

# USF

## Campus de São Carlos

SUBCOBERTURAS: APLICAÇÃO DE  
ISOLANTES TÉRMICOS EM SISTEMAS DE  
COBERTURAS

Consuelo Carletto

Orientador: Prof. Dr. Francisco Vecchia

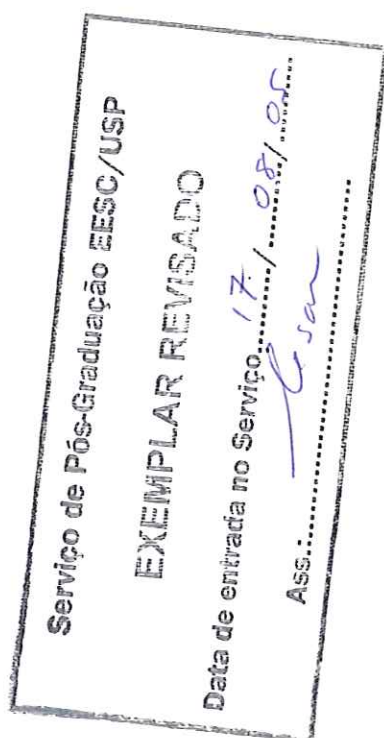
### UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO



### ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS

Consuelo Carletto

SUBCOBERTURAS: APLICAÇÃO DE ISOLANTES  
TÉRMICOS EM SISTEMAS DE COBERTURAS



Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos/USP, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências da Engenharia Ambiental.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco Vecchia



SÃO CARLOS – SP  
2005

DEDALUS - Acervo - EESC



31100052258

Class.	TESE ✓
Cutt.	1162
Tombo	T219105
Sysno	1459573

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

M539s Carletto, Consuelo  
Subcoberturas : aplicação de isolantes térmicos em  
sistemas de coberturas / Consuelo Carletto. -- São  
Carlos, 2005.

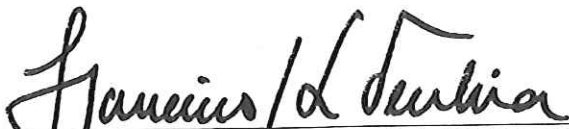
Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de  
São Carlos-Universidade de São Paulo, 2005.  
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.  
Orientador: Prof. Dr. Francisco Vecchia.

1. Clima. 2. Conforto térmico. 3. Isolamento  
térmico. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

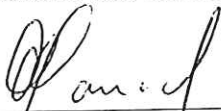
Candidata: Arquiteta CONSUELO CARLETTO

Dissertação defendida e julgada em 20-05-2005 perante a Comissão Julgadora:



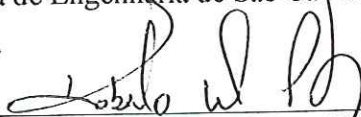
Prof. Dr. FRANCISCO ARTHUR DA SILVA VECCHIA (Orientador)  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

aprovado



Prof. Dr. FREDERICO FÁBIO MAUAD  
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

Aprovado

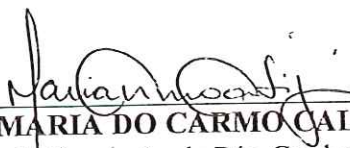


Prof. Dr. ROBERTO VASCONCELOS PINHEIRO  
(Universidade de Franca/UNIFRAN)

Aprovado



Prof. Associado EVALDO LUIZ GAETA ESPINDOLA  
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências da  
Engenharia Ambiental



Profa. Titular MARIA DO CARMO CALIJURI  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

**Dedico** esse trabalho aos meus filhos Nathália, Guilherme e Marina, incentivo, força e fonte de energia da minha vida e à memória de quem contribuiu com muito amor para os três estarem agora ao meu lado: Amaury.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus pelo dom da vida e por me guiar e carregar nos momentos difíceis pelos quais passei para concluir esta dissertação.

Aos meus pais, Eurípedes e Benon, por terem sido os instrumentos de Deus na minha colocação neste mundo e, por terem me criado de forma a enfrentar com fé, compreensão e força as adversidades da vida.

Ao Amaury, que mesmo estando em outra dimensão, acredito que esteve ao meu lado, torcendo e me apoiando.

Aos meus filhos Nathália, Guilherme e Marina por compreenderem as horas de carinho e atenção abdicadas em favor da realização deste trabalho.

Às minhas irmãs Cleide e Célia e aos cunhados Amilton e Francisco pela ajuda e presença sempre constantes.

Aos meus familiares e amigos pelo apoio recebido, em especial ao Juliano, Zenon, Mariinha, Jacqueline e Adeildo.

Ao Ademir, Luís, Jair e Valter, pedreiro, eletricitista e pintor, respectivamente, pela ajuda na montagem e manutenção dos protótipos.

Aos professores Maurício Roriz e Harry Schultz pela colaboração oferecida a este trabalho, na apresentação do mesmo para a Qualificação.

À CAPES pela bolsa de estudo fornecida.

Aos funcionários e professores do Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada - CRHEA -, em especial à Claudete.

E, em especial, ao Professor Francisco Vecchia, para quem todas as palavras são poucas para agradecer todo carinho, toda amizade e toda orientação dedicados nesta jornada.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
LISTA DE FIGURAS .....	iii
LISTA DE TABELAS .....	v
1. INTRODUÇÃO .....	1
2. REVISÃO DE LITERATURA .....	5
2.1. Introdução .....	5
2.2. Antecedentes .....	5
2.3. Referências Bibliográficas correlatas ao tema do presente trabalho .....	7
2.4. O Clima .....	8
2.4.1. Escalas de abordagem temporais e espaciais do clima .....	9
2.4.2. Abordagem dinâmica do clima .....	12
2.4.2.1. Fatores genéticos .....	13
2.4.2.2. Fatores derivados (elementos climáticos) das propriedades das massas de ar atuantes sobre dadas regiões do planeta .....	15
2.4.2.3. Principais fatores geográficos de modificação das condições iniciais do clima .....	15
2.4.2.4. Os episódios representativos .....	15
2.4.2.5. Definição dos parâmetros para avaliação do comportamento térmico .....	17
2.5. O clima de São Carlos .....	18
2.5.1. Visão clássica .....	18
2.5.2. Visão dinâmica do clima de São Carlos .....	19
2.6. Relação entre clima e projeto de cidades e edificações .....	20
2.7. Conceitos físicos de transmissão de calor .....	22
2.7.1. Transmissão de calor .....	22
2.7.1.1. A condução .....	24
2.7.1.2. A convecção .....	27
2.7.1.3. A radiação .....	28
2.7.2. Troca de calor entre o edifício e o seu meio envolvente .....	35

2.7.3. Definição de sistema de cobertura .....	38
2.7.4. Fluxo térmico em sistemas de cobertura .....	40
2.7.5. Atenuação térmica em sistemas de cobertura .....	41
2.7.6. Princípios sobre Isolamento Térmico .....	41
2.7.7. Materiais Isolantes .....	42
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	44
3.1. Especificação dos materiais .....	44
3.1.1. A Lã de Rocha .....	44
3.1.2. O Foil .....	46
3.1.2.1. Isolantes refletivos e barreiras de radiação .....	46
3.1.3. As caixas acartonadas Tetra Pak .....	48
3.1.3.1. Histórico .....	48
3.1.3.2. Composição das embalagens .....	48
3.1.3.3. Reaproveitamento das caixas acartonadas .....	50
3.2. Instalação dos materiais e dos equipamentos .....	51
3.2.1. Caracterização da área de estudo .....	51
3.2.2. Características das células de teste – protótipos .....	52
3.3. Instalação dos isolantes .....	55
3.3.1. A Lã de Rocha .....	55
3.3.2. O Foil .....	56
3.3.3. As caixas acartonadas Tetra Pak .....	58
3.3.4. Instalação dos sensores .....	60
3.4. Procedimento experimental .....	62
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	65
4.1. Caracterização e análise do episódio representativo de primavera-verão .....	65
4.2. O dia representativo experimental .....	70
4.3. Resultados obtidos nos protótipos .....	72
4.3.1. Protótipo 1 – Laje cerâmica sem isolante térmico .....	72
4.3.2. Protótipo 2 – Laje cerâmica com revestimento de caixas acartonadas Tetra Pak .....	74
4.3.3. Protótipo 3 – Laje cerâmica e foil como isolante por reflexão .....	76



4.3.4. Protótipo 4 – Laje cerâmica e lã de rocha como isolante térmico .....	78
4.4. Estudo comparativo dos protótipos .....	81
4.4.1. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 01 – laje cerâmica sem a colocação de isolante .....	82
4.4.2. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 02 – laje cerâmica e caixas acartonadas Tetra Pak como isolante por reflexão e câmara de ar .....	83
4.4.3. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 03 – foil .....	84
4.4.4. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 04 – lã de rocha .....	86
4.5. Comparação entre os valores da temperatura externa do ar e a tbs 1,10m dos protótipos 01 (laje cerâmica), 02 (caixas acartonadas Tetra Pak), 03 (foil) e 04 (lã de rocha) .....	88
5. CONCLUSÕES .....	94
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98

## RESUMO

CARLETTO, Consuelo. (2005). *Subcoberturas: aplicação de isolantes térmicos em sistemas de coberturas*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

Este trabalho tem como foco principal apresentar os resultados e as contribuições da pesquisa experimental comparativa de subcoberturas em sistemas de cobertura. Para tal fim foram utilizados quatro protótipos localizados no Canteiro Experimental do CHREA – EESC em São Carlos, São Paulo. Os protótipos foram construídos da mesma forma e com os mesmos materiais: tijolo comum, laje cerâmica recapeada com concreto; cobertos com telhas de fibrocimento e submetidos às mesmas excitações de clima ao ar livre. A análise foi feita aplicando um curto intervalo de clima, com respaldo teórico da Climatologia Dinâmica. Um dos protótipos serviu como testemunho e não recebeu a instalação de nenhuma subcobertura. Os outros três receberam cada um, respectivamente, subcobertura de foil (isolante por reflexão, ou barreira de radiação), lã de rocha (isolante convencional, condutividade térmica  $k$ ) e de caixas cartonadas Tetra Pak, um resíduo, como isolante por reflexão e câmara de ar, já que foram utilizadas fechadas e uma ao lado da outra. Foram monitoradas as temperaturas superficiais da telha e da laje e, das temperaturas de bulbo seco no ático e na parte interna dos protótipos a 1,10m de altura. As medidas de aquisições de dados foram feitas através de CR10X Campbell Scientific automático com medições em 30 segundos, armazenados e totalizados em 30 minutos, o que resultou em valores de clima ao livre e em recinto fechado muito precisos.

Palavras-chave: conforto térmico, isolante térmico, clima

## ABSTRACT

CARLETTO, Consuelo. (2005). *Subcoberturas: aplicação de isolantes térmicos em sistemas de coberturas*. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

Thermal Comfort achievement can be done by using thermal reflexive barriers, meaning energy savings and avoiding health problems of air conditioning. It can also be done by using building construction waste materials as Tetra Pak boxes, a low cost reflexive insulation, and applying an industrial “foil” which has the same effect on reducing indoor air temperatures. In the same way traditional thermal insulation materials were used on this research as the mineral wool (conventional insulation material, thermal conductivity - k values). The analysis was made applying short intervals of climate such as recommended by the dynamic climatic approach. The use of foil insulation can be justified because of its behavior as a reflective barrier and because it has a lot of acceptance; mineral wool (mineral source with low k insulation values) for being a traditional kind of thermal insulation and the Tetra Pak box, because it is a reflective insulation and also because of its waste recycle usage characteristic. The research shows the insulation thermal efficiency applied on three kinds of fiber asbestos cover system, which makes the indoor air temperatures inside of comfort zones values, as intended to expose by graphics, made by real time and automatic experimental measurements. The measurements of data acquisitions were made by automatic CR10X Campbell Scientific Inc., 30 seconds scanner and totalized storage as 30 minutes average intervals. This means a very accurate result of values of outdoor and indoor climate translated by indoor and out door air temperatures

Key words: thermal comfort, insulating material, climate.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 - Comprimento de onda – corte de envolvente (parede) fictícia representando os valores das temperaturas externas e internas .....</b>	<b>29</b>
<b>Figura 2 - Energia incidente transmitida, absorvida e refletida .....</b>	<b>30</b>
<b>Figura 3 - Propriedades radiantes de alguns materiais de construção .....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 4 - Trocas térmicas entre a edificação e o meio envolvente .....</b>	<b>34</b>
<b>Figura 5 - Representação das trocas de calor em um sistema de cobertura .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 6 - Representação das trocas de calor em um sistema de cobertura .....</b>	<b>41</b>
<b>Figura 7 - Lã de rocha em forma de painel .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 8 - Lã de rocha em forma de feltro .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 9 - Lã de rocha em forma de forro .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 10 - Lã de rocha em forma de tubos .....</b>	<b>45</b>
<b>Figura 11 - Constituição da caixa Tetra Pak .....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 12 - Vista parcial da área com os protótipos .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 13 - Planta Baixa – protótipo .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 14 - Corte AA – protótipo .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 15 - Corte BB – protótipo .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 16 - Implantação dos protótipos .....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 17 - Lã de rocha em placas .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 18 - Colocação da lã de rocha .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 19 – Desenho – colocação da lã de rocha .....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 20 - Desenho – colocação do foil .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 21 - Colocação do foil – vista superior .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 22 - Colocação do foil – vista inferior .....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 23 - Caixas Tetra Pak – vista externa .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 24 - Caixas Tetra Pak – vista interna .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 25 - Desenho – colocação das caixas Tetra Pak .....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 26 - Desenho – Instalação do termopar .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 27 - Colocação do termopar na telha .....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 28 - Colocação do termopar na vigota de concreto da laje .....</b>	<b>61</b>

Figura 29 - Colocação do termopar a 1,10m do piso .....	61
Figura 30 - Central de coleta de dados .....	64
Figura 31 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 01/11 .....	66
Figura 32 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 02/11 .....	66
Figura 33 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 03/11 .....	66
Figura 34 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 04/11 .....	66
Figura 35 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 05/11 .....	67
Figura 36 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 06/11 .....	67
Figura 37 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 07/11 .....	67
Figura 38 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 08/11 .....	67
Figura 39 - Imagem satélite GOES – 15:00horas – Dia 09/11 .....	67
Figura 40 - Temperatura externa do ar e umidade relativa do ar entre os dias 01 a 09 de novembro de 2004 .....	68
Figura 41 - Radiação solar global entre os dias 01 e 09 de novembro de 2004.....	69
Figura 42 - Radiação solar no dia 04 de novembro de 2004 .....	70
Figura 43 - Temperatura externa do ar e umidade relativa do ar – 04/11 .....	71
Figura 44 - Comportamento térmico do protótipo 01 .....	72
Figura 45 - Comportamento térmico do protótipo 02 .....	74
Figura 46 - Comportamento térmico do protótipo 03 .....	76
Figura 47 - Comportamento térmico do protótipo 04 .....	78
Figura 48 - Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 01 .....	82
Figura 49 - Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 02 .....	84
Figura 50 - Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 03 .....	85
Figura 51 - Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 04 .....	86
Figura 52 - Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso dos protótipos 01 (laje cerâmica), 02 (caixas cartonadas Tetra Pak), 03 (foil) e 04 (lã de rocha) .....	88

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Médias Mensais dos Dados Climáticos de São Carlos .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabela 2 - Propriedades térmicas dos materiais de construção .....</b>	<b>26</b>

## INTRODUÇÃO

Desde a Antigüidade, o homem interage com o meio ambiente, usando suas habilidades para desenvolver técnicas e tecnologias que possibilitem a ele, sobreviver em situações climáticas adversas, criando vestimentas e moradias que o protejam dessas adversidades, desejando com esses procedimentos, criar ambientes que correspondam aos parâmetros estruturais, funcionais, estéticos e térmicos de cada momento histórico. Este procedimento se reflete na arquitetura tradicional de todo o mundo, desde a história antiga até o presente.

Dessa forma, o conceito de espaço tem sido alterado ao longo da história da civilização para atender à dinâmica do seu crescimento e às exigências e necessidades do homem.

Com o advento da Revolução Industrial (séc. XVIII), novos materiais foram desenvolvidos e começaram a ser utilizados, por exemplo, o aço e o concreto armado (séc. XIX). Isto propiciou mudanças nos conceitos de arquitetura vigentes na época.

O emprego do concreto armado e o uso de grandes vãos envidraçados se tornaram cada vez mais constantes. Em consequência disso, diversos sistemas de iluminação e de condicionamento artificial foram desenvolvidos e, a cada passo dado nessa direção, se via nitidamente, a falta de vínculo com os conceitos de economia de energia. Nos anos 70, com a crise do petróleo, começava a preocupação com esses conceitos.

Atualmente, com a introdução do paradigma de desenvolvimento sustentável, começam as exigências para que as soluções de projeto demonstrem um impacto sócio-ambiental no nível do aceitável com procedimentos que visem a aumentar a eficiência energética das edificações (SANTOS, 2002).

Assim, o projeto de uma edificação deve levar em conta aspectos sociais, econômicos, estéticos, ambientais e climatológicos, para que se evite o mínimo de impacto

em todos esses aspectos.

Quanto aos aspectos climatológicos, a interação evita, ou minimiza, os impactos negativos ao meio ambiente. Em edificações, especificamente, um aspecto que pode ser ressaltado é que essa interação evita que haja a necessidade de uso de sistemas artificiais de aquecimento ou refrigeração dos espaços, ou mesmo, quando eles se fizerem necessários, que haja uma minimização nos seus usos.

O rápido crescimento urbano exige uma metodologia de análise das condições ambientais que seja ágil e precisa na caracterização do Clima (regime climático), que imponha aos ambientes construídos o seu domínio (a sua ação e atuação) através da atuação das massas de ar. Dessa forma, foi adotada a Climatologia Dinâmica, como embasamento teórico na relação do Clima com o comportamento térmico dos protótipos estudados, já que ela permite uma análise mais acurada e conclusões mais próximas da realidade.

A definição de Conforto Térmico, expressa pelas normas internacionais existentes, apresenta um caráter muito mais conceitual do que quantitativo e, para o seu estudo são necessárias inúmeras variáveis específicas, passando pela percepção subjetiva dos ambientes, a qual depende do tipo de atividade exercida pelo indivíduo, da idade, do sexo, da alimentação e do metabolismo, até a associação a outros fatores correlatos relacionados à qualidade do ar, à iluminação, etc. Assim, nesse trabalho, optou-se pelo estudo do comportamento térmico das células de teste com a aplicação de subcoberturas e não das suas condições de Conforto Térmico.

O isolamento térmico é um artifício que pode ser usado como elemento de correção ambiental, melhorando o comportamento térmico das edificações.

Ele pode reduzir drasticamente e, em alguns casos, quase eliminar o fluxo de calor entre os materiais envolventes da construção. É mais importante em climas onde o problema térmico é constante por longos períodos de tempo, como por exemplo:

1 – em climas frios, em construções aquecidas, onde a perda de calor deve ser reduzida.

2 – em climas quentes, em construções climatizadas artificialmente, onde o ganho de calor deve ser minimizado.

Em climas onde invernos muito frios são alternados com verões muito quentes, o isolamento deve beneficiar as duas estações (ZOLD & SZOKOLAY, 1997).



Mas sem dúvida, o isolamento é superiormente importante sobo ponto de vista da conservação de energia, tema que há alguns anos foi de prioridade mundial e hoje continua tendo uma grande relevância, principalmente no Brasil, que já passou por uma crise energética e que tem outra anunciada para 2007.

Em função disso, neste trabalho, foram pesquisados três tipos de isolantes térmicos que atuaram como subcoberturas em sistemas de coberturas: o foil (isolante térmico por reflexão, ou barreira de radiação), a lã de rocha (isolante convencional – condutividade térmica  $k$ ) e de resíduos sólidos na forma de caixas cartonadas Tetra Pak (isolante por reflexão e câmara de ar).

Para a análise do comportamento térmico dos protótipos, ou células de teste, foram, então, registrados os valores da temperatura de bulbo seco - tbs, em dois pontos, no ático e no interior dos protótipos a 1,10m de altura do piso. Além dessa variável, também se registraram os valores das temperaturas superficiais internas - tsi, tomadas em dois pontos distintos, nas superfícies das telhas e dos forros utilizados no experimento. Para o estudo comparativo dos quatro protótipos utilizou-se a temperatura de bulbo seco a 1,10m do piso e a temperatura externa do ar.

Os resultados obtidos na pesquisa apontaram bons resultados dos três tipos de isolantes utilizados como subcoberturas, no comportamento térmico dos protótipos analisados, o que certamente contribuirá, quando da utilização deles em edificações, para a conservação de energia, que como citado anteriormente é, no momento, e ao que tudo indica, continuará sendo no futuro, um tema de grande importância ambiental e econômica.

Além dessas contribuições, pode-se citar que a utilização das caixas cartonadas Tetra Pak, que possuem custo praticamente zero, contribui para um melhor nível de conforto térmico em edificações destinadas às populações de baixa renda, assim como em várias outras edificações de cunho social, tais como escolas, creches, postos de saúde, etc. Podem também, certamente, ser utilizadas em outros tipos de edificações e por populações de outras classes sociais.

Em relação à utilização das caixas Tetra Pak, deve-se ressaltar também que esse procedimento contribui para a redução da quantidade de resíduos lançados em lixões e/ou em aterros sanitários, outro tema de prioridade ambiental e econômica. Ambiental, pela reutilização de um resíduo, e econômica, pois com essa reutilização, pode-se reduzir,

#### Subcoberturas: aplicação de isolantes térmicos em sistemas de coberturas

---

mesmo que pouco, a princípio, o tamanho dos aterros sanitários, que possuem um elevado custo de construção.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Introdução**

Este trabalho tem um caráter experimental e para a sua conceituação, foram necessários dois embasamentos teóricos.

O primeiro é o Clima, partindo dos conceitos da Climatologia Dinâmica, que entende o clima como um encadeamento de episódios representativos do fato climático, os quais podem ser recortados de acordo com a necessidade de cada pesquisa e retratam de forma mais apurada e mais próxima da realidade as relações entre os fenômenos climatológicos externos e a suas conseqüências sobre o ambiente construído. (VECCHIA, 1997).

O segundo embasamento teórico necessário diz respeito aos conceitos sobre os processos físicos de Transmissão de Calor, pois não se pode entender a atuação de um isolante térmico como atenuante do rigor climático e dos fluxos de calor entre ele e a edificação, como também entre a edificação e o seu meio exterior e interior, sem ter o entendimento dos conceitos de condução, convecção e radiação.

Com relação à revisão bibliográfica de temas correlatos ao tema deste trabalho, ela é praticamente inexistente, mas as poucas referências encontradas serão apresentadas no item 2.3., a seguir.

### **2.2. Antecedentes**

O desenvolvimento tecnológico, por um lado, com a possibilidade de monitoramento automático por meio de precisos “*dataloggers*” e sensores eletroeletrônicos, seguidos, por outro, dos computadores pessoais, tornou possível a obtenção de longas séries

de dados climatológicos e ambientais (conforto, desempenho térmico, entre outros), adequada análise de consistência dos dados adquiridos e o devido tratamento estatístico originando a formação de um campo propício às verificações experimentais nas pesquisas científicas. Nesse contexto surgiu o Canteiro Experimental CRHEA EESC USP, contando com 15 células de teste utilizadas para análise do comportamento térmico, tendo por base seis sistemas de cobertura de fibrocimento, os quais foram então comparados com os mais utilizados no Brasil, como os de telha cerâmica, de aço galvanizado, de aço galvanizado sanduíche/termoacústico, de alumínio, de telha micro-concreto, de telha de polipropileno e de fibras vegetais com betume.

Dessa forma, foram determinados blocos comparativos entre sistemas de cobertura, a exemplo do sistema de fibrocimento com forro de madeira; fibrocimento com utilização de lâminas metálicas, tipo foil; fibrocimento com dispositivos especiais de ventilação e fibrocimento sem aplicação de forro.

Os dados foram coletados e armazenados por uma central automática e avaliados com base na Climatologia Dinâmica que integra o ritmo do clima de forma dinâmica aos resultados do comportamento térmico por meio de episódios representativos do fato climático.

Foram considerados os parâmetros climáticos: temperatura e umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento. Também foram registrados os valores da temperatura interna do ar (bulbo seco- tbs) tomados no centro geométrico de cada protótipo e das temperaturas superficiais internas, tomadas em três pontos distintos, nas superfícies das telhas ou dos forros utilizados no experimento referindo-se sempre ao ambiente interior dos protótipos.

Todos os sistemas de cobertura sem forro não corresponderam às condições adequadas de conforto térmico, observando-se os limitantes, superiores e inferiores, propostos por Olgyay (1963) e comumente utilizados como referência. Dentre as coberturas com forro, as que tiveram melhor desempenho foram as de fibrocimento com forro de madeira e as de telha cerâmica com forro de laje cerâmica.

Verificou-se que a aplicação de medidas corretivas tende a melhorar o comportamento térmico de espaços interiores, a exemplo da aplicação de forro, caso dos forros de laje pré-moldada e de madeira, reduzindo os valores da temperatura interna do ar, respectivamente, em 3.0°C e 5.6°C, quando comparados aos maiores valores da

temperatura do ar interior registrados nas células de teste, em protótipos sem a aplicação de forro.

Portanto, medidas de controle ambiental devem ser adotadas. A utilização de forro ou de subcoberturas similares é sempre recomendável para qualquer tipo de construção, salientando-se que, em função das especificidades de uso do espaço, as medidas de correção tornam-se cada vez mais imprescindíveis, a exemplo de hospitais, maternidades, postos de saúde, escolas, creches, ambientes de trabalho, abrigos para idosos, habitações, entre outros.

### **2.3. Referências Bibliográficas correlatas ao tema do presente trabalho**

Na literatura não foi encontrada nenhuma pesquisa que faça uma análise comparativa da utilização de isolantes térmicos como subcobertura. Especificamente, sobre os isolantes adotados nesta pesquisa, pouca pesquisa experimental foi encontrada.

Sobre a lã de rocha, não foi encontrada nenhuma pesquisa científica (experimental ou não), somente dados fornecidos pelos fabricantes, os quais são obtidos com a aplicação de fórmulas conhecidas na literatura e que possibilitam o cálculo da resistência térmica do material.

Quanto ao foil, a produção científica é muito pequena, sendo encontrada somente uma pesquisa experimental realizada por Vecchia (2001a) em uma residência habitada em São Carlos. Os dados obtidos atestam que o seu uso como subcobertura mostrou-se adequado às necessidades de correção ambiental.

Outro trabalho encontrado sobre foil utilizado como forro foi realizado por Vittorino et al (2003). Os dados foram obtidos por meio de considerações teóricas e com base em medições laboratoriais realizadas em produtos encontrados no mercado. Os resultados discutem a baixa emissividade do material e as suas formas de instalação para que se possa maximizar o seu desempenho térmico ao longo do tempo.

Quanto às caixas Tetra Pak, foi encontrado um artigo em uma revista não indexada sobre uma pesquisa experimental realizada pelo professor Pagani (2001), com as caixas sendo utilizadas abertas em forma de forro, em um sistema de aplicação parecido com o do foil. Os resultados apresentados atestam a eficiência das caixas Tetra Pak como forro, na

redução de calor que atinge o ambiente interior das edificações analisadas.

Pesquisas com as caixas Tetra Pak abertas também foram desenvolvidas por Vecchia et al (2003), onde demonstram a eficiência desse material como atenuante térmico, usado aberto como forro.

Com as caixas Tetra Pak fechadas não foi encontrada nenhuma pesquisa, assim como nenhuma pesquisa desse material utilizado como subcobertura.

## 2.4. O Clima

Em 1951, Sorre traz à luz o conceito de ritmo climático, que se aplica de forma idiossincrática ao estudo, à análise e à definição dos regimes climáticos: dos ritmos anuais, sazonais até os mais específicos -os ritmos horários. Ressalta a importância fundamental para a correta escolha das escalas de abordagem no tempo e no espaço, ao propor o entendimento do clima como ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera em determinado lugar e sua sucessão habitual.

Monteiro, em 1967, ao investigar a realidade objetiva no conceito sorriano, conceitua o clima como o encadeamento sucessivo e habitual de tipos de tempo e, em 1976, faz a aplicação do conceito de ritmo, por meio da utilização da análise rítmica dos tipos de tempo. Enfoca o clima como algo que se manifesta por meio da percepção dos regimes, ou seja, da variação anual, enfim sob a ótica do ritmo do clima. Sendo os regimes, observações feitas separadamente para os elementos climáticos (pressão atmosférica, temperatura, umidade, precipitações, ventos, etc.), a noção sintética de clima advém do ritmo de sucessão dos tipos de tempos, configurados em cadeias nas sucessões mais habituais.

Em 1970, Pierre Pedelaborde preocupa-se em definir no tempo e no espaço a evolução e a gênese dos tipos de tempo, com a resolução precisa do fato climático, este entendido como fenômeno encadeado de estados ou “ambiências atmosféricas” que interferem no trinômio: espaço-atividade humana-cotidiano, semelhante à proposição de Olgyay (1963).

A análise rítmica permite a redução de longas séries históricas de dados, inadequadas ao estudo dos arranjos urbanos devido a sua rápida modificação e transformação e, também, quanto a sua aplicação ao conforto térmico das edificações, em

função de sua reduzida escala de análise, por meio do estudo dos regimes climáticos, a partir da determinação de anos padrão, que podem ser determinados pelo critério da pluviosidade.

Para Cuadrat & Pita (1997), os climas do planeta são resultados do funcionamento do sistema climático (grandes anéis da circulação que transportam energia do equador para os pólos) e suas variadas características refletem a influência dos distintos componentes que, de forma conjunta, atuam no sistema. As inter-relações desses fatores e de sua quantificação, podem apontar para uma identificação de clima local por meio do comportamento atmosférico.

O clima de uma região é determinado pelo padrão de variações de vários elementos e suas combinações. Os principais elementos climáticos, quando o conforto humano e o projeto de uma edificação têm de ser considerados, são a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade, o vento e a precipitação. As condicionantes climáticas podem variar grandemente de um dia para outro e de um ano para outro, para uma visão mais realista quando se trata com problemas climáticos, situações extremas e sua esperada frequência podem ser de maior importância do que os padrões que levam em conta as médias climatológicas, em longo espaço de tempo. (GIVONI, 1976).

