quase geral, diminui com a elevação da massa molecular. Na análise de transferência de calor, a razão entre condutividade térmica e capacidade calorífica é uma importante propriedade denominada *difusidade térmica*  $\alpha$ , assim:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p}$$

Esta propriedade mede a relação entre a capacidade do material em conduzir energia térmica e sua capacidade de acumulá-la.

#### 2.8.1.1 Isolamento Térmico – Conceito

Segundo Torreira (1980), o isolamento térmico é o processo através do qual se obtém a isolação térmica de um sistema físico pela aplicação adequada de material isolante térmico.

Cunha e Neumann (1979), afirmam que “o isolamento térmico proporciona conforto porque mantém estável a temperatura nos ambientes, reduz o aquecimento no verão e o esfriamento no inverno”.

Sua finalidade é dificultar, reduzir e minimizar a transferência de calor entre dois sistemas físicos que se encontram em níveis diferentes de temperatura. Torreira (1980) comenta, também, que a técnica da isolação térmica consiste também na utilização de materiais ou de sistemas que imponham resistência do calor se propagar, diminuindo a velocidade de transmissão e a quantidade por unidade de tempo. A utilização deste material será coerente com a transmissão de calor.

### 2.8.1.2 Análise da Eficiência Energética, Característica e Aspecto Físico.

A emissividade é a capacidade relativa de um material de emitir energia radiante, definida como quociente da taxa de radiação emitida pela superfície real, pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura. A radiação térmica é por natureza uma radiação eletromagnética, com comprimentos de onda de aproximadamente 1000nm. Quando um corpo recebe radiação emitida por outro, uma parte será absorvida e outra refletida. Em geral, quanto mais escura a superfície, maior sua absorptância e emissividade. Superfícies metálicas são consideradas pouco absorvedoras, e assim sendo, muito refletoras. A emissividade da superfície dos componentes construtivos varia de 0.05 a 0.95 (LABAKI, Lucila C.; OLIVEIRA, Mariela Cristina A.; CIOCHI, Fabio A. 2003).

Como componente da edificação, a câmara de ar apresenta uma resistência à passagem do calor, a qual depende da espessura e das características das superfícies que a envolvem. A transferência de calor em camadas de ar não ventiladas ocorre por radiação da superfície, da mais aquecida para a mais fria, por condução através do ar parado pegado às superfícies, e por convecção de ar confinado. Segundo Lamberts (2005, pág. 109), a resistência térmica do forro governa a condução de calor para dentro da casa.

Na construção, os materiais de vedação de uma edificação se comportam de maneira diferente diante da radiação solar, segundo sua capacidade ou incapacidade de transmitir radiação solar para o ambiente interno. Para um fechamento opaco, a transmissão de calor acontece quando há uma diferença de temperatura entre as superfícies interior e exterior. Seu sentido se dá da superfície mais quente para a mais fria (LAMBERTS, DUTRA, PEREIRA, 1997).

Ao comentar a importância de garantir melhor conforto térmico aos usuários de uma edificação, sem a necessidade de um condicionamento artificial de ar, constata-se a necessidade de racionalizar o consumo de energia, evitando o desperdício e adequando a tendência ambiental internacional. A eficiência energética é um dos pré-requisitos necessários a serem atendidos para alcançar a sustentabilidade.

## 2.9 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

A primeira iniciativa no âmbito de legislações efetivamente instituídas para promover a eficiência energética no país não foi consequência direta da Eco-92 ou do Protocolo de Kyoto, mas surgiu devido à crise de energia de 2001, quando foi sancionada a Lei N°. 10.295, de outubro de 2001, que “dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia” (BRASIL, 2001a). O artigo 4º desta lei afirma que “o Poder Executivo desenvolverá mecanismos que promovam a eficiência energética nas edificações construídas no País”. Dois meses depois a regulamentação foi publicada sob forma do Decreto 4.059 de 19 de dezembro de 2001, indicando, no artigo 1º, que “os níveis máximos de consumo de energia, ou mínimos de eficiência energética, (...), bem como as edificações construídas, serão estabelecidos com base em indicadores técnicos e regulamentação específica (...)” (BRASIL, 2001b). Com relação a edificações, o decreto estabelece que devem ser propostos:

“I - a adoção procedimentos para avaliação da eficiência energética das edificações;

II - indicadores técnicos referenciais do consumo de energia das edificações para certificação de sua conformidade em relação à eficiência energética; e

III - requisitos técnicos para que os projetos de edificações a serem construídas no país atendam os indicadores mencionados no item anterior.”(BRASIL, 2001b).

A deficiência térmica de uma edificação é compensada pelo sistema de climatização, sistema este consumidor de energia. Estas variáveis são a transmitância térmica dos elementos opacos (paredes externas e coberturas), a capacidade térmica destes elementos, o fator solar dos vidros, o fator de projeção do dispositivo de sombreamento sobre o vão da janela e a cor dos elementos opacos. Outras variáveis são cargas térmicas geradas internamente, que são fontes de calor provenientes da ocupação, do sistema de iluminação e do sistema de equipamentos. Destes, a única passível de ser regulamentada é a densidade de potência instalada do sistema de iluminação. A Figura 13 mostra estas variáveis.

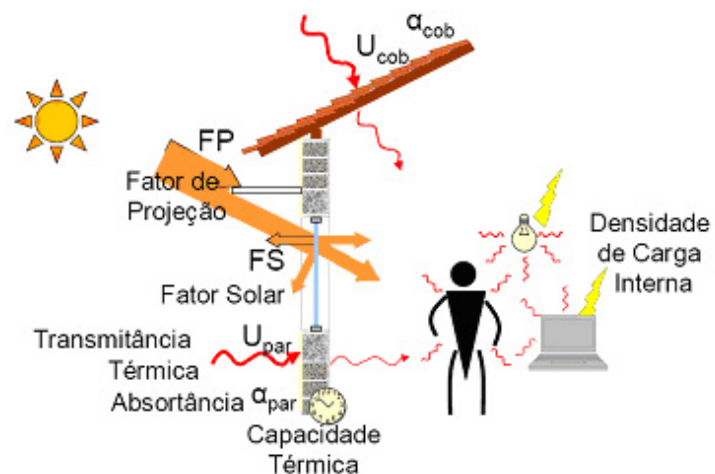


Figura 13: Variáveis de desempenho térmico em uma edificação (Fonte: LAMBERTS, et.. al. 2005).

A construção civil é um setor produtivo que exige muito dos recursos naturais tanto durante a sua atuação (obra) quanto depois de acabada (edificação), quando o consumo de energia elétrica, de gás natural ou de qualquer outra fonte de energia continua a depender da exploração dos recursos naturais (LAMBERTS, et al., 2005).

## 2.10 PAINEL DE VEDAÇÃO

Para Brow e Dekay (2004), há três estratégias básicas para local um isolamento térmico. Na primeira, o isolante pode estar contido dentro de uma cavidade da vedação; na segunda, pode ser aplicado na superfície da vedação, e, na terceira, o isolamento e estrutura são integrados, sem emolduração.

“Com níveis de isolamento moderado, com pequena espessura, quando o elemento isolante é embutido nos elementos de emolduração, a espessura total da parede pode ser menor que das paredes de alvenaria, que só podem receber isolamento na superfície”.

Segundo Pironi (1979), o que diferencia um material de outro quanto à dificuldade de passagem de calor através de sua massa é devido à densidade, volume de ar ou gases aprisionados e quantidade de água incorporada.

- Densidade: quanto mais denso o material, mais conduz o calor.
- Volume de ar ou gases aprisionados: quanto maior o volume, maior será a resistência à passagem de calor.

- Quantidade de água incorporada: Material com alto poder de absorção de água é menos isolante quando encharcado, pois a água conduz mais calor em relação ao ar.

Certas construções com paredes com grande massa (tijolo ou pedra com espessuras maiores que 20 cm) auxiliam sensivelmente a estabilidade da temperatura dos recintos. Esse efeito pode igualmente ser obtido em paredes leves, porém com resistência térmica.

As paredes com grande resistência térmica ainda reduzem as trocas de calor com o meio externo, proporcionando maior conforto e/ou redução do consumo de energia no condicionamento do ar. Desta forma, este trabalho estuda alternativa para garantir conforto térmico pelas paredes de vedação com menores espessuras.

O trabalho está direcionado na elaboração de novos materiais para a construção civil na confecção - painel de vedação para habitações, e este, submete a pesquisa a dois diferenciados conceitos de reaproveitamento na construção civil, ambos fazendo uso da mesma matéria-prima - embalagens LV. O primeiro componente, confeccionado pela indústria produtora das embalagens Tetra Pak®, faz uso dos resíduos de embalagens como painel de vedação reciclado. O polietileno e o alumínio são submetidos a altas temperaturas, quando é possível a fusão à uma placa de madeira, sendo, posteriormente resfriados, formando, assim, placa, que possibilita a formação de uma parede plana.

O segundo componente em estudo fará uso da reutilização do material LV sem que haja o auxílio de nenhum mecanismo para a confecção de painel. São unidades reaproveitadas em sua forma original, caixas de leite higienizadas e novamente fechadas, e a junção de argamassa, substituindo o material cerâmico por estas unidades.

Ambos materiais têm a proposta de construção seca; é a industrialização do processo de fabricação dos painéis, sem necessidade de reparos ou perda de material, mesmo antes de chegar ao canteiro de obras. As construções em concreto pré-fabricado, por exemplo, estão presentes no mercado desde a

década de 60, mas a popularização do sistema cresceu nos anos 80, com as obras industriais, e nos anos 90, com as estruturas verticalizadas e grandes lajes (ROMAN, 2004).

As vantagens da construção pré-fabricada justificam a migração da construção convencional para este sistema, que vem crescendo a cada ano. São elas: rapidez e agilidade na construção, economia no custo total da obra e ausência de entulho na construção (conceito de obra limpa exigido pela Resolução CONAMA 307/02).

A utilização de painéis permite um rápido fechamento de fachadas, particularmente quando já vêm com os caixilhos incorporados. Otimizam economicamente os empreendimentos, na medida em que oferecem condições de ocupação das edificações em tempo menor que o dos fechamentos convencionais. Possibilitam uma combinação quase ilimitada de cores, texturas e formas, ou seja, liberdade de projeto.

Para Winch (1998), os produtos que chegam a canteiros de obras são cada vez mais industrializados, pois o tipo de produto irá determinar o tipo de processo construtivo a ser adotado. O surgimento de novos componentes, materiais e insumos tem sido uma das maiores origens de mudança de tecnologia construtiva.

#### 2.10.1 Elaboração do painel a partir da reciclagem de embalagem LV

O trabalho é embasado na produção dos painéis em estudo pela empresa Tetra Pak®, onde é proposto pela fusão das camadas de polietileno/alumínio a uma chapa de madeira (tipo compensado) sob pressão e posteriormente o resfriamento. Isso pode ser observado na Figura 14, a seguir.



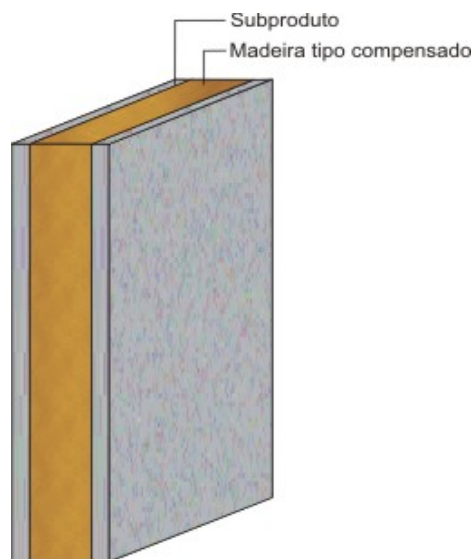


Figura 14: Esquema de uma placa que constitui o painel de vedação.

A confecção do painel, para esta pesquisa, teve como base, inicialmente, o estudo de um painel existente, conhecido como gesso acartonado, que será visto no item 2.10.2.

#### 2.10.1.2 Processo de fabricação das placas

Segundo Cerqueira (2005), primeiramente, o polietileno contendo o alumínio é triturado em uma menor granulometria utilizando moinhos de faca. A redução do material facilita sua fusão, possibilita melhor homogeneidade no produto concluído.

Após a trituração, os fragmentos são dispostos em formas, que, por sua vez, são colocadas em prensas, semelhantes às utilizadas na fabricação de chapas de compensado. Neste processo, porém, há a diminuição do número de formas, de 8 para 4 unidades, a uma temperatura aproximada de 180°C (Figura 15).



Figura 15: Prensa e forma utilizadas para a confecção de placas. (Fonte: CERQUEIRA, 2005).

Com a fusão do polietileno concluída, as placas passam por um processo de resfriamento, para a cura e endurecimento das camadas plásticas. As placas podem variar de 4 a 50mm, de acordo com a quantidade de material e da pressão aplicada. Para obter maiores espessuras, faz-se a reprensagem de diversas placas pré-formadas, colocando-as umas sobre as outras.

Com estes dados, pôde-se propor um novo painel de vedação para a construção civil. Quanto ao aspecto mecânico, impacto, resistência ao fogo e absorção de água, estão eles presentes no anexo (1 – 3), no final do trabalho. O painel composto pela reciclagem de unidades LV será submetido à comparação com o painel já comercializado, o gesso acartonado, que é rapidamente descrito no tópico a seguir.

#### 2.10.2 Gesso Acartonado

Neste trabalho, foi considerado um material comercializado como produto de referência, ou seja, painel de gesso acartonado, conhecido pelo fabricante, *Drywa//®*.

Este sistema, popularmente conhecido e produzido por empresas especializadas, faz uso de paredes internas não estruturais de edificação, não expostas a intempéries. As paredes são constituídas por chapas de gesso acartonado, pré-fabricadas a partir da gipsita natural, aparafusadas em uma estrutura metálica leve. A estrutura, em perfis de chapas zincadas, é constituída por guias e montantes, sobre os quais são fixadas as chapas de gesso acartonado, em uma ou mais camadas, gerando uma superfície apta a receber o acabamento final.

No próximo capítulo será apresentada a utilização de embalagem LV em painéis de vedação para melhor conforto térmico nas edificações, que contribuirá com uma proposta de produção de componentes para a construção civil. Será avaliada a utilização de isolamento térmico, principalmente o alumínio que compõe a embalagem como sendo um material de baixa emissividade. A embalagem é empregada em painel de vedação e em manta isolante para cobertura, promovendo melhor conforto térmico, baixo custo energético e, principalmente, melhor qualidade de vida a seus usuários.

### **3 UTILIZAÇÃO DE EMBALAGEM LV NA CONSTRUÇÃO CIVIL (PAINEL E SUBCOBERTURA)**

Ante a necessidade de proporcionar bom desempenho térmico, a proposta se refere à aplicação de embalagem LV, resíduo de material composto como componente de construção, garantindo o mesmo ou semelhante índice de conforto, promovendo adequado isolamento térmico nas habitações.

Segundo Cunha e Neumann (1979), os materiais isolantes são aplicados nas coberturas das edificações, fachadas e paredes, câmaras frigoríficas ou recintos climatizados. A seguir, verifica-se a proposta de painel de vedação com aplicação de isolante térmico nas edificações.

#### **3.1 PAINEL RECICLADO**

As paredes são constituídas pela fusão do alumínio e do polietileno com uma chapa de madeira. A madeira que compõe o painel é do tipo compensado, proposta pela empresa produtora.

##### **3.1.1 Aspecto Visual**

A confecção de um exemplar é importante para o desenvolvimento de um produto na busca da materialização da solução proposta, para a verificação da viabilidade construtiva, bem como para a importância do aspecto visual, além de possibilitar a realização de ensaios do desempenho térmico do painel.

A qualidade básica para a atração visual para qualquer tipo de produto é a sua aparência, resultante dos aspectos da percepção visual e determinantes sociais e culturais do produto (BAXTER, 1998).

Baxter (1998) completa que, muitos produtos dependem de vendas repetidas, para o sucesso comercial, onde não há “quebra de ligação” com os consumidores tradicionais. Mesmo que se trate de um novo produto, os consumidores devem identificar o tipo de produto através de uma imagem visual.

O estudo avalia as propriedades térmicas ao desenvolver um novo componente para a construção civil, porém, se comercializado sugere-se que seja um painel suficientemente atrativo, capaz de concorrer no mercado da construção civil.

As figuras 16 e 17 representam sugestões do que poderia ser o aspecto final de parede interna e externa.

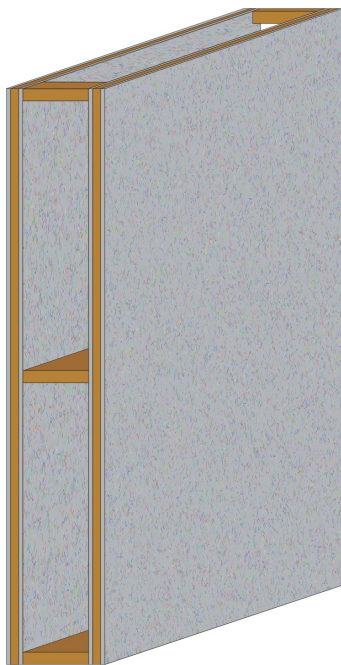


Figura 16: Painel de parede interna.

