

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA CIVIL**

GRAZIELA YUMI SUETAKE

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE MANTAS
ISOLANTES EM GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO**

DISSERTAÇÃO

**CURITIBA
2017**

GRAZIELA YUMI SUETAKE

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE MANTAS
ISOLANTES EM GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial à obtenção do título de “Mestre em Engenharia Civil” – Área de concentração: Sustentabilidade.

Orientador: Prof. Dr. Adalberto Matoski
Co-orientador: Prof. Dr. Eduardo Krüger

**CURITIBA
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S944a Suetake, Graziela Yumi
2017 Avaliação do desempenho térmico de mantas isolantes em guaritas de fibra de vidro / Graziela Yumi Suetake.-- 2017.
95 f.: il.; 30 cm.

Texto em português, com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de concentração: Sustentabilidade, Curitiba, 2017.

Bibliografia: p. 89-94.

1. Engenharia civil - Dissertações. 2. Sustentabilidade. 3. Fibras de vidro. 4. Construção civil - Clima - Curitiba (PR). 5. Calor - Transmissão. 6. Materiais isolantes. 7. Isolamento térmico. 8. Embalagens - Reaproveitamento. 9. Alumínio - Reaproveitamento. I. Matoski, Adalberto. II. Krüger, Eduardo Leite. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

CDD: Ed. 22 -- 624

Biblioteca Ecoville da UTFPR, Câmpus Curitiba



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 117

A Dissertação de Mestrado intitulada “AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE MANTAS ISOLANTES EM GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO”, defendida em sessão pública pelo(a) candidato(a) Graziela Yumi Suetake, no dia 19 de maio de 2017, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração Meio Ambiente, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA:

Prof(a). Dr(a). Adalberto Matoski - Presidente - UTFPR

Prof(a). Dr(a). Henor Artur de Souza - UFOP

Prof(a). Dr(a). Juliana Lundgren Rose – UTFPR

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, 19 de maio de 2017.

Carimbo e Assinatura do(a) Coordenador(a) do Programa

Aos meus pais Arnaldo
e Mithie (in memoriam)
e ao Diony, com carinho.

AGRADECIMENTOS

A Deus por permitir a realização desse trabalho e por dar-me forças para superar mais esta etapa.

Agradeço ao meu pai Arnaldo pelo apoio e carinho nesta etapa de desafios e crescimentos.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Adalberto Matoski, pelas orientações acadêmicas.

Agradeço ao meu co-orientador, Prof. Dr. Eduardo L. Krüger, pelos ensinamentos e pelas orientações que contribuíram para meu crescimento científico e intelectual.

Também agradeço aos meus amigos que direta ou indiretamente, tanto me ajudaram, em especial ao Vitor Bordignon, a Nicole A. Piaskowy, a Cintia Tamura, ao Élcio Douglas e ao Adel de Castro França.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

A Capes, pela concessão da bolsa de mestrado, sem a qual este estudo não seria possível.

Aos professores membros da banca pela atenção e contribuição dedicadas a esse estudo.

Em especial ao Diony Dallelaste, pelo apoio, compreensão, auxílio e por tornar meus dias mais felizes.

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma doaram um pouco de si para que a conclusão desse trabalho se tornasse possível.

“O dia mais belo: hoje
A coisa mais fácil: errar
O maior obstáculo: o medo
O maior erro: o abandono
A raiz de todos os males: o egoísmo
A distração mais bela: o trabalho
A pior derrota: o desânimo
Os melhores professores: as crianças
A primeira necessidade: comunicar-se
O que traz felicidade: ser útil aos demais
O pior defeito: o mau humor
A pessoa mais perigosa: a mentirosa
O pior sentimento: o rancor
O presente mais belo: o perdão
O mais imprescindível: o lar
A rota mais rápida: o caminho certo
A sensação mais agradável: a paz interior
A maior proteção efetiva: o sorriso
O maior remédio: o otimismo
A maior satisfação: o dever cumprido
A força mais potente do mundo: a fé
As pessoas mais necessárias: os pais
A mais bela de todas as coisas: O AMOR!”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