Vecchia (1997) utilizou os conceitos de tipos de tempo, propostos por Monteiro (1968), para elaborar períodos peculiares do clima denominados de episódios representativos do fato climático aplicados à avaliação de desempenho térmico no ambiente construído e no espaço urbano. Afirma que essa proposta para o estudo e a caracterização do clima, a partir de episódios representativos de períodos específicos, recortados de acordo com a necessidade de cada estudo, obedecendo à gênese do clima, permite uma análise apurada e conclusões mais próximas à realidade concreta e, principalmente, ressalta por meio de curtos períodos de tempo, o que sob a ótica da dinâmica de crescimento urbano é absolutamente imprescindível.

#### 2.4.1. Escalas de abordagem temporais e espaciais do clima

Cuadrat & Pita (1997) ressaltam que na análise de clima é comum diferenciar

quatro escalas, onde cada uma delas tem características próprias e permite distintos níveis de generalização. São elas:

- macroclimática ou climas zonais: representam o campo das grandes áreas geográficas, de milhares de quilômetros quadrados por superfície, controlado pela circulação geral da superfície;
- mesoclimática ou clima regional: constitui uma faixa do clima zonal de dimensões lineares variando entre 200 a 2000 km;
- local: corresponde a unidades menores do clima regional, apresentando diferenças significativas entre si, como extensão no sentido horizontal entre 100 e 10.000 m, e no sentido vertical, em torno de 100 metros;
- microclimática: representa os climas de lugares pequenos e bem delimitados, onde a natureza dos elementos climáticos está muito mais condicionada por fatores do entorno do que por fatores regionais. Permite o registro de pequenas mudanças ambientais em condições muito específicas (na maioria dos casos a menos de 2,00 metros de altura), e em períodos de tempo curto, porque a proximidade do solo faz com que as variações das condições atmosféricas sejam muito rápidas.

O clima local, segundo Cuadrat & Pita (1997), sofre uma modificação ocasionada pelas cidades, pela sua própria construção, pela variação dos fluxos naturais de energia e pelos efeitos das atividades humanas. Esse clima local modificado é denominado clima urbano.

Cinquenta por cento da energia solar incidente atravessa a atmosfera e atinge a superfície terrestre. A cidade e o campo recebem a mesma quantidade de radiação solar. Da radiação absorvida, grande parte é re-irradiada como radiação de grande comprimento de onda bem rapidamente, porque solo e rochas têm uma capacidade térmica relativamente pequena. A radiação de ondas longas, ou infravermelha, que é re-emitida, entra no ciclo natural do efeito estufa da Terra: parte dessa radiação é refletida de volta a Terra pelo dióxido de carbono na atmosfera, parte é absorvida pela água durante o processo natural de evaporação e uma pequena porcentagem escapa para o espaço (VECCHIA, 2001b).

A quantidade de concreto e de asfalto responde pela maior absorção e pela capacidade de armazenamento de calor dentro da cidade, além de proporcionar uma maior capacidade de re-irradiar o calor como radiação infravermelha (onda longa)



(VECCHIA, 2001b).

A atmosfera sobre as cidades possui mais nuvens e gera mais chuvas, e devido a isso, reduz a insolação das superfícies. O ar das cidades é mais carregado de névoa (poeira e aerossóis) e contém menos umidade devido ao escoamento mais rápido das águas das chuvas (VECCHIA, 2001b).

A umidade é muito baixa como resultado da impermeabilização do solo, que diminui o tempo de escoamento das águas sobre o solo urbano. Assim, a evapotranspiração diminui extraordinariamente (com exceção das áreas de parques e jardins irrigados), aumentando a quantidade de calor no sistema (VECCHIA, 2001b).

Recentes pesquisas apontam uma maior incidência de chuvas de verão e produção de nuvens sobre os centros urbanos, o que ainda não é muito bem compreendido, mas as idéias sugerem que a presença de aranhas-céu e ou a maior convecção devido à prolongada re-emissão de energia térmica têm seu papel na formação das nuvens (VECCHIA, 2001b).

Esses fatores e o aumento de calor artificial resultante do consumo humano de energia por combustão combinam-se para fazer com que a temperatura da cidade seja geralmente vários graus superiores à temperatura do seu entorno rural. Este efeito é conhecido como *ilha de calor* ou *ilha térmica* e constitui a modificação mais clara e comprovada que produz o espaço urbano sobre o clima (VECCHIA, 2001b).

A ilha de calor pode diminuir ou desaparecer com a presença de ventos fortes, ao mesclar o excedente térmico com o ar frio circundante. O movimento do ar ajuda a diminuir os poluentes, aumentar o conforto e conservar a energia (VECCHIA, 2001b).

Em geral o espaço urbano mais quente é o centro urbano, onde as construções formam um conjunto denso e compacto (VECCHIA, 2001b).

A conjugação dos efeitos das estruturas urbanas consegue tal grau de alteração das condições atmosféricas, que o clima da cidade se faz claramente diferente da área que a circunda (VECCHIA, 2001b).

#### 2.4.2. Abordagem dinâmica do clima

A abordagem dinâmica do clima decorre habitualmente da abordagem geográfica, que auxilia na compreensão dos estados atmosféricos e no entendimento da atuação dos fatores modificadores através da gênese do clima e, igualmente, pode estar afeita às exigências humanas de conforto.

A aplicação da abordagem dinâmica proposta neste trabalho de pesquisa procura romper com o habitual trato estatístico dos dados meteorológicos, por meio das tradicionais “normais climatológicas”, sempre desvinculadas do fato climático, quando não monitoradas com outros objetivos que não os específicos, desejados e necessários a uma dada área do conhecimento, neste caso a do conforto humano no ambiente construído.

O presente trabalho propõe a compreensão dos estados atmosféricos por meio do entendimento da circulação atmosférica, abordando-o de forma fenomenológica, tomando-se por base a observação do tempo, que em princípio, pode ser traduzido pelos sucessivos encadeamentos de estados atmosféricos: os tipos de tempo, segundo proposta definida por Monteiro (1967).

Os tipos de tempo podem substituir as séries históricas, muitas vezes, indefinidas e intermináveis. Além disso, também podem reelaborar o conceito subjetivo de “dia típico de projeto”, os “dias típicos de inverno e verão”, “graus dia e graus hora em base variável”, o “*temperature reference year (TRY)*”, entre outros, elaborados a partir de dados meteorológicos tomados independentemente do estado atmosférico vigente, que sempre careceram de uma definição amostral, tanto no campo do tempo cronológico, assim como no da definição de uma escala de abordagem espacial. O adequado tratamento dos dados meteorológicos define o nível de precisão da caracterização do regime climático e, portanto, da consistência e da representatividade dos dados climáticos, com os quais se analisam e julgam as condições de conforto do ambiente construído.

Procura-se, portanto, aplicar a abordagem dinâmica do clima às necessidades de análise e da caracterização do clima afeitas às medidas de adequação e de controle do ambiente construído, de acordo com as exigências humanas de conforto, contribuindo, dessa forma, para a definição de critérios para a elaboração e a avaliação do projeto e da construção.

As envolventes (paredes, pisos e coberturas) do ambiente construído devem responder às excitações provocadas pelo rigor térmico do local (ou rigor climático), ou seja, pelas flutuações e pelos ritmos climáticos diários, que são expressos, na maioria das vezes, através dos valores, máximos e mínimos, dos elementos meteorológicos, impostos por essas solicitações térmicas.

Portanto, o rigor térmico tende a expressar as solicitações de caráter extremas, tomadas em valores médios: umidade e temperatura média máxima e média mínima, velocidades do vento máxima e mínima, quase sempre, em valores definidos pela meteorologia, navegação aérea e marítima, quando não definidas pelas necessidades agrícolas, o que tornam esses dados apenas aproximações das reais carências do conforto humano. O que também é válido para as áreas de economia de energia das edificações (conservação de energia) e de avaliação pós-ocupação.

↑  
1.7.  
1.7.1.

#### 2.4.2.1. Fatores genéticos

- **Radiação solar global**

A radiação solar incidente sobre a terra promove processos de trocas térmicas globais em função do aquecimento da superfície terrestre.

O balanço termodinâmico global pode ser simplificado e entendido, considerando-se a faixa equatorial, como a região de maior absorção de energia ou área de superávit energético. Essa absorção decresce dessa faixa das baixas latitudes até os pólos (maiores latitudes), região de mínima absorção ou área de déficit de energia, de acordo com Strahler (1971).

Logo, deve ocorrer um processo em que a energia absorvida na faixa equatorial seja transportada em direção aos dois pólos. Assim, esse processo de transferência de energia equador-pólos ocorre por meio da circulação geral da atmosfera e das correntes marítimas.

Essa abordagem proposta por Strahler (1971) permite conceituar o entendimento do clima a partir de sua gênese, proposta pela climatologia dinâmica, o que indica a existência de duas origens dos processos climáticos.

A primeira, na faixa equatorial, com sua gênese baseada nos movimentos do

equador térmico, ou seja, da zona de convergência intertropical (ZCIT).

A segunda gênese do clima existente trata de região dominada pelo avanço de frentes frias, caracterizadas por climas irregulares, de acordo com Meynier (1950), peculiares ao sul e sudeste brasileiro.

- **Circulação geral da atmosfera**

A circulação da atmosfera decorre da ação combinada de dois fatores principais:

- a força térmica – a exemplo da lei dos cossenos, da lei das massas e a fotoperíodo. Tendem a estabelecer uma circulação meridiana (sentido norte-sul).
- a força dinâmica - provocada pela rotação da terra e que introduz uma profunda modificação no fluxo de ar: a força de Coriolis. Tendem a definir uma circulação zonal (sentido leste-oeste) (VECCHIA 2001c).

- **Correntes oceânicas**

A ação das correntes marítimas atua simultaneamente como causa e efeito. Este fato interfere na caracterização climática de uma dada região.

As correntes oceânicas transferem calor de regiões quentes para regiões mais frias, por meio de suas correntes quentes. O mesmo processo, ao contrário, arrefece as regiões menos quentes, com a ação das correntes frias.

As correntes atuam de duas maneiras principais sobre o espaço geográfico:

- aumentando os valores da pressão de vapor d água (umidade do ar) e
- modificando o regime de ventos predominantes.

Dessa forma, a atuação das correntes marítimas tem considerável influência sobre os valores da temperatura do ar e, também, sobre o dos índices de pluviosidade (VECCHIA, 2001c).

1.2.2 **2.4.2.2. Fatores derivados (elementos climáticos) das propriedades das massas de ar atuantes sobre dadas regiões do planeta:**

- Temperatura do ar;
- Umidade do ar;
- Pressão atmosférica;
- Ventos dominantes, direção e velocidade;
- Pluviosidade, etc (VECCHIA, 2001c).

1.2.3 **2.4.2.3. Principais fatores geográficos de modificação das condições iniciais do clima:**

- Latitude;
- Longitude;
- Altitude;
- Condições fisiográficas (topografia, cobertura vegetal, superfícies com água, entre outros) (VECCHIA, 2001c)

1.2.4 **2.4.2.4. Os episódios representativos**

O tempo cronológico se destaca pelo seu padrão cíclico de comportamento, que apresenta um ciclo de 24 horas, os dias e as noites. O ciclo diário é afetado pelo movimento de translação da Terra, uma vez que a duração do fotoperíodo (dia) determina o acúmulo de radiação solar e, conseqüentemente, dos valores da temperatura do ar e de outros elementos do clima.

Da mesma forma, pode-se identificar ciclos de acordo com a penetração de massas de ar frio sobre uma dada região: as massas polares - mPA (massa Polar Atlântica), fato que ocorre ao longo de todo ano, variando-se a intensidade e o rigor das massas.

A sucessão de entradas de massas polares sobre o sudeste brasileiro permite ainda identificar o seu padrão cíclico, denominado por Monteiro (1967), de sucessão encadeada de tipos de tempo.

Esse encadeamento de tipos de tempo remete ao estudo dinâmico do clima, situação

em que os mecanismos da circulação da atmosfera são imprescindíveis para a sua compreensão. Decorre dessa abordagem a constituição de episódios do clima, seqüência de dias em que ocorre a atuação de uma massa polar, dividida em quatro situações distintas:

1. *Prenúncio* da penetração de uma massa polar sobre a região definida;
2. *Avanço* da frente fria sobre a região (momento da entrada da frente e efetiva atuação da massa polar);
3. *Domínio* da massa polar
4. *Transição* da massa polar.

Os estados atmosféricos avaliados podem ser subdivididos basicamente em duas categorias básicas: a etapa *pré-frontal* e a *pós-frontal*.

A *pré-frontal* expressa os períodos que antecedem a penetração da frente fria e é subdividida em duas fases: a de *prenúncio* e a de *avanço*. Caracteriza-se pela elevação dos valores da temperatura do ar (calor), pela redução dos valores da umidade do ar (ressecamento) e, na fase de avanço, pela queda da pressão atmosférica e pela ruptura do regime de ventos predominantes. O regime de ventos pode ser alterado significativamente, na maioria das vezes, apresentando velocidades muito acima dos valores habituais e também na forma de fortes rajadas de vento (MONTEIRO, 1967).

A *pós-frontal* expressa os períodos que sucedem a penetração da frente fria e divide-se em outras duas fases: a de *domínio* e a de *transição*. Caracteriza-se pela redução dos valores da temperatura do ar e pela elevação da umidade do ar, dependendo das propriedades da massa de ar dominante. Pode estar acompanhada de períodos chuvosos e com os ventos predominantes nesse período, oriundos de quadrantes distintos dos da fase anterior, apresentando comportamento também diferenciado de suas velocidades. Percebe-se também um aumento da pressão atmosférica (MONTEIRO, 1967).

A fase de *pré-frontal*, analisada sob a ótica da abordagem dinâmica apresenta, de maneira geral, as seguintes características:

- Calor seco (denominado ressecamento com aquecimento);
- Diminuição da pressão atmosférica;
- Aumento dos valores da temperatura do ar;
- Presença de nuvens altas (altos cirrus),

- Diminuição da umidade relativa;
- Predominância habitual do regime de ventos seguido de alteração radical no momento da entrada da frente.

A *fase de pós-frontal*, também analisada sob a ótica da abordagem dinâmica apresenta as seguintes características:

- Frio úmido;
- Interrupção da senóide diária com posterior aumento da pressão atmosférica;
- Diminuição dos valores da temperatura do ar;
- Nebulosidade após a entrada da frente,
- Aumento substancial da umidade relativa (fase de tropicalização da massa polar)
- Retomada no regime de ventos com predominância definida quando do domínio da massa fria.

Os episódios podem ser recortados de acordo com as necessidades de cada pesquisa, sem perder a precisão e a representatividade dos dados meteorológicos e dos dados de desempenho térmico dos ambientes, necessários ao estudo de ocorrência de stress térmico (VECCHIA, 1997).

A maior importância e a contribuição da abordagem dinâmica estão em aliar os mecanismos da circulação atmosférica e as suas conseqüências sobre o espaço geográfico aos valores obtidos na coleta de dados, temperatura de bulbo seco e temperatura superficial, no espaço construído e, assim, avaliar o seu comportamento térmico.

#### **2.4.2.5. Definição dos parâmetros para avaliação do comportamento térmico**

Cada investigação, pelo seu caráter particular, espera uma determinada resposta, a qual depende de determinados parâmetros para a sua avaliação e validação.

Neste trabalho, dois parâmetros foram considerados para a avaliação do comportamento térmico dos três diferentes tipos de subcobertura: os registros das temperaturas superficiais e os valores das temperaturas internas do ar.

Para efeito de comparação entre os resultados obtidos e os tipos de subcoberturas analisados e se chegar às conclusões do comportamento térmico, com relação às respostas das excitações climáticas impostas dentro de período de análise adotado, foi utilizado um

parâmetro único: os valores da temperatura interna do ar, ou seja, a temperatura de bulbo seco ou ambiental, que foram comparados com os valores da temperatura externa do ar.

## 2.5. O Clima de São Carlos

São Carlos, município situado no estado de São Paulo, tem como coordenadas geográficas 22° 01' 23" S de latitude, 47 °53' 60" W de longitude e 855 m de altitude. Sua localização em planalto e dividindo as bacias do Rio Pardo e Tietê impõe características climáticas específicas, que são acentuadas pela sua situação topográfica. Entre os municípios circunvizinhos é o de maior altitude, por isso está sujeito à intensa ventilação e insolação.

### 2.5.1. Visão clássica

De acordo com visão clássica da climatologia, que toma por parâmetro as normais climatológicas é do tipo Cwa, de acordo com a classificação de Koeppen (1900) apud Pitton (1985), sendo C – grupo mesotérmico; w – seco no inverno e temperatura do mês mais quente é superior a 22°C. De acordo com esse método, a região de São Carlos pode ser resumida em duas estações bem distintas:

- Verão úmido e quente,
- Inverno seco e frio

Meses	Pr.Atm. (mmHg)	Temp.Ar (°C)	Tmin (°C)	Tmáx (°C)	Umidade %	Chuvas (mm)	Ventos Dom.
Jan	689,03	23,09	13,84	32,20	75,19	285,94	NE/ N
Fev	689,24	23,03	14,42	31,69	75,91	221,65	NE/ N
Mar	689,77	22,72	13,66	31,20	74,85	190,02	NE/ SE
Abr	691,00	21,26	9,99	29,86	68,59	72,44	NE/ SE
Mai	689,88	19,38	7,73	28,32	67,19	53,64	NE/ N
Jun	692,76	18,12	6,21	27,07	64,41	46,41	NE/ N
Jul	693,42	18,37	6,05	27,98	58,85	26,72	NE/ N
Ago	692,63	20,63	7,22	30,79	55,19	24,10	NE/ SE
Set	691,22	21,60	7,65	32,40	54,42	55,67	NE/ SE
Out	689,97	22,37	9,54	33,42	65,04	124,03	NE/ SE
Nov	688,75	22,34	11,28	32,44	66,51	184,06	NE/ SE
Dez	688,44	22,67	12,91	32,51	71,07	235,92	NE/ SE
Anual	690,67	21,30	10,04	30,72	66,29	1520,59	NE/ SE

Tabela 1 – Médias Mensais dos Dados Climáticos de São Carlos  
Fonte – Tolentino (1967)



### 2.5.2. Visão dinâmica do clima de São Carlos

De um modo geral, na fase de *prelúdio e avanço*, pode-se caracterizar o comportamento do clima de São Carlos por meio de seus elementos climáticos, que sofrem significativas variações. Por exemplo, o regime de ventos, nessas fases, conforme tendência habitual, apresenta ventos de NE (nordeste) como a frequência de ocorrência de maior expressão. Na entrada da frente, surge ventos episódicos de SW (sudoeste) e de NW (noroeste), quase sempre apresentados, com elevadas velocidades do fluxo de ar e na forma de rajadas.

Na fase de domínio é possível observar uma profunda alteração na direção dos ventos, que assume nessa fase o sentido sudeste-noroeste.

Surgem assim, os ventos de SE (sudeste), de escala zonal, que atuam na região devido à sua localização geográfica, principalmente, em função da altitude e da localização na parte mais alta e desprotegida das *cuestas basálticas* existentes. São ventos com velocidades em torno de 3,0 m/s e que incomodam bastante, devido às suas características de origem: frio e úmido.

Observa-se que mesmo em situações nas quais as frentes polares se desviam para o oceano atlântico ou naquelas em que penetram sobre a região de São Carlos, de maneira menos intensa e de forma dissipada, o regime de ventos tende a seguir a mesma seqüência de transformações: frequência mais acentuada de NE (nas fases de *transição e prelúdio*), seguida pelas de NW (na fase de avanço) e, finalmente, de SE (na fase de domínio da massa polar atlântica).

De forma geral, a fase de pré-frontal apresenta as seguintes características:

- Calor seco: tendência geral dessa relação entre temperatura e a umidade do ar. As temperaturas do ar tendem a se elevar e, ao contrário, os valores da umidade relativa tendem a diminuir, tornando o ar mais seco, nessa fase;
- Valores de temperatura: ocorre uma perceptível elevação nos registros da temperatura do ar exterior;
- Umidade do ar: nota-se o decréscimo dos valores da umidade relativa do ar, em parte provocado pela elevação da temperatura e pela disponibilidade hídrica, que se mantém geralmente constante;

- Pressão atmosférica: sofre uma descontinuidade no seu ritmo. No momento da entrada de uma frente, rompendo a senóide habitual e assumindo valores mais elevados na fase de domínio da massa polar.

As características da fase pós-frontal para a região de São Carlos:

- Frio-úmido: tendência mais habitual depende do vigor de da frente fria, que carrega diferentes proporções de umidade, uma vez que as massas polares são formadas sobre o continente antártico e sobre o mar de wedell (anticiclones migratórios ou móveis) e penetram em direção às latitudes menores.
- Valores de temperatura: ocorre um declínio dos valores da temperatura do ar, principalmente, na fase de domínio do anticiclone polar. Outra característica dessa fase é a ocorrência de céu limpo.
- Umidade do ar: ocorre no domínio da massa polar um significativo aumento nos valores da umidade relativa do ar, em parte provocado pela queda da temperatura (pressão máxima de vapor saturado), pela disponibilidade hídrica superior que a fase que a antecede, devido à umidade trazida pela massa de ar polar e pelas chuvas decorrentes do processo de avanço da frente. Deve-se observar que as frentes são geralmente seguidas por chuvas.
- Pressão atmosférica: sofre uma descontinuidade no seu ritmo, na entrada da frente, rompendo a senóide habitual e assumindo valores mais elevados na fase de domínio da massa polar.

## **2.6. Relação entre clima e projeto de cidades e edificações**

O projeto arquitetônico de uma dada obra, seja ele de uma edificação ou de um local urbano, deve procurar estar em conformidade com a natureza e como os padrões de comportamento do clima local, refletindo isso em todas as etapas da sua concepção, desde a implantação no terreno, orientação de fachadas, localização de aberturas, especificação de materiais construtivos com maior ou menor massa térmica, escolha de cores, localização de sombreamentos ou de elementos que otimizem ou eliminem o ganho térmico nas horas indesejáveis do dia, melhorando com isso o desempenho térmico da referida obra, tal como

recomendam Olgyay (1963), Szokolay (2004), entre outros.

Para Spirm (1995), qualquer novo edifício, rua, via expressa e parque dentro da cidade deve ser projetado de forma a evitar impactos negativos sobre o clima e a qualidade do ar da área circundante e, sempre que possível, mitigá-los. Qualquer projeto, mesmo o mais modesto, deve:

- Tratar da relação de sua localização com os problemas críticos do clima e da qualidade do ar da cidade como um todo, bem como com aqueles da posição e da vizinhança imediata.
- Explorar os aspectos climáticos regionais e da cidade como um todo que possam ser usados na solução dos problemas acima.
- Localizar os playgrounds, ciclovias, pistas de corrida, trilhas e áreas de lazer distantes de vias arteriais, das vias expressas e de outras fontes de poluição.
- Manter um recuo em relação às principais vias e rodovias com base no volume De tráfego e nas direções predominantes dos ventos.
- Explorar as oportunidades de conservação passiva de energia no projeto e localização dos edifícios e parques.
- Orientar os edifícios, ruas e parques para a canalização das brisas desejadas e o bloqueio dos ventos indesejáveis.
- Utilizar materiais de construção e de paisagem para a criação de um microclima desejável – tanto para captar e reduzir a absorção de calor, como para aumentar ou diminuir a velocidade do vento.

Olgyay (1963) estabelece quatro etapas fundamentais para integrar a edificação às condições da natureza:

- Avaliação dos elementos climáticos do local. Discutir a escala do clima (climatologia) e conhecer geograficamente o espaço local.
- Avaliação de cada impacto do clima em termos fisiológicos.
- As soluções tecnológicas devem ser aplicadas distintamente para cada problema relacionado ao binômio conforto-clima.
- As soluções devem ser combinadas, de acordo com a sua importância e adequadas à sua unidade arquitetônica.

## 2.7. Conceitos físicos de transmissão de calor

### 2.7.1. Transmissão de calor

As moléculas de cada corpo ou de corpos diferentes trocam continuamente energia entre si: os fluidos por choque, os sólidos por ressonância e ambos recebendo ou cedendo energia através de ondas eletromagnéticas.

Isto significa que em um corpo em temperatura constante uma determinada molécula varia continuamente sua energia por efeito das trocas com as moléculas circunvizinhas; o que permanece constante e determina a temperatura do corpo é a distribuição estatística da energia entre todas as suas partículas.

Se um determinado ponto do corpo for aquecido por contato com outro corpo mais quente, as moléculas da zona de contato adquirem uma energia média superior à que possuíam anteriormente; porém, por efeito das trocas com as moléculas vizinhas, elas cedem parte deste excesso de energia, depois de um intervalo de tempo haverá nova distribuição estatisticamente uniforme de energia, isto é, uniformização das temperaturas dos corpos em contato.

Segundo Kreith (1973), a energia é transmitida sempre que existir um gradiente de temperatura no interior de um sistema ou, quando dois sistemas com diferentes temperaturas são colocados em contato. O processo pelo qual a energia é transportada é chamado de *transmissão de calor*. O que transita, chamado calor, não pode ser medido ou observado diretamente, mas os efeitos por ele produzidos são suscetíveis à observação e medida. O fluxo de calor, como o desempenho de trabalho, é um processo pelo qual a energia interna de um sistema é mudada, não é governado por uma única relação mas, por uma combinação de várias leis independentes da física.

Todos os processos de transmissão de calor envolvem a transferência e conversão de energia. Os três modos de transmissão de calor são: condução, radiação e convecção. Estritamente falando, apenas a condução e a radiação devem ser classificadas como processos de transmissão de calor, porque somente estes dois mecanismos dependem para sua operação da mera existência de uma diferença de temperatura.

A convecção não concorda estritamente com a definição de transmissão de calor, porque também depende do transporte mecânico de massa. Mas, como a convecção também efetua a transmissão de energia de regiões de maior temperatura para as de menor, o termo transmissão de calor por convecção tomou-se aceitável. (KREITH, 1973).

A transmissão de calor por mistura, considerada por muitos, é a que resulta de uma superposição da condução e convecção, quando, por exemplo, se mistura líquido quente a líquido frio. É uma forma de transmissão que se dá muito rapidamente.

Na prática, evidentemente, nunca se poderá realizar, salvo em laboratório, uma transmissão de calor seja somente por condução, ou por convecção ou por radiação. Teremos sempre uma superposição de dois casos pelo menos, ou mesmo dos três.

A magnitude de qualquer meio de transferência de calor pode ser medida de duas formas:

A – como fluxo de calor ( $Q$ ), o total de transferência de calor em uma unidade de tempo através de uma área definida de um corpo no espaço, ou sem um sistema definido, em unidades de J/s ou watt (W).

B – como densidade do fluxo de calor, por exemplo: a taxa de transferência de calor através de uma unidade de área de um corpo no espaço, em  $W/m^2$ . (SZOKOLAY, 2004).

Fluxo térmico é o nome designado à quantidade de calor trocada na unidade de tempo em qualquer um dos três processos. É chamado de permanente ou estacionário, quando ele é constante, a temperatura em cada ponto não muda e as condições de regime permanente prevalecem. Sob estas condições, o influxo de calor em qualquer ponto de sistema deve ser exatamente igual ao efluxo de calor e, nenhuma mudança na energia interna tem lugar. A maioria dos problemas de transmissão de calor na engenharia trata com sistemas em regime permanente.

O fluxo de calor em um sistema é transitório, ou não permanente, quando a temperatura, em vários pontos do sistema muda com o tempo. Os problemas de fluxo de calor não permanente são mais complexos do que os permanentes e freqüentemente só podem ser resolvidos por métodos aproximados. (RIVERO, 1985).

Um caso especial de fluxo de calor transiente ocorre quando um sistema é submetido a variações cíclicas na temperatura de sua vizinhança. Em tais problemas, a temperatura em um ponto particular no sistema retorna periodicamente para o mesmo valor;

o fluxo de calor e o armazenamento de energia também executam variações periódicas. Como exemplo típico, pode-se citar a variação de temperatura de um edifício, durante qualquer período de vinte e quatro horas (RIVERO, 1995).

### **2.7.1.1. A condução**

A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de alta temperatura para outra de temperatura mais baixa nos sólidos opaco, em comunicação molecular direta, sem apreciável deslocamento das moléculas. Ela também acontece nos fluidos, mas nesse caso é sempre combinada com a convecção e em alguns casos com a radiação (KREITH, 1973).

A transmissão de calor por condução é a maneira pela qual o calor passa de uma parte a outra de um mesmo corpo, ou de um corpo a outro em contato físico com ele, sem deslocamento apreciável das partículas do corpo. Num corpo sólido, os átomos se acham em posições de equilíbrio determinadas pelo retículo cristalino, ao redor das quais eles podem oscilar. Suas vibrações são tanto mais intensas quanto maior a temperatura do corpo. É evidente que se aumentarmos a amplitude das vibrações por aquecimento, essa vibração irá se propagando por ressonância e a energia sob forma de calor transmitir-se-á das partes mais quentes para as mais frias. Após tempo suficiente para o equilíbrio ser atingido, teremos uma temperatura uniforme no corpo todo (SALMONI, 1966).

A transmissão por simples condução se dá também nos líquidos e nos gases, porém é muito difícil evitar que seja acompanhada por convecção, uma vez que o aquecimento ou esfriamento de fluidos provoca via de regra a formação de correntes convectivas.

Segundo Givoni (1998), a condução ocorre quando o calor é transferido das moléculas mais quentes para as mais frias dentro de um material sólido. Assim, em edificações o processo de transmissão de calor por condução ocorre entre materiais sólidos (elementos construtivos) do lado mais quente para o mais frio.

Para Rivero (1985), a condução é a transmissão de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes e que se encontram em contato molecular, onde o fluxo de calor se dirige a todos os pontos de menor temperatura que o rodeiam, sendo que a quantidade de calor transmitido em cada ponto, em qualquer instante, será proporcional à diferença de

temperaturas. Se as temperaturas dos meios permanecem uniformes, tem-se um *regime estacionário*, e se uma das temperaturas varia permanentemente, tem-se o *regime variável*.