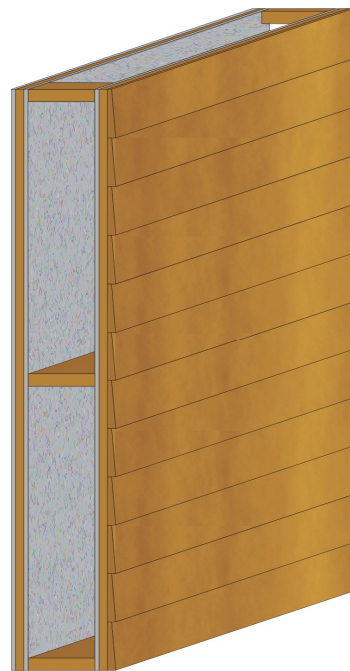


Figura 17: Painel de parede externa.

Reafirma-se que, o estudo limita-se a estudar as propriedades térmicas do painel, comparando-o com um similar facilmente encontrado no mercado - o gesso acartonado.

### 3.2 PAINEL LV+ ARGAMASSA

Para este estudo, foi elaborado um protótipo de painel usando-se embalagens LV do tipo caixas de leite de 1 litro. Inicialmente faz-se uma limpeza com detergente e água sanitária para a remoção de resíduos do leite, e em seguida, as caixas são novamente fechadas com fita isolante. O painel foi inspirado no modelo em estudo "Casa PET<sup>9</sup>" (Figura 18). Os painéis são moldados em formas estipuladas no estudo de peças pré-fabricadas com garrafas PET.

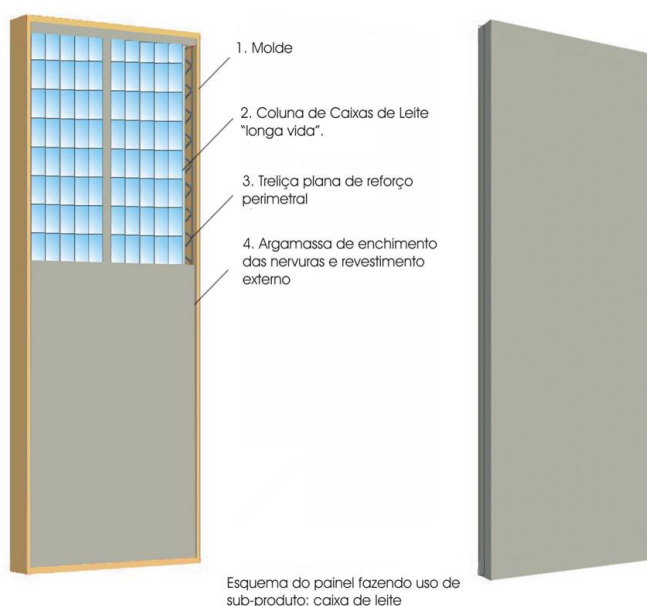


Figura 18: Esquema do painel que recebeu argamassa de preenchimento.

As unidades são enfileiradas, e cada caixa tem as medidas de 9,50 x 6,00 x 16,50cm, consumindo, com isto, o total 35 unidades/m<sup>2</sup>, totalizando 0,98kg/m<sup>2</sup>. Dado que em dezembro de 2006, a tonelada de resíduo de material LV custava em torno de R\$ 100, 00, conclui-se que, para se fazer um metro quadrado de painel, se gastaria aproximadamente R\$0,10 deste resíduo.

<sup>9</sup> Sistema construtivo com painéis pré-fabricados com garrafas plásticas recicladas para habitação de interesse social. PROVENZANO, T. (2006). Dissertação do programa de pós-graduação em arquitetura e urbanismo UFSC.

### 3.2.1 Montagem do Painel

Os painéis são compostos por duas camadas de argamassa e um núcleo isolante formado por caixas LV, que atuam como barreira térmica, melhorando o desempenho térmico das vedações.

Na fase de fabricação, os painéis poderão receber as instalações elétricas e hidráulicas, logo após a colocação das embalagens LV anteriormente unidas com fita adesiva. Num processo semelhante ao utilizado nas alvenarias estruturais com blocos de concreto ou cerâmico (Figura 19). É fundamental a elaboração do projeto arquitetônico, com a previsão dos locais onde serão posicionados os pontos elétricos e hidráulicos, com o intuito de racionalizar a confecção dos painéis, evitando rasgos que geram desperdícios, quanto à mão-de-obra e material.

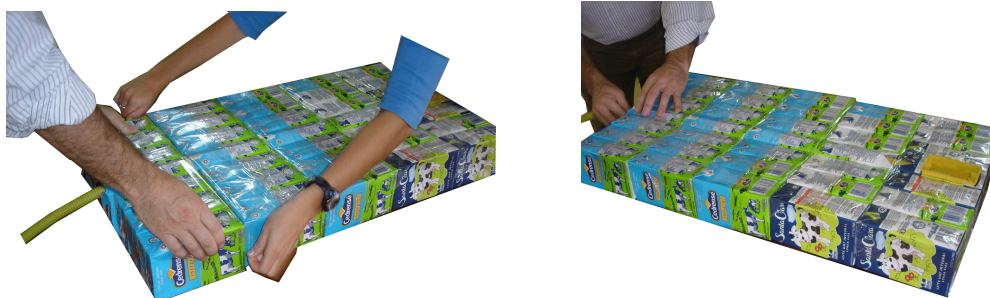


Figura 19: Preparação do painel. União das caixas LV, com a possibilidade de receber as instalações elétricas e hidráulicas na fase de fabricação.

Evidentemente, como pode se observar na Figura 20, para a fabricação do painel de parede com embalagens LV, é necessária a utilização de formas para se obter o formato e suas dimensões finais.



Figura 20: Forma, definição das dimensões.

O molde pode ser executado com diversos materiais, de acordo com as conveniências de escala de produção e a classificação, corte, limpeza e preparo das caixas que podem ser feitos por uma pessoa ou um grupo treinado.

Sobre o fundo do molde colocou-se 2cm de argamassa de cimento e areia com aditivo, traço 1:3, o painel com espessura de 9 cm é assentado (Figura 21). A dimensão efetiva do painel é 10mm menor para permitir a necessária tolerância na montagem, como preconizam as normas de coordenação dimensional. Posteriormente, deve ser ajustado na coordenação modular.



Figura 21: Colocação do painel na fôrma sobre argamassa. Colocação da treliça perimetral.



Para a montagem do painel, as caixas, já limpas, sem preenchimento e fechadas, são dispostas linearmente. Em todo o perímetro são colocadas armaduras de reforço CA-60 com diâmetro de 5mm na forma de treliças planas. São concretadas as nervuras perimetrais de reforço. Isso pode ser observado na Figura 22.



Figura 22: Aplicação da segunda camada de argamassa.

Quanto à finalização, a cura foi feita em um ambiente saturado com o uso de lona plástica.

Após 48 horas, foi feito o desmolde, apresentando, a Figura 23, o painel acabado. De painel em painel, têm-se os painéis modulares com acabamento e resultado final de uma parede feita de alvenaria convencional, possibilitando outros tipos de acabamento externo.

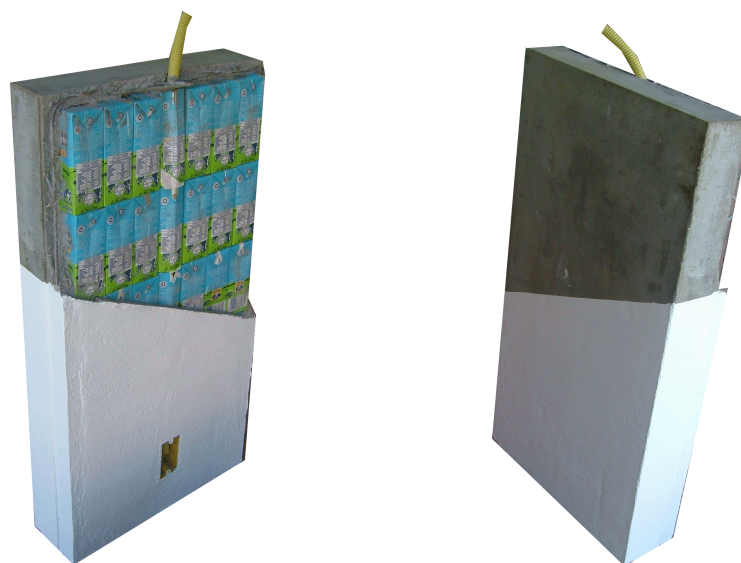


Figura 23: Aparência final

O Painel apresenta a espessura final de 13,5cm, onde, 9,5cm representando o tamanho da caixa e 2cm, em cada lado, o reboco (Figura 24).



Figura 24: Apresentação final, com detalhe para espessura da argamassa.

Por não ser o objetivo deste trabalho, a pesquisa não discute as questões relacionadas à resistência mecânica, sistemas de junção das placas para o fechamento das paredes e técnica construtiva.

### 3.3 ENSAIOS REALIZADOS EM PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Para a realização dos ensaios com os quais se verifica a medição da resistência térmica e da condutividade térmica foi utilizado o método fluximétrico, como bem o representa a NBR 1998: descreve o “método de utilização de técnicas

fluximétricas para medir a resistência térmica em regime estacionário através de corpos-de-prova na forma de placas planas, podendo-se deduzir por cálculo a condutividade térmica”.

O princípio do método fluximétrico, segundo Simioni (2005), é a submissão da amostra a um fluxo de calor, gerado por uma resistência aquecedora, alimentada por uma fonte de tensão regulável. A resistência aquecedora dissipa o calor na placa quente, que distribui o calor de forma uniforme em todo seu perímetro. O calor gerado pela resistência aquecedora atravessa o primeiro transdutor, posteriormente a amostra e, em seguida, o segundo transdutor.

O resultado da medição é a resistência térmica individual do corpo-de-prova submetido ao ensaio, sendo possível calcular sua condutividade térmica.

Trata-se de um método que necessita de uma pré-calibração da aparelhagem com o auxílio de corpos-de-prova cujas resistências térmicas (ou a condutividade térmica) tenham sido determinadas segundo o método absoluto da placa quente protegida, descrito no Projeto 02:135.07-004. Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

### 3.3.1 Descrição do Aparato

Para a análise térmica do painel é necessário um dispositivo experimental. O LMPT (Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas/UFSC) já dispõe deste aparato, que é baseado na Norma Técnica ISO 8301- 1991: "*Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus*", mostrado esquematicamente na figura 25.

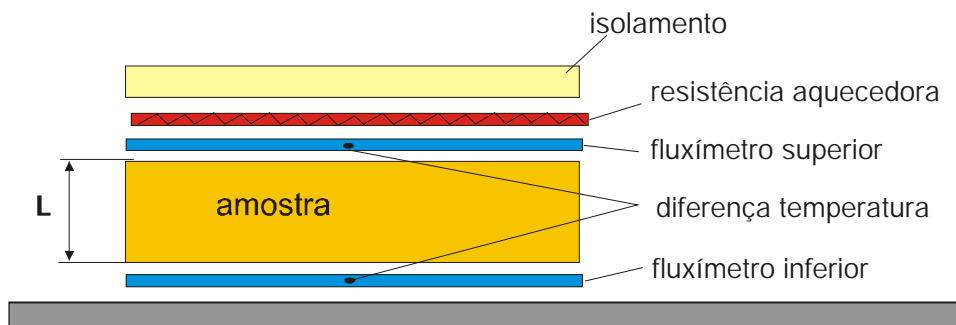


Figura 25: Medição da Condutividade Térmica. (Fonte: GÜTHS, et. al., 1995).

Para a análise, o aparato faz uso de um novo tipo de transdutor de calor, chamado de "gradiente tangencial", que, segundo GÜths et. al. (1995), consiste em desviar as linhas de fluxo de calor, de modo a gerar um gradiente de temperatura em um plano tangencial ao plano de medição (Figura 26).

O gradiente é medido por termopares planares e eletrodos depositados (realizados a partir de técnicas de fotogravura), ligados em série. Cada um dos termopares converte a diferença de temperatura em força eletromotriz, a qual pode ser medida e registrada durante a realização de um experimento (GÜTHS et. al., 1995).

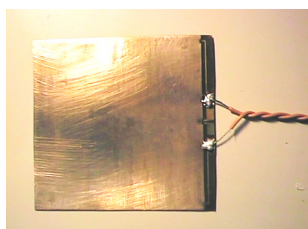


Figura 26: Transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial. (Fonte: GÜTHS et. al. ,1995).

Quanto à verificação das amostras, o empilhamento das placas é feito horizontalmente e com o fluxo de calor vertical ascendente, isto, segundo as posições das placas quente e fria.

Segundo GÜths (1990), é utilizada como área de medição, a área central do transdutor, pois se imagina que nas áreas periféricas, ocorram fugas de calor e uma área mais central, as linhas do fluxo sejam unidimensionais.

### 3.3.1.1 Fluxímetro

De acordo com o projeto de Norma (ABNT 1998), o fluxímetro compreende uma zona ativa, ou zona de medição, cercada de uma zona periférica servindo de suporte, com características térmicas similares.

A parte ativa do fluxímetro é constituída de um sensor que produz um sinal (em geral f.e.m) proporcional à densidade de fluxo de calor que o atravessa.

Para um fluxímetro dado, a lei de proporcionalidade, chamada curva de calibração, é normalmente uma reação direta entre o sinal e o fluxo de calor que o atravessa.

Sua geometria deve estar de acordo com as condições a seguir:

a) As dimensões laterais do fluxímetro devem ser menor ou igual ao dobro daquela da zona ativa e igualmente à dimensão lateral da menor das placas (quente ou fria);

b) O desvio de linearidade das faces do fluxímetro deve ser inferior a 0.025% da menor das suas dimensões laterais ou 0.1 mm, prevalecendo o maior dos dois valores;

c) A precisão de medição do sinal elétrico fornecido pelo fluxímetro deve ser menor do que 1% em toda a faixa de utilização do equipamento.

Quanto à emissividade das superfícies em contato com os corpos-de-prova deve ser ela pelo menos igual a 0,9.

#### Proteção contra as perturbações devido ao ambiente

As fugas térmicas periféricas do dispositivo de ensaio foram reduzidas por um isolamento térmico lateral.

### 3.3.1.2 Calibração do Fluxo de Calor

A calibração dos fluxímetros deve ser efetuada no próprio dispositivo com o auxílio de corpos-de-prova de referência que atendam a uma das seguintes condições:

a) As suas condutividades térmicas foram medidas pelo método da placa quente protegida conforme Projeto 02:135.07-004. Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo princípio da placa quente protegida.

b) Os fluxos provenientes de um lote de corpos-de-prova padrão devem possuir condutividade térmica conhecida.

Os ensaios de transferência de calor foram comprovados com uma unidade compacta de fibra de vidro com medias 303 x 301 x 37 mm. Os ensaios foram realizados pela *National Physical Laboratory (Teddington Middlesex TW11 0LW England)*. Esta análise pode ser conferida no Anexo 4.

A calibração foi efetuada num domínio (no mínimo) igual à faixa de temperatura de funcionamento e à faixa de fluxo de calor previsto, comprovando assim, a lei da proporcionalidade entre o sinal elétrico produzido ( $f_{em}$ ) e a densidade de fluxo de calor ( $q''$ ).

#### 3.3.1.3 Símbolos e unidades

De acordo com o Projeto 02:135.07-005. - Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico, aplicam-se as definições, símbolos e unidades conforme se vê na Tabela 3.

Tabela 3: Símbolos, definições e unidades.

Símbolo	Termo	Unidade
A	Área da zona ativa	m <sup>2</sup>
C	Calor específico	J/(kg.K)
E	Espessura do corpo-de-prova, medida perpendicularmente às superfícies isotérmicas	M
F	Constante de calibração do fluxímetro	W/(m <sup>2</sup> .K.V)
L	Dimensão lateral	m
M	Massa	kg
ΔM	Perda de massa	kg
q"	Densidade de fluxo de calor	W/m <sup>2</sup>
R	Resistência térmica	(m <sup>2</sup> .K)/W
T	Temperatura ambiente	K
ΔT	Diferença de temperatura	K
q	Fluxo de calor	W
λ	Condutividade térmica	W/(m.K)
ρ	Densidade aparente de massa	kg/m <sup>3</sup>
μ	Massa por unidade de superfície	kg/m <sup>2</sup>

Fonte: Norma de desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico (Dez. /1998).

A resistência térmica é determinada a partir da lei de Fourier:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{\left( \frac{q_1 + q_2}{2} \right)}$$

Na fórmula, o R é a resistência térmica (m<sup>2</sup> K/W), q<sub>1</sub> e q<sub>2</sub> a densidade de fluxo de calor medido pelos fluxímetros 1 e 2 (W/m<sup>2</sup>), e T<sub>1</sub> e T<sub>2</sub>, as temperaturas superficiais da amostra (GÜTHS, 2005).

Considerando que a amostra é homogênea, é possível determinar a condutividade térmica do material ( $\lambda$ ):

$$\lambda = \frac{L}{R}$$

onde  $\lambda$  é a condutividade térmica (W/m K) e L, a espessura da amostra (m).

Os ensaios foram realizados em dois aparatos que possuíam as mesmas características, porém em diferentes tamanhos. Para amostras maiores, com medidas de 30x30cm, e amostras menores de 10x10cm.