Tratando-se de construções leves, para as condições climáticas de Curitiba, é recomendável o uso de materiais de cobertura que minimizem a transferência de calor no verão, porém evitando perdas de calor no inverno. A utilização de materiais isolantes como barreiras radiantes, formadas, por exemplo, por folhas de alumínio justapostas, pode trazer vantagens térmicas nessas duas situações. Uma opção de baixo custo para exercer a função de uma barreira radiante baseia-se no uso de embalagens *Tetra Pak*[®], as quais têm uma de suas faces aluminizada. A pesquisa teve por objetivo avaliar o desempenho térmico das seguintes mantas isolantes: placas de 50 mm de *Isopor*[®], *foil* dupla face e mantas *Tetra Pak*[®] em coberturas de guaritas de fibra de vidro, em condições reais de exposição aos elementos do clima e nos períodos de transição outono-inverno e primavera-verão. Os procedimentos metodológicos no período de transição outono-inverno compreenderam a comparação das temperaturas do ar e superficiais da cobertura. No período de transição primavera-verão, realizou-se a comparação das temperaturas do ar, superficiais da cobertura e das paredes face leste e face sul e da medição do fluxo de calor, para cálculo da resistência térmica. A utilização das mantas *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura ou com revestimento em dupla face (duas mantas *Tetra Pak*[®] coladas - ambas as faces aluminizadas expostas) apresentaram uma redução na temperatura superficial máxima de 9,8°C e 9,3°C, respectivamente e um aumento na temperatura superficial mínima de 2,7°C e 2,0°C, respectivamente. Para o período de transição primavera-verão os resultados para as mantas *Tetra Pak*[®] mostraram-se superiores aos das placas de *Isopor*[®] e do *foil* dupla face.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Guaritas de fibra de vidro. Barreiras radiantes. Isolantes térmicos. Mantas *Tetra Pak*[®].

ABSTRACT

In light-weight buildings under the climatic conditions of Curitiba, it is recommended the use of roofing materials that minimize heat gains in summer while avoiding heat losses in winter. The use of insulating materials such as radiant barriers, formed, for example, by juxtaposed aluminum sheets, can bring thermal advantages in such situations. A low-cost option to perform the function of a radiant barrier is based on the use of open Tetra Pak[®] packages, which have one of their aluminized sides exposed. The aim of the study was to evaluate the thermal performance of the following insulation sheets: 50mm Styropor[®], double-sided foil and Tetra Pak[®] sheets for fiberglass enclosures, in conditions of natural exposure to weather elements and in transitional periods in fall-winter and spring-summer. The methodological procedures in the autumn-winter transitional period comprised the comparison of air and surface temperatures of the roof elements. In spring-summer, air and surface temperatures of roof and walls (east- and south-facing) were compared and the measurement of the heat flow, to calculate the thermal resistance. The use of Tetra Pak[®] sheets with an upward-facing aluminized side or with double-sided coating (two glued, open Tetra Pak[®] packages - aluminized faces exposed) showed a reduction in the maximum surface temperature of 9.8°C and 9.3°C, respectively, and an increase in the minimum surface temperature of 2.7°C and 2.0°C, respectively. For the spring-summer transitional period, results for Tetra Pak[®] sheets were superior to those of Styropor[®] and double-sided foils.

Keywords: Thermal performance. Fiberglass shelters. Radiant barrier. Thermal insulation. Tetra Pak[®] sheets.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de materiais de construção	24
Figura 2 – Infográfico com as formas de transferência de calor da cobertura para o interior da edificação.....	26
Figura 3 - Representação das trocas de calor em um telhado.....	27
Figura 4 – Representação das trocas de calor em um forro.....	28
Figura 5 – Exemplos de isolantes resistivos (a) Fibras minerais e (b) Poliestireno expandido	29
Figura 6 – Barreiras radiantes (a) Foil simples ou 1 face aluminizada e (b) Foil dupla face ou 2 faces aluminizadas	30
Figura 7 – (a) Composição da manta foil dupla face e (b) Foil dupla face	31
Figura 8 – Estrutura das embalagens cartonadas.....	32
Figura 9 – (a) Guarita simples posicionada num estacionamento de um conjunto comercial e (b) Guarita dupla posicionada numa bifurcação de ruas para segurança do bairro	38
Figura 10 – Guarita simples de fibra de vidro na cor branca	40
Figura 11 – Exemplos de adaptações na cobertura nas guaritas de fibra de (a) no estacionamento de um shopping (Mercadoteca) e (b) no estacionamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná	41
Figura 12 – (a) Estação meteorológica HOBO [®] (H21-001) e (b) uso interno da estação meteorológica	42
Figura 13 – Estação meteorológica externa - referencial	43
Figura 14 – Em (a) posição dos sensores e da estação meteorológica no interior da guarita controle e (b) posição do sensor na cobertura da guarita controle.....	45
Figura 15 – Posição dos sensores no interior da guarita experimental.....	47
Figura 16 – Regressão linear simples para o registrador eletrônico - Novus	48
Figura 17 – Layout da guarita de fibra de vidro (a) dimensões externas e (b) planta baixa	50
Figura 18 – Posição das guaritas e da estação meteorológica no terraço do bloco IJ, da UTFPR, campus Curitiba-PR, sede Ecoville	50
Figura 19 – Posição das guaritas no terraço do bloco IJ. Guarita controle (à esquerda) e a guarita experimental (à direita).....	51
Figura 20 – Data logger de temperatura e umidade HOBO [®] (H08-003-02).....	52
Figura 21 – Comparação das temperaturas internas das guaritas sem isolamento das janelas.....	52
Figura 22 – Guarita com as janelas isoladas com uma manta branca	53
Figura 23 – Comparação das temperaturas internas das guaritas com isolamento das janelas	54
Figura 24 – Estrutura de madeira na guarita experimental	55