Quando o regime é variável, vários casos de mudança de temperatura entre os meios podem ocorrer, mas no nosso caso, que é compreender mais facilmente os fenômenos térmicos que ocorrem nas estruturas dos edifícios, o que mais nos interessa é quando uma das temperaturas varia de forma senoidal e igual para cada período de 24 horas, enquanto a outra permanece constante. É chamado de *regime periódico* e representa, de forma aproximada, os fenômenos térmicos que ocorrem no exterior – interior dos edifícios, já que a temperatura exterior varia de uma forma muito aproximada com a mencionada acima, enquanto que a interna, mesmo sem um sistema de condicionamento artificial, apresenta pequenas variações.

De acordo com Zöld & Szokolay (1997), a condução é a propagação de calor dentro de um corpo, a expansão do movimento molecular através de um objeto ou dentre objetos em contato. A magnitude da taxa do fluxo de calor por condução entre dois pontos (ou fluido estagnado) depende de quatro elementos:

- do perfil da área por meio do qual o calor pode fluir (A);
- da espessura do corpo (e);
- da diferença de temperatura entre os dois pontos ( $\Delta T$ );
- da característica do material, conhecida como condutividade (k).

O coeficiente de condutividade térmica ( $k$ ) é uma propriedade fundamental de um material na transmissão de calor por condução através de um corpo considerado homogêneo (quando a condutividade térmica não varia com a espessura ou a área da amostra), num regime estacionário, por unidade de espessura, unidade de área e unidade de tempo, quando a unidade de tempo é a unidade. Depende essencialmente de seu estado físico, da sua natureza, composição, temperatura, densidade aparente, conteúdo de umidade, homogeneidade, etc. Seu valor geralmente diminui na ordem sólido-líquido-gasoso, sendo seus valores limites:

360 kcal/m h °C para a prata

0,02 kcal/m h °C para o ar puro.

Nos corpos higroscópicos, o  $k$  cresce com a porcentagem de umidade (produzida pela presença de água ou pela condensação). Para os materiais porosos, como tijolos de

barro e papelão, por exemplo, esse aumento pode ser bem elevado devido à grande diferença entre o  $k$  da água e do ar (elemento muito leve e mal condutor de calor, quando não tem movimentos convectivos). Para os líquidos, em geral, o  $k$  diminui com o aumento da temperatura, sendo a água uma exceção. Para os gases, o  $k$  aumenta de acordo com o aumento da sua viscosidade que por sinal aumenta com a temperatura.

Além da condutividade térmica, os corpos também possuem o *calor específico*, que participa de maneira importante no regime variável. Representa a quantidade de calor necessária para elevar em uma unidade a temperatura de um corpo de massa igual à unidade.

MATERIAIS	d kg m <sup>3</sup>	k W m.°C
Tijolo maciço artesanal	1300	0,65
Tijolo maciço prensado	1600	0,81
Lã de rocha	50	0,033
Pedra britada	2200	1,74
Argamassa de cimento	1800	1,10
Madeiras naturais	600	0,15
Mármore	2600	2,90
Aço	7800	47
Água	1000	0,62

Tabela 2 – Propriedades térmicas de alguns materiais de construção.  
Fonte – Rivero (1985).

Enquanto a condutividade é a propriedade do material em relação a sua forma e medida, *condutância* (C) é a propriedade correspondente de um definido corpo físico, de um elemento construtivo, por exemplo, uma laje. É a medida da transferência de calor entre um elemento de uma superfície para outra. O inverso da condutância é a *resistência* (R), proporcional à espessura e inversamente proporcional à condutividade. A magnitude da resistência depende da posição da superfície, da direção do fluxo de calor e do movimento de ar, que pode ser natural, através da diferença de temperatura ou forçada, por exemplo, através da ventilação.

A transmissão de calor por em um elemento construtivo acontece por meio do ar dentro da edificação e o ar exterior (ou vice-versa). A resistência *air-to-air* é a soma da



resistência do elemento e das resistências das duas superfícies. O inverso dessa resistência *air-to-air* é a **transmitância ou "U-value"**. A sua unidade de medida é a mesma da condutância ( $W/m^2K$ ). A diferença entre a condutância e a transmitância é que a primeira é medida entre uma superfície e outra, enquanto a transmitância é entre um ar e o outro.

A transmissão de calor é proporcional à transmitância, à área do elemento, perpendicular à direção do fluxo de calor e à diferença entre a temperatura externa e interna.

#### **2.7.1.2.A convecção**

É a transferência de calor entre corpos de temperaturas diferentes que devem estar em contato molecular, de forma que o começo do processo se realize por condução e depois, devido à alteração de temperatura sofrida pelo fluido, este modifica a sua densidade, originando um movimento convectivo ascendente ou descendente, dependendo do modo como for a troca de temperatura. Um dos corpos deve ser um fluido e o calor se transmitirá do sólido para o fluido ou vice-versa, conforme for a relação entre as suas temperaturas.

Para Kreith (1973), a convecção é um processo de transporte de energia pela ação combinada da condução de calor, do armazenamento de energia e do movimento de mistura. A convecção é mais importante como mecanismo de transferência de energia entre uma superfície sólida e um líquido ou um gás.

A transferência de energia por convecção de uma superfície cuja temperatura está acima daquela do fluido envolvente, acontece por meio de vários passos. Primeiro, o calor fluirá por condução da superfície para as partículas adjacentes de fluido. A energia, assim transferida servirá para aumentar a temperatura e a energia interna destas partículas fluidas. Então as partículas fluidas se movem para uma região de menor temperatura no fluido, onde elas se misturarão e transferirão uma parte de suas energias para outras partículas fluidas. O fluxo neste caso é do fluido, assim como a energia. A energia então é armazenada nas partículas fluidas e é levada como resultado do movimento de sua massa. Este mecanismo não depende, para sua operação, meramente da sua diferença de temperatura e, dessa forma, não preenche estritamente a definição de transmissão de calor.

O efeito líquido, entretanto, consiste no transporte de energia e, como ele ocorre na direção de um gradiente de temperatura, também é classificado como um modo de transmissão de calor por convecção.

A eficiência de transmissão de calor por convecção depende bastante do movimento da mistura do fluido. Conseqüentemente, um estudo de transmissão de calor convectivo é assegurado pelo conhecimento das características do escoamento do fluido.

A magnitude da taxa do fluxo de calor por convecção depende:

A – da área de contato ( $m^2$ ) entre o corpo e o fluido;

B – da diferença em temperatura (em K) entre a superfície do corpo e o fluido;

C – do coeficiente de convecção ( $h_c$ ) medido em  $W/m^2K$ , que depende da viscosidade do fluido e da velocidade do seu fluxo tanto quanto da sua configuração física a qual irá determinar onde o fluxo é laminar ou turbulento (SZOKOLAY, 2004).

A transmissão de calor por convecção é classificada de acordo com o modo de motivação do fluxo, em convecção natural e convecção forçada. Quando o movimento de mistura tem lugar meramente como resultado das diferenças de densidades causadas pelos gradientes de temperatura, falamos de convecção natural ou livre e ocorre algumas vezes no espaço interior e quase sempre nas câmaras de ar fechadas por vidros e paredes duplas, ou nas coberturas com forro.

Quando o movimento de mistura é induzido por algum agente externo, tal como uma bomba ou um ventilador, o processo é chamado de convecção forçada. Nela, o ar tem uma velocidade própria, independente do seu movimento convectivo. A posição do plano e a direção do fluxo de calor não interessam; a velocidade do ar, junto com as diferenças de temperatura, são os fatores fundamentais para determinar a quantidade de calor transmitido. Aquela camada de ar onde se verificam os fenômenos de convecção natural se torna muito fina, sendo acompanhada por turbulências que se acentuam com a velocidade do fluido.

### 2.7.1.3. A radiação

Todos os corpos possuem energia térmica (calor) e a transforma em energia radiante por meio da emissão de ondas eletromagnéticas.

A energia radiante é do tipo corpuscular, constituída por ondas eletromagnéticas,

que são compostas por pequenos fótons que se movimentam à velocidade da luz (300.000 km/s no vácuo), cujos comprimentos de onda estão compreendidos entre 0,1 a 100 $\mu$  (1 micrón = 0,000001m) e cuja massa é inversamente proporcional ao comprimento de onda.

As duas principais características da onda eletromagnética são o seu comprimento -  $\lambda$  (distância entre as duas cristas da onda) e a sua freqüência -  $\nu$ .



Figura 1 – Comprimento de onda  $\lambda$  – distância entre as duas cristas da onda.  
Fonte – Rivero (1985)

A energia radiante é classificada através do seu comprimento de onda. Radiações com pequenos comprimentos de onda são mais energéticas, como, por exemplo, os raios gama e os raios-X. Ondas de rádio e TV são menos energéticas.

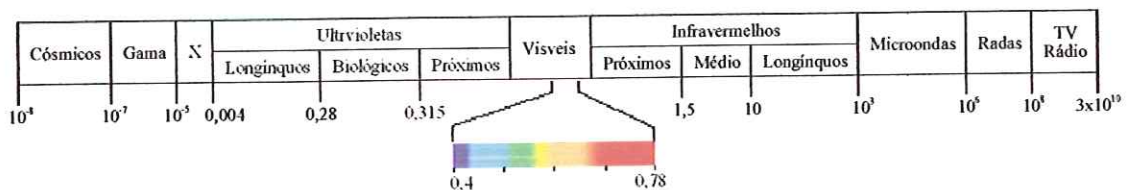


Tabela 3 – Classificação da energia radiante pela longitude de onda  
Fonte – [www.tufts.edu/as/tampl/en43/lecture\\_notes/ch6.html](http://www.tufts.edu/as/tampl/en43/lecture_notes/ch6.html)

O sol e as estrelas emitem energia radiante que cobre todos os comprimentos de onda, mas não são os únicos que a emitem; qualquer objeto cuja temperatura está acima do zero absoluto (0 K ou -273 °C) também emite e absorve energia radiante.

À transferência de calor por meio de ondas eletromagnéticas de corpos sólidos ou superfícies para outro sem necessidade de meio condutor, independentemente do meio, se

dá o nome de radiação.

Radiação é a principal forma de transmissão de calor do exterior para o interior dos edifícios (LA ROCHE ET AL, 2001).

Para Givoni (1998), é a troca de energia entre superfícies por ondas eletromagnéticas, onde a temperatura do elemento que está emitindo a radiação decresce e a do que está recebendo se eleva.

É um termo aplicado a todas as formas de fenômenos de ondas eletromagnéticas, mas para a transmissão de calor, só interessa as formas que resultam da diferença de temperatura e podem transportar energia através de um meio transparente ou através do espaço (KREITH, 1973).

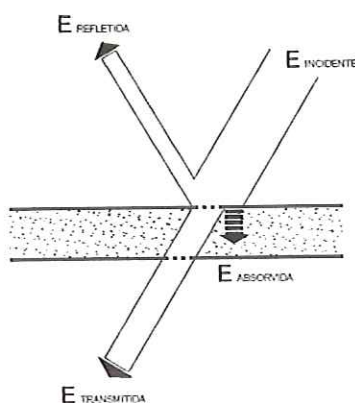


Figura 2– A energia incidente em um corpo receptor é transmitida, absorvida e refletida, em quantidades que dependem das propriedades físicas do corpo receptor.

A energia absorvida se transforma em calor. No entanto, a radiação refletida e a transmitida não sofrem modificações alguma, mantêm-se os mesmos tipos de comprimento de ondas.

Fonte – Rivero, 1985

Os materiais se comportam seletivamente com relação à radiação incidente; isto significa que a quantidade de energia que absorvem, refletem e transmitem é diferente para cada comprimento de onda.

Quando a fonte é o Sol, o coeficiente de absorção dependerá da cor do material: será baixo para os claros e alto para os escuros; se a fonte é de baixa temperatura as superfícies metálicas serão pouco absorventes e as não metálicas terão um elevado coeficiente de absorção.

Destaca-se o fato de o coeficiente de absorção e a emissividade, para os corpos a baixa temperatura, serem os mesmos. Esta coincidência obedece a uma lei da Física que, para propósitos arquitetônicos, se expressa assim: à temperatura normal do meio habitável, todos os materiais não metálicos, qualquer que seja sua cor, são bons absorventes e bons emissores de ondas longas; os metálicos, por sua vez, se comportam, ao contrário, sendo maus absorventes quanto maus emissores, propriedades que se acentuam com o maior polimento de sua superfície.

Quando as temperaturas são iguais, haverá intercâmbio de energia radiante, mas não haverá transferência ou cessão de energia de corpo a outro; ambos os sólidos estão em equilíbrio térmico.

A absorção de ondas longas pelos corpos opacos não depende da cor e sim do brilho da superfície, identificado por meio da emissividade. As superfícies espelhadas ou com brilho metálico apresentam baixa emissividade (entre 0 e 0,3), o que significa que nessa faixa de frequência são maus tanto na absorção quanto na emissão. Em contrapartida, as superfícies sem brilho têm emissividades elevadas (entre 0,85 e 1,0). Quanto à absorção de ondas curtas (radiação solar), a principal influência é da cor da superfície: cores claras refletem mais e cores escuras absorvem mais.

Todo corpo opaco no qual incide uma energia radiante possui três propriedades que determinam a parcela que é emitida, absorvida e refletida por esse determinado corpo. São elas:

- emissividade  $\varepsilon$ : é a capacidade para emitir radiação de onda longa, comparada à radiação emitida por um corpo negro ( $\varepsilon = 1$ ). A emissividade de um corpo se determina pela relação entre a sua radiação e a do corpo negro à mesma temperatura. “Os valores de emissividade estão compreendidos entre 0 e 1 e dependem tanto da natureza do corpo quanto da sua temperatura. O interesse arquitetônico, que são materiais de construção à temperatura ambiente do meio habitado, significa a baixa temperatura. Podem se organizar em dois grupos bem definidos: os **metálicos**, que têm uma emissividade compreendida entre 0 e 0,30, correspondendo os menores valores às superfícies mais polidas; e os **não metálicos** cujas emissividades variam entre 0,30 e 0,85 e pertencem geralmente aos corpos que, como as pinturas metálicas, estão formados por uma

combinação de materiais de ambos os grupos. É importante destacar que esta propriedade pertence à camada superficial do material emissor, sendo que apenas a energia emitida pelas moléculas localizadas a até  $1\mu\text{m}$  da superfície do material é que deixa efetivamente o corpo (INCROPERA, 1998);

Fato similar acontece quanto à absorção e à reflexão da radiação incidente, ou seja, a parcela da energia incidente que é absorvida fica contida nas camadas moleculares mais externas do material (VITTORINO ET AL, 2003);

Assim, tem-se que uma chapa metálica cuja emissividade é 0,20 e pintada com uma camada não muito fina composta, por exemplo, de duas ou três demãos de tinta não metálica de qualquer cor ou tipo, ter-se-á modificada aquela emissividade, elevando-a a 0,90 (RIVERO, 1985);

- absorvância à radiação solar  $\alpha$ : determina a fração da energia solar radiante absorvida e convertida em calor. É uma resposta à radiação solar e depende da cor da superfície. É expressa como a fração do perfeito absorvedor, o teórico corpo negro para o qual é igual a 1. O valor é elevado para superfícies escuras, baixo para superfícies claras ou metálicas brilhantes. Para todas as superfícies ele varia entre = 0,9 para o asfalto preto e = 0,2 para o alumínio brilhante ou uma superfície pintada de branco. Para qualquer superfície opaca  $\alpha + \rho = 1$  (SZOKOLAY, 2004);

A absorção da radiação térmica na superfície dos materiais é função da quantidade de elétrons livres presentes (MODEST, 1993);

- refletância à radiação solar ( $\rho$ ): determina a fração da energia solar incidente refletida por um corpo sem que haja alteração da temperatura da sua superfície. É também uma resposta às ondas curtas do Sol (GIVONI, 1998).

Quando a radiação solar incide sobre um elemento transparente ou translúcido, outra propriedade deve ser levada em conta:

- A transmitância à radiação solar ( $\tau$ ): parte da radiação é transmitida para o interior, parte é refletida para o exterior e parte é absorvida para dentro do material.

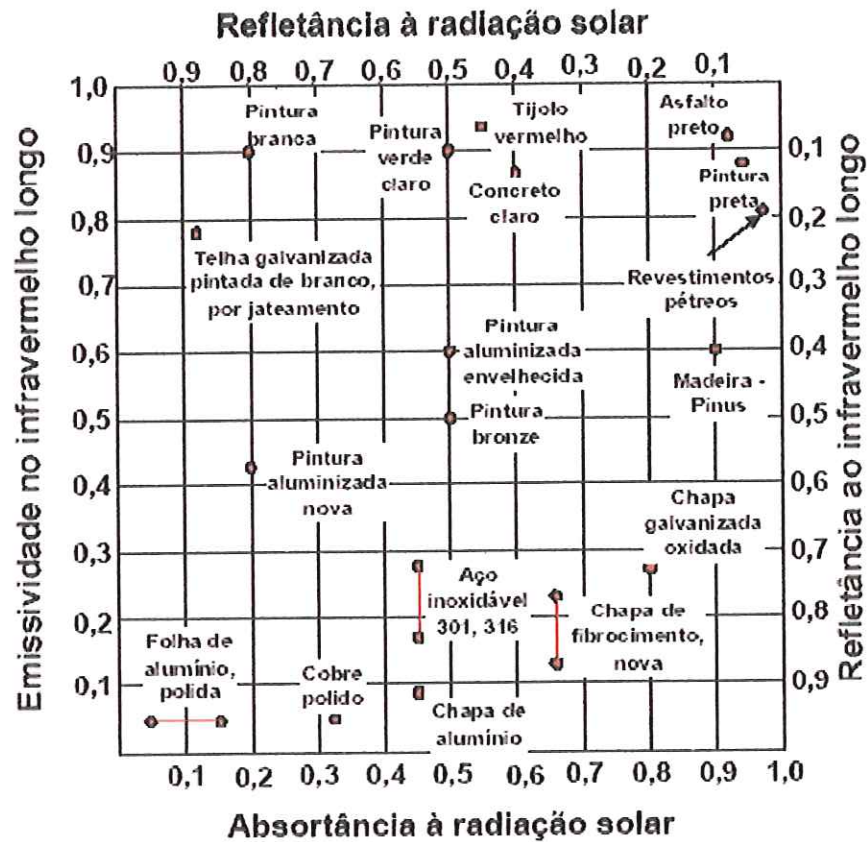


Figura 3 – Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de Alguns materiais de construção  
 Fonte – Fairey (1986) apud Vittorino et al (2003).

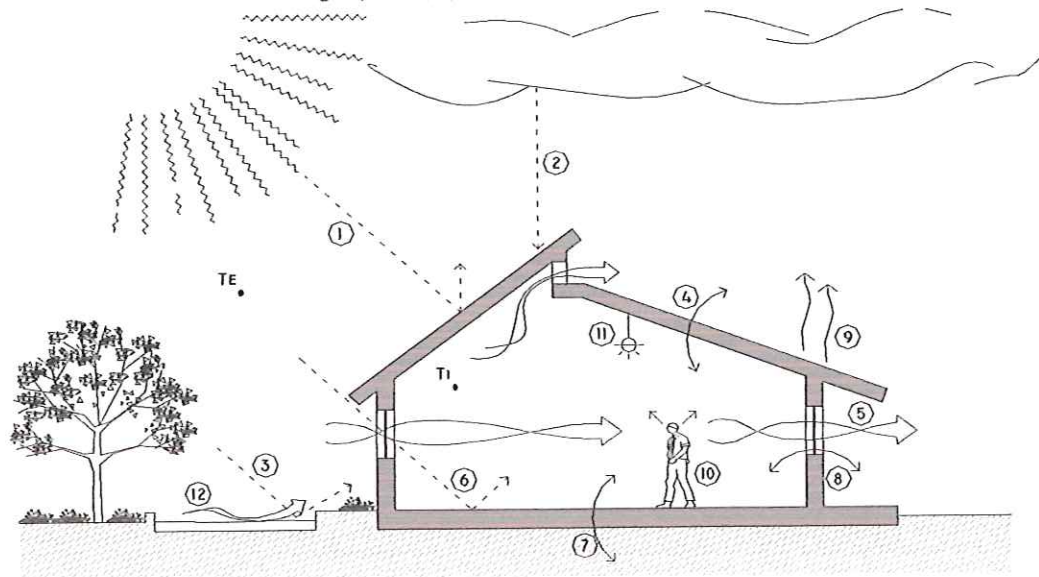
No presente trabalho interessam as radiações emitidas pelo Sol, nas quais predominam os pequenos comprimentos de onda e as radiações em ondas longas produzidas pelos corpos que se encontram a temperaturas normais (habituais).

A intensidade da radiação solar depende da altura solar que determina o comprimento da trajetória dos raios solares através da atmosfera, por meio da qual atravessam. Os efeitos ou as repercussões da radiação solar sobre o Ambiente Construído variam de acordo com a localização geográfica e as condições atmosféricas, ou seja, pela duração dos dias (foto - período ou número de horas de sol), pelo ângulo de incidência dos raios solares sobre o solo e as superfícies (Lei dos Co-senos), pela distância de sua trajetória ao atravessar a atmosfera (Lei das Massas) e pela própria composição da atmosfera, sobretudo, considerando-se as condições de nebulosidade. (VECCHIA, 2001b).

Quatro principais formas de transmissão de calor por radiação podem influenciar o

comportamento das áreas externas das edificações e, principalmente, dos ambientes interiores. São, em ordem de importância:

1. radiação direta do sol, de pequeno comprimento de onda (onda curta);
2. radiação difusa, de pequeno comprimento de onda proveniente do céu;
3. radiação refletida, de pequeno comprimento de onda (albedo);
4. radiação reemitida, de onda longa que é produzida no processo de absorção das superfícies, aquecendo o solo ou superfícies, materiais, objetos, etc. Posteriormente, após algum tempo, que depende das propriedades termo-físicas de cada material ou superfície, a energia incidente é absorvida e reemitida na forma de onda longa (calor) (VECCHIA, 2001b).



#### Legenda

1. Radiação solar direta
2. Radiação Solar difusa
3. Reflexão radiação solar pelo chão
4. Troca de calor por condução pelos comoveis.

5. Transferência de calor por ventilação.
6. Radiação solar transferida pelas janelas.
7. Transferência de calor por condução.
8. Transferência de calor por condução através da janela.

9. Radiação de onda longa
10. Calor dos ocupantes.
11. Luz elétrica equipamentos.
12. Resfriamento por evaporação.

Figura 4 – Trocas térmicas entre a edificação e o meio envolvente  
Fonte – La Roche et al (2001)



As influências das quatro formas de transmissão de calor por radiação, citadas anteriormente, sob o comportamento térmico dos ambientes externos e internos das edificações, podem ocorrer de duas maneiras:

1. através de superfícies transparentes, produzindo um efeito de aquecimento nos ambientes interiores denominado efeito estufa;
2. através das superfícies opacas envolventes dos edifícios (paredes, coberturas, etc.) que introduzem quantidades de calor que atravessam os elementos construtivos e, posteriormente, por condução atingem o interior das edificações (LA ROCHE ET AL, 2001).

Dessa forma, as paredes e os sistemas de cobertura devem ser pensados como o conjunto de componentes construtivos responsáveis pela absorção e pela transmissão da energia solar incidente que é introduzida nos ambientes interiores, em maior ou menor período de tempo. Portanto, o papel desempenhado por esse peculiar sistema é de fundamental importância para o comportamento térmico das edificações e, conseqüentemente, para o Comportamento Térmico (VECCHIA, 1997).

As trocas de calor por radiação são muito importantes na sensação humana de calor, principalmente na percepção das temperaturas do ar e das superficiais. No interior dos edifícios essas trocas acontecem entre o corpo humano e as superfícies da construção.

### **2.7.2. Troca de calor entre o edifício e o seu meio envolvente**

Vecchia (1997) conceitua ambiente construído como sendo um conjunto constituído pelos envolventes das edificações: pisos, paredes, coberturas, entre outros elementos e dispositivos construtivos. Todos eles devem também ser entendidos como instrumentos de controle ambiental entre as condições exteriores e interiores das edificações.

Para Givoni (1998), os materiais construtivos de uma edificação, principalmente, os materiais externos, determinam a relação entre a temperatura externa e as condições da radiação solar, como também as temperaturas internas em edificações não condicionadas eletro-mecanicamente. Em edificações com condicionadores artificiais, os materiais externos determinam a quantidade de energia consumida para a manutenção da temperatura interna dentro dos limites do conforto humano.

A temperatura externa, assim como a radiação solar, segue um padrão cíclico diário. A temperatura externa é mínima por volta do nascer do Sol, aumenta pela manhã atingindo o seu limite máximo na primeira hora da tarde, depois começa a diminuir. Quantitativamente, isso pode ser caracterizado por uma média (entre a máxima e a mínima) e uma pequena oscilação por volta dessa média (GIVONI, 1998).

O calor é absorvido tanto pelas superfícies externas opacas dos materiais envolventes (paredes e telhado, que constituem a maior parcela de ganho total de calor da edificação) quanto pelas janelas de vidro.

O ganho de calor de uma edificação depende de dois fatores:

- da absorção de calor pelas superfícies externas opacas dos materiais envolventes (paredes e telhado, que constituem a maior parcela de ganho total de calor da edificação) e pelos elementos transparentes ou translúcidos (janelas em geral);
- da absorção de calor através da massa térmica da edificação;
- As edificações são organizadas por vários materiais para formarem elementos com uma certa densidade: paredes externas e telhado (envolventes) e as divisões internas e piso. Cada elemento pode ser composto por várias camadas de diferentes materiais e essa composição determina a performance térmica da edificação (GIVONI, 1998).

As duas propriedades térmicas dos elementos construtivos que controlam o fluxo de calor e que determinam o impacto no comportamento térmico das construções são: a resistência térmica ( $R$ ) e a capacidade térmica ( $C$ ). As propriedades desses elementos são função das propriedades dos materiais e da densidade das camadas que são constituídos. As propriedades básicas dos materiais são: a densidade que é determinada pela condutividade térmica ( $k$ ), pelo calor específico ( $c$ ) e pela densidade ( $\rho$ ) dos materiais;

A troca de calor (ganho e perda) entre a edificação e o seu meio envolvente ocorre por meio de três modelos físicos de transmissão de calor: condução, convecção e radiação, que dependem das propriedades térmicas dos materiais que constituem a edificação e os do meio envolvente.

A condução ocorre quando o calor é transferido por meio dos elementos sólidos (paredes e telhado) por meio do lado mais quente para o mais frio do elemento da

construção. A quantidade de calor transferido depende da condutividade do material e da espessura do elemento construtivo.

A transferência por convecção em edificações ocorre de várias maneiras:

- as superfícies internas das paredes trocam calor por convecção com o ar interior;
- o teto troca calor com ar interno logo abaixo dele por convecção, assim como com o ático (quando o forro contém um ático). O valor do coeficiente de convecção é diferente no inverno e no verão. No inverno, a construção aquecida é mais quente do que o ar exterior e o fluxo de calor acontece para cima. No verão, o forro exposto à radiação solar é mais quente do que o ar interior da construção, assim o fluxo é para baixo. O fluxo de calor para cima é mais intenso do que o para baixo;
- as superfícies externas, expostas ao vento, trocam calor por convecção com o ar ambiente;
- em paredes com espaço de ar embutido na parte interna, o fluxo de calor acontece na direção do lado mais quente para o mais frio. O ar mais próximo da superfície mais quente do espaço se aquece, se eleva e flui através da superfície mais fria, onde se extingue, transportando assim, calor do lado mais quente para o mais frio;
- a troca de calor por convecção também acontece quando a edificação é ventilada, ou seja, o ar externo atravessa o espaço interno. Quando a edificação é ventilada à noite, a sua massa é resfriada através da transferência de calor por convecção entre as paredes e teto (que estão mais quentes) e o ar a sua volta (que está mais frio). Em compensação, quando uma edificação é ventilada durante as horas quentes do dia a sua massa é aquecida por convecção pelo ar externo que está quente;
- através de *Infiltração*, que é o escoamento não intencional do ar externo por entre as fendas em volta das janelas e portas. Nas horas mais frias do dia, é uma fonte de perda de calor e nas horas quentes do dia, uma fonte de ganho de calor da edificação. (GIVONI, 1998).

A transferência de calor por radiação em edificações é a energia trocada entre superfícies por meio de ondas eletromagnéticas.

As superfícies de materiais opacos têm três propriedades que determinam o seu comportamento com relação à radiação: emissividade ( $\epsilon$ ), absorvância ( $\alpha$ ) e refletância ( $\rho$ ) à radiação solar. Em materiais transparentes ou translúcidos temos de levar em consideração também a transmitância à radiação solar ( $\tau$ ) (GIVONI, 1998).

Durante o processo de fluxo de calor, através de elementos da edificação, o calor transforma o seu modo de transferência. Por exemplo, a energia solar atinge uma parede exposta à radiação solar, em forma de onda curta de radiação, é absorvida pela superfície externa, e flui através dos materiais da laje por condução.

A superfície externa pode ser aquecida pela temperatura do ar a sua volta e perder parte da energia absorvida por convecção e por radiação de onda longa de para o ambiente externo. Se a parede contiver um espaço de ar, o calor fluirá através do espaço pela combinação de convecção e radiação de onda longa e continua a fluir através do interior da camada por condução. Finalmente, o calor é transferido do interior da superfície para o ar interior e para as superfícies internas por convecção e radiação de onda longa, respectivamente.

### 2.7.3. Definição de sistema de cobertura

Pode-se definir sistema de cobertura sob dois pressupostos:

1. Termicamente, sistema de cobertura deve ser pensado como o conjunto de componentes construtivos responsável pela absorção e transmissão da energia solar incidente que é introduzida nos ambientes interiores, em maior ou menor período de tempo. Em climas quentes de baixa latitude, o sistema de cobertura é responsável pela maior parte de absorção da radiação solar incidente em uma edificação (DOCHERTY & SZOKOLAY, 1999).  
As paredes também recebem radiação solar, assim como os elementos transparentes da edificação, mas além de ser em menor proporção, são mais fáceis de ser sombreadas, o que faz reduzir o ganho da radiação solar direta por elas.
2. Construtivamente, toda edificação é composta por dois tipos de elementos opacos que tem por finalidade a sua vedação: as paredes e as coberturas. As

paredes formam os elementos verticais enquanto a cobertura forma o fechamento horizontal.