### 3.4 ENSAIO DE CONDUTIVIDADE TÉRMICA EM PLACAS 10X10 cm

Primeiramente foram confeccionadas amostras de placas 10x10cm e submetidas aos ensaios de condutividade de calor. Um aparato, como pode ser observado na Figura 27, com método fluximétrico com tamanho 10x10cm aferiu as seguintes amostras:

**Amostra A** - placa composta pela junção de alumínio e polietileno;

**Amostra B** - placa composta por madeira e duas camadas periféricas de alumínio e polietileno;

**Amostra C** - placa de gesso acartonado.

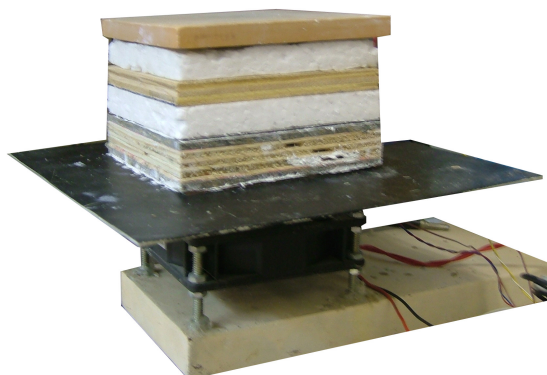


Figura 27: Avaliação da placa (madeira/polietileno/alumínio), na análise da condução de calor pelo método fluximético.



No decorrer do ensaio, foi observado que a existência de uma resistência de contato finita se deve principalmente aos efeitos de rugosidade de superfície. O painel formado pela reciclagem de embalagem LV apresentou uma superfície rugosa. Com isso, houve a necessidade de melhor desempenho térmico do material durante a realização dos ensaios. Para tanto, foi utilizada uma substância para preencher as depressões nas superfícies de contato entre diferentes sólidos e cuja condutividade térmica era maior que o ar provocando uma diminuição da resistência de contato (figura 28). Utilizou-se uma pasta com base em silicone e óxido de alumínio, chamada pasta térmica, capaz de preencher os interstícios entre as duas superfícies.



Figura 28: Amostras superiores sem pasta térmica e, inferiores, sem a adição de pasta térmica.

#### 3.4.1 Resultados dos Ensaio de Condutividade Térmica em Placas 10x10cm

Os resultados obtidos vêm configurados na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Resultados do ensaio de condutividade

<b>AMOSTRA</b>			
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
<b>Fluxo médio de calor (W/m<sup>2</sup>)</b>	5017.1	2440	2468.6
<b>Diferença de temperatura (K)</b>	11.6	3.8	3.8
<b>Espessura (mm)</b>	5.1	15	13
<b>Condutividade (W/mK)</b>	0.24	0.14	0.19

Nota-se que a Amostra A (material reciclado) apresenta uma condutividade térmica relativamente elevada, não sendo, portanto, necessariamente adequada para atuar como isolante térmico.

Apesar de não ter sido medida, diretamente a emissividade da placa reciclada, pode-se afirmar que a emissividade deste material é elevada. Isto porque, mesmo com grande quantidade de alumínio polido, matéria nobre, o polietileno aplicado com a função de fundir os materiais proporcionando um material mais resistente e impermeável, faz com que a barreira radiante perca suas propriedades.

A amostra B apresenta um valor de condutividade aparente próximo ao valor tabelado de madeira (0,14 W/mK), mostrando o bom desempenho do aparato de medição da condutividade.

Nota-se que o gesso acartonado (amostra C) apresentou uma condutividade térmica mediana, não o caracterizando como um isolante térmico propriamente dito.

### 3.5 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA TÉRMICA DOS PAINÉIS 30X30CM.

Os ensaios foram realizados num aparato com tamanho 30 x 30 cm, ideal na utilização de amostras maiores e mais espessas. Para esses ensaios, com sistema de circulação de água, foi utilizado um banho termostático digital modelo MQBMP – 01. O equipamento permitiu a seleção da temperatura da

água, num intervalo de trabalho entre  $-20^{\circ}\text{C}$  e  $15^{\circ}\text{C}$ . A água foi armazenada em uma cuba com capacidade de 9 litros, e a circulação ocorreu por meio de uma bomba com a vazão de aproximadamente 6 litros /minuto, obtendo uma boa homogeneização da temperatura do líquido (MARINOSKI, 2005).

### 3.5.1 Descrição do Aparato

Como pode ser observado na Figura 29, a água é conduzida por uma mangueira até a placa de circulação, que está termicamente isolada, com dimensões de 30 cm x 30 cm.

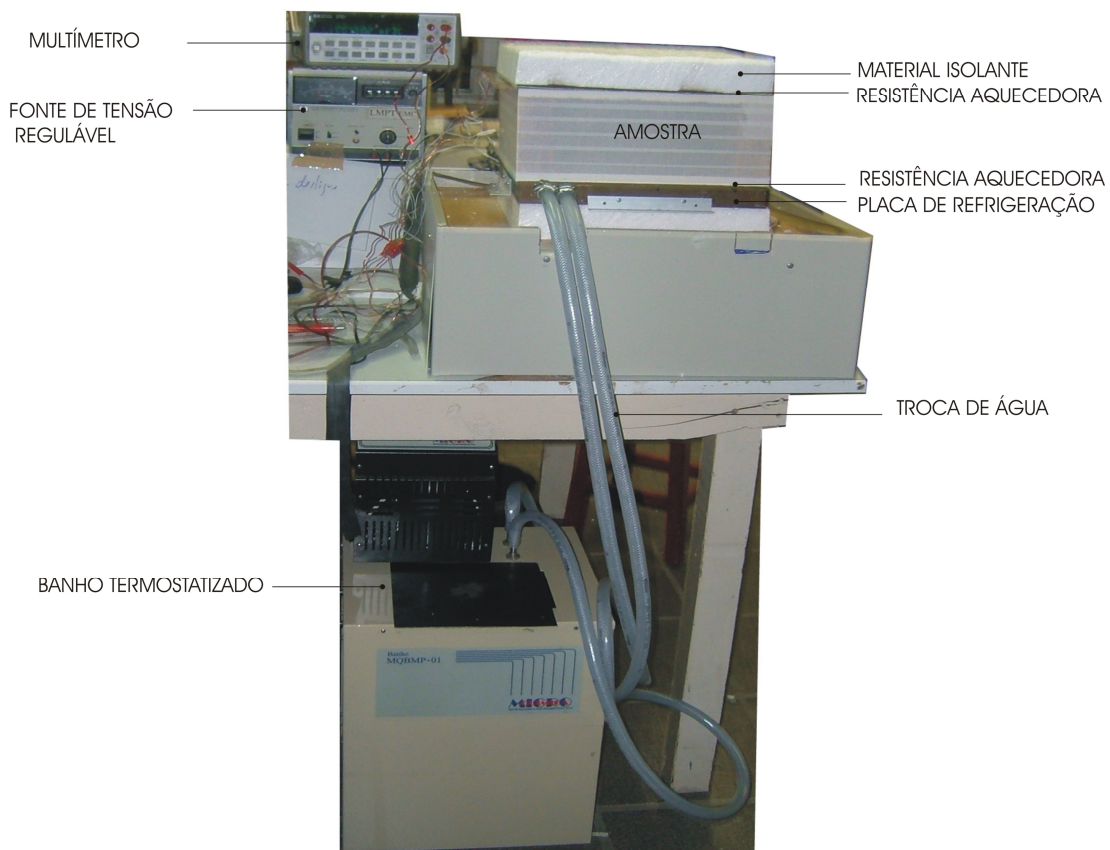


Figura 29: Imagem do aparato, onde são realizados ensaios em amostras de 30x30cm.

O tempo para a obtenção do regime permanente varia entre 6 e 12 horas, sendo estes extraídos os valores de tensão do fluxímetro superior e do fluxímetro inferior e a diferença de temperatura. Com estes valores obtém-se o valor térmico do corpo-de-prova, conforme mostrado na equação de condutividade térmica:

$$q'' = K \cdot \Delta T/L$$

Antes dos testes realizados nas amostras, houve a necessidade de aferir o aparato com o ensaio de um material padrão. Para isso, foi utilizada uma manta de fibra de vidro (30 x 30 cm) com espessura de 37mm.

O resultado obtido, de 0.03 (W/mK) de condutividade aparente, foi idêntico valor ao conferido pela *National Physical Laboratory – Teddington Middlesex TW11 0LW England. Certificate of Calibration* (anexo 5). Ao coincidir o resultado da amostra de referência com a avaliação feita pelo método fluximétrico, garante-se a credibilidade dos resultados obtidos pelo aparato experimental.

### 3.5.2 Descrição das amostras

Os ensaios foram realizados no aparato em amostras com tamanho 30 x 30 cm como pode ser observado na Tabela 5, abaixo.

Tabela 5: Descrição das amostras compostas por polietileno e alumínio fixados a uma chapa de madeira.





Descrição					
Amostra	Material	Preenchimento	Espessura (mm)	Tempo (h)	Imagem
<b>A1</b>	Painel reciclado, composto por polietileno e alumínio fixados a uma chapa de madeira.	Sem	12	12	
<b>A2</b>	Painel reciclado, composto por polietileno e alumínio fixados a uma chapa de madeira.	Filetes de embalagem LV 420g.	12	12	
<b>A3</b>	Painel reciclado composto por polietileno e alumínio fixados a uma chapa de madeira.	Unidades de LV fechadas e soltas no interior.	12	12	
<b>A4</b>	Painel reciclado, composto por polietileno e alumínio fixados a uma chapa de madeira.	Unidades de LV abertas (manta), fixadas nas duas faces internas do painel.	12	12	

Tabela 6: Descrição das amostras compostas por unidades LV, em seu formato original, novamente fechadas e unidas.




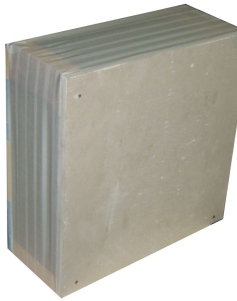
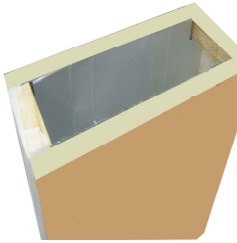

Descrição					
Amostra	Material	Preenchimento	Espessura (mm)	Tempo (h)	Imagem
<b>B1</b>	Caixas de LV, em seu formato original, novamente fechadas e unidas.	Sem.	9,5	12	
<b>B2</b>	Caixas de LV, em seu formato original, novamente fechadas e unidas.	Interior revestido por uma película de alumínio polido, posteriormente fechadas e unidas.	9,5	12	
<b>C1</b>	Painel reutilizando oito unidades de LV e argamassa na superfície inferior e superior.	Sem.	13	12	

Tabela 7: Descrição das amostras compostas por gesso acartonado.

Descrição					
Amostra	Material	Preenchimento	Espessura (mm)	Tempo (h)	Imagem
D1	Painel de gesso acartonado.	Sem.	12	12	
D2	Painel de gesso acartonado.	Camada de material LV, presa na placa superior e inferior.	12	12	
D3	Painel de gesso acartonado.	Filetes de embalagem LV 420g.	12	12	

### 3.5.2.1 Resultados Obtidos

A seguir, os resultados obtidos nos ensaios realizados.

Foram realizados três ensaios de cada amostra, e neles a variação dos resultados foi inferior a 4%.

Tabela 8: Resultados das amostras compostas por painel reciclado (polietileno/alumínio/ madeira)

<b>AMOSTRAS</b>				
	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>
<b>Tipo de preenchimento</b>	<b>Painel reciclado vazio</b>	<b>Painel reciclado com filetes LV</b>	<b>Painel com caixas LV fechadas</b>	<b>Painel com LV aberta</b>
<b>Espessura (mm)</b>	120	120	120	120
<b>Fluxo superior (W/m<sup>2</sup>)</b>	61.4	56.5	63.2	62.5
<b>Fluxo inferior (W/m<sup>2</sup>)</b>	24.0	18.4	21.5	18.8
<b>Diferença de temperatura (K)</b>	21.8	24,7	16.2	17.5
<b>Condutividade aparente (W/mK)</b>	0.23	0.18	0.31	0.27
<b>Resistência (m<sup>2</sup>.K)/W</b>	0.51	0.66	0.38	0.43

A Tabela 8, que mostra a análise dos resultados apenas do material reciclado (polietileno/alumínio/madeira), indica o bom desempenho do painel de vedação. Mesmo vazio, o painel apresenta 0,23 W/mK da condutividade aparente (amostra A1). Contudo, quando o painel utilizar filetes de LV (A2), apresentará melhor resistência térmica e condutividade mais baixa (0,18 W/mK) que o painel de base – painel vazio.

A utilização de filetes é a otimização do processo de construção, pela facilidade de adequação ao produto, bem como, melhor desempenho térmico quando comparados com as demais formas de preenchimento. Pode-se avaliar o comportamento térmico de painéis preenchidos com embalagens LV em diferentes formas (filetes, mantas e embalagens fechadas). Os ensaios mostram bom resultado, quando os painéis reciclados são preenchidos com filetes de LV, reduzindo a condutividade do conjunto para 0,18 Wm/K. Trata-se de um valor



considerável, quando comparado com o LV aberto (0,27 Wm/K). O resultado obtido com a presença de embalagens LV fechadas no interior do painel, apresentou uma redução de apenas 0,31 W/mK da condutividade aparente. Seu baixo desempenho pode ser creditado à condução de calor pelas próprias paredes da caixa aluminizada.

Tabela 9: Resultados das amostras referentes ao uso de embalagens LV fechadas.

<b>AMOSTRAS</b>		
	<b>B1</b>	<b>B2</b>
<b>Tipo de preenchimento</b>	<b>LV fechada normal</b>	<b>LV fechada com alumínio polido</b>
<b>Espessura (mm)</b>	95	95
<b>Fluxo superior (W/m<sup>2</sup>)</b>	237.2	69.1
<b>Fluxo inferior (W/m<sup>2</sup>)</b>	62.5	42.2
<b>Diferença de temperatura (K)</b>	46.1	24.8
<b>Condutividade aparente (W/mK)</b>	0.30	0.21
<b>Resistência (m<sup>2</sup>.K)/W</b>	0.30	0.44

Referente às unidades de embalagem LV fechadas, sem necessidade de qualquer adaptação de outros materiais (argamassa ou madeira), a amostra 3A (Tabela 9), apresenta baixa resistência do material, apenas 0,30 W/mK. Isso acontece devido à presença do polietileno como camada protetora interna. O resultado será diferente, quando se fizer uma adaptação com película de alumínio polido, colado junto às paredes internas da caixa. O alumínio polido reduz a transferência de calor por radiação e, conseqüentemente, diminui a condutividade aparente (de 0,30W/mK, para 0,21 W/mK). Entretanto, tal meio de adaptação interna, bem com a retirada da película plástica, torna o processo inviável, devido ao tempo, custo e à falta de meios necessários para a industrialização do processo.

Tabela 10: Resultado do painel composto por argamassa, com a presença, em seu interior, de embalagem LV vazia.

<b>AMOSTRA</b>	
	<b>C1</b>
<b>Tipo de preenchimento</b>	<b>Painel de argamassa com LV fechada</b>
<b>Espessura (mm)</b>	130
<b>Fluxo superior (W/m<sup>2</sup>)</b>	76.5
<b>Fluxo inferior (W/m<sup>2</sup>)</b>	28.1
<b>Diferença de temperatura (K)</b>	19.1
<b>Condutividade aparente (W/mK)</b>	0.35
<b>Resistência (m<sup>2</sup>.K)/W</b>	0.36

Na Tabela 10, o aumento da condutividade térmica pode ser creditado à alta condutividade térmica da argamassa. Entretanto, o painel composto por argamassa e um núcleo de embalagens LV apresenta índice satisfatório, 0.35W/mK de condutividade aparente, quando comparado ao do tijolo, cujo valor tabelado é 0,65 W/mK.

Tabela 11: Resultados dos ensaios do Gesso Acartonado, produto comercializado.

<b>AMOSTRAS</b>			
	<b>D1</b>	<b>D2</b>	<b>D3</b>
<b>Tipo de preenchimento</b>	<b>Gesso acartonado vazio</b>	<b>Gesso acartonado com LV - aberta</b>	<b>Gesso acartonado com filetes de LV</b>
<b>Espessura (mm)</b>	127	127	127
<b>Fluxo superior (W/m<sup>2</sup>)</b>	100.5	66.4	60.7
<b>Fluxo inferior (W/m<sup>2</sup>)</b>	56.5	29.0	40.7
<b>Diferença de temperatura (K)</b>	25.0	25.1	31.4
<b>Condutividade aparente (W/mK)</b>	0.39	0.24	0.20
<b>Resistência (m<sup>2</sup>.K)/W</b>	0.31	0.52	0.61

O gesso acartonado tem uma condutividade aparente ligeiramente superior à do painel reciclado. A adição dos filetes e da caixa aberta reduziu a condutividade térmica, conforme era esperado.