Figura 25 – Em (a) sensor isolado por isopor e fixado na cobertura da guarita controle para medição da temperatura superficial externa e (b) sensor isolado por isopor e fixado na manta Tetra Pak® voltada para a cobertura para medição da temperatura superficial interna	55
Figura 26 – Em (a) Aparelho AQUIS (Sistema de aquisição de sinais) e notebook para gravar os dados e (b) Transdutor - placa de cobre plana, 100 mm x 100 mm, que compõe o transdutor	57
Figura 27 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno	61
Figura 28 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno	62
Figura 29 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com o Foil dupla face no período de transição outono-inverno.....	63
Figura 30 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa para o Foil dupla face no período de transição outono-inverno	64
Figura 31 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno.....	66
Figura 32 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno.....	67
Figura 33 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição outono-inverno	68
Figura 34 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição outono-inverno	69
Figura 35 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta Tetra Pak® - dupla no período de transição outono-inverno	70
Figura 36 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta Tetra Pak® - dupla no período de transição outono-inverno	71
Figura 37 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta Tetra Pak® - dupla no período de transição primavera-verão	73
Figura 38 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta Tetra Pak® -dupla no período de transição primavera-verão	74
Figura 39 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta Tetra Pak® para a cobertura no período de transição primavera-verão	75

Figura 40 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta Tetra Pak® para a cobertura no período de transição primavera-verão.....	76
Figura 41 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta Tetra Pak® para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão.....	77
Figura 42 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta Tetra Pak® para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão.....	78
Figura 43 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com o foil dupla face no período de transição primavera-verão.....	79
Figura 44 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com o foil dupla face no período de transição primavera-verão.....	80
Figura 45 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com placas de Isopor® no período de transição primavera-verão	81
Figura 46 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição primavera-verão.....	82
Figura 46 – Sistema utilizado para a calibração dos fluxímetros	95

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Instrumentos de Medição	44
Quadro 2 – Sensor de temperatura 12-Bit (S-TMB-M002)	45
Quadro 3 – Sensor de temperatura e escudo de radiação solar utilizados na guarita experimental	46
Quadro 4 – Registrador eletrônico Logbox – DA - Novus de temperatura e umidade relativa	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Padronização dos Equipamentos para o período de transição outono-inverno	48
Tabela 2 – Padronização dos Equipamentos para o período de transição primavera-verão.....	49
Tabela 3 – Configurações e as seqüências de monitoramento para o período de transição outono-inverno e primavera-verão.....	57
Tabela 4 – Classes de estabilidade atmosférica para o período diurno segundo o método Pasquill-Gifford-Turner (PGT).....	58
Tabela 5 – Dia escolhido para análise do desempenho térmico das mantas isolantes para cada seqüência de monitoramento para o período de transição outono-inverno.....	59
Tabela 6 – Período escolhido para análise do desempenho térmico das mantas isolantes para cada seqüência de monitoramento para o período de transição primavera-verão.....	59
Tabela 7 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno.....	62
Tabela 8 – Comparação entre temperatura superficial interna para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno.....	63
Tabela 9 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar para o Foil dupla face no período de transição outono-inverno	64
Tabela 10 – Comparação entre temperatura superficial interna para o Foil dupla face no período de transição outono-inverno	65
Tabela 11 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno.....	66
Tabela 12 – Comparação entre temperatura superficial interna para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno.....	67
Tabela 13 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição outono-inverno	68
Tabela 14 – Comparação entre temperatura superficial interna com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição outono-inverno	69
Tabela 15 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta Tetra Pak® - dupla no período de transição outono-inverno	71
Tabela 16 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta Tetra Pak® - dupla no período de transição outono-inverno	72
Tabela 17 – Comparação da redução do frio entre as mantas isolantes para o período de transição outono-inverno.....	72