Para definir o tipo de cobertura, deve-se considerar não só o estilo mas também todos os aspectos climáticos da região onde a casa será construída: chuva, vento, frio, calor, enfim todas as variáveis que influenciam as trocas térmicas na construção.

A cobertura pode ser simples, composta somente pelo telhado – telhas e madeiras, como pode ser um sistema de cobertura composto por telhado, ático (câmara de ar entre o telhado e o forro) e forro, bem como ser composta por telhado, forro, ático e subcobertura.

Existem inúmeros tipos de telhas: cerâmica, fibrocimento, fibras vegetais, micro concreto, polipropileno, aço galvanizado, etc., e cada uma exige um grau mínimo de inclinação, com o intuito de se evitar o refluxo da água entre a sobreposição das telhas. Assim como existem inúmeros tipos de forros: laje cerâmica, laje maciça de concreto, madeira, PVC, etc; como também vários tipos de subcobertura: foil, lã de rocha, lã de vidro, isopor, cortiça, etc.

Nesta pesquisa, foram utilizados protótipos com sistema de cobertura composto por telha de fibrocimento, laje cerâmica e subcoberturas de foil de lã de rocha e de caixas cartonadas Tetra Pak.

A utilização da telha de fibrocimento deveu-se ao fato de ser a telha mais vendida no Brasil, 51%, segundo informações da fabricante Eternit (2001). A escolha da laje cerâmica se justifica pelo fato de ser utilizada em grande escala nas edificações (não tendo sido conseguida a exata proporção do consumo desse forro em relação aos demais).

Quanto à escolha das subcoberturas, pode-se afirmar que se optou pela escolha de um isolante por resistência térmica, a lã de rocha, por ser um isolante muito utilizado no mercado; um por reflexão, o foil, por estar sendo muito utilizado em edificações e ser o único isolante por reflexão disponível no mercado e outro que está sendo pesquisado como forro e que traz um grande benefício ambiental ao proporcionar a reutilização de um resíduo, ou seja, a caixa cartonada Tetra Pak, que na pesquisa foi utilizado como isolante por reflexão e por câmara de ar, já que foi utilizada fechada.

### 2.7.4. Fluxo térmico em sistemas de cobertura

Na reação frente ao calor, a principal forma de transmissão de calor para o interior de uma edificação ocorre na forma de radiação, forma primária de transferência de calor. A energia solar atinge as telhas e a parte absorvida pelo material é transmitida, por condução, ao interior da edificação (LA ROCHE ET AL, 2001).

O fluxo térmico por radiação em direção ao interior de uma edificação pode atingir de 89 até 93%. Por convecção não ultrapassa a faixa dos 10%. No caso da reação frente ao frio, cabe ressaltar que a perda de calor por radiação pela cobertura pode variar entre 65 e 80%, pouco menos que no caso de ganhos térmicos. As perdas térmicas por convecção são responsáveis, nesse caso, entre 15 e 28% do total. Portanto, assume maior importância no caso de períodos frios. As barreiras de radiação, também denominadas de subcoberturas, promovem a reflexão do calor incidente na forma de ondas eletromagnéticas de onda longa (0.4 a 8 microns), transmitido por condução pelas telhas, devido a sua reduzida emissividade (VECCHIA, 2001a).

A seguir são apresentadas duas figuras com representação esquemática dos processos de transmissão térmica nos sistemas de cobertura.

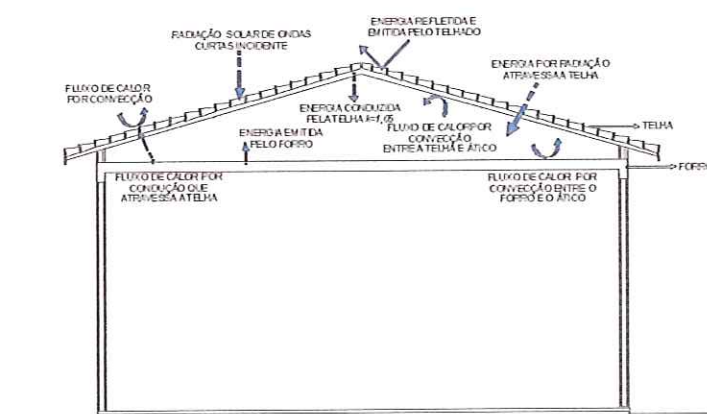


Figura 5 – Representação esquemática do fluxo de calor em um sistema de cobertura – telha e meio exterior, telha e ático e ático e parte superior do forro.

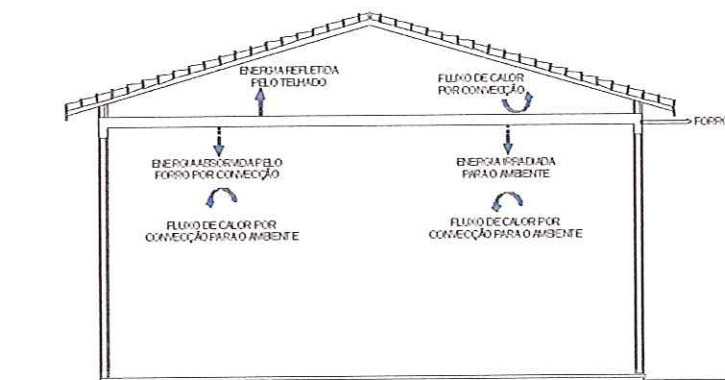


Figura 6 – Continuação da representação esquemática do fluxo de calor em um sistema de cobertura apresentada na figura 7. Fluxo de calor entre o ático e a parte superior da laje, dentro da laje e entre a parte inferior da laje e o ambiente interno.

### 2.7.5. Atenuação térmica em sistemas de cobertura

Estudos realizados no campus experimental do CRHEA-EESC demonstraram que o uso exclusivo de telhado como cobertura não corresponde às adequadas condições de comportamento térmico, observando-se limitantes, superiores e inferiores, propostos por Olgay (1963) e comumente usados como referência. Esses estudos também comprovaram que os sistemas de cobertura com o uso de telhado e forro, apresentam uma atenuação no seu rigor térmico, que não é suficiente para se alcançar razoável comportamento térmico da edificação, precisando-se assim de medidas de correção térmica.

No caso do sistema de cobertura, pintura clara, ventilação, a presença do ático e /ou o uso de uma subcobertura ocasiona um melhor comportamento térmico da edificação, observando-se limitantes, superiores e inferiores, propostos por Olgay (1963).

### 2.7.6. Princípios sobre Isolamento Térmico

Segundo Givoni (1998), duas propriedades básicas dos elementos da edificação controlam o fluxo térmico e determinam os seus impactos no comportamento térmico das edificações: resistência térmica (R) e a capacidade térmica (C), que são conseqüências das propriedades termo-físicas dos materiais e das espessuras das camadas de cada elemento

pelos quais são compostos. As propriedades básicas dos materiais são: a densidade, a condutividade e o calor específico.

No inverno, a edificação é aquecida e o lado inferior do ático é mais quente do que o lado superior, o que ocasiona um aumento na convecção natural. No verão o telhado é sempre mais quente do que o lado inferior do ático, o que reprime a convecção natural; então a diferença da direção do fluxo de calor em um espaço de ar horizontal e inclinado é máximo quando o espaço é alinhado com a camada reflexiva porque a troca radiante é reprimida e o principal fluxo de calor é feito depois por convecção (GIVONI, 1998).

Barreiras de radiação são melhores recomendados para telhados em residências de regiões com um maior componente solar, em regiões quentes.

Em climas quentes Docherty & Szokolay (1999) recomendam:

- prevenir ou reduzir o ganho de calor;
- permitir a entrada do calor para um horário que não seja prejudicial;
- a dissipar o máximo de calor possível.

Percebe-se, assim, a importância do papel desempenhado pelo sistema de cobertura para o comportamento térmico das edificações e, conseqüentemente, do conforto térmico, e o emprego de materiais isolantes no inverno e no verão:

- no inverno, quando a energia deve ser conservada diminuindo a perda de calor pela edificação, evitando o uso de sistema artificial, e caso esse seja necessário, que o seu custo seja reduzido;
- no verão, para evitar o uso de sistema artificial de refrigeração, e quando o uso desse se fizer necessário, que o custo do seu uso seja reduzido.

### 2.7.7. Materiais Isolantes

Com base na teoria de que isolamento é o controle do fluxo de calor, podem ser reconhecidas três formas de controle desse fluxo:

- **por reflexão:** são aplicados materiais onde há domínio de transferência de calor por radiação. O único material prático isolante por reflexão é o alumínio foil, o qual tem uma baixa absorvância e uma alta emitância (aproximadamente 0,02 e 0,05 respectivamente). Pode ser usado sozinho ou laminado com papel, de um



lado ou dos dois. Para que tenha o desempenho esperado, deve-se deixar uma cavidade ou espaço de ar faceando o *foil*;

- **por resistência:** são usados materiais para controlar o fluxo de calor por condução. Materiais usados para esse fim são aqueles que têm uma baixa condutividade (usualmente fibrosos ou porosos).

Existem duas categorias de isolantes:

- os que têm somente a função de isolantes, que podem ser usados sozinhos ou em conjunto com outros materiais, mas com o único propósito de reduzir o fluxo de calor, por exemplo: fibra mineral, fibra de vidro e fibra de celulose;

- os que têm várias funções, além de controle do fluxo de calor, mas que têm um desempenho razoável como isolantes; por exemplo, podemos citar as espumas de polietileno expandido (EPS), polietileno extrudado (Styrofoam), poliuretano e a vermiculita;

- **por capacidade de isolamento:** são referidos à capacidade térmica ou massa térmica e é discutida de forma diferente das anteriores (ZOLD & SZOKOLAY, 1997).

Neste trabalho, adotou-se um isolante de cada uma das duas primeiras categorias descritas acima, um por reflexão, o aluminum foil e um por resistência. Dentro da terceira categoria, como visto pela própria definição, não se pode escolher um único material, já que trata de uma barreira de fluxo por calor da massa térmica e não de um único material.

A caixa cartonada Tetra Pak, que foi o terceiro material isolante escolhido para ser utilizado na presente pesquisa, é um isolante por reflexão por possuir uma camada de aluminum foil na sua constituição e é também um isolante por resistência, pois ao ser utilizada fechada, forma em seu interior uma câmara de ar e o ar é um bom isolante, com valor muito baixo de condutividade  $k$ .

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Além da revisão de literatura, vários procedimentos metodológicos necessários à execução dos objetivos propostos foram adotados, como a especificação dos materiais isolantes, as instalações dos equipamentos e dos materiais e, finalizando, o procedimento experimental, os quais são apresentados a seguir.

#### **3.1. Especificação dos materiais**

Existem vários tipos de isolantes no mercado

No presente trabalho, como já citado anteriormente, foram pesquisados três tipos de isolantes térmicos: a lã de rocha, isolante por resistência térmica, de baixa condutividade térmica  $k$ ; o foil uma barreira de radiação, isolante por reflexão e a caixa cartonada de leite e sucos Tetra Pak, que é uma combinação de isolante por reflexão, já que possui em sua constituição uma camada de aluminum foil e de isolante por resistência térmica por possuir uma câmara de ar, pois foram utilizadas fechadas.

##### **3.1.1. A Lã de Rocha**

A lã de rocha é fabricada a partir de rochas basálticas e outros minerais, que aquecidos a cerca de 1600°C se fundem e, sob um processo de centrifugação, são transformadas em filamentos. Estas fibras são então aglomeradas com resinas orgânicas e óleos impermeabilizantes resultando em massa semelhante à lã. Conforme o tratamento final, a lã poderá ser flexível ou rígida, dependendo do grau de compactação, e pode ser apresentada em variadas formas, tal como mantas, forros, painéis, tubos, etc. (ROCKFIBRAS, 2004).

É um isolante por resistência, de baixa condutividade. Devido às suas qualidades termo-acústicas, é empregada em construções civis e industriais, em indústrias e em vários tipos de produtos.

Apresenta as seguintes características técnicas:

- $k$  0,033 W/m °C (esse valor pode variar dependendo da espessura);
- incombustível;
- não atacam as superfícies com as quais mantém contato;
- repelente à água devido aos aditivos adicionados ao produto (o material que está sendo utilizado na pesquisa), pois se esse tratamento não acontecer o material perde a sua função ao absorver a água (ROCKFIBRAS, 2004).

A que foi instalada no protótipo nº 4, tem as seguintes características fornecidas pelo fabricante:

- $k = 0,033$  W/m °C
- espessura 50mm
- placas nas dimensões 1350mm de comprimento por 600mm de largura. (ROCKFIBRAS, 2004).

As placas vêm em embalagens plásticas para facilitar o transporte e o manuseio

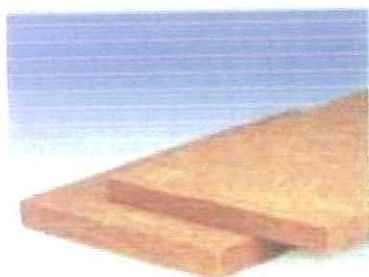


Figura 7 – Lã de rocha em forma de painel  
Fonte – <http://www.rockfibras.com.br/catprods.htm>

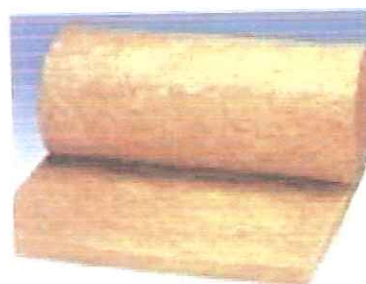


Figura 8 – Lã de rocha em forma de feltro  
Fonte – <http://www.rockfibras.com.br/catprods.htm>

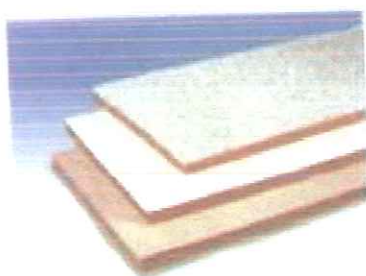


Figura 9 – Lã de rocha em forma de forro  
Fonte – <http://www.rockfibras.com.br/catprods.htm>



Figura 10 – Lã de rocha em forma de tubo  
Fonte – <http://www.rockfibras.com.br/catprods.htm>

### 3.1.2. O Foil

No passado, o único isolante utilizado era o de resistência térmica, ou seja, os que apresentam pequenos valores de condutividade  $k$ . Há aproximadamente 30 anos, empresas americanas começaram a desenvolver os isolantes refletivos – “Aluminum foil”.

A Norma Francesa – NF P 75-01, define isolante térmico como o elemento com resistência térmica maior que  $0,5 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$  composto por material com condutividade menor que  $0,065 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ . Com a introdução e o avanço de uso do foil, esse conceito de isolante está sendo revisto e alterações em algumas normas já começam a acontecer. A norma ASTM C 168/01 define que isolante térmico é “um material ou produto utilizado com a finalidade de oferecer resistência à transferência de calor”(VITTORINO ET AL, 2003).

Com base nessa definição, o governo americano elaborou um documento (DOE CE 01-BO,1977) com exigências e recomendações para o uso dos materiais refletivos e dos de resistência (VITTORINO ET AL, 2003).

O Foil é um isolante por reflexão, com reduzida absorvância e baixa emitância.

O foil instalado no protótipo nº 2 tem as seguintes características:

- Perfil: Laminado
- Espessura: Variável entre 6,25 a 9 micras
- Dimensões:  $1,35 \text{ m} \times 55,60 = 75 \text{ m}^2$  (apresentação em rolo)
- Composição básica: Foil de alumínio/ adesivo/ papel Kraft/ adesivo/ reforço/
- Refletividade – 95% de calor e luz
- Emissividade – 5% ( $e = 0,05$ )
- Permeabilidade de água e vapor –  $0,02 \text{ g/m}^2 \text{ 24h}$  (PENTAK, 2002).

#### 3.1.2.1. Isolantes refletivos e barreiras de radiação

Nas normas técnicas internacionais existe distinção entre os isolantes refletivos e as barreiras de radiação. Na Austrália, a AS 1903 está em processo de revisão, assim como a SABS 1381-4/1985 na África do Sul. O país com o maior número de normas a esse respeito é os EUA- ASTM C 1158, ASTM C 1313-00, ASTM C 1224-01 e a ASTM 727.

Como isolantes refletivos são definidos os elementos ou produtos que incorporam uma câmara de ar, com forma e dimensões definidas, confinadas por pelo menos um material de baixa emissividade, por exemplo os painéis metálicos ociosos.

As barreiras de radiação são definidas como o material de baixa emissividade, posicionados no elemento construtivo voltado para um “ambiente” que pode ser o ático ou o interior do edifício. Não existe a especificação de uma resistência térmica, mas apenas a especificação das características superficiais do material em questão (ASTM C 1313-00). A avaliação do desempenho do produto é definida, caso a caso, dependendo da interação da barreira com as outras superfícies envolventes. (VITTORINO ET AL, 2003).

O material mais utilizado para esse fim é o alumínio polido em forma de lâmina ou folhas muito finas, com espessura na ordem de 6 a 8  $\mu\text{m}$ , com emissividade abaixo de 0,1.

No Brasil, esses produtos começaram a ser mais amplamente conhecidos e utilizados após 1995 com a importação dos mesmos. Hoje se têm no mercado vários tipos de produto entre os quais:

- folha de alumínio aderida a uma ou ambas as faces a um substrato que pode ser de diversos materiais como por exemplo, papel Kraft, malha polimérica, etc.;
- folha de alumínio revestindo uma ou duas folhas de “plástico bolha”, com espessura de 3 a 5 mm;
- camada metálica entre filmes de polietileno aderidos a uma espuma plástica também de polietileno, com espessura de 2 a 5 mm;
- filme plástico com camada metálica aderida por deposição a vácuo.

O substrato é utilizado para conferir resistência mecânica ao produto e o “plástico bolha” e as espumas plásticas são utilizadas como um isolamento adicional, já que diminuem a trocas de calor por condução. (VITTORINO ET AL, 2003).

Além dos produtos acima citados, vários produtos são encontrados no mercado com aspecto “metálico brilhante”, sendo comercializados como barreiras de radiação. São superficialmente revestidos por materiais poliméricos, transparentes à radiação no comprimento de onda do visível, mas opacos à radiação de onda longa, não podendo ser, por isso, considerados como barreiras de radiação.

De acordo com medidas realizadas pelo IPT, os produtos encontrados no mercado podem ser classificados em três categorias de acordo com a sua emissividade:

- produtos com superfície metálica em toda a sua extensão:  $\varepsilon < 0,15$ ;
- produtos com superfície parcialmente ou descontinuamente metalizadas:  $0,3 < \varepsilon < 0,5$ ;
- produtos com superfície metálica totalmente revestida com material polimérico ou não metálico transparente à luz visível:  $\varepsilon > 0,7$  (VITTORINO ET AL, 2003).

Para que a barreira de radiação seja eficiente, deverão ser obedecidas as seguintes recomendações:

- um bom desempenho depende da existência de uma camada de ar parado para evitar a troca de calor por condução entre o foil e a superfície adjacente;
- quaisquer danos, tais como rasgos e furos, resultam na perda de seu desempenho (VITTORINO ET AL, 2003).

### **3.1.3. As caixas cartonadas Tetra Pak**

#### **3.1.3.1. Histórico**

As caixas cartonadas Tetra Pak surgiram na década de 50 com o intuito de acondicionar e preservar alimentos. Em 1961, surgiu a embalagem longa vida unindo os conceitos de ultrapasteurização e de assepsia, protegendo o leite sem necessidade de conservantes e de refrigeração. (TETRAPAK, 2003).

No Brasil, a empresa começou a atuar em 1957 e desde então vem aumentando a sua produção ano após ano. A partir da década de 90 houve uma expansão da empresa, que passou a embalar vários produtos alimentícios, além do leite, tais como: sucos, chá, molhos, cremes, etc. Hoje produz em média 32 mil toneladas de embalagem longa vida por ano. A tendência é essa produção crescer ainda mais, devido ao aumento crescente do uso e do consumo desse tipo de produto pelo mercado consumidor (TETRAPAK, 2003).

#### **3.1.3.2. Composição das embalagens**

Nesta pesquisa, as embalagens longa vida estão sendo utilizadas fechadas, com o in-

tuito de se avaliar o seu desempenho como isolante térmico por reflexão e pelo efeito de câmara de ar.

As caixas cartonadas têm as seguintes características:

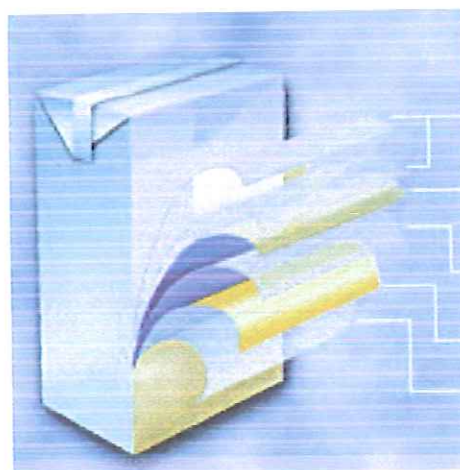
- Peso (tipo “longa vida” tetra Brik Aseptic) – 28 g
- Dimensões – 9,5 x 6,0 x 16,5 cm (TETRAPAK, 2003).

Composição:

- Papel (cartão) – 75%
- Plástico (polietileno de baixa densidade) – 20%
- Lâminas de alumínio – 5% (TETRAPAK, 2003).

As embalagens cartonadas Tetra Pak são compostas por:

- Papel (cartão) – 75%
- Plástico (polietileno de baixa densidade) – 20%
- Lâminas de alumínio – 5%
- Peso (tipo “longa vida” tetra Brik Aseptic) – 28 g
- Dimensões – 9,5 x 6,0 x 16,5 cm (TETRAPAK, 2003).



**Polietileno:** duas camadas impedem o contato direto com a camada de alumínio

**Alumínio:** evita a entrada de ar e luz, perda de Aromas e contaminações

**Polietileno:** oferece aderência do papel ao alumínio

**Papel:** garante estrutura à embalagem

**Polietileno:** protege da umidade externa

Figura 11 – Constituição da caixa Tetra Pak: da face interna para a externa: duas camadas de polietileno, uma de alumínio, outra de polietileno, uma de papel e mais uma de polietileno

Fonte – [http://www.ambiente.sp.org.br/educ\\_2004/cursos/palestrantes/040304/EdyMerendino\\_2.pdf](http://www.ambiente.sp.org.br/educ_2004/cursos/palestrantes/040304/EdyMerendino_2.pdf)

Quanto às propriedades térmicas da caixa cartonada (refletividade, emissividade, transmissividade, etc.), não existem dados na literatura, apenas alguns ensaios

experimentais utilizando as caixas como forro, os quais foram citados anteriormente, no capítulo 2, item 2.3.

Não existindo as propriedades térmicas dos específicos materiais empregados na sua fabricação, não se pode afirmar com precisão, a emissividade do alumínio e nem a condutividade  $k$  do polietileno e do papel. O que se pode afirmar de antemão é que a colocação das duas películas de polietileno sobre o alumínio faz reduzir a sua emissividade, independente de qual seja ela. Mas como se está trabalhando na pesquisa com dados experimentais, a falta dessas informações não deve afetar a confiabilidade dos resultados obtidos, já que todas elas, independentes dos produtos que armazenam, possuem as mesmas propriedades térmicas, pois são produzidas pelo mesmo fabricante, com os mesmos materiais e por meio do mesmo processo de produção. Assim, os resultados obtidos com a utilização das caixas cartonadas, serão conseqüência da combinação da baixa emissividade do alumínio, da condutividade dos outros materiais que a constituem e, da baixa condutividade do ar, já que elas estão sendo utilizadas fechadas nessa pesquisa.

### 3.1.3.3. Reaproveitamento das caixas cartonadas

De uns anos para cá, as caixas cartonadas estão sofrendo um grande processo de reaproveitamento, impulsionado pelo fabricante, por órgãos de pesquisa e por indústrias, que têm na preservação do meio ambiente um parâmetro a ser seguido.

Depois de sete anos de pesquisa, especialistas da Tetra Pak e pesquisadores do IPT, conseguiram chegar, em 2003, a uma tecnologia nacional, em que todos os materiais que compõem o produto podem ser 100% separados e reaproveitados, voltando, assim, a ser matéria-prima e à cadeia produtiva. Antes dessa tecnologia denominada de plasma, conseguia-se separar somente o papel, o alumínio e o plástico permaneciam unidos e eram posteriormente transformados em telhas, vassouras, pranchetas, escovas, etc.

O objetivo a ser alcançado com essa tecnologia é aumentar o índice de reaproveitamento de embalagens longa vida que hoje é em torno de 15%, o que mostra que uma enorme quantidade de resíduo é formada e lançada nos aterros e lixões, onde demoram cerca de 100 anos para se decompor, segundo a CETESB.





### 3.2. Instalação dos materiais e dos equipamentos

Neste item será relatada a caracterização da área onde foi feita a pesquisa, a descrição dos protótipos, a descrição da instalação dos materiais e dos sensores de medição.

#### 3.2.1. Caracterização da área de estudo

A pesquisa foi realizada no Canteiro Experimental do CHREA da EESC – USP, no município de Itirapina.. Para a realização da pesquisa, foi necessária a utilização de cinco dos quinze protótipos existentes no Canteiro Experimental. Quatro protótipos, para a análise comparativa dos isolantes escolhidos (três para os isolantes e um para o testemunho, onde não foi instalado isolante). Foi utilizado um outro protótipo para a instalação da central de coleta de dados.

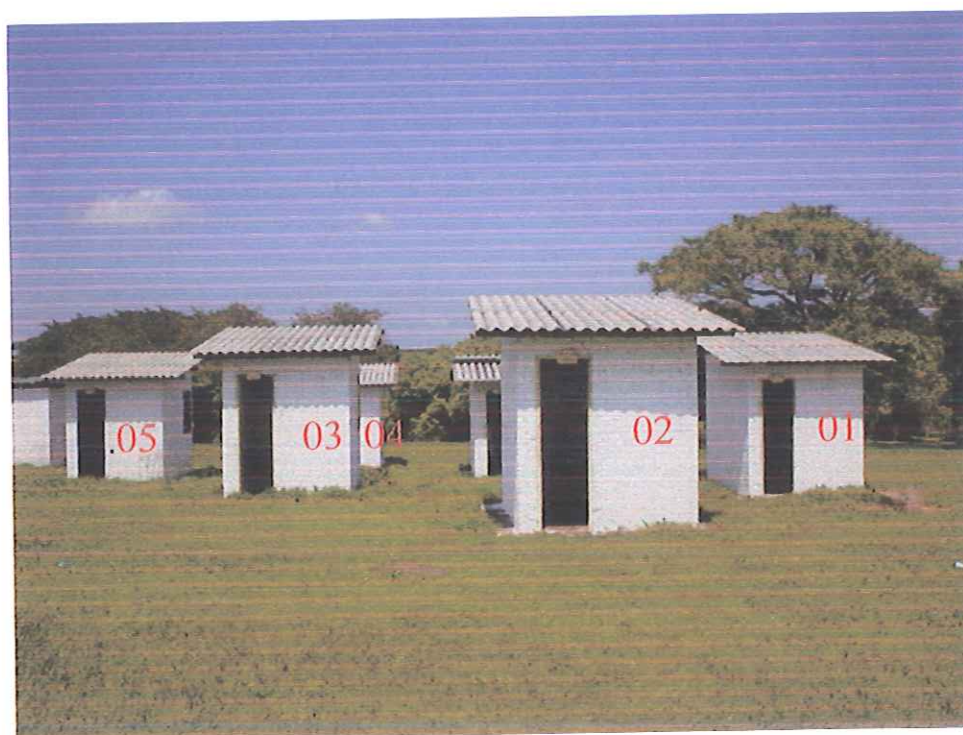


Figura 12 – Vista parcial da área com os protótipos onde se podem ver os protótipos 01 (testemunho), 02 (caixas Tetra Pak), 03 (foil), 04 (lã de rocha) e o 05 onde estava instalada a central de coleta de dados.

### 3.2.2. Características das células de teste – protótipos

Os quatro protótipos possuem o mesmo sistema construtivo, com dimensões em planta de 2.70 x 2.20 m e com alturas até os forros iguais (2.50m). A volumetria interna sendo igual, faz com que o volume de ar interno das três células seja igual.

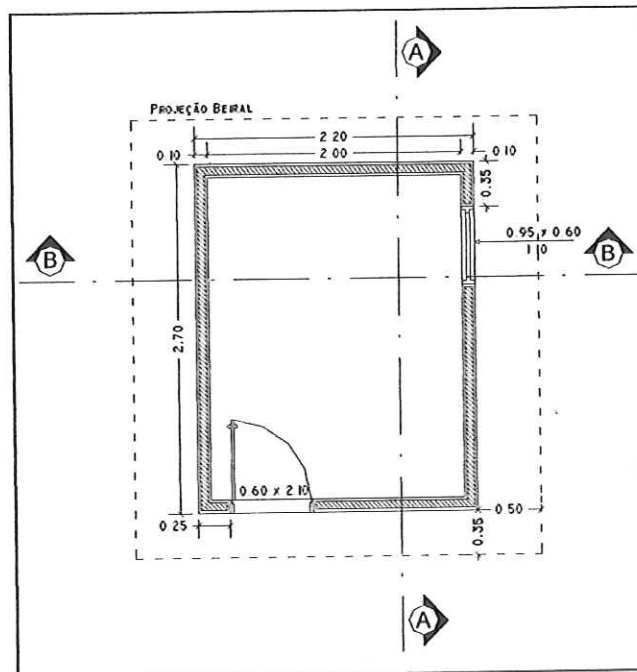


Figura 13 – Planta Baixa – igual para todos os protótipos, onde se pode perceber em planta as dimensões internas e externas dos protótipos, assim como a localização e o tamanho das aberturas.

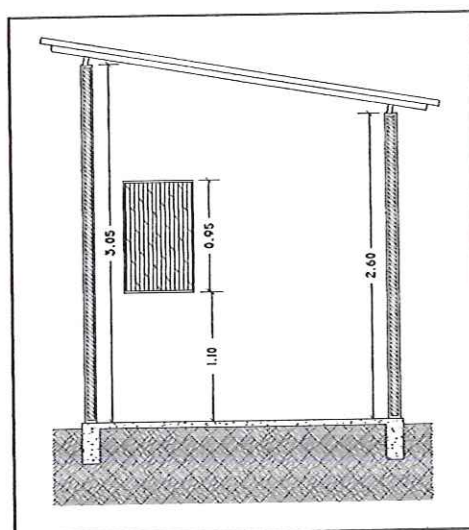


Figura 14 – Corte AA - longitudinal do protótipo, onde se percebe a altura até a laje e a existência do ático.