Em uma primeira avaliação, mostra que o painel reciclado (sem preenchimento) apresenta uma resistência térmica bastante superior à do gesso acartonado (com o valor de 0,23 W/mK a 0,39 W/mK). Esse resultado indica o bom desempenho deste tipo de painel, qualificando-o como uma alternativa eficaz em relação ao painel comercializado, ou seja, o de gesso acartonado.

É significativa a eficiência térmica da utilização de preenchimento com filetes LV, tanto para o painel reciclável bem como para o gesso acartonado. Quanto à sua densidade no interior dos painéis, a pesquisa utilizou 420g, mas pode ser proposto o ponto "ideal" de compactação para o melhor desempenho térmico da parede.

### 3.6 DESEMPENHO TÉRMICO DO PAINEL DE VEDAÇÃO SEGUNDO A NBR 15220/2005.

A partir de cálculos e simulações é possível avaliar o desempenho térmico e os sistemas construtivos de uma edificação ainda na fase do projeto. Nesta etapa da dissertação, é analisado o desempenho térmico dos painéis de vedação segundo a Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações – NBR 15220/2005. Esta norma define que a edificação habitacional deve reunir características que atendam às exigências de conforto térmico dos usuários, considerando a região de implantação da obra e das respectivas características bioclimáticas definidas pela NBR15220 – Parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social.

Desta forma, o meio aplicado à avaliação do desempenho térmico do painel de vedação com embalagem LV foi o método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elemento e componente do painel, sendo estes definidos pela Norma como:

**Resistência Térmica –  $R_t$  - ( $m^2.K$ )/W:** de elementos e componentes. Quociente da diferença de temperatura verificada entre as superfícies de um elemento construtivo pela densidade de fluxo de calor;

**Resistência Térmica Total –  $R_T$  - ( $m^2.K$ )/W:** Somatório do conjunto de resistências térmicas correspondentes às camadas de um elemento ou componente, incluindo as resistências superficiais interna e externa;

**Transmitância Térmica –  $U$  - ( $m^2.K$ )/W :** Inverso da resistência térmica total;

**Capacidade Térmica –  $C$  - ( $KJ$ /( $m^2.K$ )):** Quantidade de calor necessária para variar uma unidade de temperatura de um sistema;

**Atraso Térmico –  $\tau$  – hora:** Tempo transcorrido, em horas, entre o registro de amplitude de temperatura em um meio e outro separado por um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor.

Na Tabela 12 observam-se os símbolos e as unidades representativas para estes cálculos.

Tabela 12: Símbolos, variáveis e unidades.

A	Área	$m^2$
R	Resistência térmica de um componente	$(m^2.K)/W$
U	Transmitância térmica de um componente	$W/(m^2.K)$
$C_T$	Capacidade térmica de um componente	$kJ/(m^2.K)$
$\phi$	Atraso térmico de um componente	horas
FS	Fator de calor solar	-
c	Calor específico	$kJ/(kg.K)$
e	Espessura de uma camada	m
$\lambda$	Condutividade térmica do material	$W/(m.K)$
$\rho$	Densidade de massa aparente do material	$kg/m^3$
$\epsilon$	Emissividade hemisférica total	-

A avaliação do desempenho térmico dos painéis de vedação se dá nas diferentes formas:

- a) painel reciclado;
- b) painel com embalagem LV e argamassa;
- c) painel de gesso acartonado;
- d) painel de gesso acartonado com embalagem LV aberta.

### 3.6.1 Cálculos do desempenho térmico dos painéis

#### a) Painel reciclado

(polietileno/alumínio + madeira + polietileno/alumínio) + (câmara de ar) + (polietileno/alumínio + madeira + polietileno/alumínio).

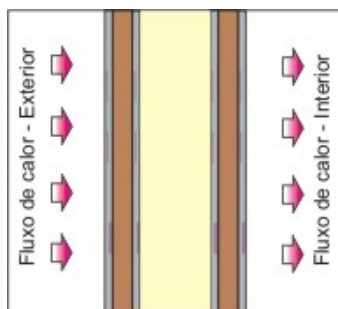


Figura 30: Painel Reciclado

- compensado= 450Kg/m<sup>3</sup>
- $\lambda_{\text{compensado}} = 0,13 \text{ W/m.K}$
- $C_{\text{compensado}} = 2,30 \text{ KJ/Kg.K}$
- Fluxo de calor horizontal
- Câmara de ar não ventilada  $e=0,012 \text{ m}$
- Baixa Emissividade (com barreira radiante)

---

### 1. resistência térmica da parede:

Seção1= compensado+alumínio+câmara de ar+ compensado+alumínio

$$R_t = (e/\lambda_{\text{compensado}}) + R_{\text{ar}} + (e/\lambda_{\text{compensado}})$$

$$R_t = (0,012/0,13) + 0,34 + (0,012/0,13)$$

$$\mathbf{R_t = 0,52 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

---

### 2. resistência térmica total:

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$= 0,13 + 0,52 + 0,04$$

$$\mathbf{R_T = 0,69 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}}$$

---

### c) transmitância térmica:

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,69$$

$$\mathbf{U = 1,45 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}}$$

---

### d) capacidade térmica da parede:

$$C_{T2} = (e \cdot C \cdot \bullet_{\text{compensado}}) + (e \cdot C \cdot \bullet_{\text{ar}}) + (e \cdot C \cdot \bullet_{\text{compensado}})$$

$$= (0,012 \cdot 2,30 \cdot 450) + 0 + (0,012 \cdot 2,30 \cdot 450)$$

$$\mathbf{C_T = 24,84 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}}$$

---

### 3. atraso térmico:

$$B_0 = C_T - C_{T_{\text{ext}}}$$

$$= 24,84 - (e \cdot C \cdot \bullet_{\text{compensado}})$$

$$\mathbf{B_0 = 12,42}$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (B_0/R_t)$$

$$\mathbf{B_1 = 5,39}$$

$$B_2 = 0,205 \{ (\lambda \cdot \bullet \cdot c)_{\text{ext}}/R_t \} \cdot \{ R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10 \}$$

$$B_2 = 0,205 \{ (0,13 \cdot 450 \cdot 2,30)/0,52 \} \cdot \{ 0,012/0,13 - (0,52 - (0,012/0,13))/10 \}$$

$$\mathbf{B_2 = 2,65}$$

$$\bullet = 1,382 \cdot R_t \cdot \bullet B_1 + B_2$$

$$\bullet = 1,382 \cdot 0,52 \cdot \bullet 5,39 + 2,65$$

$$\bullet = \mathbf{2,03 \text{ horas}}$$

---

### 4. fator solar:

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}}$$

$$FS = 100 \cdot 1,45 \cdot \alpha \cdot 0,04$$

Utilizando cor externa da madeira/amarelo • 0,30

$$FS = 100 \cdot 2,5 \cdot 0,30 \cdot 0,04 = \mathbf{3\%}$$

Tabela 13: Resultados obtidos

CARACTERÍSTICA	SISTEMA CONSTRUTIVO PAINEL PAREDE	NORMA PAREDES
Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K)/W	0,69	#
Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> .K)	1,92	U<3,60
Capacidade térmica KJ/(m <sup>2</sup> .K)	24,84	#
Atraso térmico (horas)	2,03	φ<4,3
Fator solar	3,0	FCS<5,0

Conforme a Tabela 13 percebe-se que os resultados obtidos a partir dos cálculos realizados, satisfazem o valor máximo admissível por esta norma. Nota-se a diferença de 35% entre o resultado obtido experimentalmente (0,51 m<sup>2</sup>.K/W) e o cálculo através da Norma, fruto da incerteza de medição e da simplificação do modelo técnico.

b) Painel com embalagem LV e argamassa

(argamassa) + (embalagem LV + câmara de ar + embalagem LV) + (argamassa).

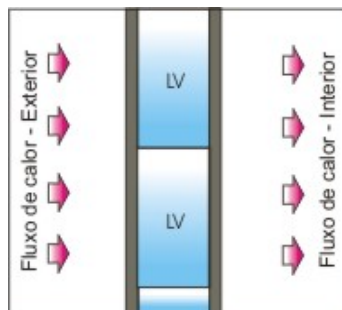


Figura 31: Painel com embalagem LV + argamassa

- argamassa= 2000Kg/m<sup>3</sup>
- $\lambda_{\text{argamassa}} = 1,15 \text{ W/m.K}$
- $C_{\text{argamassa}} = 1 \text{ KJ/Kg.K}$
- Fluxo de calor horizontal
- Câmara de ar não ventilada  $e=0,095 \text{ m}$
- Baixa Emissividade (com barreira radiante)

### 1. resistência térmica da parede:

Seção1= argamassa+câmara de ar+argamassa

$$R_t = (e/\lambda_{\text{argamassa}}) + R_{\text{ar}} + (e/\lambda_{\text{argamassa}})$$

$$R_t = (0,015/1,15) + 0,34 + (0,015/1,15)$$

$$R_t = 0,366 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

### 2. resistência térmica total:

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$= 0,13 + 0,366 + 0,04$$

$$R_T = 0,536 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

### c) transmitância térmica:

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,536$$

$$U = 1,86 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### d) capacidade térmica da parede:

$$C_{T2} = (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{ar}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}})$$

$$= (0,015 \cdot 1 \cdot 2000) + 0 + (0,015 \cdot 1 \cdot 2000)$$

$$C_T = 60 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### 3. atraso térmico:

$$B_0 = C_T - C_{\text{Text}}$$

$$= 60 - (e \cdot c \cdot \rho_{\text{argamassa}})$$

$$B_0 = 30$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (B_0/R_t)$$

$$B_1 = 18,52$$

$$B_2 = 0,205 \{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}/R_t\} \cdot \{R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10\}$$

$$B_2 = -43,80$$

B<sub>2</sub> é desconsiderado, pois resultou em valor negativo.

$$\bullet = 1,382 \cdot R_t \cdot B_1 + B_2$$

$$\bullet = 1,382 \cdot 0,366 \cdot 18,52 + 0$$

$$\bullet = 2,2 \text{ horas}$$

### 4. fator solar:

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}}$$

$$FS = 100 \cdot 1,86 \cdot \alpha \cdot 0,04$$

Utilizando cor externa da argamassa • 0,65 à 0,80

$\alpha = 0,65$  teremos:

$$FS = 100 \cdot 1,86 \cdot 0,65 \cdot 0,04 = 4,83\%$$

$\alpha = 0,80$  teremos:

$$FS = 100 \cdot 1,86 \cdot 0,80 \cdot 0,04 = 5,95\%$$



Tabela 14: Resultados obtidos

CARACTERÍSTICA	SISTEMA CONSTRUTIVO PAINEL PAREDE	NORMA PAREDES
Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K)/W	0,536	#
Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> .K)	1,86	U<3,60
Capacidade térmica KJ/(m <sup>2</sup> .K)	60	#
Atraso térmico (horas)	2,2	φ<4,3
Fator solar	4,83– 5,95	FCS<5,0

De acordo com a Tabela 14, os resultados obtidos satisfazem o valor máximo admissível quanto à resistência térmica, transmitância, capacidade térmica e atraso térmico por esta norma. Porém, não confere com o resultado, relativamente ao fator solar. O valor está em função do coeficiente de absorção solar que, neste caso, foi considerado 0,60 para argamassa de tonalidade escura. Quanto à resistência térmica obtida nos ensaios com o método fluximétrico (0,36 m<sup>2</sup>.K/W), novamente constatou-se diferença de 50% entre os valores.

c) Painel de gesso acartonado

(Gesso acartonado) + (câmara de ar) + (Gesso acartonado)

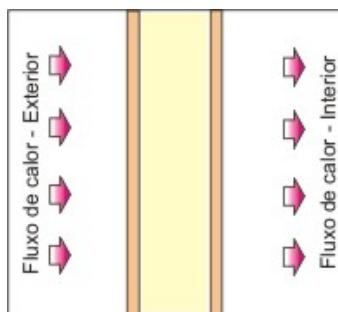


Figura 32: Painel de gesso acartonado

- gesso= 900Kg/m<sup>3</sup>
- $\lambda_{\text{gesso}} = 0,35 \text{ W/m.K}$
- $C_{\text{gesso}} = 0,84 \text{ KJ/Kg.K}$
- Fluxo de calor horizontal
- Câmara de ar não ventilada  $e=0,015 \text{ m}$
- Alta Emissividade (sem barreira radiante)

---

### 1. resistência térmica da parede:

Seção1= gesso+câmara de ar+gesso

$$R_t = (e/\lambda_{\text{gesso}}) + R_{\text{ar}} + (e/\lambda_{\text{gesso}})$$

$$R_t = (0,015/0,35) + 0,17 + (0,015/0,35)$$

$$R_t = 0,23 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

---

### 2. resistência térmica total:

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$= 0,13 + 0,23 + 0,04$$

$$R_T = 0,4 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

---

### c) transmitância térmica:

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,4$$

$$U = 2,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

---

### d) capacidade térmica da parede:

$$C_{T2} = (e \cdot c \cdot \rho_{\text{gesso}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{ar}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{gesso}})$$

$$= (0,015 \cdot 0,84 \cdot 900) + 0 + (0,015 \cdot 0,84 \cdot 900)$$

$$C_T = 22,68 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

---

### 3. atraso térmico:

$$B_0 = C_T - C_{T_{\text{ext}}}$$

$$= 22,68 - (e \cdot c \cdot \rho_{\text{gesso}})$$

$$B_0 = 11,34$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (B_0/R_t)$$

$$B_1 = 11,14$$

$$B_2 = 0,205 \{(\lambda \cdot \rho \cdot c)_{\text{ext}}/R_t\} \cdot \{R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10\}$$

$$B_2 = 0,205 \{(0,35 \cdot 900 \cdot 0,84)/0,23\} \cdot \{0,015/0,35 - (0,23 - (0,015/0,35))/10\}$$

$$B_2 = 5,42$$

- = 1,382 .  $R_t$  .  $B_1 + B_2$
- = 1,382 . 0,23 . 11,14 + 5,42
- = 1,29 horas

---

### 4. fator solar:

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}}$$

$$FS = 100 \cdot 2,5 \cdot \alpha \cdot 0,04$$

Utilizando cor externa branco  $\alpha = 0,20$

$$FS = 100 \cdot 2,5 \cdot 0,20 \cdot 0,04 = 2\%$$

Tabela 15: Resultados obtidos

CARACTERÍSTICA	SISTEMA CONSTRUTIVO PAINEL PAREDE	NORMA PAREDES
Resistência térmica (m <sup>2</sup> .K)/W	0,4	#
Transmitância térmica W/(m <sup>2</sup> .K)	2,5	U<3,60
Capacidade térmica KJ/(m <sup>2</sup> .K)	22,68	#
Atraso térmico (horas)	1,29	φ<4,3
Fator solar	2,0	FCS<5,0

A Tabela 15 apresenta os resultados obtidos a partir dos cálculos realizados, satisfazendo, estes, o valor máximo admissível por esta norma. Há novamente um resultado diferente, o da resistência térmica, quando comparado ao resultado obtido nos ensaios com o método fluximétrico, de 0,31(m<sup>2</sup>.K)/W a 0,4 (m<sup>2</sup>.K)/W, aproximadamente 30% de diferença.

d) Painel de gesso acartonado com embalagem LV aberta.