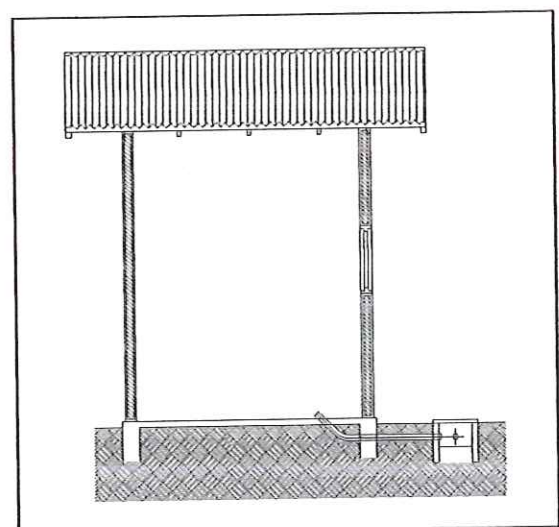


Figura 15 – Corte BB - transversal do protótipo, onde além da altura, observa-se a localização da entrada dos termopares dentro do protótipo.

### Implantação

Os protótipos estão locados de maneira tal que recebem os raios do sol, o fluxo de vento ou qualquer outro evento climático, ao mesmo tempo e nas mesmas condições de igualdade, permitindo que as mesmas excitações climáticas exteriores atuem de forma similar e simultânea, com a mesma intensidade em cada um dos protótipos.

Ficou estabelecido que a projeção de sombras entre os protótipos poderiam ocorrer apenas antes das 8h00 e após as 16h00, o que não afeta o processo de trocas térmicas por meio das envolventes: paredes, portas e janelas.

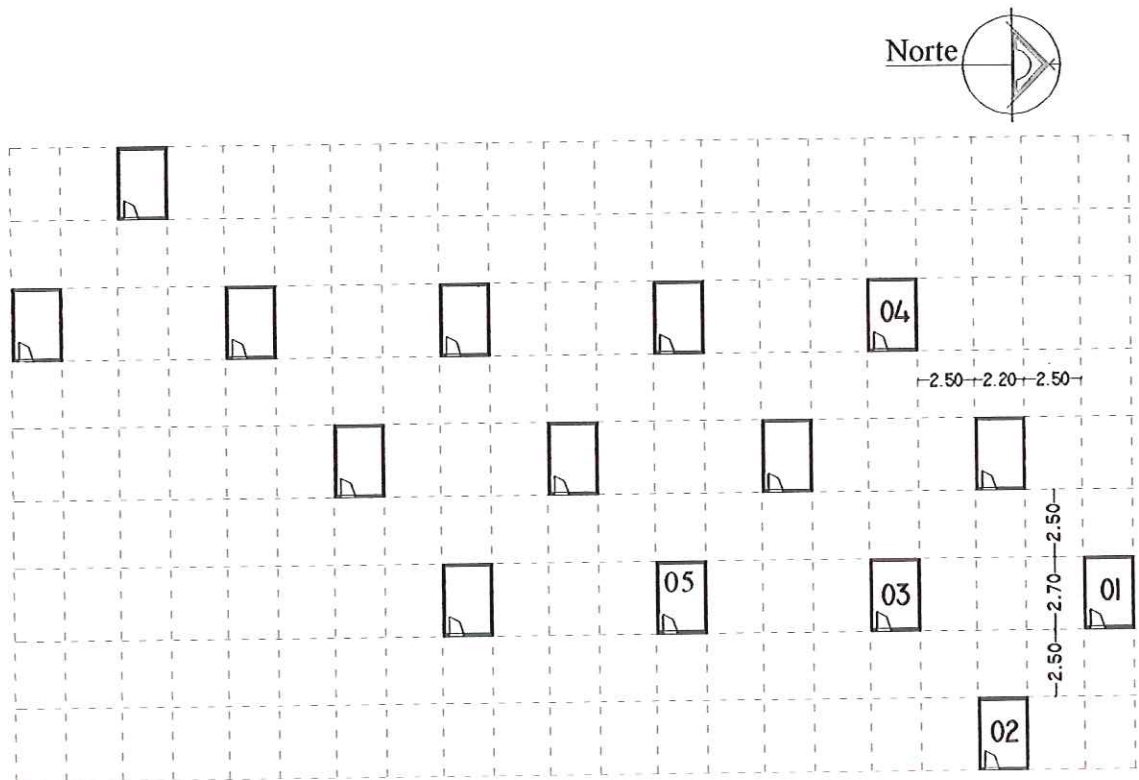


Figura 16 - Implantação dos protótipos no sentido Norte-Sul, de forma que todos recebem os raios do sol, o fluxo de vento ou qualquer outro evento climático, ao mesmo tempo e nas mesmas condições de igualdade, permitindo que as mesmas excitações climáticas exteriores atuem de forma similar e simultânea, com a mesma intensidade em cada um dos protótipos.

**Fundação**

O sistema de fundação é do tipo “radier”, com 0,10m de altura sobre lastro de brita nº 1 .

**Alvenaria**

Os protótipos foram construídos com tijolos maciços nas medidas de 0.10 x 0.20 x 0.05 m, assentados com argamassa de cimento e areia, traço de 1:2, preparada no canteiro de obras. Os tijolos foram assentados com juntas de 0,15 m de espessura.

**Laje**

Os quatro protótipos possuem laje de cerâmica constituída de lajotas de barro com trilhos de ferro CA60 tipo treliça e concreto, recapeadas com concreto de 20 mPa, ficando com espessura de 11 cm depois de acabada.

**Cobertura**

A cobertura nos três protótipos foi realizada com telhas de fibrocimento, sobre caibros de madeira. É uma telha com perfil ondulado com espessura de 5mm, e largura útil de 1.050 mm. A inclinação empregada foi de 20%, obedecendo às normas técnicas do fabricante.

**Subcoberturas**

Um dos protótipos não recebeu a subcobertura para servir como testemunho (nº 01).

Cada um dos outros três, recebeu um tipo de subcobertura. O nº 02 recebeu subcobertura de caixa Tetra Pak, o nº 03 de foil e o nº 04 de lã de rocha.

**Esquadrias**

As esquadrias são de madeira (cedro), incluindo-se os batentes de portas e janelas. Cada protótipo é composto de porta e janela nas dimensões: porta de 2,10m de altura por 0,60m de largura e janela com 1,00 x 0,70m.

## Pintura

Todos os protótipos receberam três demãos de pintura a cal hidratada. As esquadrias de madeira foram pintadas a látex na cor marfim.

### 3.3. Instalação dos isolantes

#### 3.3.1. A Lã de Rocha

O primeiro passo foi a retirada das telhas que já estavam colocadas. Em seguida, a laje foi limpa para que fossem retirados alguns resíduos que haviam ficado da construção.

As placas de lã de rocha foram retiradas das embalagens e colocadas uma ao lado da outra sobre a laje, conforme as figuras 18 e 19.

Devem-se tomar algumas precauções com o manuseio do material, tais como:

- evitar poeiras de lã de rocha;
- usar máscara de proteção respiratória;
- usar camisa de mangas longas, luvas e óculos;
- lavar as mãos com água e sabão após manusear o material.

Se essas precauções não forem tomadas, a pessoa pode ter algum tipo de irritação na pele, nos olhos ou no nariz.

A instalação foi muito fácil, realizada por duas pessoas, o que habilita qualquer pessoa, mesmo sem qualificação, a instalar o produto em áreas semelhantes a essa.



Figura 17– Lã de rocha em placas dentro da embalagem, antes da instalação no protótipo 04.

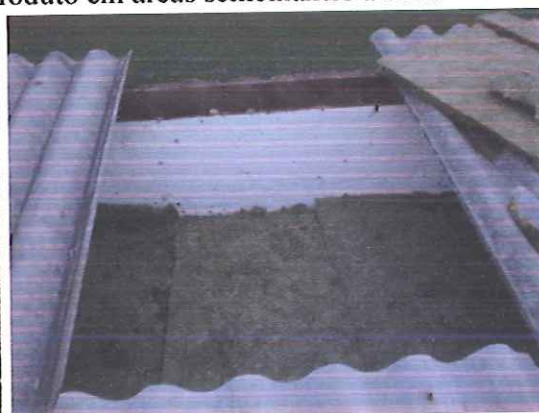


Figura 18 – Colocação da lã de rocha sobre a laje do protótipo 04, dentro do ático.

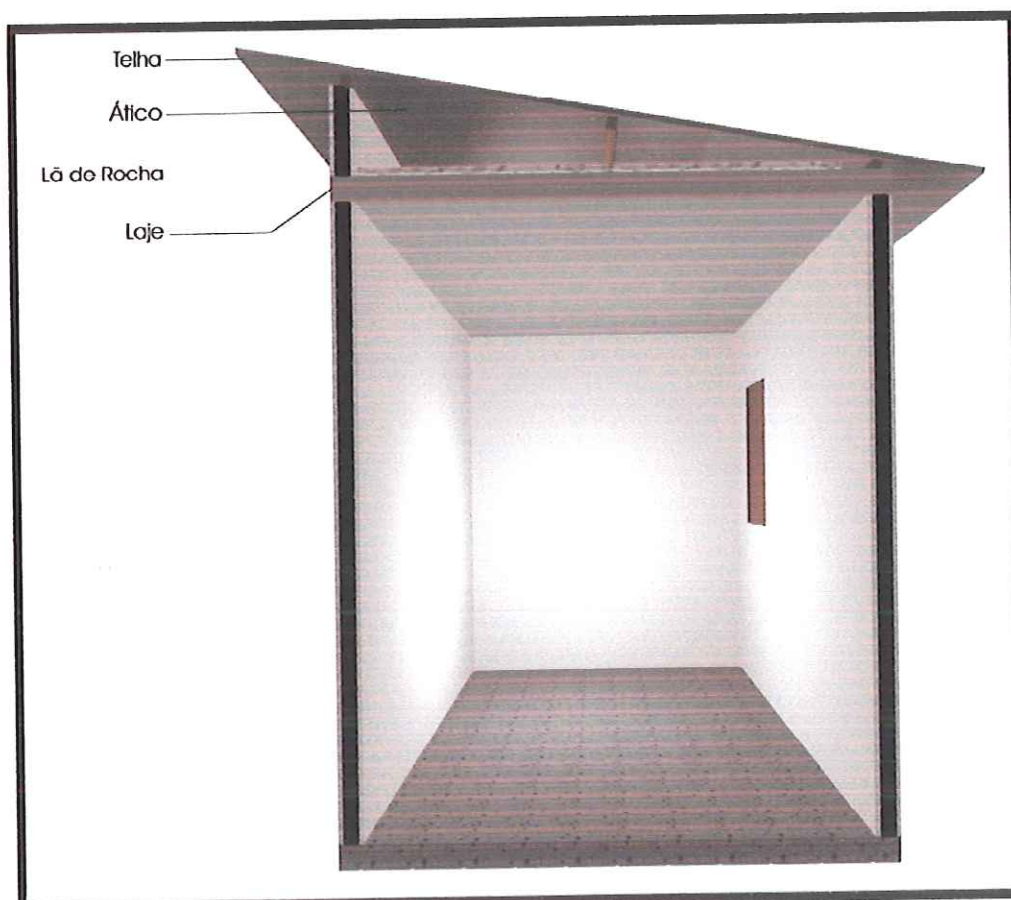


Figura19 – colocação da lã de rocha sobre a laje cerâmica, dentro do ático do protótipo 04

### 3.3.2. O Foil

Para a instalação do foil, o primeiro passo tomado foi a retirada das telhas, depois limpeza da laje para a retirada de resíduos. Cortou-se o foil no tamanho adequado para a instalação e o foil foi preso na parte inferior das vigotas de madeira que sustentam o telhado, com isso, formou-se uma câmara de ar entre a telha e o foil de 12 cm (altura da vigota de madeira). Essa câmara de ar é necessária para que se evite o efeito de condutividade térmica entre o foil e a telha, o que provoca diminuição da eficiência do foil.

O fabricante afirma que o foil não requer selamento total na hora da instalação e que mesmo assim a eficiência e o desempenho atingem quase 100%. Na instalação no

protótipo, o foil foi preso em todas as paredes do ático e nas vigotas de madeira, o que conferiu selamento total da cobertura.

O produto é de fácil instalação e no protótipo 03 foi instalada por duas pessoas sem qualificação para desempenhar tal tarefa. Em edificações de pequeno, médio e grande porte, pode ser instalado pelo próprio carpinteiro na hora da montagem do telhado. Em galpões com a estrutura metálica já finalizada a dificuldade da instalação é um pouco maior, exigindo nesse caso uma mão-de-obra mais qualificada.

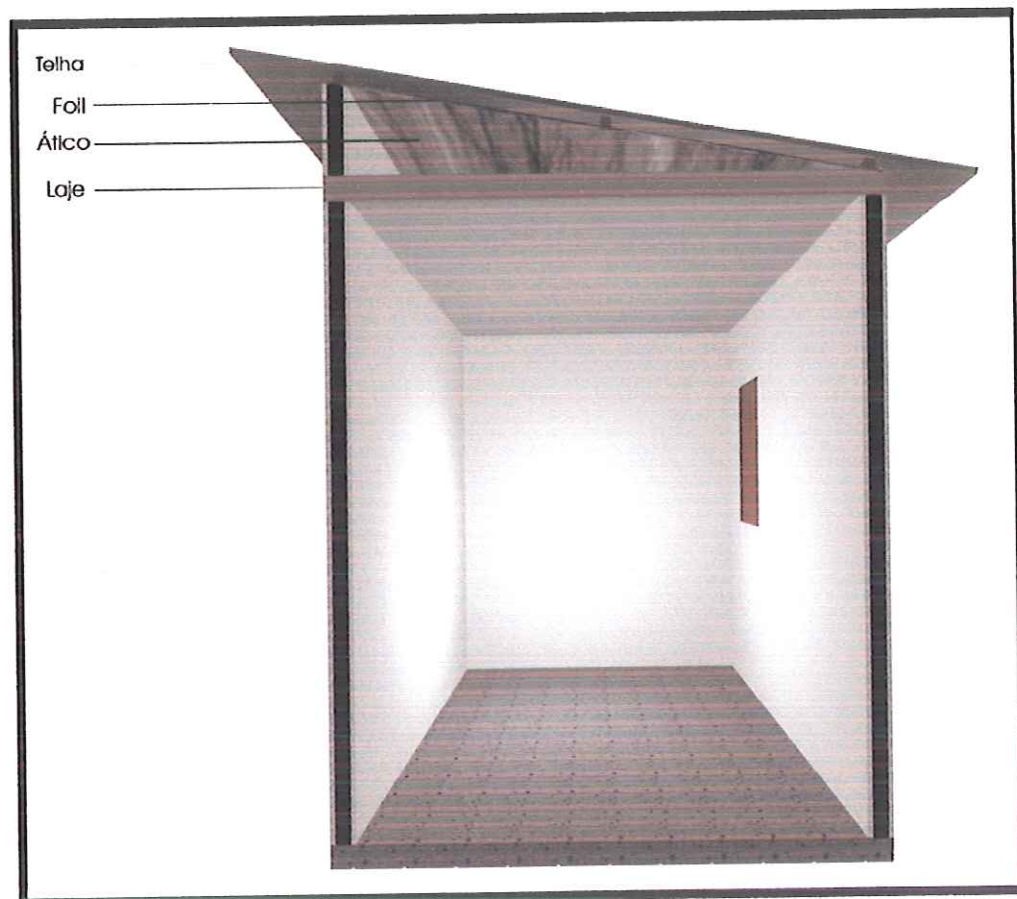


Figura 20 – colocação do foil fixado sob as terças de madeira do telhado de fibrocimento, formando uma câmara de ar de 12 cm entre o foil e as telhas. O foil também foi fixado nas paredes que delimitam o perímetro do ático, possibilitando selamento total do telhado.



Figura 21 – colocação do foil, fixado sob as terças do telhado e nas paredes que delimitam o perímetro do ático.



Figura 22 – colocação do foil – vista de dentro do ático, onde se pode visualizar que o foil apresenta uma pequena ondulação depois de instalado. Percebe-se também a presença do sensor de bulbo seco do ático antes da colocação do “shield”.

### 3.3.3. As caixas cartonadas Tetra Pak

A sua instalação é semelhante à do foil (quando são utilizadas abertas formando placas), podendo ser instaladas em sistemas de cobertura em fase de construção ou mesmo já concluídas, deixando sempre um espaço de ar mínimo de 2 cm entre a cobertura e a lâmina de alumínio para evitar o efeito da condutividade térmica.

No presente trabalho, onde o intuito é fazer um estudo das caixas cartonadas de leite e sucos Tetra Pak como isolante por reflexão e câmara de ar, as caixas foram colocadas umas ao lado das outras, sobre a laje, após a retirada das telhas e limpeza dos resíduos de construção existentes na laje.

As caixas cartonadas utilizadas foram coletadas por meio de doação, e vinham previamente lavadas com água. Antes da colocação definitiva, foram lavadas numa solução de água com 3% de cloro para desinfecção e secas ao sol. Com isso, elas ficam um pouco deformadas, o que não possibilita que fiquem hermeticamente fechadas e que também se forme entre elas espaços vazios, ou seja, câmaras de ar.

Cada caixa Tetra Pak utilizada possui aproximadamente  $0,016\text{m}^2$ , a área do protótipo é de  $5,94\text{ m}^2$ , o que geraria uma utilização de 370 caixinhas. Foram utilizadas 360



caixas, pois na hora da colocação formam-se espaços entre elas, pelo fato de estarem deformadas, como mencionado anteriormente.

A colocação não requer mão-de-obra qualificada, podendo ser realizada por qualquer pessoa com muita facilidade. No protótipo, a colocação foi realizada por duas pessoas não qualificadas para tal tarefa.



Figura 23 – Vista externa da área do ático do protótipo 02 onde foram colocadas as caixas cartonadas Tetra Pak. Pode-se ver ao fundo a estação meteorológica do CHREA.



Figura 24 – vista interna do ático do protótipo 02, onde se visualiza as caixas cartonadas colocadas uma ao lado da outra sobre a laje, formando pequenas câmaras de ar entre elas.

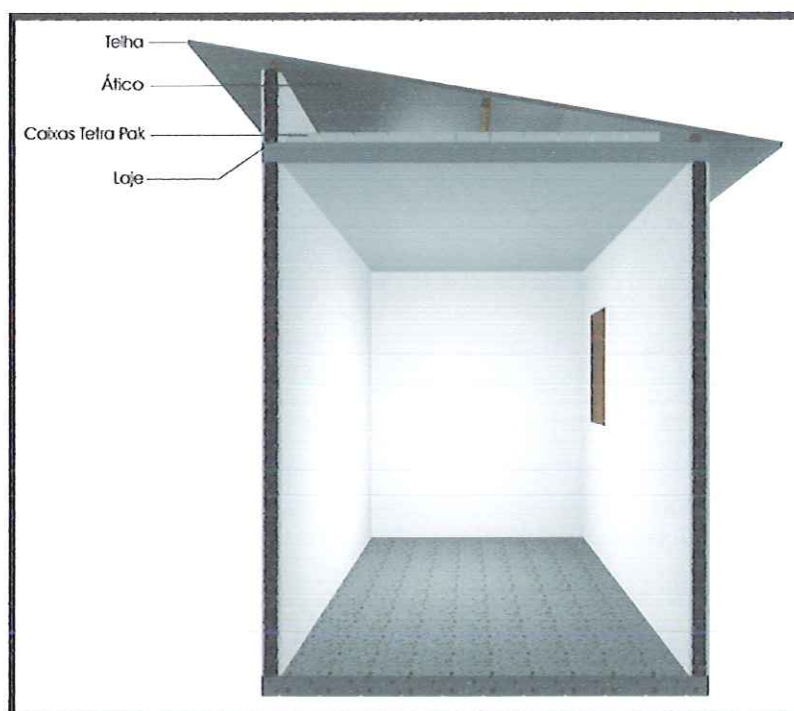


Figura 25 – colocação das caixas Tetra Pak uma ao lado da outra, sobre a laje do protótipo 02. dentro do ático

### 3.3.4. Instalação dos sensores

Nos quatro protótipos, no nº 1, testemunho; no nº 2, caixas Tetra Pak; no nº 3, o foil e no nº 4, lã de rocha; foram instalados sensores na superfície interna da telha, no ático, na superfície interna do forro e a 1,10 m do piso, como nas figuras a seguir.

Os termopares instalados (cobre – constantan/Cu – Ct) são modelo IR – Cable Extension tipo T Puc-Puc 2x24 ANG-A NSI-of 7724, com as pontas soldadas com descarga elétrica (argônio), em atmosfera neutra.

A colocação dos termopares na superfície da telha e do forro foi realizada por meio de mínimos orifícios feitos nessas superfícies, de forma a encaixar a ponta de cada termopar nesses pequenos orifícios escavados. Nos orifícios, foi colocada pasta térmica com o intuito de melhorar a condutividade térmica superficial do termopar. Os termopares colocados a 1,10 m do piso e os instalados dentro dos áticos, nos quatro protótipos, foram colocados dentro de “shields”- abrigos (pedaços de tubo de PVC de “4”), para isolá-los de possível efeito da radiação, como mostrado na figura 28 e 29 na página 61.

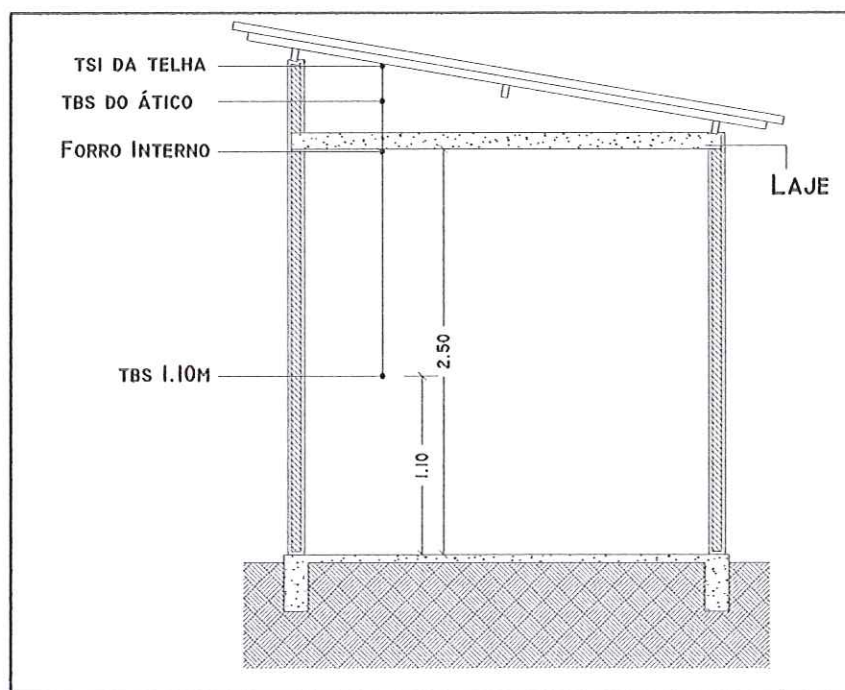


Figura 26 – Instalação dos quatro termopares. O primeiro (tsi da telha) na superfície interna da telha, (voltada para o ático). O segundo (tbs do ático), no ático, o terceiro (tsi da laje) na superfície interna da laje, voltada para o ambiente interno do protótipo. O quarto (tbs a 1,10m), dentro do protótipo na altura de 1,10m do piso, por se tratar da zona habitada pelas pessoas



Figura 27 – colocação do termopar na telha. Para a colocação foi feito um pequeno orifício na telha, onde foi colocada uma pasta térmica para melhorar a condutividade térmica da ponta do termopar, que posteriormente foi colocada dentro do pequeno orifício feito na telha.



Figura 28 – colocação do termopar na vigota de concreto da laje. Para a sua colocação onde foi feito um pequeno orifício na vigota de concreto da laje, onde foi colocada uma pasta térmica para melhorar a condutividade térmica da ponta do termopar, que posteriormente foi colocada dentro do pequeno orifício feito na vigota. Para ajudar na fixação do termopar na laje, foi utilizada fita adesiva, como pode ser observado na figura acima.

Nota-se a presença de outro termopar a aproximadamente 2,30m do piso, que acabou sendo retirado, pois se optou por considerar somente a tbs a 1,10m do piso, por tratar-se da zona habitada.



Figura 29 – colocação do termopar a 1,10m do piso. Observa-se que a ponta do termopar está dentro de um “shield” para evitar a influência da radiação na medida da temperatura interna do ar – tbs.

### 3.4. Procedimento experimental

O procedimento experimental foi realizado através da coleta de dados da Estação Meteorológica do CRHEA, dos dados das temperaturas superficiais e das temperaturas de bulbo seco dos quatro protótipos, a aquisição de imagens de satélite, análise dos dados e determinação do episódio representativo do fato climático, elaboração dos gráficos e por fim, a análise e discussão do comportamento térmico dos quatro protótipos.

1. A Estação Meteorológica instalada no CRHEA USP forneceu os dados relativos aos seguintes elementos atmosféricos externos:

- temperatura do ar;
- umidade relativa do ar;
- radiação solar global;
- velocidade dos ventos;
- direção dos ventos (altura de 3 metros).

2. O sistema de aquisição dos dados relativos ao comportamento térmico das diferentes subcoberturas contém uma caixa isolada (instalada no protótipo nº 6), contendo o sistema de aquisição de dados CR10X (*datalogger*), os multiplexadores de canais (tipo AM416), uma bateria de 12 volts, abastecida através dos estabilizadores, um conector com alimentador para conexão entre microcomputadores e os módulos de armazenamento para transporte dos dados coletados (*storage module*) e um software PC 208 W para a programação com o CR10 (*datalogger*).

O *datalogger*, composto por CR10X, multiplexador tipo AM416 com 32 canais para conexão dos termopares tipo T, possibilitou o monitoramento dos seguintes parâmetros climáticos no interior dos protótipos: temperatura de bulbo seco (tbs) e temperaturas superficiais (tsi).

A coleta de dados foi realizada por meio de aquisição automática de dados, com coleta e armazenamento de dados ambientais, horário com registros tomados em intervalos de 20 segundos e totalização a cada 30 minutos. Observa-se que a Organização Mundial de

Meteorologia - OMM - estabelece registros a cada 60 segundos, com médias a cada hora (WMO, 2001).

3. Foram adquiridas imagens do satélite GOES (Geostationary Operational Environment Satellite), através da Internet, bem como de descrição sinóptica (análise dos processos atmosféricos em macroescala) por meio do Boletim de Informações Climáticas Infoclima (INPE/CPTEC) para a devida definição da circulação atmosférica da entrada de frentes e acompanhamento de episódios representativos do fato climático.

O INPE disponibiliza imagens em diversos horários durante o dia, o que possibilita a visualização do dinamismo dos vários sistemas atmosféricos operantes na região estudada.

4. Foram realizadas a análise dos dados de superfície e a determinação do episódio representativo, descrevendo uma situação de transição primavera-verão, entre os dias 01 e 09 de novembro de 2004 e conseqüentemente a determinação do dia representativo experimental, dia 04.

5. Realizou-se a confecção dos gráficos dos elementos atmosféricos externos e dos dados, bem como dos dados monitorados nos protótipos (tsi e tbs). Durante o período pesquisado, entre setembro e novembro de 2004, os dados foram coletados e armazenados na estação meteorológica do CRHEA e no CR10X (*datalogger*).

Durante as visitas ao campus experimental, os dados coletados pela estação meteorológica do CRHEA foram fornecidos pelo funcionário responsável por essa coleta, e os coletados pelo CR10X foram descarregados por meio do *storage module* (módulo de armazenamento) e transferidos ao microcomputador, via software de programação PC208 W (programa específico da Campbell Scientific Inc., para tal fim) e interface de comunicação SC32A.

Para a confecção dos gráficos relativos aos dados monitorados, foi utilizado o programa Excel da Microsoft.

6. Por fim, com todos os dados e gráficos em mãos, foram realizadas a análise e a discussão dos mesmos.

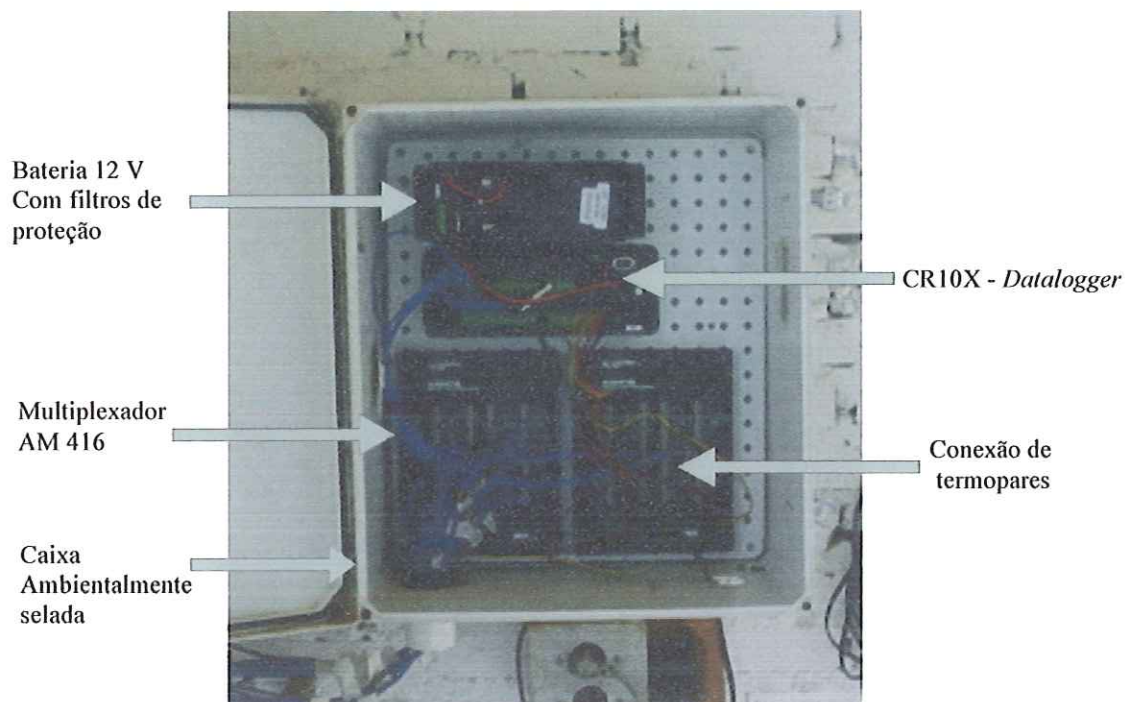


Figura 30 – Caixa ambientalmente selada, que compõe o sistema de aquisição dos dados monitorados nos quatro protótipos (tsi e tbs), instalada no protótipo 05, dentro do campus experimental do CHREA-USP.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados obtidos são apresentados da seguinte maneira: primeiramente a caracterização e análise do episódio representativo, depois a definição do dia representativo experimental e por fim, a apresentação e discussão dos resultados obtidos no quatro protótipos analisados.