(Gesso acartonado + embalagem LV aberta) + (câmara de ar) + (Gesso acartonado + embalagem LV aberta)

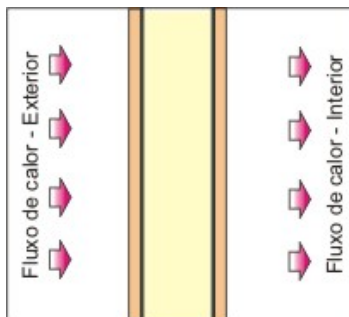


Figura 33: Painel de gesso acartonado com embalagem de LV aberta

- $\rho_{\text{gesso}} = 900 \text{ Kg/m}^3$
- $\lambda_{\text{gesso}} = 0,35 \text{ W/m.K}$
- $C_{\text{gesso}} = 0,84 \text{ KJ/Kg.K}$
- Fluxo de calor horizontal
- Câmara de ar não ventilada  $e = 0,015 \text{ m}$
- Baixa Emissividade (com barreira radiante)

### 1. resistência térmica da parede:

Seção 1 = gesso + câmara de ar + gesso

$$R_t = (e/\lambda_{\text{gesso}}) + R_{\text{ar}} + (e/\lambda_{\text{gesso}})$$

$$R_t = (0,015/0,35) + 0,34 + (0,015/0,35)$$

$$R_t = 0,4 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

### 2. resistência térmica total:

$$R_T = R_{\text{si}} + R_t + R_{\text{se}}$$

$$= 0,13 + 0,4 + 0,04$$

$$R_T = 0,57 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$$

### c) transmitância térmica:

$$U = 1/R_T$$

$$U = 1/0,57$$

$$U = 1,75 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### d) capacidade térmica da parede:

$$C_{T2} = (e \cdot c \cdot \rho_{\text{gesso}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{ar}}) + (e \cdot c \cdot \rho_{\text{gesso}})$$

$$= (0,015 \cdot 0,84 \cdot 900) + 0 + (0,015 \cdot 0,84 \cdot 900)$$

$$C_T = 22,68 \text{ KJ/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### 3. atraso térmico:

$$B_0 = C_T - C_{T_{\text{ext}}}$$

$$= 22,68 - (e \cdot c \cdot \rho_{\text{gesso}})$$

$$B_0 = 11,34$$

$$B_1 = 0,226 \cdot (B_0/R_t)$$

$$B_1 = 6,40$$

$$B_2 = 0,205 \{ (\lambda \cdot c \cdot \rho_{\text{ext}}/R_t) \cdot \{ R_{\text{ext}} - (R_t - R_{\text{ext}})/10 \} \}$$

$$B_2 = 0,205 \{ (0,35 \cdot 900 \cdot 0,84)/0,4 \} \cdot \{ 0,015/0,35 - (0,4 - (0,015/0,35))/10 \}$$

$$B_2 = 57,22$$

$$\bullet = 1,382 \cdot R_t \cdot B_1 + B_2$$

$$\bullet = 1,382 \cdot 0,4 \cdot 11,34 + 57,22$$

$$\bullet = 4,57 \text{ horas}$$

### 4. fator solar:

$$FS = 100 \cdot U \cdot \alpha \cdot R_{\text{se}}$$

$$FS = 100 \cdot 1,75 \cdot 0,04$$

Utilizando cor externa branco  $\alpha = 0,20$

$$FS = 100 \cdot 1,75 \cdot 0,20 \cdot 0,04 = 1,4\%$$

Tabela 16: Resultados obtidos

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>SISTEMA CONSTRUTIVO PAINEL PAREDE</b>	<b>NORMA PAREDES</b>
<b>Resistência térmica (m<sup>2</sup>.K)/W</b>	0,57	#
<b>Transmitância térmica W/(m<sup>2</sup>.K)</b>	1,75	U<3,60
<b>Capacidade térmica KJ/(m<sup>2</sup>.K)</b>	22,68	#
<b>Atraso térmico (horas)</b>	4,57	φ<4,3
<b>Fator solar</b>	1,4	FCS<5,0

Os resultados (Tabela 16) obtidos satisfazem o valor máximo admissível pela Norma, exceto o índice de atraso térmico que mostra estar superior ao estabelecido pela NBR. Há diferença (aproximadamente 10%) no resultado da resistência térmica quando comparado ao resultado obtido nos ensaios com o método fluximétrico, de 0,57(m<sup>2</sup>.K)/W a 0,52 (m<sup>2</sup>.K)/W nos ensaios realizados.

3.6.1.1 Resultado Final e Comparação Segundo a Norma 15220/2005 e ensaios realizados com auxílio do aparato.

Com os resultados obtidos, constata-se que o painel de parede reciclado, gesso acartonado vazio e gesso acartonado com embalagem LV aberta, atendem à NBR 15220, apresentando valores mais baixos em relação aos valores máximos admissíveis por essa norma. O painel com embalagem LV e argamassa, atende ao índice da Norma em função do coeficiente de absorção solar ter sido considerado para argamassa pintada de cor branca. Entretanto, a Norma não contempla o diversificado meio de utilização de materiais de baixa emissividade para avaliação de resistência de calor.

Isso pode ser avaliado pela diferença de resultados obtidos experimentalmente e os cálculos através da Norma, chegando a atingir 50% de diferença entre resultados de mesmo material.

Quanto à utilização do método fluximétrico, há uma variação aproximada de 4%, fruto da incerteza de medição, da simplificação do modelo teórico e da incerteza das propriedades termofísicas dos materiais.

### 3.7 MANTA PARA COBERTURA

Devido ao clima tropical do país, tem levado as construções para população de baixa renda a apresentar comportamento térmico inadequado e insalubre. Sabe-se que a cobertura normalmente utilizada é a telha cerâmica inclinada, de comprovada eficiência. Mas, por questões econômicas, facilidade de montagem, menor quantidade de madeiramento, estas habitações vêm utilizando coberturas de fibrocimento, onde o comportamento térmico apresenta deficiente desempenho (LAMBERTS, 2003). É importante destacar que a resistência térmica do forro governa a condução do calor para o interior da edificação.

Lamberts (2003) complementa que a absorção da radiação solar da superfície externa da telha, gerenciada pela cor, dita a quantidade de radiação a ser absorvida durante o dia. Este fator deve ser considerado num clima como o do Brasil, pois é grande a quantidade de radiação incidente nas superfícies pouco inclinadas do telhado. O uso de materiais como lâminas de alumínio polido, que tem baixa emissividade ( $\sim,05$ ), podem reduzir, de modo significativo, a transferência de calor por radiação.

Com o prosseguimento das pesquisas, a utilização da embalagem LV nas coberturas pode vir a ser uma alternativa para substituir as mantas já utilizadas no mercado, caso o processo construtivo com manta LV torne-se viável economicamente para população menos privilegiada, garantindo qualidade e conforto térmico nas unidades habitacionais.

Segundo Güths, 2004, a utilização de mantas radiantes para a cobertura está se tornando bastante popular no Brasil como forma de reduzir ganhos térmicos pela cobertura. Porém, sua qualidade é questionável, devido a informações duvidosas e pouco claras. São embasadas em cálculos das emissividades já tabeladas para material reflexivo. Para a manta, são necessárias medições específicas, principalmente para as propriedades radiantes, pois cada fabricante faz uso de películas com características diferenciadas, sejam eles, alumínio laminado, metalizado, com a presença de película plástica, entre outros.

### 3.7.1 Utilização da Manta em Cobertura

As embalagens possuem uma camada de 35 micra de espessura, constituindo uma barreira eficiente contra bactérias, luz e ar. O alumínio polido apresenta grande capacidade para refletir os raios-infravermelhos, oferecendo condições de ser utilizado como subcobertura, manta refletora (Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo, 2004). Entretanto, o alumínio que é vendido contém uma película plástica que lhe reduz a eficiência.

Para o estudo e disposição deste material, primeiramente as embalagens compostas são recolhidas e selecionadas, embalagens de leite de 1 litro, para que sejam todas do mesmo tamanho. Após o armazenamento, são abertas e lavadas, procedendo à desinfecção com detergente e água sanitária.

Abertas, as caixas têm o tamanho de 31 x 22,5cm, que, por sua vez, são costuradas devido à sua maleabilidade. Conforme a Figura 34, a manta tem o cuidado de não encostar-se à cobertura cerâmica, mantendo uma distância aproximada de 2 cm, com a face de alumínio voltada para baixo, para evitar o acúmulo de poeira.

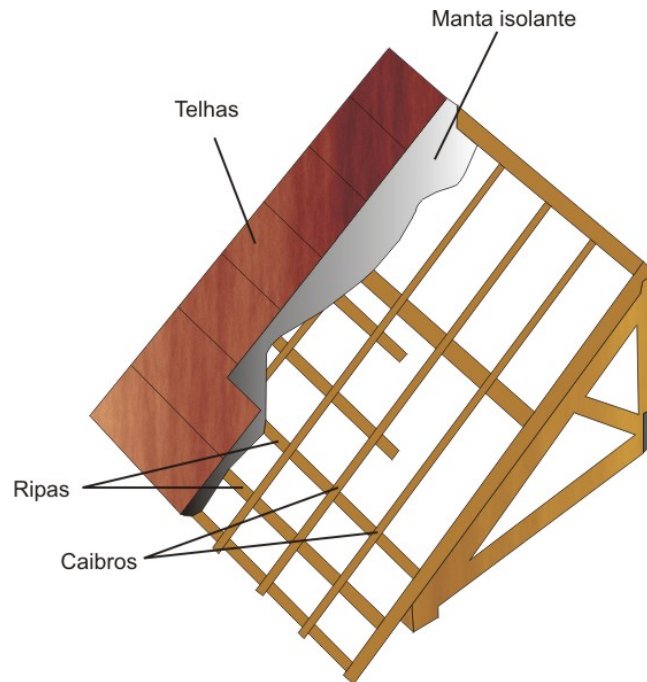


Figura 34: A imagem simula o posicionamento da manta em relação à cobertura, juntamente com detalhes de apoio.

Todavia, para analisar a viabilidade deste processo foram necessários alguns ensaios de eficiência térmica, conforme se pode observar no tópico seguinte.

### 3.7.2 Desempenho térmico da manta isolante decorrente de sua instalação

Vittorino, Sato e Aktsu (2003), ao avaliar o desempenho de mantas já comercializadas, comentam que se a manta radiante for instalada inadequadamente, haverá redução do seu desempenho térmico, podendo ocasionar riscos de incêndio, condições inseguras, como choques elétricos, e promover a deterioração na estrutura na qual está fixada. Comentam, também, que o desempenho da barreira radiante pode ser afetado de modo negativo quando houver:

- presença de materiais estranhos,
- corrosão devido à presença de poluentes aéreos que possam reagir com o metal da superfície,
- acúmulo de poeira e presença contínua de umidade.



Estudo realizado no IPT na Cidade Universitária em São Paulo – SP avaliou o efeito do acúmulo de poeira na camada refletiva da manta, que havia sido instalada sob um telhado de telha cerâmica tipo francesa, ficando exposta em condições naturais por sete meses. Nestas medições feitas antes e após a exposição do produto, destacaram-se a presença de uma camada de poeira difusa sobre toda a superfície, manchas isoladas de acúmulos de detritos e veias de escoamento de água de chuva (VITTORINO, SATO e AKTSU, 2003).

Desta forma, para manter um bom desempenho de isolamento térmico, é recomendável proteger a superfície de baixa emissividade, deixando-a voltada para baixo, impedindo o acúmulo de detritos.

### 3.7.3 Ensaio em barreiras radiantes em coberturas

Para a análise do fluxo de calor, os testes foram realizados utilizando um dispositivo experimental, cujo mecanismo procurou reproduzir as características de um telhado convencional, no que se refere à resistência térmica (Figura 40). O dispositivo utiliza um tipo de transdutor de fluxo de calor de grande sensibilidade ( $> 3$  mV/W) e pequena espessura (300 micra) (GÜTHS et al., 1995). Os testes foram realizados no LMPT (Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Termofísicas do Departamento de Engenharia Mecânica/UFSC).

#### 3.7.3.1 Descrição do Aparato

Sabe-se que a resistência aquecedora simula o aquecimento por radiação solar, e a camada isolante<sup>1</sup>, por resistência térmica da telha. A camada isolante 2, reproduz a resistência térmica da laje, somada à resistência térmica no ar interior da edificação. O dispositivo apresenta uma área de 1,00m<sup>2</sup> e espessura variável, dependendo do isolamento lateral. Na região central da chapa metálica é colocado o transdutor de fluxo de calor. Dois termopares tipo T, em modo diferencial, monitoram a diferença das temperaturas entre as faces. A temperatura inferior é medida de maneira igual à da temperatura ambiente, através de convecção forçada, induzida por seis ventiladores axiais (Figura 35). As trocas térmicas na face superior da resistência aquecedora, simulando o ar externo, são dadas por convecção natural, em ambiente com temperatura controlada (22± 1°C)” (GÜTHS; PAGHI, 2004).

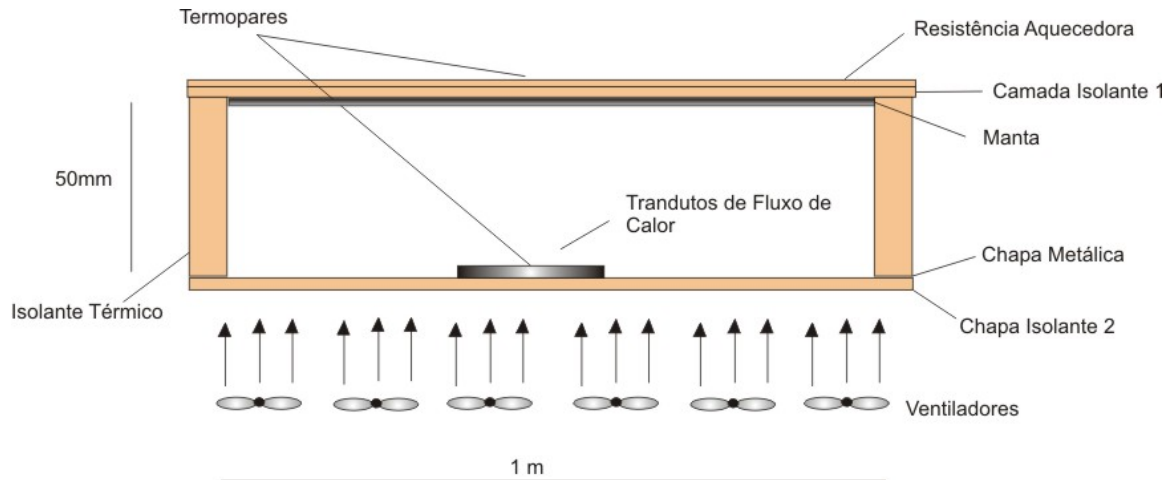


Figura 35: Esquema do dispositivo experimental. Fonte: G• THS & PAGHI (2004).

A intenção do teste é considerar o telhado sob forte insolação (aproximadamente  $1000\text{W/m}^2$ ). A Figura 36 mostra a realização do teste, observando-se que as embalagens LV abertas estão fixadas a uma superfície preta, de  $60 \times 60\text{cm}$ , totalizando seis caixas de leite abertas, em um tempo estimado em 15 min. A superfície aluminizada, é voltada para baixo e permanece com a película plástica, que será retirada posteriormente.

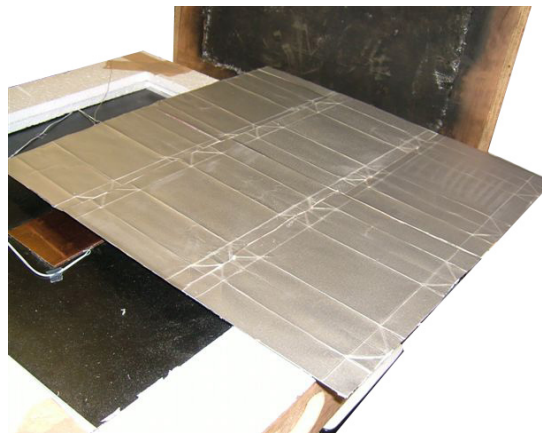


Figura 36: Medição da eficiência térmica de unidades LV abertas.

### 3.7.3.2 Medição da Eficiência da Embalagem LV - Manta

A medição mostra os resultados da medição do fluxo de calor e eficiência térmica da subcobertura, formada pela embalagem LV aberta, colada sobre a superfície quente, e face brilhante voltada para a superfície fria (emissividade igual a

0.95). A camada de ar entre superfície quente e fria foi de 50 mm. A diferença de temperatura é mantida constante, e o fluxo de calor é medido. A eficiência ( $h$ ) é determinada pela razão entre os fluxos medidos com e sem a barreira radiante:

$$q = DT/R \qquad h = \left( 1 - \frac{q_{com}}{q_{sem}} \right) \times 100$$

Esta equação é reduzida a:

$$h_{\Delta T} = \frac{R_{ar}}{R_{ar\ sup} + R_{manta} + R_{ar\ inf}}$$

onde  $h_{\Delta T}$  é a eficiência para o modelo 1 (diferença de temperatura constante).

Segundo GÜTHS (2004), o modelo  $\Delta T$  constante, aqui empregado, considera que a telha e a laje da edificação se encontram em temperatura constante e uniforme, sendo o calor transmitido por convecção e radiação. As trocas radiantes estão incorporadas nas resistências térmicas das camadas de ar. A Figura 37 mostra o modelo térmico sem a manta (a) e com a manta isolante (b).

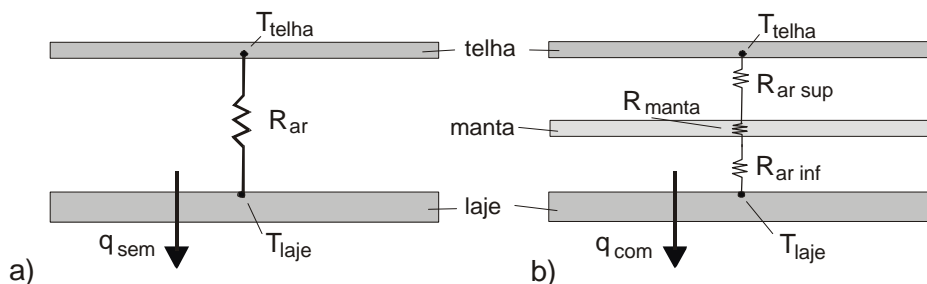


Figura 37: Modelo térmico: a) sem a manta isolante, e b) com a manta isolante (Fonte: GÜTHS, 2004).

A eficiência também pode ser entendida como a porcentagem de fluxo de calor que é retida com o emprego da barreira térmica.

Com o auxílio do aparato, foram feitas as medições, conforme se observa nas tabelas abaixo. A Tabela 17 obtém resultados experimentais de um caso padrão, ou seja, uma cobertura sem barreira radiante. As demais medições são com o uso do material radiante das embalagens LV. Os ensaios foram realizados com a superfície aluminizada recoberta por um filme de polietileno, e sem esse filme.

Tabela 17: Resultados experimentais com a diferença de temperatura constante (DT)

Configuração		Resultados Experimentais		
		Fluxo de Calor (W/m <sup>2</sup> )	Diferença de Temperatura (K)	Eficiência (h <sub>DT</sub> )
<b>A</b>	Caso padrão (sem manta)	95.2	20.0	-
<b>B</b>	Alumínio polido <sup>10</sup>	10.2	20.0	88 %
<b>C</b>	Alumínio negro	43.9	20.0	50 %
<b>D</b>	Embalagem LV (com filme polietileno)	25.8	20.0	73 %
<b>E</b>	Embalagem LV (sem filme polietileno)	14.6	20.0	85 %

Segundo a tabela, foram satisfatórios os resultados da eficiência da manta LV determinada experimentalmente através do método  $\Delta T$  constante. Nota-se a diferença de resultados obtidos em relação ao polietileno encontrado na embalagem. Nota-se que a retirada do filme de polietileno que recobre a película de alumínio, aumentou significativamente a eficiência da manta (85%).

Nos ensaios apresentados, a manta foi posicionada com a face reflexiva voltada para baixo. Quando ela for colocada com a face aluminizada para cima, há um aumento de 3%. É um resultado pouco significativo, considerando-se o provável risco de diminuição de eficiência devido à deposição de poeira.

A utilização do transdutor de fluxo de calor permite facilitar a medição da energia trocada em sistemas térmicos e ainda se pode mostrar uma ferramenta útil para a determinação da emissividade de superfícies. Entretanto, o equipamento ainda está em estudo no que se refere a condições de ensaio, temperatura constante e fluxo de calor constante.

É comprovada a eficiência térmica da caixa de leite, como sendo um material de baixo custo, de fácil acesso e poupa os recursos naturais. As embalagens LV

<sup>10</sup> Alumino polido utilizado para armazenar alimento

usadas como isolante térmico podem minimizar o problema de superaquecimento de moradias, em especial baixa custo.

Para as subcoberturas, não houve a necessidade da utilização de cálculos segundo NBR 15220, como um meio comparativo nos resultados obtidos pelo método fluximétrico, pois este método analisa a emissividade do material e não as condições em cobertura. Desta forma, não há um tipo de cobertura específica para simulação.

Observa-se o fato de estar aplicando material orgânico em cobertura, sujeito a possíveis ataques de animais, donde há a necessidade de manutenção e garantir a integridade do material para que não perca a sua propriedade térmica. A pesquisa preocupou-se com esta possível manifestação, buscando uma alternativa para evitar estes animais para dentro do forro da edificação.

Foram realizados alguns ensaios expondo unidades de LV ao ataque de roedores. Estes ensaios podem ser conferidos no **Apêndice 1**: Desempenho das Unidades LV Submetidas ao Ataque de Roedores (Páginas 114/117).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 4.1 CONCLUSÕES GERAIS

Durante a pesquisa buscou-se destacar a importância do destino final dos resíduos sólidos urbanos, uma vez que estes rejeitos depositados em instalações inadequadas, eliminados em aterros sanitários ou abandonados em rios e encostas, fazem com que seu impacto se torne um problema de saúde pública.

A reutilização de resíduos é uma possibilidade de transformar lixo em renda, maior geração de empregos, colaborar com a conscientização ambiental e contribuir para o alívio do acúmulo de lixo em aterros sanitários com materiais que podem ser reaproveitados na construção civil. É uma possibilidade de incentivar a integração social e tecnológica, e aproximar as indústrias da sociedade. Afinal, cada profissional tem a responsabilidade pelos efeitos e impactos ambientais que sua atividade provoca. A utilização de resíduos sólidos urbanos na produção de componentes para a construção civil é uma maneira de incrementar a proposta do conceito de sustentabilidade. Proporcionar habitação sustentável é um meio mais econômico de melhorar qualidade de vida para seus ocupantes.

Já foram estudadas as diversas formas de reciclagem da embalagem LV. Sua adaptação à construção civil, porém, é um fator inovador que agrega valor ao produto, justamente por se tratar de um resíduo facilmente encontrado e de baixo custo.

O alívio do acúmulo de resíduos em aterros sanitários, a reutilização de resíduos sólidos urbanos, como sendo matéria-prima de um novo produto, segundo os princípios da sustentabilidade, foi uma das metas cumpridas neste trabalho, uma maneira de incentivar futuros trabalhos na aplicação de outros tipos de resíduos sólidos urbanos na construção civil.

A película interna aluminizada da embalagem LV foi o ponto inicial para a proposta deste trabalho. Devido às suas características de baixa emissividade constata-se uma boa resistência térmica, propriedade de grande importância no isolamento térmico das edificações.

Este trabalho vem demonstrar o potencial de utilização de resíduos de LV na confecção de painéis de vedação e manta para cobertura, referente aos resultados das análises térmicas, mas não como um substituto definitivo de materiais já comercializados, e, sim, como outra possibilidade de utilização.

Nas análises realizadas com os painéis de vedação, bem como a subcobertura, houve boa concordância dos resultados experimentais, capacitando a bancada para medição de diferentes tipos de isolamento térmico em mantas para cobertura, bem como o aparato experimental utilizado na simulação de transferência de calor em painéis de vedação, com uma pequena variação de resultados após várias repetições dos ensaios.

#### 4.2 CONCLUSÕES ESPECÍFICAS

As conclusões a seguir são decorrentes da análise dos resultados de acordo com os objetivos específicos colocados no decorrer desta dissertação, quanto ao painel de vedação e a manta para subcobertura.

##### Painel de Vedação

Com os resultados alcançados no decorrer do estudo em painéis de vedação, conclui-se pela viabilidade da utilização da embalagem LV como componente para a construção civil, no quesito da análise térmica.

Entretanto, ao analisar os painéis de vedação, concluiu-se que apenas o material reciclado, composto pela fusão do polietileno e alumínio, apresenta uma condutividade térmica relativamente elevada, não sendo, portanto, necessariamente adequada para atuar como isolante térmico, havendo a necessidade de incremento desta técnica. Mostrou-se, porém, adequado, se comparado com outros meios de construção (alvenaria tradicional e, até mesmo, gesso acartonado).

Isso porque, mesmo com grande quantidade de alumínio polido - matéria nobre, o polietileno aplicado com a função de fundir os materiais, proporcionando um material mais resistente e impermeável, faz com que a barreira radiante perca suas propriedades, com menor condutividade térmica, tornando-se, assim, uma superfície opaca.

De acordo com os resultados obtidos, o painel, onde foram analisados apenas os resultados do material reciclado (polietileno/alumínio/madeira), apresenta bom desempenho térmico do painel de vedação. Mesmo vazio, o painel apresenta 0,23 W/mK da condutividade aparente. Porém, quando comparados aos da utilização de preenchimento com filetes de LV, apresenta melhor resistência térmica, e condutividade mais baixa que o painel de base – painel vazio.

A utilização de filetes é a otimização do processo de construção, pela facilidade de adequação ao produto, bem como melhor desempenho térmico quando comparados com as demais formas de preenchimento. Pode-se avaliar o comportamento térmico de painéis preenchidos com embalagens LV em diferentes formas, filetes, mantas e embalagens fechadas. Os ensaios mostram o bom resultado com o preenchimento com filetes de LV em painéis reciclados, reduzindo para 0,18 Wm/K de condutividade do conjunto. Trata-se de um valor considerável, quando comparado com o do LV aberto. O resultado obtido com a presença de embalagens LV fechadas no interior do painel, significou uma redução, de apenas 0,31 W/mK da condutividade aparente. Seu baixo desempenho pode ser atribuído à condução de calor pelas próprias paredes da caixa aluminizada.

Em relação às unidades de embalagem LV fechadas, sem necessidade de qualquer adaptação de outros materiais (argamassa ou madeira), a amostra comprova a baixa resistência do material, apenas 0,30 W/mK. Isso acontece devido à presença do polietileno como camada protetora interna. Diferente será o resultado, quando feita uma adaptação com película de alumínio polido, colado junto às paredes internas da caixa. O alumínio polido reduz a transferência de calor por radiação, e conseqüentemente, diminui a condutividade aparente. Entretanto, tal meio de adaptação interna, bem com a retirada da película plástica, torna o processo inviável, devido ao tempo, custo e à falta de meios favoráveis para a industrialização do processo.



O aumento da condutividade térmica pode ser creditado à alta condutividade térmica da argamassa. Entretanto, o painel é composto por argamassa, e um núcleo de embalagens LV apresenta índice satisfatório de condutividade aparente 0,35 K/mK, quando comparado ao tijolo, cujo valor tabelado é 0,65 W/mK.

O gesso acartonado tem uma condutividade aparente ligeiramente superior à do painel reciclado. A adição dos filetes e da caixa aberta reduziu a condutividade térmica, conforme era esperado.

Em uma primeira avaliação, mostra que o painel reciclado (sem preenchimento) apresenta uma resistência térmica superior à do gesso acartonado (0,23 W/mK a 0,39 W/mK). Esse resultado indica o bom desempenho deste tipo de painel, qualificando-o como uma alternativa eficaz em relação ao painel comercializado de gesso acartonado.

É significativa a eficiência térmica quando aplicado filetes de material LV no interior dos painéis de vedação, tanto para o painel reciclável quanto para o gesso acartonado. Quanto à sua densidade no interior dos painéis, a pesquisa utilizou 420g, mas pode ser proposto o ponto “ideal” de compactação para o melhor desempenho térmico da parede.

Houve boa concordância entre os resultados experimentais, capacitando o aparato para medição de diferentes tipos de isolamento em painéis de vedação. Isso devido o semelhante resultado de 0.03 (W/mK) de condutividade aparente, da amostra de referência – a fibra de vidro, foi idêntico ao valor conferido pela *National Physical Laboratory – Teddington Middlesex TW11 0LW England. Certificate of Calibration.*

A partir dos cálculos obtidos segundo a NBR 15220, foi verificado que a Norma não contempla o diversificado meio de utilização de materiais de baixa emissividade para avaliação de resistência de calor.

Verificou-se a ausência de informação de materiais como preenchimento no interior de um painel de vedação com o intuito de melhorar a resistência térmica. Portanto, a NBR 15220/2005 desconsidera dados complementares para os cálculos de desempenho, considerando apenas há a utilização de material de baixa

emissividade ou não, sem verificar a forma de aplicação, tipo de material e volume do material inserido no interior do painel.

Quando comparados os dois meios utilizados para avaliar a resistência térmica dos painéis, verificou-se diferença entre os resultados obtidos experimentalmente e os cálculos conseguidos através da Norma, fruto da simplificação do modelo técnico e falta de detalhamento da Norma.

#### Manta Isolante como Subcobertura

Quanto à aplicação de subcobertura constituída por embalagem LV, concluiu-se que foram satisfatórios os resultados da eficiência da manta determinada experimentalmente através do método  $\Delta T$  constante. Nota-se a diferença de resultados obtidos em relação ao polietileno encontrado na embalagem. Ao retirar o filme de polietileno que recobre a película de alumínio houve um aumento significativo, de 73% para 85%, relativamente à eficiência da manta.

Nos ensaios apresentados a manta foi posicionada com a face reflexiva voltada para baixo. No caso de a face ser colocada para cima, há um aumento de 3%, resultado pouco significativo, considerando o provável risco de diminuição de eficiência devido à deposição de sujeira.

A utilização do transdutor de fluxo de calor permitiu facilitar a medição da energia trocada em sistemas térmicos e ainda confirmou ser uma ferramenta útil para determinação da emissividade de superfícies. Entretanto, o equipamento ainda está em estudo no que se refere a condições de ensaio, temperatura constante e fluxo de calor constante.

É comprovada a eficiência térmica da caixa de leite, como sendo um material de baixo custo, de fácil acesso e ainda, uma possibilidade de preservar os recursos naturais com o condicionamento artificial de ar. As embalagens LV usadas como isolante térmico podem ajudar a minimizar o problema de superaquecimento de moradias.

Há de se observar o posicionamento da embalagem em sua composição original, papel, alumínio e polietileno, não necessitando de um tratamento químico

pesado durante a higienização da embalagem. O que é responsável por afastar animais e sujeira das mantas é o meio de aplicação deste produto na cobertura. A subcobertura, ao ser instalada na contra-ripa na cobertura, faz-se necessário o afastamento da manta do forro, dificultando que animais cheguem as mantas. Sem o contato o da manta ao forro e com o alumínio voltado com a face para baixo, diminui a acessibilidade dos roedores, e evita que o pó e a sujeira estacionem por cima da parte aluminizada.

Na subcobertura, não houve a necessidade da utilização de cálculos segundo a NBR 15220/2005, como um meio comparativo nos resultados obtidos pelo método fluximétrico, pois este método analisa apenas a emissividade do material e não as condições em cobertura, não havendo um tipo de cobertura específica para simulação.

A partir dos resultados obtidos, a pesquisa pretende auxiliar e estimular futuros estudos utilizando resíduo sólido urbano. É possível que sejam realizados novos ensaios e pesquisas referente ao tema, como pode ser observado no tópico seguinte.

### SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

A presente pesquisa pode ser complementada com mais algumas análises que, por alguns motivos, não foram realizadas neste trabalho. Dentre estes complementos são recomendados os seguintes temas:

- incentivar novos projetos da aplicação de outros tipos de resíduos sólidos urbano na construção civil;
- estudo para viabilizar economicamente a confecção dos painéis e manta, no intuito de industrializar o processo de fabricação;
- indicar novas alternativas para a confecção de painéis e elaboração de novos componentes com o uso de LV;
- desenvolver um processo eficiente de industrialização na confecção de mantas;

- desenvolver um processo eficiente para a retirada do filme de polietileno encontrado no interior das embalagens para melhorar o desempenho térmico.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10.004 – Resíduos sólidos – Classificação**. Revisada em maio de 2004.

\_\_ABNT. **NBR 10.005 - Lixiviação de Resíduos - Procedimento**

\_\_ABNT. **NBR 10.006 - Solubilização de Resíduos - Procedimento**

\_\_ABNT. **NBR 10.007 - Amostragem de Resíduos - Procedimento**

\_\_ABNT. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações – Parte 1: Definição, símbolos e unidade**. Abril de 2005.

\_\_ABNT. **NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificação**. Abril de 2005.

\_\_ABNT - Projeto 02:135.07-004. **Desempenho térmico de edificações - Parte 4: Medição da Resistência Térmica e da Condutividade Térmica pelo Princípio da Placa Quente Protegida**. Rio de Janeiro, 2003.

\_\_ABNT - Projeto 02:135.07-005. **Desempenho térmico de edificações - Parte 5: Medição da resistência térmica e da condutividade térmica pelo método fluximétrico**. Rio de Janeiro, 2003.

Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall, disponível em: <http://www.drywall.org.br/> Acessado em: janeiro de 2006.

ACURIO, G. et al. **Diagnostico de la situacion del manejo de residuos sólidos municipales em América Latina y el Caribe**. Washington: BID/Opas, 1997.

Agenda 21. **CIB – Agenda 21 para construção sustentável**. Traduzido por I. Gonçalves, T. Whitaker. Ed. DG Weinstock/ SP: s.n, 2000.

ÂNGULO, S. C.: ZORDAN, S. E.: JOHN, V. M. – **Desenvolvimento Sustentável e Reciclagem de Resíduos na Construção Civil**. IBRACON (2001) Artigo técnico.

ARBUCKLE, J. C. **Comunicado para o Fórum da Aldeia Humana**, 1994. Aldeia Humana, 1995.

**Associação Brasileira dos Fabricantes de Chapas para Drywall**, 2006. Disponível em: <http://www.drywall.org.br/> Acessado em: janeiro de 2006.

BAASCH, Sandra S. Nahas. **Um sistema de suporte multicritério aplicado na gestão dos resíduos sólidos nos municípios catarinenses**. 1995. Tese

(Doutorado em Engenharia de Produção). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis.

BAUER, L.A. Falcão. **Materiais de construção 2**. Rio de Janeiro, RJ. LTC-Livros técnicos e científicos, 1994. Rio de Janeiro, RJ Quinta Edição 1994.

BAXTER, Mike. **Projeto de Produto**. Guia prático para o design de novos produtos. 2ª Edição, 2000. Editora Edgard Blücher. São Paulo –SP.

**Bolsa de Reciclagem FIEP**. Disponível em: <http://www.bolsafiep.com.br/home/default.asp> Acessado em: julho de 2004.

BRASIL. (2001a) **Lei n. 10295, de 17 de outubro de 2001. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia**. Lex: Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: [www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf](http://www.inmetro.gov.br/qualidade/lei10295.pdf). Acessado em: 17/03/03

BRASIL (2001b). **Decreto n. 4.059, de 19 de dezembro de 2001. Regulamenta a Lei no 10.295, de 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, e dá outras providências**. Lex: Diário Oficial da União, Brasília. Disponível em: [www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html](http://www.mme.gov.br/ministerio/legislacao/decretos/Decreto%20n%204.059-2001.html). Acesso em: 05/03

BRAZOLIN, S., ROMAGNANO, L. F. T. E SILVA, G. A. **Madeira Preservada: Oportunidades Para A Construção Civil E Indústria Moveleira**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. – IPT Divisão de Produtos Florestais. Disponível em: <http://www.sif.org.br/eventos/palestras/09%202005%20-%20III%20Madetec/Sergio.pdf> Acessado em: 10/02/06

BROWN, G. Z.; DEKAY, Mark. **Sol, Vento & Luz**. Estratégias para o projeto de arquitetura. 2. Edição. 2004.