### **4.1. Caracterização e análise do episódio representativo de primavera-verão**

O episódio representativo do fato climático compreendido entre o período de 01 a 09 de novembro de 2004 (transição primavera-verão) foi selecionado para a caracterização e a análise do comportamento térmico dos protótipos, devido à representatividade permitida pelas condições atmosféricas relativas a esse período, principalmente, pelo registro da temperatura mais elevada durante o mês de novembro, que foi no dia 04, com valor de 32,24°C.

No mês de novembro de 2004, quatro sistemas frontais ingressaram no país, número abaixo do normal, que é de sete, entre as latitudes de 35°S e 25°S, para esse período do ano. Em geral as frentes frias tiveram um rápido deslocamento e ao interagirem com zonas de baixa pressão causaram áreas de instabilidade no estado de São Paulo. A incursão dos anticiclones associados, causou declínio acentuado de temperatura, principalmente, no Rio Grande do Sul, no Paraná e no Mato Grosso do Sul. No interior do Estado de São Paulo, a temperatura mínima oscilou em torno de 14°C, entre os dias 13 e 14; e entre os dias 21 e 22 (INPE/CPTEC, 2005).

Segundo o INPE/CPTEC (2005), o último sistema frontal de outubro continuou atuando no dia 01 do mês de novembro, no litoral de Santos-SP, deslocando-se para o oceano nos dias 02 e 03, como pode ser observado nas figuras 31, 32 e 33 da página 66.

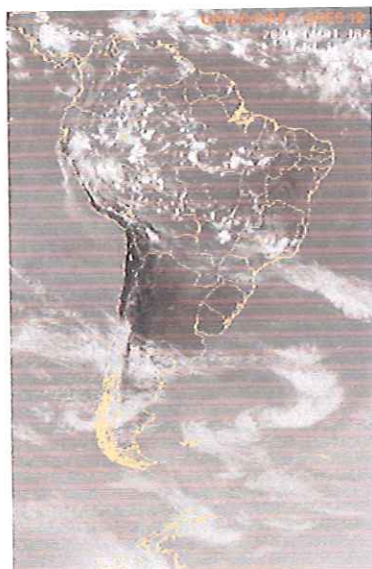


Figura 31 – Imagem Satélite GOES – 15:00 horas Dia 01/11 – TRANSIÇÃO do último sistema frontal de outubro. Nota-se que ele está avançando para o sul de Minas Gerais e se deslocando para o oceano.

Fonte: [www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)

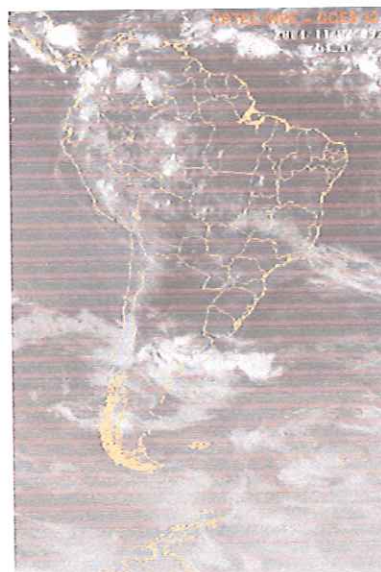


Figura 32 – Imagem Satélite GOES – 15:00 horas Dia 02/11 15:00h - TRANSIÇÃO do último sistema frontal de outubro. Nota-se que ele está avançando para o centro de Minas Gerais e se deslocando para o oceano.

Fonte: [www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)



Figura 33 – Imagem Satélite GOES – 15:00 horas Dia 03/11 – PRENÚNCIO do primeiro sistema frontal de novembro. Nota-se que a massa Polar Atlântica está em domínio nos Estados de Santa Catarina e Paraná, indo a caminho do Estado de São Paulo.

Fonte: [www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)



Figura 34 – Imagem Satélite GOES – 15:00 horas Dia 04/11 – AVANÇO da massa Polar Atlântica sobre o Estado de São Paulo.

Fonte: [www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)



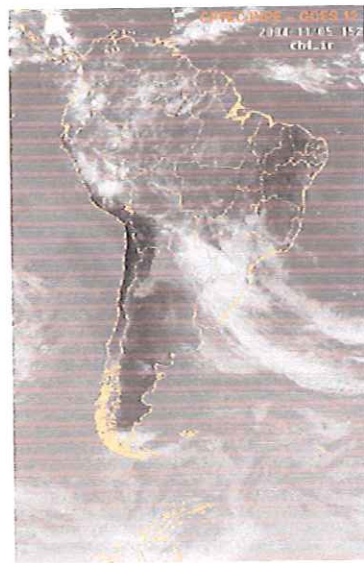


Figura 35 – Imagem Satélite GOES – 15:00 horas  
Dia 05/11 – DOMÍNIO da massa Polar Atlântica  
sobre o Estado de São Paulo.  
Fonte: [www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)



Figura 36 – Imagem Satélite GOES – 15:00 horas  
Dia 04/11 – DOMÍNIO da massa Polar Atlântica  
sobre o Estado de São Paulo, e o deslocamento da  
massa de ar para o oceano  
Fonte: [www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)



Figura 37 – Imagem Satélite  
GOES – 15:00 horas  
Dia 07/11 – TRANSIÇÃO da  
massa Polar Atlântica Fonte:  
[www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)



Figura 38 – Imagem Satélite  
GOES – 15:00 horas  
Dia 08/11 – TRANSIÇÃO da  
massa Polar Atlântica Fonte:  
[www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)

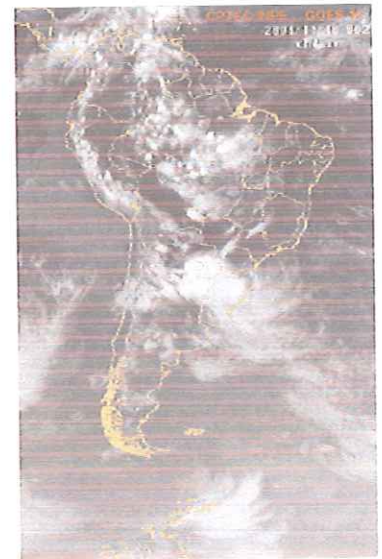


Figura 39 – Imagem Satélite  
GOES – 15:00 horas  
Dia 09/11 – TRANSIÇÃO  
da massa Polar Atlântica e o  
domínio de outra massa de ar  
sobre o Sul do país.  
Fonte: [www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html](http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/1104/index.html)

O episódio revela nos dias 01 e 02, a transição da última frente fria do mês de outubro.

No dia 03/11, pode-se perceber o prenúncio da primeira massa de ar polar do mês, dirigindo-se para a região sudeste. A temperatura se eleva um pouco indo de 28,3°C, no dia 02 para 30,8°C no dia 03, mas a umidade relativa não sofre uma queda significativa (o que sempre acontece na fase de prenúncio).

No dia 04, tem-se o avanço da frente fria e a temperatura máxima é a maior do episódio, registrando o valor de 32,24°C e a umidade relativa do ar diminui um pouco em relação aos dois últimos dias, valor de 49,60%.

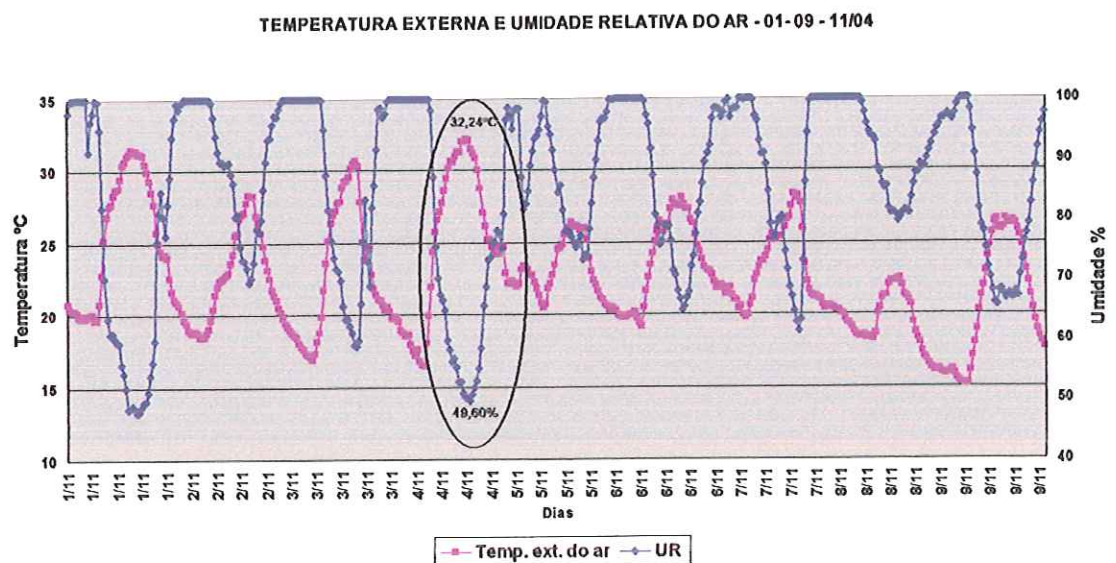


Figura 40 – Temperatura externa do ar e umidade relativa do ar entre os dias 01 a 09 de novembro de 2004. Observa-se no gráfico que as senóides dos dois parâmetros analisados seguem uma seqüência habitual, mas indica que o dia 04/11 (avanço), atinge a maior temperatura externa do ar, no período vespertino, com a umidade relativa de 49,60%. Nota-se que o dia 08/11 (transição), apresenta a menor temperatura externa do ar no período vespertino (22,4°C) e o maior valor de umidade relativa do ar no período vespertino (79,50%). O dia 09/11 (transição), apresenta o menor valor da temperatura externa do ar no período noturno. O dia 05/11 (domínio), registra o segundo menor valor da temperatura externa do ar no período vespertino (26,4°C) e da umidade relativa do ar, no mesmo período do dia (75,30%).

Na fase pós-frontal, de domínio da massa Polar Atlântica, que ocorreu nos dias 05 e 06, percebem-se uma queda na temperatura apresentando valores de 26,4°C e 28°C, e um aumento na umidade relativa do ar com valores de 74 % e 65,4 %, respectivamente.

Na fase de transição, no dia 07, percebe-se uma relativa estabilidade da temperatura e da umidade em relação ao dia anterior, dia 06. No dia 08, nota-se uma queda na temperatura para 22,4°C e uma elevação na umidade relativa do ar para 79,50%. No último dia do episódio representativo, dia 09, a temperatura aumenta, indo para 26,60°C e a umidade diminui, assumindo o valor de 66%.

O gráfico a seguir mostra o comportamento da radiação solar global, onde se podem perceber as suas oscilações nesse episódio.

O seu valor mínimo de 468,10 W/m<sup>2</sup> acontece no dia 05/11, dia de domínio da massa polar. No dia 06, há um aumento da radiação para 782 W/m<sup>2</sup> e no dia 07, dia de transição, acontece outra queda no seu valor para 527,60 W/m<sup>2</sup>. Essas quedas se devem à existência de nebulosidade nesses dias.

Os valores mais elevados da radiação acontecem no dia 04, dia de avanço, com o valor de 995 W/m<sup>2</sup> e no dia 09, dia de transição e último dia do episódio, com o valor de 1002 W/m<sup>2</sup>.

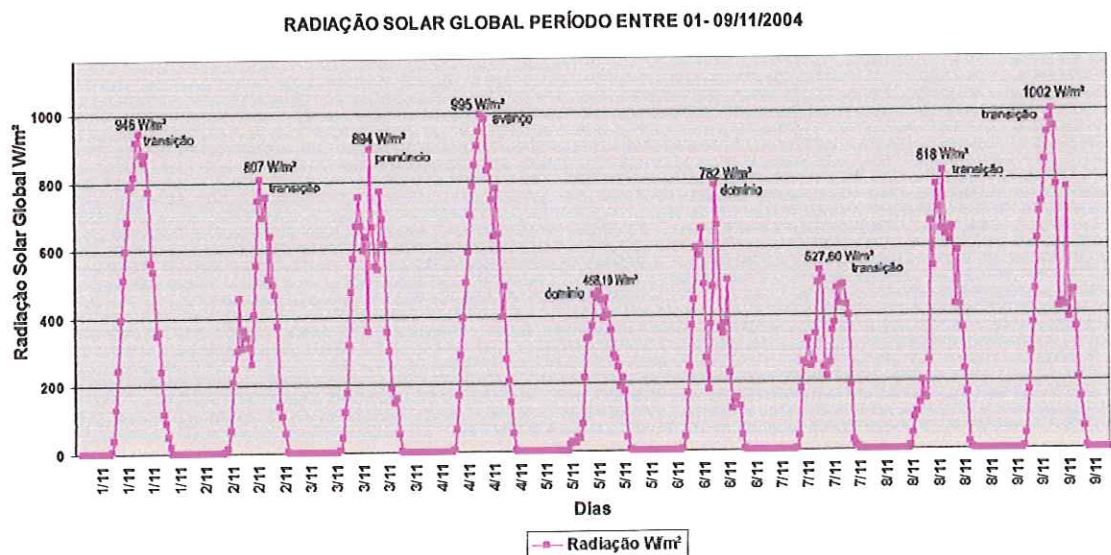


Figura 41 – Radiação solar global entre os dias 01 e 09 de novembro de 2004

A seqüência mostra o comportamento da radiação solar global, cujas senóides evidenciam a redução dos seus valores em função da nebulosidade. Observa-se que no dia 05, dia que ocorreu a entrada da frente fria, o valor da radiação sofreu uma redução acentuada, indo de 995 W/m<sup>2</sup> no dia 04 (dia do avanço da mPA) para 468,10 W/m<sup>2</sup> no dia 05 (primeiro dia de domínio da mPA). Outra redução acentuada percebe-se no dia 07, primeiro dia de transição entre a primeira frente fria do mês de novembro e a segunda entrada de frente fria na região estudada.

## 4.2.O dia representativo experimental

Dentro do episódio representativo, escolheu-se o dia de maior representatividade para se alcançar o objetivo proposto neste trabalho, que é o de análise dos três tipos de isolantes térmicos (foil, lã de rocha e caixas cartonadas Tetra Pak).

O dia representativo escolhido foi o dia 04/11, que é o dia de avanço do primeiro sistema frontal que ocorreu no mês de novembro, de domínio da massa Tropical Atlântica, com característica quente, que apresentou o maior valor da temperatura externa do ar (durante o período do episódio representativo analisado), 32,24°C e umidade relativa na faixa dos 50%. A radiação solar atingiu nesse dia o valor de 995,00W/m<sup>2</sup>.

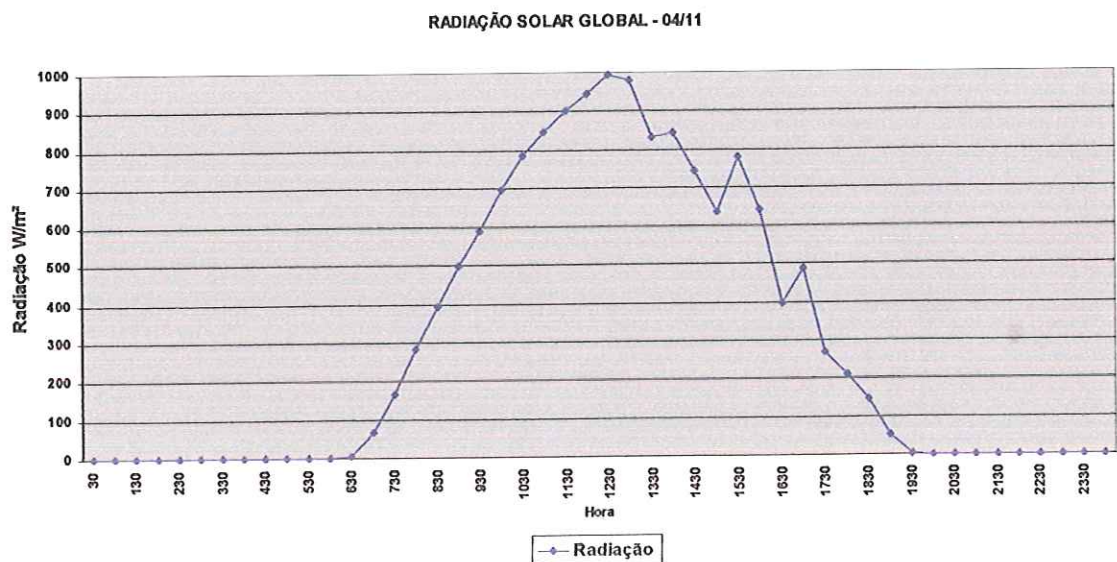


Figura 42 – Radiação solar no dia 04 de novembro de 2004. A curva em forma de parábola mostra o comportamento da radiação solar durante o dia 04 de novembro de 2004. No período vespertino a parábola sofre descontinuidade, o que caracteriza a presença de nebulosidade sobre a região estudada.

A partir do nascer do sol, percebe-se a elevação gradativa da radiação solar global, por meio da curva na forma de parábola, que atinge o pico às 12:30 horas com o valor de 995W/m<sup>2</sup>. Nota-se, a partir desse horário, a ocorrência de nebulosidade no período vespertino, sendo que às 15h30 e às 17h00, essa nebulosidade diminui um pouco, ocorrendo picos de radiação nos valores de 777W/m<sup>2</sup> e de 487 W/m<sup>2</sup>, respectivamente.

A partir das 17h00 a parábola decresce gradativamente até o pôr do sol.

A temperatura externa do ar, durante a madrugada, conforme figura a seguir, decresce o seu valor de 19,80°C, às 0h30 até o valor de 16,5°C, às 7h00 da manhã. A partir desse horário, no período matutino, começa a se elevar, atingindo o valor máximo de 32,24°C às 16h30, quando começa a decrescer, atingindo o valor de 24,3°C às 23h00.

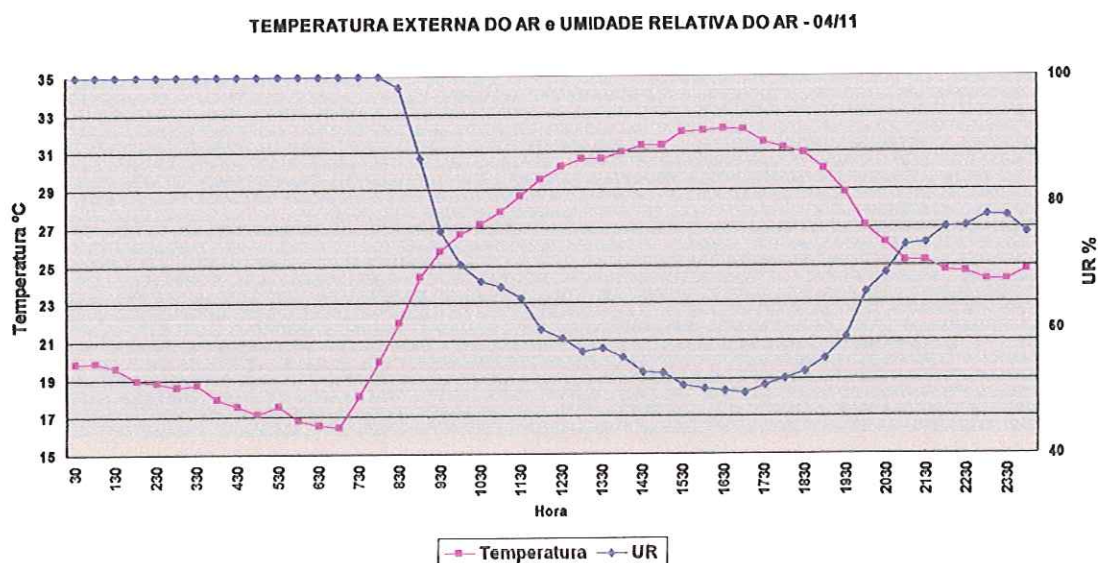


Figura 43 – Temperatura externa do ar e umidade relativa do ar – 04/11. Durante a madrugada, a temperatura externa do ar atinge os seus menores valores e a umidade do ar o seu maior valor (100%). Durante o período matutino e vespertino a temperatura atinge os seus maiores valores, sendo que às 16:30 horas ocorre o valor mais elevado do dia 32,24°C. A umidade relativa do ar apresenta, durante o período matutino e vespertino, os menores valores, atingindo o menor valor de 49,60% às 17:00 horas.

A umidade relativa se mantém constante com o valor de 100% durante a madrugada até às 8:00 horas da manhã, decrescendo até 49,60% às 17h00, continuando praticamente constante até às 18h00, horário que atinge o valor de 51% e começa a se elevar novamente atingindo às 23h00, o valor de 78%.

### 4.3. Resultados obtidos nos protótipos

É apresentado a seguir o comportamento térmico dos quatro protótipos pesquisados.

Os resultados do comportamento térmico das quatro temperaturas obtidas em cada protótipo: das temperaturas de bulbo seco do ático e a 1,10m do piso, como também dos valores obtidos das temperaturas superficiais da telha e da laje cerâmica.

Na seqüência é apresentado um estudo comparativo entre os quatro protótipos pesquisados, da seguinte forma:

- um estudo comparativo entre a temperatura de bulbo seco a 1,10m do piso, de cada protótipo pesquisado e a temperatura externa do ar e
- um estudo comparativo, em conjunto, entre as temperaturas de bulbo seco 1,10m, dos quatro protótipos pesquisados e a temperatura externa do ar.

#### 4.3.1. Protótipo 1 – Laje cerâmica sem isolante térmico

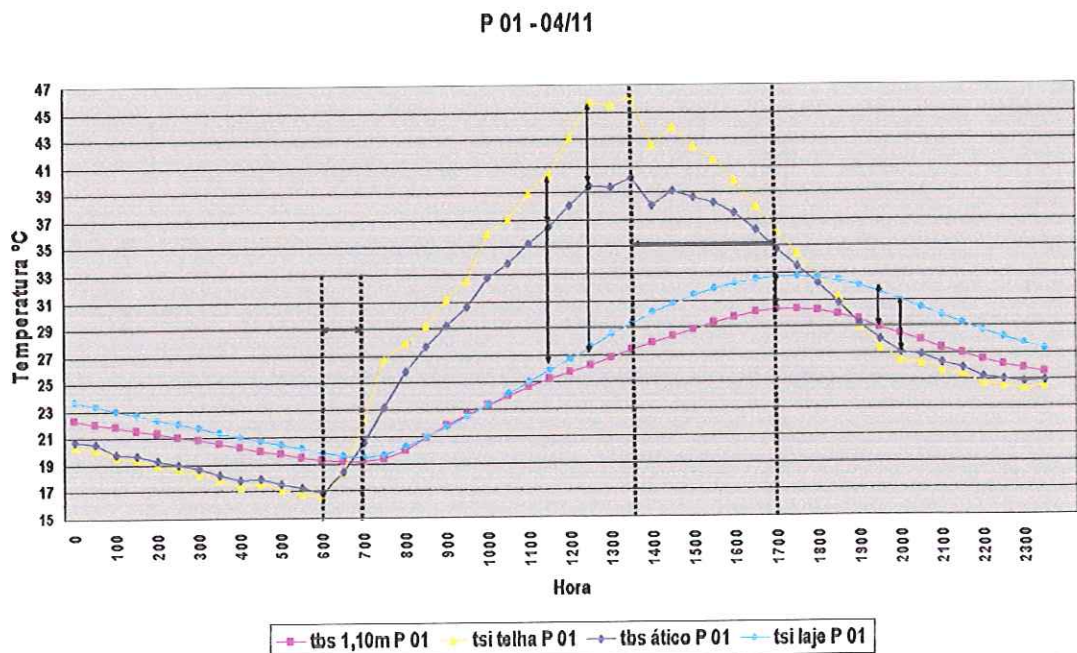


Figura 44 – Comportamento térmico do protótipo 01, laje cerâmica sem a colocação de isolante térmico. Pode-se perceber o comportamento térmico das quatro temperaturas monitoradas.

A temperatura superficial da telha e a tbs do ático têm comportamentos semelhantes, assim como a temperatura superficial da laje e a tbs 1,10m do piso. As duas últimas temperaturas assumem valores maiores no período noturno e valores menores nos períodos matutino e vespertino em relação à temperatura superficial da telha e da tbs do ático. Têm-se dois atrasos térmicos, um no período matutino e outro no vespertino (setas na horizontal). As setas verticais indicam a amplitude térmica entre as temperaturas tsi da telha, tbs do ático, tsi da laje e tbs 1,10m do piso, nos períodos matutino, vespertino e noturno.

Percebe-se que ocorrem dois atrasos térmicos entre as temperaturas do protótipo 01, que serviu como testemunho do comportamento térmico, por não possuir isolante térmico, somente a laje cerâmica.

O primeiro atraso térmico, de uma hora, ocorreu no período matutino. Enquanto a temperatura superficial da telha e a temperatura de bulbo seco do ático atingem os menores valores às 6h00 (16,6°C e 16,9°C, respectivamente), a temperatura superficial da laje cerâmica e a temperatura de bulbo seco a 1,10m do piso, atingem os menores valores às 7h00 (19,2°C e 19,5°C, respectivamente).

O segundo atraso térmico, de três horas e meia, ocorre à tarde quando a tsi da telha e a tbs do ático atingem os maiores valores de suas temperaturas às 13h30 (46,2°C e 40°C), enquanto a tsi da laje e a tbs do ar interno atingem os seus maiores valores de temperatura às 17h00 (32,7°C e 30,2°C, respectivamente).

No período noturno, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar interior do ático, assumem valores inferiores aos da temperatura superficial da laje e aos da temperatura do ar interior do protótipo, sendo que os valores mais elevados pertencem à temperatura superficial do ático. Nos períodos matutino e vespertino, essa situação é inversa, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar do ático, assumem valores mais elevados dos que os da temperatura superficial da laje e os da temperatura interna do ar, sendo que os valores da temperatura superficial da laje são mais elevados do que os da temperatura interna do ar.

No período matutino, as maiores amplitudes térmicas são as seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 3,9°C às 11h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica: 10,7°C às 11h30;
- a amplitude térmica entre a tsi da laje e a tbs 1,10m do piso é praticamente inexistente, já que os seus valores são praticamente os mesmos, com diferenças na faixa de 0,5°C às 6h00 e entre as 11h00 e às 11h30, como pode ser observado na figura 49.

No período vespertino, as maiores amplitudes térmicas obtidas são as seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 6,2°C às 12h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje: 11,9°C às 12h30;
- entre a tsi da laje e a tbs 1,10m do piso: 2,5°C às 17h00.

No período noturno, as maiores amplitudes térmicas obtidas são as seguintes:

- a tsi da telha e a tbs do ático apresentam praticamente as mesmas temperaturas, com uma amplitude durante todo o período em torno de  $0,5^{\circ}\text{C}$ ;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica:  $3,8^{\circ}\text{C}$  às 20h00;
- entre a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m do piso:  $2,5^{\circ}\text{C}$  às 19h30.

#### 4.3.2. Protótipo 2 – Laje cerâmica com recobrimento de caixas cartonadas Tetra Pak

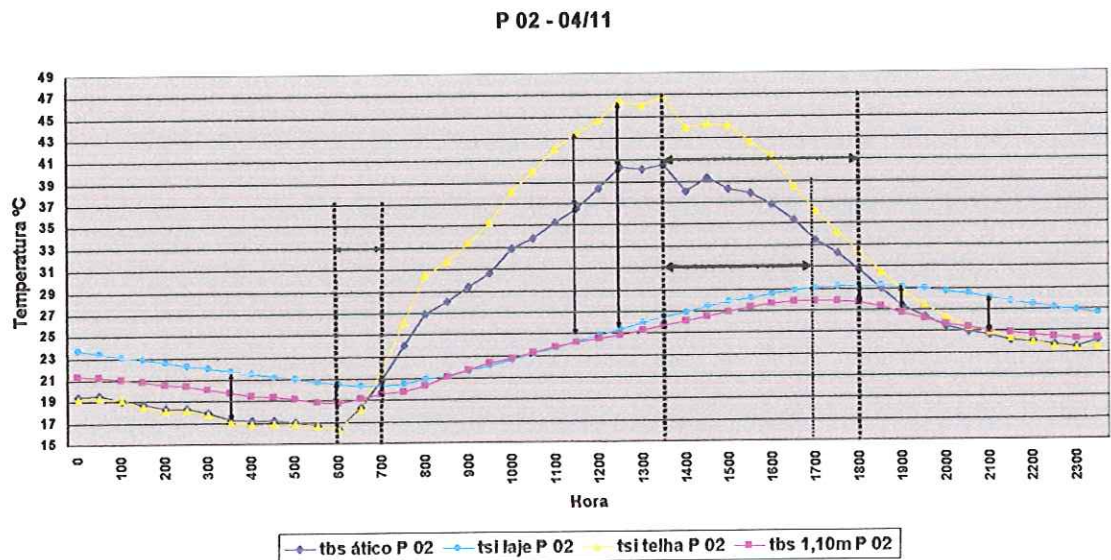


Figura 45 – Comportamento térmico do protótipo 02, laje cerâmica com a colocação de caixas cartonadas Tetra Pak como isolante térmico.

Percebe-se um atraso térmico no período matutino e dois no vespertino (setas horizontais).

As setas verticais indicam a amplitude térmica entre as temperaturas tsi da telha, tbs do ático, tsi da laje e tbs 1,10m do chão, nos períodos matutino, vespertino e noturno.

Ao analisar a figura acima, percebe-se que ocorre um atraso térmico entre as temperaturas no período matutino, quando atingem os menores valores de temperatura e dois no período vespertino, quando atingem os valores mais elevados de temperatura.

O atraso térmico que ocorre no período matutino é de uma hora, entre a temperatura superficial da telha, a temperatura de bulbo seco do ático, a temperatura de bulbo seco a 1,10m e a temperatura superficial da laje de concreto. As três primeiras temperaturas



atingem os seus menores valores às 6:00 horas enquanto a tsi da vigota atinge o seu menor valor às 7:00 horas.

No período noturno, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar interior do ático, assumem valores inferiores aos da temperatura superficial da laje e aos da temperatura do ar interior do protótipo, sendo que os valores mais elevados pertencem à temperatura superficial do ático. Nos períodos matutino e vespertino, essa situação é inversa, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar do ático, assumem valores mais elevados dos que os da temperatura superficial da laje e os da temperatura interna do ar, sendo que os valores da temperatura superficial da laje são mais elevados do que os da temperatura interna do ar.

No período matutino, as maiores amplitudes térmicas obtidas são as seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 7°C às 11h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica: 12,3°C às 11h30;
- entre a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m do piso: 1,8°C às 6h00, sendo que durante todo o resto do período matutino as duas temperaturas são praticamente as mesmas.

No período vespertino, as maiores amplitudes térmicas obtidas são as seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 6°C às 12h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica: 15°C às 12h30 horas;
- entre a tsi da laje e a tbs 1,10m o maior valor de amplitude térmica é de 1,4°C às 18h00.

No começo do período noturno, a amplitude térmica entre a tsi da telha e a tbs do ático é de 1,5°C entre as 18h30 e às 19h00 e depois desse horário, assumem praticamente os mesmos valores durante toda a noite.

- entre a tbs do ático e a tsi da laje: 4,4°C às 3h30;
- entre a tsi da laje e a tbs a 1,10m do piso: 3 °C às 21h00.

### 4.3.3 Protótipo 3 – laje cerâmica e foil como isolante por reflexão

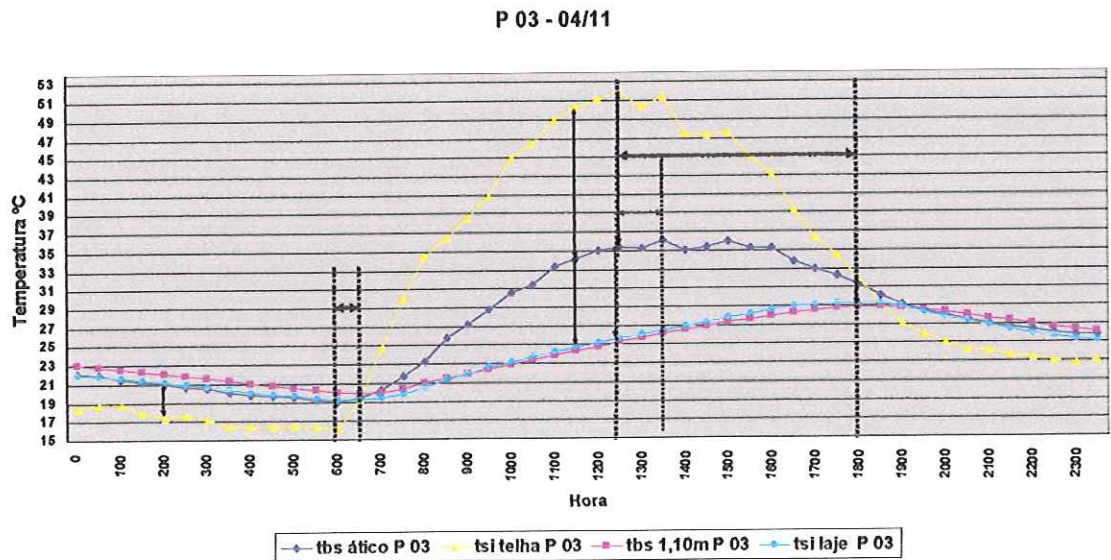


Figura 46 – Comportamento térmico do protótipo 03, laje cerâmica com a colocação de foil como isolante térmico.

Têm-se um atraso térmico no período matutino e dois no vespertino (setas horizontais).

As setas verticais indicam a amplitude térmica entre as temperaturas tsi da telha, tbs do ático, tsi da laje e tbs 1,10m do chão, nos períodos matutino, vespertino e noturno.

Nota-se que ocorre um atraso térmico entre as temperaturas no período da manhã, quando atingem o seu menor valor e dois no período da tarde, quando apresentam os valores mais elevados das temperaturas do período.

O atraso no período da manhã é de meia hora entre as temperaturas - tsi da telha, a tbs do ático, a tsi da vigota da laje - e a tbs do ar interno a 1,10m. As três primeiras, atingem as suas menores temperaturas às 6h00 (16°C, 18,9°C e 19,8°C, respectivamente) enquanto que a tsi da laje cerâmica atinge o seu menor valor às 6h30 (19,1°C).

No período da tarde, podem-se detectar dois atrasos térmicos:

1. A tsi da telha atinge seu valor mais elevado às 12h30 (51,8°C). A tbs do ático atinge o seu maior valor às 13h30 (36°C), com um atraso térmico de uma hora;

2. A tsi da laje cerâmica e a tbs do ar, atingem os seus maiores valores às 18h00 (29,3°C e 28,8°C, respectivamente), um atraso térmico de cinco horas e meia em relação a tsi da telha.

No período matutino as maiores amplitudes térmicas são as seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 16,2°C às 11h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje: 9,5°C às 11h30;
- a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m apresentam praticamente os mesmos valores de temperatura durante todo o período matutino.

No período vespertino os maiores valores de amplitude térmica são:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 16,3°C às 12h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica: 9,8°C às 12h30;
- a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m apresentam praticamente os mesmos valores de temperatura durante todo o período vespertino, com uma amplitude de 0,7°C entre as 16h00 e as 16h30.

No período noturno os maiores valores da amplitude térmica são os seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 3,6°C às 02h00;
- os valores da tbs do ático e da tsi da laje cerâmica são praticamente iguais durante toda a noite,
- a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m apresentam uma diferença de aproximadamente 1°C durante praticamente todo o período noturno.

Como nos protótipos 01 e 02, no período noturno, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar interior do ático assumem valores inferiores aos da temperatura superficial da laje e aos da temperatura do ar interior do protótipo, sendo que os valores mais elevados pertencem à temperatura superficial do ático. Nos períodos matutino e vespertino, essa situação é inversa, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar do ático, assumem valores mais elevados dos que os da temperatura superficial da laje e os da temperatura interna do ar, sendo que os valores da temperatura superficial da laje são mais elevados do que os da temperatura interna do ar.

#### 4.3.4 Protótipo 4 – Laje cerâmica e lã de rocha como isolante térmico

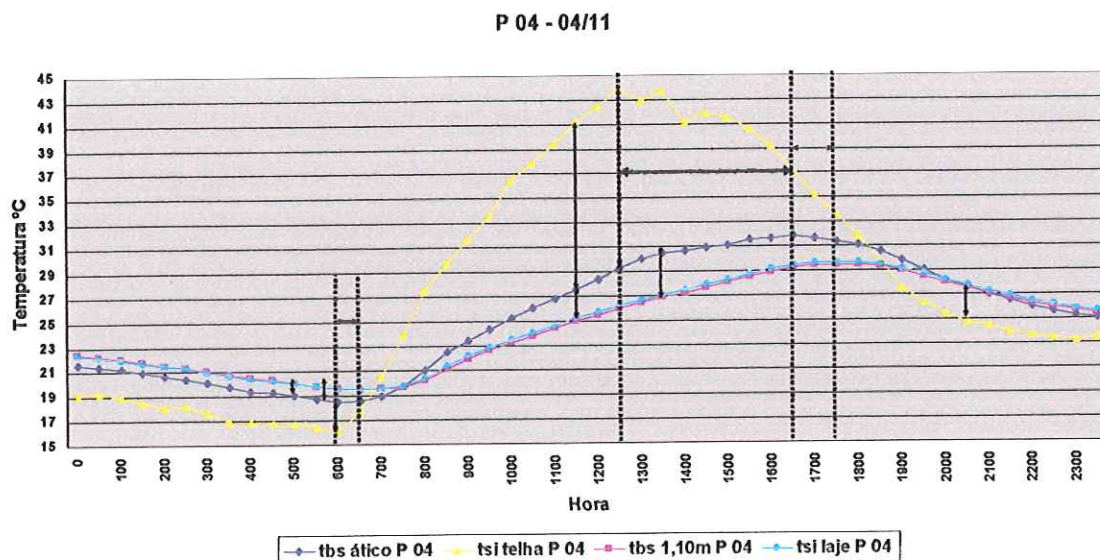


Figura 47 – Comportamento térmico do protótipo 04, laje cerâmica com a colocação de lã de rocha como isolante térmico.

Percebe-se um atraso térmico no período matutino e dois no vespertino (setas horizontais).

As setas verticais indicam os maiores valores de amplitude térmica, entre as temperaturas tsi da telha, tbs do ático, tsi da laje e tbs 1,10m do chão, nos períodos matutino, vespertino e noturno.

Percebe-se que ocorre um atraso térmico entre as temperaturas no período matutino, quando atingem o seu menor valor, e dois atrasos no período vespertino, quando apresentam os valores mais elevados das temperaturas do período.

O atraso térmico no período matutino é de meia hora. Enquanto a tsi da telha e a tbs do ático atingem as suas menores temperaturas às 6h00 (16°C e 18,5°C, respectivamente), a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m atingem às 6h30 (19,50°C, as duas temperaturas).

No período vespertino, podem-se detectar dois atrasos térmicos:

1. A tsi da telha atinge seu valor mais elevado às 12h30 (44°C). A tbs do ático, às 16h30 (31,9°C), com um atraso térmico de quatro horas.

2 .A tsi da laje cerâmica e a tbs do ar interno a 1,10m, atingem os seus maiores valores às 17h30 (29,6°C e 29,5°C, respectivamente), com um atraso térmico de cinco horas em relação a tsi da telha e de uma hora em relação a tbs do ático.

Como nos protótipos 01, 02 e 03, no período noturno, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar interior do ático, assumem valores inferiores aos da temperatura superficial da laje e aos da temperatura do ar interior do protótipo, sendo que os valores mais elevados pertencem à temperatura superficial do ático. Nos períodos matutino e vespertino, essa situação é inversa, a temperatura superficial da telha e a temperatura do ar do ático, assumem valores mais elevados dos que os da temperatura superficial da laje e os da temperatura interna do ar, sendo que os valores da temperatura superficial da laje são mais elevados do que os da temperatura interna do ar.

No período matutino os maiores valores da amplitude térmica são os seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 13,60°C às 11h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica: 2,3°C às 11h30;
- a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m possuem valores praticamente iguais, assim a amplitude térmica entre as duas temperaturas é mínima, com valores que não ultrapassam 0,5°C.

No período vespertino os maiores valores da amplitude térmica são os seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 14,7°C às 12h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica: 3,3°C às 13h30 horas;
- a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m possuem valores praticamente iguais, com valores da amplitude térmica abaixo de 0,5°C.

No período noturno os maiores valores da amplitude térmica são os seguintes:

- entre a tsi da telha e a tbs do ático: 2,9°C às 20h30;
- entre a tbs do ático e a tsi da laje cerâmica: 0,9°C às 5h00;
- a tsi da laje cerâmica e a tbs 1,10m do piso, possuem valores praticamente iguais, com valores de amplitude térmica, abaixo de 0,5°C.

Da análise do exposto acima, sobre o comportamento térmico dos valores das quatro temperaturas monitoradas em cada um dos quatro protótipos: tsi da telha, tbs do ático, tsi da laje cerâmica e tbs da laje, depreende-se que:

Os valores das amplitudes térmicas entre a tsi da telha e a tbs do ático apresentam o seguinte resultado:

1. o protótipo 03 (foil) apresenta os maiores valores de amplitude térmica nos três períodos, com valores na faixa de 16°C nos períodos matutino e vespertino e 3,6°C no período noturno;
2. em segundo lugar, o protótipo 04 (lã de rocha) apresenta valores de amplitude térmica de 13,6°C e 14,7°C, nos períodos matutino e vespertino, respectivamente, e 2,9°C no período noturno;
3. no período matutino, em terceiro lugar, o protótipo 02 apresenta amplitude de 7°C. No período vespertino, as amplitudes térmicas dos protótipos 01 (laje cerâmica) e 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) são praticamente iguais (6°C).

No período noturno, no protótipo 02 as temperaturas são praticamente as mesmas, apresentando somente uma amplitude térmica de 1,8°C entre as 18h30 e às 19h00, enquanto o protótipo 01 apresenta uma amplitude térmica de aproximadamente 0,5°C durante todo o período noturno.

Os valores das amplitudes térmicas entre a tbs do ático e a tsi da laje, apresentam o seguinte resultado:

1. o protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) apresenta os maiores valores de amplitude térmica nos três períodos, com valores de 12,3°C e 15°C, nos períodos matutino e vespertino, respectivamente, e 4,4°C no período noturno.
2. em segundo lugar, o protótipo 01 (laje cerâmica), apresenta valores de amplitude térmica de 10,7°C e 11,90°C, nos períodos matutino e vespertino, respectivamente, e 3,8°C no período noturno.
3. em terceiro lugar, o protótipo 03 (foil), apresenta valores de amplitude térmica de 9,5°C e 9,8°C, nos períodos matutino e vespertino, respectivamente, sendo que no período noturno as duas temperaturas (tbs do ático e tsi da laje cerâmica possuem praticamente as mesmas temperaturas), enquanto que o protótipo 04 (lã de rocha) apresenta uma amplitude na faixa

de 0,7°C a 0,9°C, durante todo o período noturno, assim, no período noturno o protótipo 04, fica em terceiro lugar,

4. com os menores valores de amplitude nos períodos matutino e vespertino, encontra-se o protótipo 04, com valores de 2,3°C e 3,3°C, respectivamente, e no período noturno, como visto no item acima, o protótipo 03 apresenta valor nulo de amplitude térmica, já que as duas temperaturas são praticamente iguais.

Entre a tsi da laje e a tbs 1,10m, os valores de amplitudes térmicas apresentam os seguintes resultados:

1. No período matutino, o comportamento térmico das duas temperaturas (tsi da laje e tbs 1,10m), dos protótipos 01 (laje cerâmica) e 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) é semelhante. O protótipo 02 apresenta valores praticamente iguais das duas temperaturas durante todo o período matutino, com exceção das 6h00, com amplitude de 1,8°C. O protótipo 01, também apresenta valores praticamente iguais das duas temperaturas durante todo o período matutino, com exceção das 6h00 horas e entre as 11h00 e 11h30, com amplitude térmica na faixa de 0,5°C

O comportamento térmico dos protótipos 03 (foil) e 04 (lã de rocha) é semelhante nos três períodos, com valores praticamente iguais das duas temperaturas, com exceção do protótipo 03, no período noturno, que apresenta amplitude térmica de aproximadamente 1 °C, durante toda a noite.

2. No período vespertino, o protótipo 01 apresenta a maior amplitude térmica (2,5°C) e o protótipo 02, uma amplitude de 1,4°C.
3. No período noturno, o protótipo 02 apresenta a maior amplitude (3°C) e o protótipo 01, uma amplitude de 2,5°C.

#### **4.4. Estudo comparativo dos protótipos**

Para se chegar ao objetivo desse trabalho, que é o entendimento do comportamento térmico dos quatro protótipos analisados, a seguir são comparados os

valores da tbs do ar interno a 1,10m do piso, obtidos em cada um dos quatro protótipos, com a temperatura externa do ar.

A seguir, é feita comparação entre os quatro protótipos e a temperatura externa do ar: protótipo 01, que é o testemunho, por não possuir nenhum isolante térmico e os outros três protótipos, onde foram colocadas as subcoberturas de caixas cartonadas Tetra Pak (protótipo 02), de foil (protótipo 03) e de lã de rocha (protótipo 04).

A tbs 1,10m é a temperatura adotada nesse trabalho para se comparar o comportamento térmico dos protótipos pesquisados, por se tratar da temperatura que retrata o comportamento térmico da zona habitada pelas pessoas dentro de uma edificação.

#### 4.4.1. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 01- laje cerâmica sem a colocação de isolante.

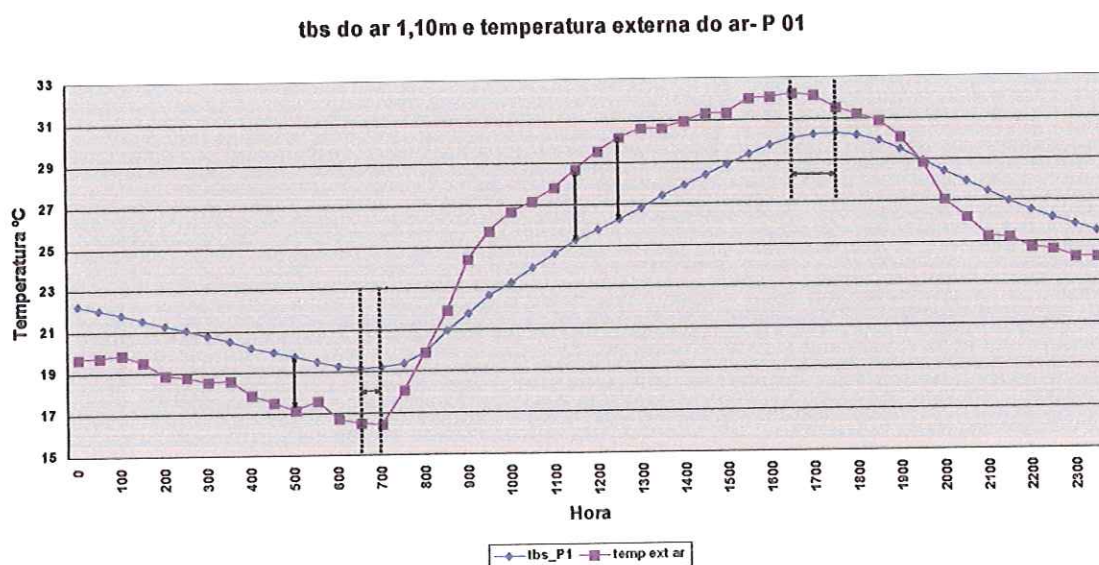


Figura 48 – Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 01, laje cerâmica sem a colocação de isolante.

Pode-se perceber o comportamento térmico das duas temperaturas monitoradas.

Têm-se um atraso térmico no período matutino e um no vespertino (setas horizontais).

As setas verticais indicam os maiores valores de amplitude térmica, entre as duas temperaturas nos períodos matutino, vespertino e noturno.

As duas temperaturas decrescem no período noturno até o período matutino, quando atingem valores mais elevados, chegando no período vespertino à maior temperatura externa do dia, 32,24°C às 16h30.



Depreende-se da observação da figura 48, da página 82, que existem dois atrasos térmicos entre as duas temperaturas.

O primeiro atraso térmico ocorre no período matutino, quando a tbs 1,10m do piso do protótipo atinge o seu menor valor às 6h30 (19,2°C) e a temperatura externa do ar, às 7h00 (16,5°C), com um atraso térmico de meia hora.

O segundo atraso térmico ocorre no período vespertino, quando a temperatura externa atinge o seu valor mais elevado às 16h30 (32,24°C) e a tbs 1,10m do protótipo 01, às 17h30 (30,3°C), com um atraso térmico de uma hora.

No período matutino, a maior amplitude térmica entre as duas temperaturas é de 3,4°C e ocorre às 11h30.

No período vespertino a maior amplitude térmica é de 4°C e ocorre às 12h30 e no período noturno o valor da maior amplitude é de 2,6°C e acontece às 5h00.

#### **4.4.2. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 02-laje cerâmica e caixas cartonadas Tetra Pak como isolante por reflexão e câmara de ar.**

Depreende-se da observação da figura 49, da página 84, que existem dois atrasos térmicos entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 02.

O primeiro atraso térmico ocorre no período matutino, quando a tbs 1,10m do piso do protótipo atinge o seu menor valor às 6h30 (19,4°C) e a temperatura externa do ar atinge a temperatura equivalente às 7h00 (16,5°C), com um atraso térmico de meia hora.

O segundo atraso térmico ocorre no período vespertino, quando a temperatura externa atinge o seu valor mais elevado às 16h30 (32,24°C) e a tbs 1,10m do protótipo 02 atinge a temperatura equivalente às 17h00 (27,9°C), com um atraso térmico de meia hora.

No período matutino a maior amplitude térmica entre as duas temperaturas é de 4,5°C e ocorre às 11h30.

No período vespertino a maior amplitude térmica é de 5,5°C e ocorre às 12h30 e no período noturno o valor da maior amplitude é de 3°C e acontece às 5h00.

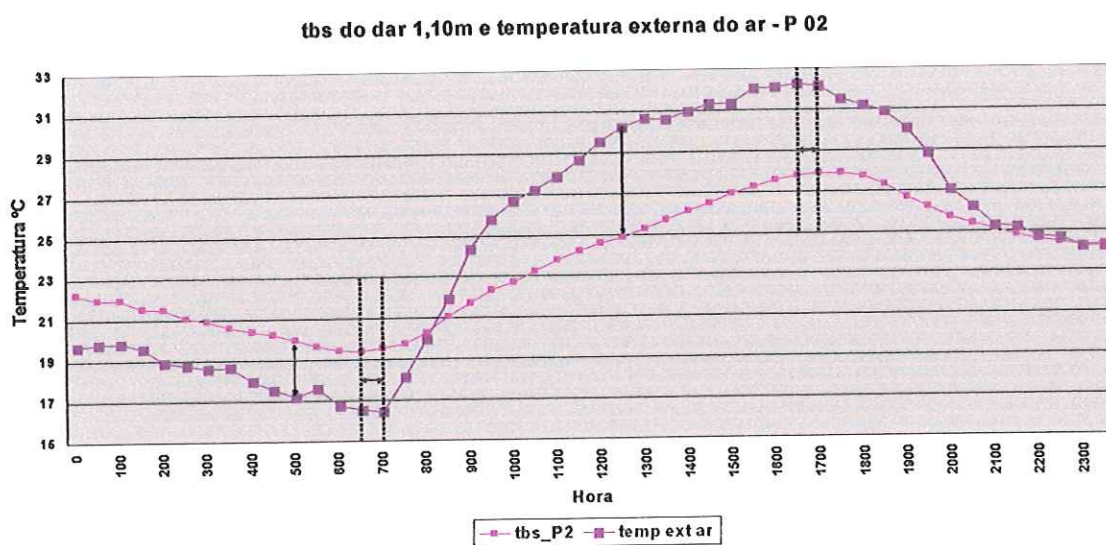


Figura 49 – Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 02, laje cerâmica com caixas cartonadas Tetra Pak como isolante por reflexão e câmara de ar. Pode-se perceber o comportamento térmico das duas temperaturas monitoradas. Têm-se um atraso térmico no período matutino e um no vespertino (setas horizontais). As setas verticais indicam os maiores valores de amplitude térmica, entre as duas temperaturas nos períodos matutino, vespertino e noturno.

#### 4.4.3. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 03 - foil

Depreende-se da observação da figura 50, da página 85, que existem dois atrasos térmicos entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 02.

O primeiro atraso térmico ocorre no período matutino quando a tbs 1,10m do piso do protótipo atinge o seu menor valor às 6h30 (19,9°C) e a temperatura externa do ar, às 7h00 (16,5°C), com um atraso térmico de meia hora.

O segundo atraso térmico ocorre no período vespertino, quando a temperatura externa atinge o seu valor mais elevado às 16h30 (32,24°C) e a tbs 1,10m do protótipo 03, às 18h00 (28,8°C), com um atraso térmico de uma hora e meia.

No período matutino a maior amplitude térmica entre as duas temperaturas é de 4,5°C e ocorre às 11h30.

No período vespertino a maior amplitude térmica é de 5°C e ocorre às 12h30 e no período noturno o valor da maior amplitude é de 3,5°C e acontece às 5h00.

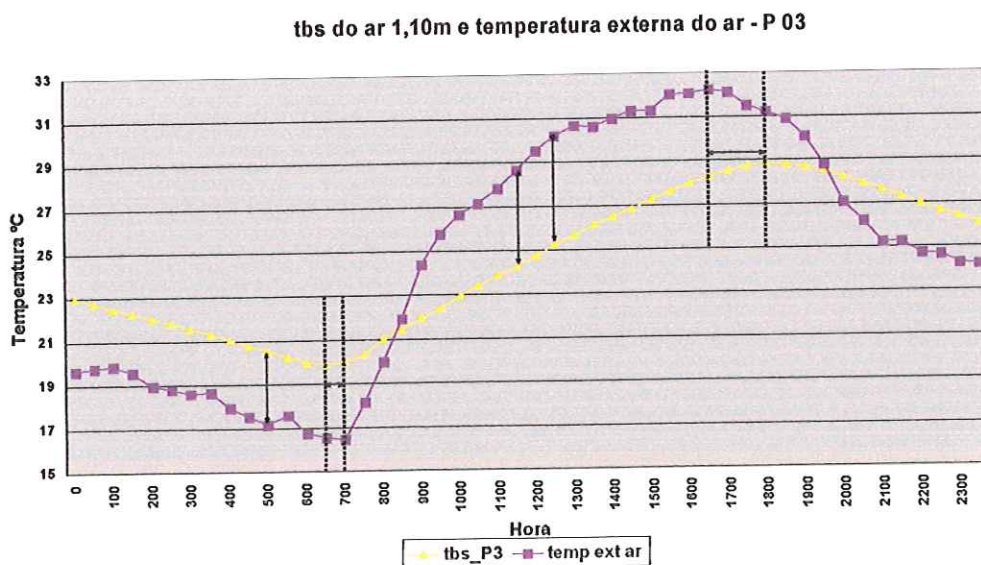


Figura 50 – Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 03, laje cerâmica com foil como isolante por reflexão. Pode-se perceber o comportamento térmico das duas temperaturas monitoradas. Têm-se um atraso térmico no período matutino e um no vespertino (setas horizontais). As setas verticais indicam os maiores valores de amplitude térmica, entre as duas temperaturas nos períodos matutino, vespertino e noturno.

#### 4.4.4. Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do protótipo 04-lã de rocha

Depreende-se da observação da figura 51 da página 86, que existem dois atrasos térmicos entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 04.

O primeiro atraso térmico ocorre no período matutino quando a tbs 1,10m do piso do protótipo atinge o seu menor valor às 6h30 (19,5°C) e a temperatura externa do ar, às 7h00 (16,5°C), com um atraso térmico de meia hora.

O segundo atraso térmico ocorre no período vespertino, quando a temperatura externa atinge o seu valor mais elevado às 16h30 (32,24°C) e a tbs 1,10m do protótipo 04, às 17h30 (29,5°C), com um atraso térmico de uma hora.

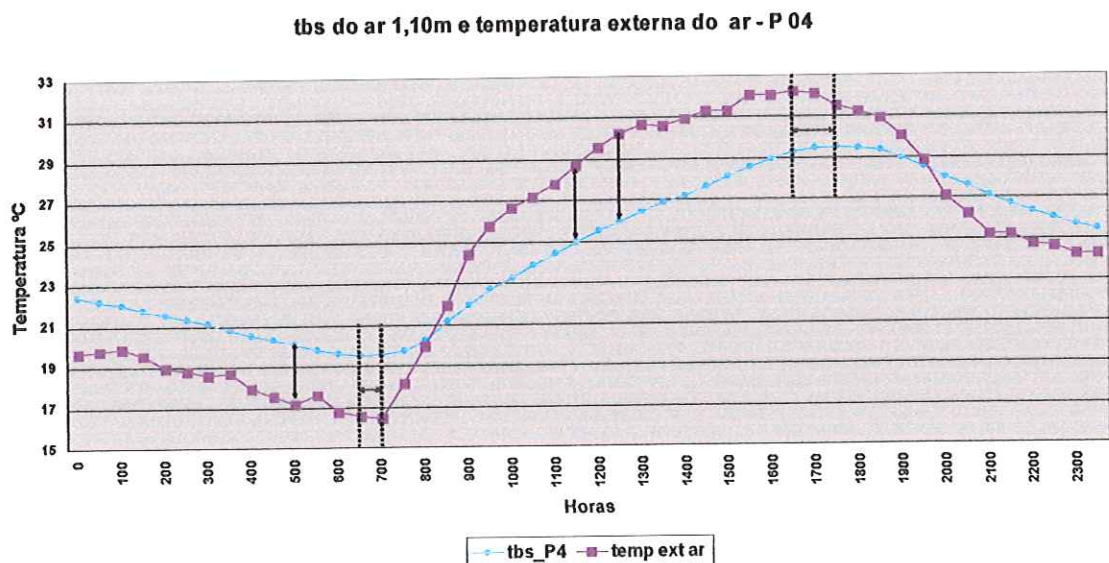


Figura 51 – Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso do protótipo 04, laje cerâmica com lã de rocha como isolante por baixa condutividade  $k$ . Pode-se perceber o comportamento térmico das duas temperaturas monitoradas. Têm-se um atraso térmico no período matutino e um no vespertino (setas horizontais). As setas verticais indicam os maiores valores de amplitude térmica, entre as duas temperaturas nos períodos matutino, vespertino e noturno.

No período matutino a maior amplitude térmica entre as duas temperaturas é de  $3,7^{\circ}\text{C}$  e ocorre às 11h30.

No período vespertino a maior amplitude térmica é de  $4,3^{\circ}\text{C}$  e ocorre às 12h30 horas e no período noturno o valor da maior amplitude é de  $3^{\circ}\text{C}$  e acontece às 5h00.

Da análise do comportamento das temperaturas de bulbo seco a 1,10m do piso em relação à temperatura externa do ar nos quatro protótipos pesquisados, depreende-se que:

1. No período matutino todos os protótipos apresentam um atraso térmico de meia hora entre a menor valor da tbs 1,10m do piso e da temperatura externa do ar, sendo a tbs 1,10m a que atinge primeiro o menor valor de temperatura (às 6h30).
2. No período vespertino, o protótipo 03 (foil) é o que apresenta o maior atraso térmico, de uma hora e meia em relação à temperatura externa do ar. O protótipo 01 (laje cerâmica) e o protótipo 04 (lã de rocha) apresentam um atraso térmico de uma hora em relação à temperatura externa do ar.