CEMPRE. **Compromisso empresarial para a reciclagem**. Disponível em: [http://www.cempre.org.br/fichas\\_tecnicas\\_emb\\_carton.php](http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas_emb_carton.php) Acessado em: 30/09/2005

\_\_\_CEMPRE Informa, nº 85 - Ano XIV - Janeiro/Fevereiro 2006

CERQUEIRA, Mario Henrique. **Placas produzidas a partir da reciclagem do polietileno/alumínio presentes na embalagem Tetra Pak**.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/> Acessado em: julho de 2005.

CDBS. **Conselho empresarial brasileiro para o desenvolvimento sustentável**. Disponível em: <http://www.cebds.org.br/cebds/cebds-missao.asp> Acessado em: julho de 2005.

CHEHEBE, José Ribamar B. **Análise do ciclo de vida de produtos. Ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro, RJ: Qualitymark Ed., CNI, 1997. 1ª Reimpressão 2002, Rio de Janeiro.

CONAMA - **Conselho Nacional do Meio Ambiente**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/index.cfm> Acessado em: setembro de 2005.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos. Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, Nébel A. A.; COSTA JR, Newton C. A.; DETONI, Mónica M. L.; SELIG, Paulo M.; ROCHA, Janaíde C. **A reciclagem de resíduo de construção e demolição: uma aplicação de análise multivariada**. São Paulo, SP. ENTAC São Paulo, 2004. Artigo técnico.

CUNHA, Aimar da; NEUMANN, Walter. **Manual de impermeabilização e isolamento térmico. Como projetar e executar**. Rio de Janeiro, RJ, 1979. Quinta edição.

FELISBERTI, M.I.; LOPES, C. M. A. Relatório Técnico. Caracterização do compósito polietileno de baixa densidade (PEBD) - alumínio proveniente da reciclagem de embalagens multicamadas Tetra Pak. Unicamp (999).

FERREIA, João Alberto. **Resíduos sólidos, ambiente e saúde**. Rio de Janeiro: Editora Fiocruz, 2000. 2. reimpr, 2003.

FREIRE, Wesley Jorge; BERALDO, Antonio Ludovico. **Tecnologia e materiais alternativos de construção**. Editora Unicamp. Campinas, SP, 2003.

FROTA A. B. ; SCHIFFER, S.R. **Manual de conforto térmico**. 2 ed. São Paulo: NOBEL, 1995

GALBRAITH, J. K. **Aldeia Humana**, Revista 1.FIESC/SENAI, Laboratório brasileiro de design. Florianópolis 1995.

GOLDEMBERG, José. Informação verbal. Palestra ENTAC 2004. São Paulo SP. 2004.

GOMES, Adailton de Oliveira. DCTM/UFBA, 2005. Disponível em: <http://www.reciclar.ufba.br/> Acessado em: novembro de 2005.

GRAEDEL, T. E.:ALLENBY, B. R. **Industrial Ecology**. New Jersey, Prentice – Hall, 1995.

GÜTHS, Saulo. **Um método transiente para determinação de propriedades térmicas**. Dissertação de Mestrado, Departamento de engenharia mecânica, UFSC. Florianópolis, 1990.

GÜTHS, Saulo; PAGHI, C, E. **Um método de análise da eficiência energética de mantas isolantes reflexivas**. São Paulo, SP. 2004. ENTAC 2004, São Paulo, 2004. Artigo Técnico.

GÜTHS, S; PHILIPPI, P. C.; GAVIOT, E. e THERY, P. **Um transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial.** Anais do XI Congresso Brasileiro em Engenharia Mecânica (COBEM), CDROM. Belo Horizonte. 1995

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2004. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/>. Data de acesso: maio de 2004.

Impermat Distribuidora. Disponível em: <http://www.impermat.com.br/html/isolantes.htm#> Acessado em: julho de 2005.

INCROPERA, Frank P.; WITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e massa.** (Fundamentals of heat and mass transfer. 3. ed. 1990.

ISO 8301- 1991: **Standart Test Method for Steady-State Heat Flux Measurements and Thermal Transmission Properties by Means of the Heat Flow Meter Apparatus**

JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduo na construção civil. Contribuição à metodologia, pesquisa e desenvolvimento.** Tese de obtenção de título de livre docência. Departamento de Engenharia Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2000.

JOHN, Vanderley M.; AGOPYAN, V. **Reciclagem de Resíduo da Construção.** Artigo técnico (1999)

JOHN, Vanderley M.; ÂNGULO, Sérgio C. **Metodologia para o desenvolvimento de reciclagem de resíduos.** Porto Alegre, RS. Coletânea Habitare. Vol 4. 2003.

JOHN, V.M.; SATO, N. M. N.; AGOPYAN, V.; SJÖSTEN, Jerry. **Durabilidade e sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira.** In: WORKSHOP ELETRÔNICO SOBRE A DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES e 1 WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES, 2, São José dos Campos, 2001. 10p.

LABAKI, Lucila Chebel; OLIVEIRA, Mariela Cristina Ayres de; CIOCHI, Fabio Alves. **A reutilização de embalagens tipo "longa vida" como isolante térmico para coberturas de fibrocimento sem forro.** São Carlos, SP. 2003. 11 p. ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 3., 2003, São Carlos, SP.

LAMBERTS, Roberto. **Influência do desempenho térmico de coberturas leves com ático no conforto térmico de casas populares.** Porto Alegre, RS. 1991. p. 41-44. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1º, Gramado, 1990. Artigo técnico.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. (1997). **Eficiência energética na arquitetura.** Livro a ser publicado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; ABREU, Ana Lúcia; CARLO, Joyce. **Desempenho térmico de edificações.** Apostila ECV/UFSC, (2005).

LEADBITTER, Jason. **PVC and sustainability.** Prog. Polym. Sci. 27 (2002)



LEITE, Paulo R. – **Logística Reversa. Meio ambiente e competitividade.** 1 ed., Editora Makron Books. 2003.

LORA, Electos. **Prevenção e controle da poluição no setor energético industrial e transporte.** Brasília. ANEEL, 2000.

LORDSLEEM, Alberto Casado. **Execução e inspeção de alvenaria racionalizada.** Coleção: Primeiros passos da qualidade no canteiro. São Paulo, 2001.

MANU, A. **Aldeia Humana**, Revista 1. FIESC/SENAI, laboratório brasileiro de design. Florianópolis 1995.

Ministério do Trabalho e Emprego. 2004, Disponível em: <http://www.mte.gov.br/Empregador/segsau/Legislacao/Portarias/2000/conteudo/port26.asp> Acessado em: Setembro de 2004.

MARINOSKI, Deivis Luis. **Aperfeiçoamento de um sistema de medição de ganho de calor solar através das aberturas.** Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil. PPGEC/ UFSC. Florianópolis 2005.

MODEST, M. F. **Radiative heat transfer.** Singapore: McGraw Hill Int. Editions, 1993, Singapore, 832 p.

MUÇOUÇAH, Paulo Sérgio de. **Coleta Seletiva de Lixo, publicação Instituto Polis.** 1993.

**National Physical Laboratory – Teddington Middlesex TW11 0LW England.** Certificate of Calibration. 1991.

NEVES, F. L.; **Reciclagem de embalagens cartonadas Tetra Pak.** Revista 'O Papel' n<sup>o</sup> 2, pág. 38-45, 1999

OLIVEIRA, Luciano Basto. **Resíduos sólidos urbanos: Lixo ou combustível.** XXVII CIESA 2003. ABES (associação brasileira de engenharia ambiental).

ONU. **Organização das Nações Unidas.** Disponível em: <http://www.onu-brasil.org.br/> Acessado em: junho de 2004.

OPASCHOWSKI, H. W. **Aldeia Humana**, Revista 1. FIESC/SENAI, laboratório brasileiro de design. Florianópolis 1995.

PEREIRA, Cláudio Alexandre; LAMBERTS, Roberto; ROMAN, Humberto Ramos. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas e análise das tensões de cisalhamento aplicadas à alvenaria.** Rio de Janeiro, RJ. 1995. p. 581-586. ENTAC 95, Rio de Janeiro, 1995. Artigo técnico.

PEREIRA, Lauro Charlet Resíduos: TOCCHETTO, Marta Regina Lopes. **É preciso inverter a pirâmide – reduzir a geração de resíduos.**

PERIN, Adenilson. **A utilização do lixo reciclável como fonte geradora de emprego, renda e dignidade a adolescentes em situação de risco pessoal e social na Grande Florianópolis.** 1999. Trabalho de Conclusão de Estágio (Bacharel em Administração de Empresas) – Departamento de Ciências da Administração, UFSC, Florianópolis.

PIRONDI, Zeno. **Manual da impermeabilização e de isolamento térmica.** São Paulo.

PROCEL **Manual de conservação de energia elétrica em prédios públicos e comerciais.** PROCEL Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica. 3a edição, 20 p. 1993.

**PROJETODESIGN** Edição 256 Junho 2001.

PROVENZANO, Thais; BARTH, Fernando. **Casa PET. Painéis pré-fabricados com garrafas plásticas recicladas.** 2004. Artigo técnico

Relatório Ambiental. Biênio 2002-2003. Tetra Pak.

\_\_Relatório de Ensaio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Laboratório de Plásticos e Borrachas/APO/DQ n° 890.824, datado de 05/06/2002.

\_\_Relatório de Ensaio do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Laboratório de Segurança ao Fogo/AISF/DEC n° 890.868, datado de 06/06/2002.

Revista CREA-RJ. N. 55, 2005.

RIBEIRO, Maurício Andrés. **Ecoligizar. Pensando o ambiente humano.** Belo Horizonte 2000. 2ª Edição. Rona Editora Belo Horizonte 2000.

ROCHA, Janaíde Cavalcante; JOHN, Vanderley M. **Utilização de resíduos na construção habitacional.** Porto Alegre 2003. Coletânea HABITARE Volume 4.

RODRIGUES, Francisco Luiz; GRAVINATTO Vilma Maria. **Revista Eco 21,** Ano XIV, Edição 87. Disponível em: [www.eco21.com.br](http://www.eco21.com.br) Acessado em: fevereiro 2004.

ROMAN, H. R. **Pesquisa e desenvolvimento de processos construtivos industrializados em cerâmica estrutural.** Projeto FINEP. UFSC, 2000.

ROSSO, Teodoro. **Racionalização da construção.** FAUUSP, SP, 1980.

SCHUMACHER, E. F. **O negócio é ser pequeno.** São Paulo SP. 1973. Circulo do livro SP. Título original: Small is beautiful.

SILVA, Jayme Ayres da. **Análise da qualidade da coleta e disposição final dos resíduos sólidos domiciliares da cidade de Ivaiporã – Estado do Paraná.** Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia de produção. UFSC. Florianópolis 2000.

SIMIONI, Wagner Isidoro. **Análise de erros na medição de consutividade térmica de materiais através do método fluximétrico**. Dissertação de Mestrado. Programa de pós-graduação em engenharia civil. UFSC. Florianópolis 2005.

SIMONE, L.; POPOFF, F. **Eco-efficiency: The business Link do Sustainable Development**. Cambridge: MIT Press, 1998. 280p.

SOUZA, Okky de. **Calor que ameaça a vida**. Revista VEJA. Editora Abril. Edição 1893, ano 38 - nº 8. 23/de fevereiro de 2005.

TEIXEIRA, Antonio C. **Revista Cadernos de Seguro**. Matéria obtida na Revista Eco 21, Ano XIV, Edição 87. Disponível em: [www.eco21.com.br](http://www.eco21.com.br) Acessado em: fevereiro de 2004.

TETRA PAK. Disponível em: [http://www.tetrapak.com.br/html/vocesabia/index\\_estrutura1.htm](http://www.tetrapak.com.br/html/vocesabia/index_estrutura1.htm) Acessado em: maio de 2004.

TETRA PAK. Disponível em: [http://www.tetrapak.com.br/htmls/press\\_release/index\\_press\\_release.asp?nid=95](http://www.tetrapak.com.br/htmls/press_release/index_press_release.asp?nid=95) Acessado em: junho de 2006.

THEIS, Ivo M. **Limites energéticos do desenvolvimento**. Blumenau: Editora da FURB, 1996.

TORREIRA, Raul Peragallo. **Isolamento térmico**. São Paulo, 1980. Fulton editora técnica ltda, 1980.

UNICEF, **United Nations Children's Fund**. 2004. Disponível em: [www.unicef.org](http://www.unicef.org) Acessado em: maio de 2004.

VAZ, José Carlos; CABRAL, Cristina C. Publicado originalmente como DICAS nº 1.1998. **Coleta Seletiva e reciclagem do Lixo**.

VITTORINO, Fúlvio; SATO, N. M. N.; AKUTSU, Maria. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas**. Brasil - Curitiba, PR. 2003. P. 1277-1284. Encontro nacional sobre conforto no ambiente construído, 7, conferência latino-americana sobre conforto e desempenho energético de edificações, 3, 2003, Curitiba. Artigo Técnico.

WWF. Disponível em: <http://www.wwf.org.br/wwf/opencms/site/index.htm> Acessado em: setembro de 2005.

WINCH, G. **Zephyrs of creative destruction: understanding the management of innovation in construction**. Building Research & Inovation, v.26, n.5,1998.

ZUBEN, F. von; NEVES, F. L; **Reciclagem do alumínio e do polietileno presentes nas Embalagens Cartonadas Tetra Pak**. In: Seminário Internacional de Reciclagem do Alumínio, São Paulo, 1999. anais. São Paulo: ABAL, 1999, pág. 96 – 109.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

ÂNGULO, S.C. **Produção de concretos com agregados reciclados.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Departamento de Construção Civil. Universidade Estadual de Londrina. 1998.

AKUTSU, M.; VITTORINO, F.. **Desempenho térmico de telhas de alumínio.** Brasil - Fortaleza, CE. 1999. 1arq. htm. Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2º & Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 5º, Fortaleza, 1999. Artigo técnico.

ARMELIN, Hugo, S.;CHERRY, Niggel. **Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação térmica na construção civil.** **Use and performance evaluation of radiant barriers in the construction industry.** e-Mat - Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 1, n. 1, p. 79-82, Maio 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5720. Coberturas.** Brasil - Rio de Janeiro, RJ. 1982. 1p. Originada da NB 344

BRUNA, Paulo. J. V. **Arquitetura, industrialização e desenvolvimento.** São Paulo. Perspectiva/EDUSP, 1976.

CUNHA, Paulo Waldemiro Soares. **Desempenho térmico de coberturas em país de clima quente.** Orientador de Francisco de Paula Dias de Andrade. Brasil - São Paulo, SP. s.n. 1978. 188p. Dissertação (Pós graduação em Engenharia Civil). Escola Politécnica de São Paulo, 1978.

DELL PRETTE, Lucas; ZANIN, Maria. **Aplicação de princípios de sustentabilidade na pesquisa sobre reciclagem de materiais.** In: IIIENECS- III Encontro nacional sobre edificações e comunidades sustentáveis, 2003, São Carlos-SP, 2003.

ELSERAGY, Ahmed A. B.. **Computer simulation of solar radiation received by curved roof in hot-arid regions.** Holanda - Eindhoven. 2003. p. 283-290. BUILDING SIMULATION, 8, 2003, Eindhoven. Artigo Técnico.

FAIREY, Philip. **Designing and Installing Radiant Barrier Systems.** FSEC Publication DN-7. May 1994.

FAIREY, Philip. **Radiant Energy Transfer and Radiant Barrier Systems in Buildings.** FSEC Publication DN-6. May 1994.

GHISI, EneDir; LAMBERTS, Roberto; RORIZ, Maurício; PEREIRA, Fernando Oscar RuttKay; SOUZA, Mauricy Cesar Rodrigues de. **Normalização em conforto ambiental: desempenho térmico, lumínico e acústico de edificações.** Brasil - Porto Alegre, RS. 2003. p. 16-41. ROMAN, Humberto Ramos; BONIN, Luis Carlos. Normalização e certificação na construção

habitacional. Editores da Coletânea Roberto Lamberts e Maria Lúcia Horta de Almeida. Porto Alegre, RS: ANTAC, 2003. cap. 2.

GÜTHS, S.; PHILIPI, P.C.; NICOLAU, V. P. **Um método transiente de medição de propriedades térmicas de materiais de construção**. Brasil - Porto Alegre, RS. 1990. p. 83-86. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1º, Gramado, 1990. Artigo técnico.

HALFED, Frederico B.; ROSSI, Ângela M.G. A sustentabilidade aplicada a projetos de moradias através do conceito de habitabilidade. In: NUTAU'2002. São Paulo, 2002.

ISOLAN. **Soluções térmicas**. 2005. Disponível em: <http://www.isolan.com.br/>  
Acessado em: julho de 2005.

JOHN, Vanderley Moacyr; SILVA, Vanessa Gomes da; AGOPYAN, Vahan. **Agenda 21 : uma proposta de discussão para o construbusiness brasileiro**. Brasil - Porto Alegre, RS. 2001. p. 91-98. In: Encontro Nacional e Encontro Latino-Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, 2º e 1º, Canela, RS, 2001. Artigo técnico.

KAZAZIAN, Thierry. **Design e desenvolvimento sustentável. Haverá a idade das coisas leves**. Editora SENAC – São Paulo, 2005.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de materiais e componentes de edificação**. Brasil - Florianópolis, SC. 1989. p. 121-130. Simpósio de desempenho de materiais e componentes de construção civil, 2.