3. O protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) é o que apresenta o menor atraso térmico, no período vespertino, meia hora em relação à temperatura externa do ar.
4. Apesar de apresentar o menor atraso térmico, meia hora, o protótipo 02 é o que obtém a menor temperatura de bulbo seco 1,10m (27,9°C). O protótipo 03 (foil), apresenta o segundo menor valor de temperatura (28,8°C); o terceiro menor valor é o do protótipo 04 (lã de rocha), com 29,5°C, e o protótipo 01 (laje cerâmica) é o que apresenta a maior temperatura (30,3°C).

Em relação aos maiores valores de amplitude térmica nos três períodos, o comportamento dos protótipos é o seguinte:

No período matutino

1. O protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) e o protótipo 03 (foil) apresentam as maiores amplitudes térmicas, com o valor de 4,5°C às 11h30.
2. O protótipo 04 (lã de rocha) apresenta uma amplitude de 3,7°C às 11h30.
3. O comportamento menos satisfatório é o do protótipo 01 (laje cerâmica), com uma amplitude de 3,4°C às 11h30.

Vale ressaltar que a diferença entre a amplitude do protótipo 01 e do protótipo 04 é mínima, menos de 0,5°C, o que atesta que o comportamento dos dois protótipos é praticamente o mesmo.

No período vespertino:

1. o melhor comportamento térmico é o do protótipo 02 (caixas Tetra Pak), com uma amplitude térmica de 5,5°C às 12h30.
2. o segundo melhor comportamento térmico é do protótipo 03 (foil), com uma amplitude de 5°C às 12h30.
3. o terceiro melhor comportamento é do protótipo 04 (lã de rocha), com uma amplitude térmica de 4,3°C às 12h30.
4. o comportamento menos satisfatório é o do protótipo 01 (laje cerâmica), com uma amplitude térmica de 4°C às 12h30.

Vale ressaltar que a diferença entre a amplitude do protótipo 01 e do protótipo 04 é mínima, menos de 0,5°C, o que atesta que o comportamento dos dois protótipos é praticamente o mesmo, como acontece no período matutino.

No período noturno:

1. o melhor comportamento térmico é do protótipo 03 (foil), com uma amplitude térmica de 3,5°C às 5h00.
2. o segundo melhor comportamento térmico é do protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) e do protótipo 04 (lã de rocha) com uma amplitude térmica de 3°C às 5h00.
3. o comportamento térmico menos satisfatório é do protótipo 01 (laje cerâmica), com uma amplitude térmica de 2,6°C.

A diferença entre a amplitude do protótipo 01 e dos protótipos 02 e 04 é mínima, menos de 0,5°C, o que atesta que o comportamento dos dois protótipos é praticamente o mesmo, no período noturno.

#### 4.5. Comparação entre os valores da temperatura externa do ar e a tbs 1,10m dos protótipos 01 (laje cerâmica), 02 (caixas cartonadas Tetra Pak), 03 (foil) e 04 (lã de rocha).

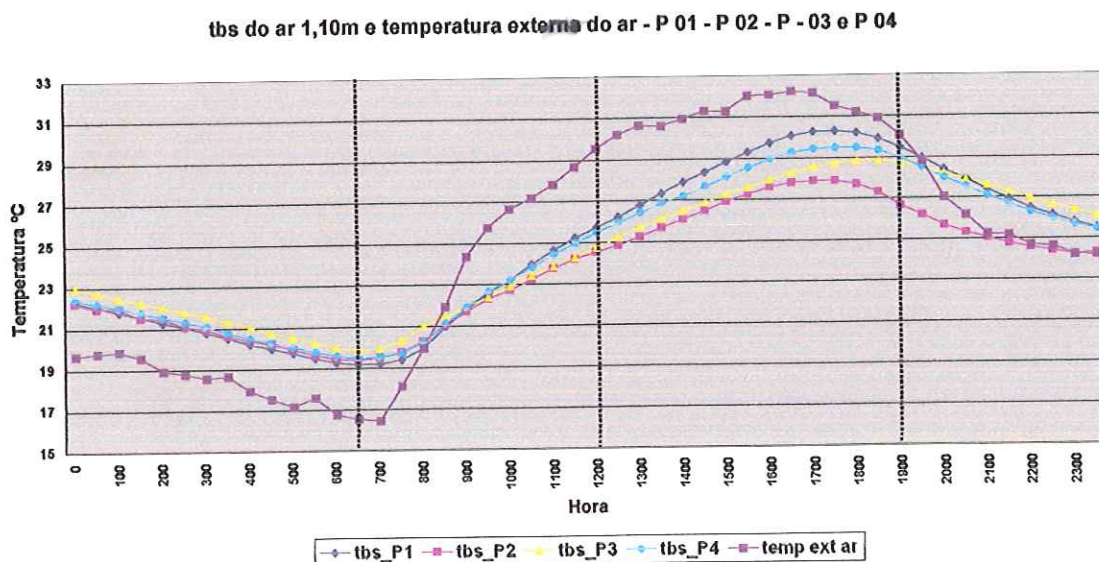


Figura 52 – Comparação entre a temperatura externa do ar e a tbs 1,10m do piso dos protótipos 01 (laje cerâmica), 02 (caixas cartonadas Tetra Pak), 03 (foil) e 04 (lã de rocha). Com a análise da figura acima, depreende-se o comportamento térmico das cinco temperaturas monitoradas.

No período noturno a temperatura externa do ar possui valores menores do que as outras quatro temperaturas e nos períodos matutino e vespertino, o comportamento térmico é inverso, a temperatura externa do ar atinge temperaturas mais elevadas que as outras quatro temperaturas.

Para se efetuar a comparação do comportamento térmico entre cada protótipo pesquisado, são feitas três análises: uma comparando as diferenças de temperaturas entre cada protótipo com a temperatura externa do ar e as temperaturas de bulbo seco a 1,10m no período noturno (que será dividido entre as 19h00 e as 23h30 e entre 0h00 e 6:00), outra se fazendo essa mesma comparação, mas no período matutino entre as 6h30 e às 11h30 e por último no período vespertino (entre 12h00 e às 18h30)

No período noturno, entre as 19h00 e às 23h30, onde as temperaturas externas do ar começam a diminuir, mas ainda apresenta um valor de temperatura acima do limitante superior (29°C) proposto por Givoni (1992), às 19h00 (30°C), o comportamento térmico dos protótipos é o seguinte:

1. o protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) obtém o melhor comportamento térmico, ao atingir menores temperaturas da tbs 1,10m em relação aos demais protótipos;
2. o protótipo 04 (lã de rocha) e o protótipo 01 (laje cerâmica) apresentam o mesmo comportamento térmico, pois as suas temperaturas apresentam praticamente os mesmos valores;
3. o protótipo 03 (foil) apresenta o resultado menos satisfatório (apesar de apresentar uma amplitude térmica pequena, na média de 0,5°C, entre a sua tbs 1,10m e as tbs 1,10m dos protótipos 01 e 04), com as suas tbs 1,10m com valores na faixa de 2°C a 2,5°C acima da temperatura externa, mais próximas do limitante de conforto superior (29°C), proposto por Givoni (1992).

Às 19h00, que é o horário dentro desse período, com o valor mais elevado de temperatura externa do ar (30°C), o comportamento dos protótipos é o seguinte:

1. o protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) apresenta, entre os quatro protótipos, a maior amplitude térmica entre as tbs 1,10m e a temperatura externa do ar às 19h00 (30°C), com o valor de 3,5°C;

2. o protótipo 03 (foil) apresenta o segundo melhor comportamento às 19h00, com uma amplitude térmica entre a tbs 1,10m e a temperatura externa do ar de 1,4°C;
3. o protótipo 04 (lã de rocha), apresenta o terceiro melhor comportamento às 19h00, com uma amplitude térmica entre a tbs 1,10m e a temperatura externa do ar de 1°C;
4. o protótipo 01 (laje cerâmica) apresenta o resultado menos satisfatório às 19h00, com uma amplitude térmica entre a tbs 1,10m e a temperatura externa do ar de 0,6°C.

No período noturno, entre 00h00 e as 6h00, que é o período onde os valores das temperaturas externas do ar apresentam os menores valores, todos abaixo de 20°C, é recomendado que as temperaturas internas do ar assumam valores superiores aos da temperatura do ar externo, para se obter temperaturas internas mais distantes do limitante de conforto inferior (18°C) de temperatura, de acordo com Givoni (1992). Assim, o comportamento térmico dos protótipos nesse período é o seguinte:

1. O protótipo 03 (foil), obtém, entre os quatro protótipos, as maiores amplitudes térmicas entre as suas tbs 1,10m e a temperatura externa do ar e por isso é o que apresenta o melhor comportamento térmico entre os quatro protótipos analisados. O maior valor de amplitude térmica é de 3,5°C às 5h00.
2. O segundo melhor comportamento térmico é do protótipo 04 (lã de rocha) e do protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak), ambos com o maior valor de amplitude térmica de 3°C às 5h00. Comparando-se os resultados das diferenças das tbs de cada protótipo com a temperatura do ar externo, se percebe que essa diferença não ultrapassa 0,60°C.
3. O terceiro melhor comportamento térmico é do protótipo 01 (laje cerâmica), com o maior valor de amplitude térmica de 2,6°C às 5h00.

A diferença do valor da amplitude do protótipo 02 e do 04, em relação ao protótipo 01 é menor que 0,5°C, o que atesta que o comportamento térmico dos três protótipos é bem semelhante.



No período matutino, entre as 6h30 e às 11h30, depreendem-se dois comportamentos térmicos dos quatro protótipos:

1. Entre as 6h30 horas e às 7h30 horas, quando as temperaturas estão abaixo da temperatura de limitante inferior de conforto ( $18^{\circ}\text{C}$ ) proposto por Givoni, o comportamento dos protótipos é o seguinte:
  - (a) o protótipo 03 (foil) apresenta o melhor comportamento térmico, com uma amplitude térmica de  $3,5^{\circ}\text{C}$  em relação à temperatura externa do ar.
  - (b) o protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) e o protótipo 04 (lã de rocha) apresentam o segundo melhor comportamento térmico, pois a amplitude entre as suas temperaturas de bulbo seco a 1,10m e a temperatura externa do ar, obtêm o mesmo valor de  $3^{\circ}\text{C}$ .
  - (c) o protótipo 01 obtêm o comportamento térmico menos satisfatório entre os quatro protótipos, com uma amplitude térmica em relação à temperatura externa de  $2,7^{\circ}\text{C}$ . A sua amplitude térmica apresenta uma pequena diferença em relação à amplitude dos protótipos 02 e 04, menos de  $0,5^{\circ}\text{C}$ , o que atesta a semelhança do comportamento térmico dos três protótipos.
2. Entre as 8h00 e às 11h30, quando as temperaturas atingem valores dentro dos limitantes de conforto ( $18^{\circ}\text{C}$  e  $29^{\circ}\text{C}$ ) propostos por Givoni (op. Cit.), o comportamento térmico dos protótipos é o seguinte:
  - (a) o protótipo 03 (foil) e o protótipo 02 (caixas cartonadas Tetra Pak) apresentam um comportamento térmico muito semelhante, com uma amplitude térmica em relação à temperatura externa do ar de  $4,5^{\circ}\text{C}$ , às 11:30 horas. É o melhor comportamento térmico do período.
  - (b) o segundo melhor comportamento térmico foi obtido pelo protótipo 04 (lã de rocha), com uma amplitude térmica em relação à temperatura externa do ar de  $3,7^{\circ}\text{C}$  às 11:30 horas, bem próximo da amplitude térmica do protótipo 01 (laje cerâmica) que é de  $3,4^{\circ}\text{C}$ , também às 11:30 horas e que apresenta o comportamento térmico menos satisfatório do período.

No período vespertino, quando os valores da temperatura externa do ar são os mais elevados durante todo o dia, todos acima do limitante superior de conforto proposto por Givoni (op. Cit.), que é de 29°C, o comportamento térmico dos quatro protótipos é o seguinte:

1. O protótipo 02, que recebeu a instalação das caixas Tetra Pak como subcobertura, é o que apresenta as maiores amplitudes térmicas entre as suas tbs 1,10m e as temperaturas externas do ar, assim é o que apresenta menores temperaturas internas do ar. Essa amplitude atinge 5,5°C às 12h30 e se mantém até as 13h00. Com exceção das 18h00, com amplitude de 3,5°C, todos os outros horários, dentro desse intervalo de tempo analisado, apresentam amplitudes acima de 4°C, sendo que, entre as 12h00 e às 15h30, encontram-se as maiores amplitudes térmicas, dentro do período analisado, na faixa entre 5,5°C e 5°C.
2. O protótipo 03, que recebeu a instalação do foil como subcobertura, é o que apresenta o segundo melhor resultado, quanto à amplitude térmica entre as suas tbs 1,10m e as temperaturas externas do ar. Essa amplitude atinge 5°C às 12h30 e às 13h30. Com exceção das 17h30 e das 18h00, que atingem amplitudes térmicas no valor de 2,5°C e 2,8°C, respectivamente, todos os outros valores das amplitudes ficam na faixa de 4°C.  
No período compreendido entre as 12h00 e às 15h00, é que se registra os maiores valores de amplitudes térmicas, na faixa de 5°C a 4,5°C.  
Vale ressaltar que os valores das amplitudes entre o protótipo 02 e o protótipo 03, não ultrapassam o valor de 0,5°C, com exceção de dois horários que apresentam amplitudes na faixa de 0,5°C a 1°C.
3. O protótipo 04, onde foi instalada a lã de rocha, ocupa o terceiro lugar, quanto aos valores de amplitude térmica entre as suas tbs 1,10m e as temperaturas externas do ar. Essa amplitude atinge o valor de 4,3°C às 12h30. No intervalo das 12h00 às 15h30, todos os valores das amplitudes, ficam na faixa de 3,5°C a 4°C. Com exceção das 17h30 e das 18h00 que apresentam valores de amplitude abaixo de 3°C, em todos os outros horários as amplitudes variam na faixa de 3,5°C a 4°C.

Ressalta-se que os valores das amplitudes térmicas dos protótipos 03 e do protótipo 04, apresentam pequenos valores, variando entre 0,5°C e 1°C.

4. O protótipo 01, laje cerâmica, é o que apresenta os menores valores quanto aos valores de amplitude térmica, entre as suas tbs 1,10m e os valores da temperatura externa do ar. Essa amplitude atinge o valor de 4 °C às 12h30. No intervalo das 12h00 às 13h00, todos os valores das amplitudes, ficam na faixa de 3,5°C a 4°C. Com exceção do intervalo entre as 17h00 e às 18h00, onde os valores das amplitudes variam de 1°C a 2°C, os outros horários apresentam amplitudes que variam na faixa de 2°C a 3,5°C.

Ressalta-se que os valores das amplitudes térmicas, dentro desse período, entre o protótipo 01 (laje cerâmica) e o protótipo 04 (lã de rocha), ficam abaixo de 1°C.

Depreende-se das análises dos resultados obtidos dos estudos experimentais do comportamento térmico entre os quatro protótipos, acima descritas, que os comportamentos térmicos dos isolantes por reflexão são mais satisfatórios do que o comportamento térmico do isolante convencional (lã de rocha), que apresenta comportamento bem semelhante ao do protótipo 01, que não possui aplicação isolante térmico.

Entre os dois isolantes por reflexão, o que apresenta melhor comportamento é protótipo 02, onde foram instaladas as caixas cartonadas Tetra Pak, pois além de atuar como isolante por reflexão, também atua como isolante convencional devido à existência de câmara de ar.

## 5. CONCLUSÕES

No presente trabalho, foram avaliados e comparados os comportamentos térmicos de um protótipo com sistema de cobertura sem a aplicação de isolante, que continha a laje cerâmica, e de três protótipos com sistemas de cobertura que receberam, cada um, a aplicação de um tipo de subcobertura: a lã de rocha, isolante convencional, com baixa condutividade  $k$ ; o foil, isolante por reflexão e as caixas cartonadas Tetra Pak, resíduos sólidos, que foram utilizadas fechadas atuando assim, como isolante por reflexão e câmara de ar.

A aplicação dos conceitos relacionados à abordagem da climatologia dinâmica, por meio da utilização de um episódio representativo do fato climático e dentro dele, do dia típico experimental, foi de fundamental importância neste trabalho de investigação experimental tanto para a sua exeqüibilidade, quanto para o entendimento das relações entre as condições climáticas e os resultados obtidos do comportamento térmico dos quatro protótipos avaliados.

A partir dos registros coletados, verificou-se a redução das temperaturas superficiais, assim como dos valores das temperaturas internas do ar, nos horários de maior incidência da radiação solar global do dia típico experimental, nos protótipos cujos sistemas de cobertura possuíam isolantes térmicos. Outro aspecto verificado nesses protótipos foi a redução das perdas térmicas noturnas.

A utilização das subcoberturas ocasionou uma atenuação térmica no comportamento térmico de todos os protótipos avaliados, principalmente no período de maior stress térmico frente ao calor que ocorre, de acordo com os dados obtidos, entre as 10h00 e às 18h00, período em que obtiveram diferenças entre as temperaturas do ar externo e as temperaturas internas do ar na média de 2°C a 5,5°C. O comportamento térmico mais satisfatório foi obtido pelo protótipo 02, onde foram instaladas as caixas cartonadas Tetra Pak, com uma amplitude térmica de 5,5°C entre a temperatura externa do ar e a temperatura interna do ar a 1,10m, no período entre as 12h30

e as 13h00. O resultado menos satisfatório foi atingido pelo protótipo que não possuía subcoberturas, com uma amplitude térmica de 4°C às 12h30.

Durante a madrugada e até o começo da manhã, período com os menores valores das temperaturas externas ao longo do dia, os isolantes ajudaram na redução da perda térmica noturna, aumentando a temperatura interna do ar, em relação ao protótipo que não obteve a aplicação de isolante. As diferenças obtidas entre as temperaturas internas e as temperaturas externas, nesse período ficaram na média entre 0,5°C e 3,5°C. O protótipo que obteve a instalação do foil foi o que apresentou o comportamento térmico mais satisfatório, com uma amplitude de 3,5°C às 5h00, e o resultado menos satisfatório foi atingido pelo protótipo 01, que não teve a instalação de nenhum isolante, com uma amplitude de 2,6°C às 5h00. A diferença do valor da amplitude do protótipo 02 e do 04, em relação ao protótipo 01, foi menor que 0,5°C, o que atesta que o comportamento térmico dos três protótipos é bem semelhante, nesse período analisado.

O comportamento térmico dos três protótipos onde foram colocados os isolantes térmicos ficou bem semelhante um ao outro, com pequenas variações dos valores das suas temperaturas internas e, em alguns horários, chegando mesmo a terem as temperaturas praticamente iguais entre si e, nos horários em que a temperatura externa do ar atingiu os menores valores, os valores das temperaturas internas do ar desses três protótipos, assumiram em alguns horários, valores praticamente iguais aos das temperaturas do protótipo 01, onde não foi instalado nenhum isolante térmico. Mas no período vespertino, quando a temperatura externa atingiu os maiores valores, a diferença entre o valor da maior amplitude térmica que foi obtido pelo protótipo 02, caixas cartonadas Tetra Pak, com 5,5°C e o que atingiu o menor valor, protótipo 01, laje cerâmica, com 4°C, apresentou o valor de 1,5°C.

Portanto, pode-se concluir que a colocação da laje cerâmica melhorou o comportamento térmico dos protótipos, como já havia sido demonstrado por Vecchia (1999), mas a instalação dos isolantes fez com que os comportamentos térmicos dos protótipos, obtivessem resultados mais satisfatórios, reduzindo ainda mais os valores das temperaturas superficiais da laje cerâmica e das temperaturas internas do ar no ático e a 1,10m do piso, nos horários de maior rigor climático frente ao stress de calor e, também, reduzindo a perda de calor no período noturno.

Dentre os isolantes utilizados, os que obtiveram comportamentos mais satisfatórios foram os isolantes por reflexão: o foil e as caixas cartonadas Tetra Pak e, entre os dois, obtiveram o melhor comportamento as caixas cartonadas Tetra Pak, pois além de atuarem como isolante por reflexão, atuam como isolante convencional, devido à existência de câmara de ar ao serem utilizadas fechadas.

Devido ao bom comportamento térmico das caixas cartonadas Tetra Pak, pode-se sugerir para um futuro estudo experimental com esse material a colocação de caixas abertas sobre as caixas cartonadas fechadas, uma ao lado da outra. Com esse procedimento, formular-se-á um sistema isolante onde, na parte inferior, logo acima da laje, se encontrarão caixas cartonadas atuando como isolantes por reflexão e convencionais por formarem uma câmara de ar nos seus interiores e, na parte superior uma lâmina tipo foil, já que as caixas estarão sendo utilizadas abertas uma ao lado da outra (com a face de alumínio polido voltada para cima ou para baixo, mas de preferência para baixo, evitando-se com o tempo um acúmulo de poeira que faz diminuir a reflexão do material), o que resultará em um aumento do índice de reflexão desse sistema isolante, composto exclusivamente por caixas cartonadas Tetra Pak, melhorando o seu comportamento térmico e conseqüentemente do ambiente construído onde ele estiver sendo aplicado.

Deve-se ressaltar que os resultados obtidos do comportamento térmico de uma determinada edificação com a utilização de isolante térmico, independentemente do seu tipo, estão ligados diretamente às características termofísicas dos materiais de construção utilizados nesta edificação e, fundamentalmente, da adequação da edificação às condições exteriores, a exemplo do clima, das características da vizinhança e fatores de modificação tomados em escala micro e mesoclimática.

Os resultados obtidos se aplicam a quaisquer regiões do país, uma vez que, proporcionalmente, os efeitos sobre o comportamento térmico das células de teste sempre serão os mesmos, variando-se apenas a intensidade dos fenômenos.

Considerando-se a atuação da radiação solar global incidente sobre os sistemas de cobertura e as características das massas de ar atuantes em cada região do Brasil, pode-se dizer que os resultados da comparação dos três tipos de subcobertura obtidos em São Carlos aplicam-se a quaisquer regiões do país, uma vez que proporcionalmente os efeitos sobre o comportamento térmico de protótipos semelhantes aos utilizados neste estudo experimental

sempre serão os mesmos, variando-se apenas a intensidade dos fenômenos. Assim, a classificação entre os tipos de isolantes térmicos utilizados, de mais satisfatório a menos satisfatório, será sempre mantida

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AULICIEMS, A. & SZOKOLAY, S. V. (1997). *Thermal comfort*. PLEA-Notes. Brisbane: University of Queensland.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineering (1995). *Handbook of Fundamentals*. New York: ASHRAE.

CLIMATOLOGIA ON LINE, <http://www.climal.hpg.com.br>, (outubro) 2003.

CUADRAT, J.M. & PITA, M. F. (1997) *Climatologia*. Madrid: Editora Catedra.

CONTI, J. B. (1997). Epistemologia, métodos e técnicas em Geografia Física – Climatologia. In: *VII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*. v. II. Curitiba:UFPR

COSTA, E. C. (1974). *Física aplicada à construção; conforto térmico*. 2ª ed. São Paulo: Blücher, Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

DOCHERTY, M. & SZOKOLAY S.V. (1999) *Climate Analysis*. PLEA Note 5. passive and Low Energy Architecture Internacional & University of Queensland.

FATHY, H. (1968). *Natural energy and vernacular architecture – principles and examples with reference to hot arid climates*. Chicago: The University of Chicago Press.

GIVONI, B. (1976). *Man, Climate and Architecture*. 2nd. London: Applied Science Publishers LTD.

\_\_\_\_\_ (1998). *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold Co. Distributed by John Wiley and Sons

\_\_\_\_\_ (1992). *Confort, climate and analysis and building design guidelines*. Energy and building, v. 18. July/1992.

INCROPERA, F.P; DeWIT, D. P. *Fundamentos de transferência de calor e de massa*. 4ed. Rio de Janeiro: LTC.

INFOCLIMA, <http://www.cptec.inpe.br/meteoimagens/> (janeiro) 2005



INNOVA. *Thermal Comfort*, <http://www.innova.dk/page.php?page=6903&menu=1>. (março) 2002.

INPE/CPTEC, <http://cptec.inpe.br>, (janeiro) 2005.

ISOLANT, <http://www.isolant.com.ar/>, (março) 2002.

IZARD, J. L. & GUYOT, A. (1983). *Arquitetura Bioclimática*. 2 ed. Colección Tecnología y Arquitectura. México: Ediciones Gustavo Gilli, S.A.

KREITH, F. (1973). *Princípios da Transmissão de Calor*. São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda.

MASCARÓ, L. M. (1985). *Energia na Edificação: estratégia para minimizar seu consumo*. São Paulo: Projeto Editores Associados Ltda.

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

MONTEIRO, C. A. F. (1967). *Ritmo hibernal da frente polar e as chuvas na fachada subtropical atlântica do Brasil: contribuição metodológica à análise geográfica dos tipos de tempo no Brasil*. Tese (Doutorado). São Paulo: FFLCH.

\_\_\_\_\_. (1968). *Grande região Sul*. v. IV, tomo 1. Rio de Janeiro: IBGE

\_\_\_\_\_. (1969). *A frente polar atlântica e as chuvas na fachada sul-oriental do Brasil*. Série Teses e Monografias, nº 1. São Paulo: IGEOG-USP.

\_\_\_\_\_. (1973). *A dinâmica climática e as chuvas de inverno na fachada Sul do Brasil: estudo geográfico sob forma de atlas*. São Paulo: IGEOG-USP.

\_\_\_\_\_. (1999). O estudo geográfico do clima. In: *Cadernos geográficos*. Ano 1. nº 1. Florianópolis: Departamento de Geociências/CFH/UFSC.

OLGYAY, V. (1963). *Design with climate: bioclimatic approach to architectural Regionalism*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.

PAGANI, M. C. *Embalagem "longa vida" funciona como isolante térmico em moradias de baixa renda*. <http://www.unicamp.br>. (janeiro) 2001.

\_\_\_\_\_. (2003). *Embalagens longa vida ao alcance de todos*. In: Revista CREA-SP, maio-junho.

PEDELABORDE, P. (1970) *Introduction a l'étude scientifique du climat*. Paris: Société d'Édition d'Enseignement Supérieur.

PENTAK, *Isofoil – isolante térmico para telhados*. <http://www.pentak.com.br> (fevereiro) 2002.

PITTON, S. E. C. (1985). *Análise de Sistemas de Organização Climática do Espaço*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: IGCE/UNESP.

RIVERO, R. (1985). *Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural*. Porto Alegre: Luzzato Editores/Editora da UFRGS.

ROCHE, P. L. et al (2001). *Keeping Cool*. PLEA Note 6. Passive and Low Energy Architecture International & Research, Consulting and Communications, Australia.  
ROCKFIBRAS, <http://www.rockfibras.com>, (novembro) 2004.

SALMONI, R. (1966). *Transmissão de calor*. São Paulo: Editora Mestre Jan.

SANTOS, R. F. (2002). *A Arquitetura e a eficiência nos usos finais da energia para o Conforto Ambiental*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: IEE/EP/IF/FEA – USP.

SERRA, R. (1999). *Arquitectura y climas*. Barcelona: Editora Gustavo Gilli

STRAHLER, A. N. (1971). *The earth sciences*. 2d. ed. New Cork: Harper & Row .

SORRE, M. (1951). *Le Climat In: Le fondments de la Geographie Humain*. 3ed. Paris: Armand Colin.

SPIRN, A. W. (1995). *O jardim de granito*. Trad. por Paulo Renato Mesquita Pellegrino  
São Paulo: EDUSP.

VAREJÃO-SILVA, M. (2000). *Metereologia e Climatologia*. Brasília: INMET, Gráfica e Editora Stilo.

VITTORINO, F. et al. (2003). *Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas*. ENCAC-COTEDI.

TARIFA, J. R. & AZEVEDO, T. R. (2001). *Os climas na cidade de São Paulo – Teoria e Prática*, GEOUSP nº 4. São Paulo: USP

TARIFA, J. R. & ARMANI, G. (2001) As unidades climáticas urbanas da cidade de São Paulo: Os climas e a (re) produção do espaço nas metrópoles. In: VIII

TETRAPAK, <http://www.tetrapak.com.br/html/meio/reciclagem.htm#>, (dezembro) 2004.

TETRAPAK, [http://www.ambiente.sp.org.br/educ\\_2004/cursos/palestrantes/040304/EdyMerendino2.pdf](http://www.ambiente.sp.org.br/educ_2004/cursos/palestrantes/040304/EdyMerendino2.pdf), (novembro) 2004.

TOLENTINO, M. (1967). *Estudo crítico sobre o clima de São Carlos*. São Carlos.

VECCHIA. F. A. S. (1997). *Clima e Ambiente Construído: A abordagem dinâmica aplicada ao Conforto Humano*. Tese (Doutorado). São Paulo: FFLCH/USP.



\_\_\_\_\_ (2001a). *Aplicação de subcoberturas como tratamento térmico de residências ocupadas*. In: Seminário PENTAK: conforto térmico, proteção e segurança dos telhados. São Paulo: Instituto de Engenharia de São Paulo, PENTAK.

\_\_\_\_\_ (2001b). *Climatologia aplicada ao meio ambiente*: Disciplina oferecida no CRHEA – EESC, São Carlos.

\_\_\_\_\_ (2001c). *Projeto Conforto Térmico*: Estudo Comparativo do comportamento térmico de sistemas de cobertura. Projeto Conforto, Convênio Eternit S.A. São Carlos: EESC/FIPAI

VECCHIA, F.A.S. et al. (2002). *Utilização de resíduos sólidos, Tetra Pak, na construção de edificações sustentáveis: análise do comportamento térmico de subcoberturas na situação transicional primavera-verão*. São Paulo: NUTAU/ FAU/ USP.

SZOKOLAY, S.V. (2004). *Introduction to Architectural Science – the basis of sustainable design*. Oxford: Elsevier/Architectural Press.

ZÖLD, A. & SZOKOLAY, S.V.(1997). *Thermal Insulation*. PLEA Note 2. Passive and Low Energy Architecture International & University of Queensland