LAMBERTS, Roberto. Influência do desempenho térmico de coberturas leves com ático no conforto térmico de casas populares. Brasil - Porto Alegre, RS. 1991. p. 41-44. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1º, Gramado, 1990. Artigo técnico.

LEVY, S. M. **Reciclagem do entulho de construção civil, para utilização como agregado de argamassas e concretos**. São Paulo, 1997. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

MASCARÓ, L.E.R. de. **Coordinación modular? Qué es?** Summa, Buenos Aires, n.103, p.20-21, ago. 1976.

MEDEIROS, Dorivalda S.; OLIVEIRA NETO, Manoel Leonel; OLIVEIRA, Mônica Maria Fernandes de; MARINHO, George Santos. **Reaproveitamento de eps para isolamento térmico de cobertura**. Brasil - Natal, RN. 2003. 11 p. Simposio desempenho térmico de sistemas construtivos alternativos, 2003, Natal, RN. Artigo Técnico.

MENDES, N.; LAMBERTS, R.; PHILIPPI, P. C. **Transferência de calor e umidade em paredes no verão de Florianópolis**. Brasil - Salvador, BA. 1997. p.275-282. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4º, Salvador, 1997. Artigo técnico.

**NBE-CT-79 – Norma básica de la edificación: Condiciones térmicas en los edificios.** 1ªed, Madrid. ES. Ministerio de obras publicas y urbanismo. 1979.

OLIVEIRA, Clemax Vanderlan Dantas de; SILVA, Michelle Ferreira da; OLIVEIRA, Mônica Maria Fernandes de; MARINHO, George Santos. **Fibra de sisal utilizada para isolamento térmico de cobertura.** Brasil - Natal, RN. 2003. 10 p. Simpósio desempenho térmico de sistemas construtivos alternativos, 2003, Natal, RN. Artigo Técnico.

PEREIRA, Cláudio Alexandre; LAMBERTS, Roberto; ROMAN, Humberto Ramos. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas e análise das tensões de cisalhamento aplicadas à alvenaria.** Brasil - Rio de Janeiro, RJ. 1995. p. 581-586. ENTAC 95, Rio de Janeiro, 1995. Artigo técnico.

SANTOS, Aguinaldo dos; MOSER, Luciano; TOOKEY, John E.. **Applying the concept of mobile cell manufacturing on the drywall process.** Brasil - Gramado, RS. 2002. p. 277-288. Conference of the international group for lean construction, 10., 2002, Gramado. Artigo Técnico.

SATTLER, M. A.; FILHO, A.C.; BONIN, L.C. A low cost sustainable house. In: PLEA 2000 – The 16th International conference on passive low energy architecture. Cambridge, UK, 2000. pp.187-191.

SILVEIRA, Wilson Jesus da Cunha; PETINNE, Jusara; OLIVEIRA, Roberto de. **Habitação de interesse social em Florianópolis (SC): critérios para definição de coberturas.** Brasil - São Paulo, SP. 2004. 14 p. Conferência latino-americana de construção sustentável; Encontro nacional de tecnologia do ambiente construído, 10., 2004, São Paulo, SP.

VALENTIN, João. **Desempenho térmico : coberturas de fibrocimento.** Brasil - São Paulo, SP. 1981. p. 615-632. Simpósio Latino-Americano de Racionalização da Construção e sua Aplicação às Habitações de Interesse Social, São Paulo, 1981. Artigo técnico.

## APÊNDICE

### **Apêndice 1:** Desempenho das Unidades LV Submetidas ao Ataque de Roedores

É importante salientar que devido ao uso de material reaproveitado, por sua vez, foi utilizado para armazenar alimento, e agora, utilizado para subcobertura térmica, pode atrair insetos, roedores entre outros animais que podem prejudicar seu desempenho, bem como trazer estes animais para dentro do forro da edificação.

Com isso houve a necessidade de testes laboratoriais para verificar a atração de roedores pelas amostras.

Os ensaios foram realizados no Biotério do curso de Biologia da UFSC onde, primeiramente, foram colocados dois roedores na mesma gaiola (Figura 1A). Posteriormente foram confeccionadas quatro amostras em diferentes situações (como será melhor detalhado a baixo). Os mesmo roedores permaneciam 24h com cada amostra, considerando o período noturno, momento de maior atividade dos animais.



Figura 1A: Ensaios realizados com *hamsters*, simulação de sua ação nas coberturas com a presença de mantas confeccionadas com embalagens LV.

Várias amostras foram confeccionadas e submetidas à ação dos roedores, tais como:

Amostra A: caixa limpa com água sanitária (com polietileno),

Amostra B: caixa limpa com água sanitária (sem polietileno),

Amostra C: caixa limpa com água (sem polietileno e sem papel),

Amostra D: caixa com resíduo de leite (com polietileno).

Os resultados dos ensaios estão consignados na Tabela 1a.

Tabela 2a: Resultado das amostras submetidas à ação de roedores.

<b>Ensaio com roedores nas embalagens LV</b>			
<b>Amostras</b>	<b>Tempo</b>	<b>Número de roedores</b>	<b>Ação dos roedores</b>
<b>A</b>	24h	Dois ratos por gaiola	Pouca - laterais
<b>B</b>	24h	Dois ratos por gaiola	Pouca - laterais
<b>C</b>	24h	Dois ratos por gaiola	Muita - laterais
<b>D</b>	24h	Dois ratos por gaiola	Parcial - frente e verso

Sabe-se que as unidades de LV não são uma fonte de alimento para estes roedores, pois apenas compensam a necessidade de roer decorrente do crescimento de seus dentes. As embalagens protegidas por papel e polietileno foram menos afetadas (conforme Figuras 2a e 3a), não necessariamente pelo produto de limpeza utilizado, mas sim pelo grau de dificuldade, por serem embalagens rígidas.





Figura 2a: Amostra A.

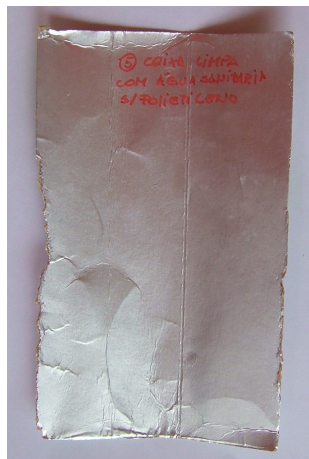


Figura 3a: Amostra B.

Conforme a Figura 4a, a presença de resíduo de leite na parte aluminizada foi irrelevante, já que a área mais afetada ocorreu do lado oposto da área atingida. Verificou-se que houve maior interesse pelo lado de fora da unidade, não tendo sido violada a parte interna. Esta situação só pode ser observada nesta amostra.



Figura 4a: Amostra C – Frente e verso da embalagem.

A Figura 5a, amostra lavada sem polietileno e sem papel, mostrou maior vulnerabilidade à ação dos roedores. Isso se dá pela menor rigidez do produto e pela ausência do polietileno que, resulta em uma superfície menos escorregadia facilitando a ação destes animais.



Figura 5a: Amostra D.

#### Resultados Obtidos:

Constata-se, com isso, a vulnerabilidade deste produto decorrente de sua utilização e aplicação. Opta-se, então, pelo posicionamento da embalagem em sua composição original, papel, alumínio e polietileno, não necessitando de um tratamento químico pesado durante a higienização da embalagem. Produtos químicos são produtos voláteis, com tempo de atuação determinado.

O que é responsável por afastar estes animais da subcobertura é o meio de instalação da manta na cobertura.

A subcobertura, ao ser instalada abaixo da telha cerâmica (por exemplo), será necessário o afastamento da manta, do forro, dificultando que estes animais cheguem às mantas. Sem o contato da subcobertura com o forro, diminui a acessibilidade dos roedores, afastando-os da cobertura.

## ANEXO

### **Anexo 1: Propriedades Mecânicas**

Segundo a empresa Tetra Pak®, foram realizados alguns ensaios de propriedade mecânica da placa reciclada composta fusão do polietileno ao alumínio. Para esta análise técnica foram utilizados resultados obtidos no IPT (Laboratório de Plásticos e Borrachas/APO/DQ – e Laboratório de Segurança ao Fogo/AISF/DEC), quais sejam:

a) resistência à tração – ASTM D 698/98, “Tensile Properties of Plastics”;

b) resistência à flexão – ASTM D 790 / 98, “Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials”;

c) absorção de Água - ASTM 570 / 98, “Water Absorption of Plastics”;

d) determinação do Índice de Propagação Superficial de Chama - NBR 9442/1986, “Materiais de Construção – Determinação do Índice de Propagação Superficial de Chama pelo Método do Painel Radiante”.

#### Resultados Obtidos:

Os resultados obtidos nos ensaios de resistência à tração, resistência à flexão e absorção de água para as placas recicladas constam na Tabela 1B:

Tabela 1A: Resistência à Tração, Resistência à Flexão e Absorção de Água das Placas Recicladas.

Ensaio		Resultados Obtidos	
Resistência à Tração	Média	Tensão na Ruptura (MPa)	Alongamento na Ruptura (MPa)
		7,62	4,2
	Desvio padrão	0,49	0,84
Resistência à Flexão	Média	Tensão na Ruptura (MPa)	
		15,1	
	Desvio padrão	1,4	
Absorção de água	Média	Absorção de Água (%)	
		5,3	
	Desvio padrão	1,2	

Fonte: CERQUEIRA, 2005.

O aumento do valor do módulo de elasticidade indica que o material com alumínio é mais resistente à tração e, portanto, mais rígido.

### **Anexo 2: Ensaio de Impacto**

O ensaio de impacto teve como base a norma ASTM D-256, método A (tipo Izod). Foi utilizado um aparato de ensaio de impacto EMIC. A energia no martelo foi de 2,7J, com a temperatura ambiente (23+/- 2°C). A resistência ao impacto média obtida foi de 302 MPa. A placa reciclada mostrou alto valor de resistência ao impacto, indicando a tenacidade do material. Entretanto, o material plástico não quebra com o martelo utilizado o que significa que o alumínio causa a redução na resistência ao impacto do polietileno de baixa densidade o que é condizente com o resultado obtido de tração (ZUBEN e NEVES,1999).

Para Zuben e Neves (1999), os resultados obtidos na caracterização do material reciclado, composto por alumínio e polietileno de baixa densidade, são apresentados na Tabela 2A a seguir.

Tabela 2A: Resumo dos resultados das características da placa reciclada.

<b>PROPRIEDADES</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÉTODO ASTM</b>
Temp. inicial de degradação térmica	245	°C	E-1641
Temp. inicial de degradação termooxidativa	229	°C	E-1641
Temperatura de fusão	109	°C	D-3418
Temperatura de cristalização	92	°C	D-3418
Calor de fusão	154,7	J/g	D-3418
Calor de cristalização	154,9	J/g	D-3418
Tensão na ruptura	10,97	MPa	D-638
Deformação na ruptura	38,86	%	D-638
Módulo elástico	177,6	MPa	D-638
Resistência ao impacto Izod	302	MPa	D-256
Índice de fluidez	3,87	g/10min	D-1238
Massa específica	0,90	g/cm <sup>3</sup>	D-1505
Condutividade elétrica	1,11x10 <sup>-8</sup>	S/cm	D-257

Fonte: FELISBERTI e LOPES (1999).

Pela análise dos resultados obtidos, a reciclagem do material mostrou-se tecnicamente viável, considerando a aplicabilidade da peça. Para isso considera-se que esta análise foi realizada nas placas recicladas sem a junção de madeira com a finalidade de produção de painel de vedação.

A condutividade com o polietileno e alumínio apresenta característica relevante na produção de peças que necessitam de cargas condutoras, principalmente no que se refere à propagação de chamas (Tabela 2B).

Tabela 2B: Determinação do índice de propagação superficial de chama.

	Valores		
	Médio	Mínimo	Máximo
Índice de propagação superficial de chama ( $I_p$ )	160	138	195
Fator de evolução de calor (Q)	44,8	38,3	55,9
Fator de propagação de chama ( $P_c$ )	3,6	3,5	3,6
<i>Classificação</i>	<i>Classe D</i>		

Fonte: CERQUEIRA (2005).

Em relação ao índice de propagação de chama para placas e telhas, o método de ensaio NBR 9442/1986 propõe o enquadramento dos materiais em cinco classes distintas, conforme abaixo descrito:

Tabela 2C: Índice de propagação de chama, conforme NBR 9442/1986.

Classe	Índice de propagação de chamas ( $I_p$ ) médio
A	0 - 25
B	26 - 75
C	76 -150
D	151 – 400
E	Superior a 400

Ao observar os resultados obtidos para as placas, mostram que o polietileno/alumínio empregado, após fusão nas prensas, demonstrou fornecer materiais com características homogêneas.

### **Anexo 3: Absorção d'água**

A medição da absorção de água está baseada na norma ASTM D570, com três repetições com o tempo de imersão de 24 horas a uma temperatura de 25+/- 2°C. O resultado obtido foi de 0,54%, baixo resultado, porém superior ao do polietileno puro (<0,01). Para Felisberti e Lopes (1999), o óxido de alumínio apresenta grande afinidade por água e substâncias polares em geral, sendo que sua superfície normalmente apresenta uma camada de água absorvida.

**Anexo 4: Certificado de Calibração – Fibra de vidro**

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY  
Teddington Middlesex TW11 0LW England

**Certificate of Calibration**



THERMAL CONDUCTIVITY OF  
GLASS FIBRE BOARD

FOR : Dr R Lamberts  
Univ. de Federal de Santa Catarina  
Trindade  
Florianopolis  
Santa Catarina  
BRAZIL

DESCRIPTION : A pair of glass fibre board specimens measuring  
approximately 303 x 301 x 37 mm

IDENTIFICATION : Order No. OPB-5211  
Specimens labelled QM/123A and B

OBJECTIVE : To provide a transfer standard with certified  
thermal conductivity values over the range 0 °C to  
80 °C.

BASIS OF TEST : Guarded Hot-plate Method: BS 874:Section 2.1:1986  
and ISO 8302

REFERENCE 12321/90/022

PAGE 1 OF 3

DATE 21 January 1991

SIGNED  for Director

CHECKED 

*This Certificate may not be published except in full, unless permission for the publication of an approved extract has been obtained in writing from the Director. It does not of itself impute to the subject of calibration any attributes beyond those shown by the data contained herein.*



## NATIONAL PHYSICAL LABORATORY

## Continuation of Certificate

MEASUREMENTS

Two glass fibre board specimens of closely matching density were selected from the NPL stock and their thermal conductivity was measured at six temperatures using a precision guarded hot-plate apparatus conforming to BS874:Section 2.1:1986 and ISO 8302. In this apparatus eight pairs of thermocouples and a 20-junction differential thermocouple are used to monitor the temperature balance between the guard and metering sections of the heater plate. The plate surfaces have a total hemispherical emittance in excess of 0.9 and all the temperature sensors and electrical instruments used are calibrated with traceability to national standards. The thermal conductivity measurements were made at an imposed specimen thickness of 0.03761 m (density 149 kg/m<sup>3</sup>) and with a temperature difference between the hot and cold plates of about 18 K.

RESULTS

The results are shown in Table 1.

Table 1

Mean Test Temperature (°C)	Thermal Conductivity (W/m.K)
-1.17	0.03132
16.54	0.03326
28.03	0.03447
36.80	0.03550
58.24	0.03769
75.52	0.03935

A least squares fit to these measured values gives the following expression for the thermal conductivity of the specimens as a function of temperature

$$\lambda = ( 0.03152 + 0.000105 \theta ) \quad \text{W/m.K}$$

where  $\theta$  is the temperature in degrees Celsius.

This expression which is in close agreement with previous expressions for samples from this stock, can be used to evaluate the thermal conductivity at any temperature between 0 °C and 80 °C within the uncertainty specified below.

REFERENCE 12321/90/022

PAGE 2 OF 3

CHECKED

*D.P.O.*

NATIONAL PHYSICAL LABORATORY  
Continuation of Certificate

For convenience, derived thermal conductivity values at 10 °C intervals are given in Table 2.

Table 2

Temperature (°C)	Thermal Conductivity (W/m.K)
0	0.0315
10	0.0326
20	0.0336
30	0.0347
40	0.0357
50	0.0368
60	0.0378
70	0.0389
80	0.0399

UNCERTAINTIES

The total uncertainty in the thermal conductivity values is estimated to be within ±1.5% at the 95% confidence level.

CAUTION

1. The specimens should be handled with care and kept in the case provided. To avoid the possibility of error due to moisture absorption it is recommended that the specimens should be conditioned for at least 24 hours in a well ventilated part of the test laboratory before use. In case of doubt the specimens may be oven-dried at 105 °C for several hours and then allowed to cool and reach equilibrium in the laboratory environment.

2. In the present calibration the specimens were measured under load in the apparatus at a mean density of 149 kg/m<sup>3</sup>. Although their thermal conductivity is not strongly dependent on density  $\Delta\lambda/\lambda < 0.15 \Delta\rho/\rho$ , excessive loading of the specimens in the apparatus should be avoided.

REFERENCE 12321/90/022  
CHECKED *DA*

PAGE 3 OF 3