Tabela 18 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta Tetra Pak® dupla no período de transição primavera-verão.....	74
Tabela 19 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta Tetra Pak® dupla no período de transição primavera-verão.....	75
Tabela 20 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta Tetra Pak® para a cobertura no período de transição primavera-verão	76
Tabela 21 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta Tetra Pak® para a cobertura no período de transição primavera-verão	77
Tabela 22 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta Tetra Pak® para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão	78
Tabela 23 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta Tetra Pak® para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão	79
Tabela 24 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com o foil dupla face no período de transição primavera-verão.....	80
Tabela 25 – Comparação entre temperatura superficial interna com o foil dupla face no período de transição primavera-verão.....	81
Tabela 26 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição primavera-verão	82
Tabela 27 – Comparação entre temperatura superficial interna com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição primavera-verão.....	83
Tabela 28 – Comparação da redução do calor entre as mantas isolantes no período de transição primavera-verão.....	83
Tabela 29 – Comparação entre o aumento da mínima diária e da redução da máxima diária entre os períodos de transição outono-inverno e primavera-verão	84
Tabela 30 – Comparação entre as temperaturas superficiais internas máximas das mantas isolantes com a temperatura do ar na guarita experimental no período de transição primavera-verão.....	85
Tabela 31 – Comparação entre a temperatura externa e do ar na guarita experimental com a média das temperaturas superficiais internas da janela na face leste e das paredes na face leste e na face sul na guarita experimental no período de transição primavera- verão	85
Tabela 32 – Resistência térmica das barreiras radiantes no período de transição primavera-verão	86

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

EPS – Poliestireno Expandido

LMPT – Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Físicas de Materiais

NBR – Norma Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

PGT – Pasquill Gifford Turner

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

PR - Paraná

PVC - Polyvinyl chloride

UHT - Ultra High Temperature

UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE ACRÔNIMOS

AQUIS – Sistema de Aquisição de sinais

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers

CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem

CIRIA – Construction Industry Research and Information Association

DOE – Department Of Energy

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

ISO - International Organization for Standardization

SIG - Swiss Industrial Company

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

LISTA DE SÍMBOLOS

μ	Micro
α	Absortância à radiação solar
ε	Emissividade
ρ	Refletância à radiação solar
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
K	Kelvin
e	Espessura
h	Hora
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
m/s	Metro/segundos
nm	Nanometro
W/m^2	Watts/metro quadrado
Ta	Temperatura do ar, $^{\circ}\text{C}$
UR	Umidade relativa do ar, em %

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	19
1.1 OBJETIVO	21
1.1.1 Objetivos específicos	21
2 REVISÃO DE LITERATURA	22
2.1 CONCEITOS GERAIS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES	22
2.2 CONFORTO TÉRMICO.....	25
2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COBERTURAS	25
2.4 ISOLANTES TÉRMICOS	28
2.4.1 Isolantes térmicos por radiação ou barreiras radiantes	30
2.4.2 Utilização das embalagens cartonadas como material isolante.....	32
2.5 GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO	38
3 METODOLOGIA	42
3.1 EQUIPAMENTOS	42
3.2 PADRONIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	47
3.2.1 Primeira fase: Período de transição outono-inverno	48
3.2.2 Segunda fase: Período de transição primavera-verão	49
3.3 GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO	49
3.4 PADRONIZAÇÃO DAS GUARITAS	51
3.5 MEDIÇÕES.....	54
3.6 DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE ANÁLISE.....	58
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	61
4.1 MEDIÇÕES PARA O PERÍODO DE TRANSIÇÃO OUTONO-INVERNO.....	61
4.1.1 Manta Tetra Pak® com a face aluminizada para o interior do ambiente	61
4.1.2 Barreira Radiante – Foil dupla face	63
4.1.3 Manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura.....	65
4.1.4 Placas de 50 mm de Isopor®	68
4.1.5 Manta Tetra Pak® - dupla (duas mantas Tetra Pak® coladas)	70
4.2 MEDIÇÕES DO PERÍODO DE TRANSIÇÃO PRIMAVERA-VERÃO	73
4.2.1 Temperatura do ar e temperatura superficial	73
4.2.1.1 Manta Tetra Pak® - dupla (duas mantas Tetra Pak® coladas).....	73
4.2.1.2 Manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura	75
4.2.1.3 Manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente.....	77
4.2.1.4 Foil dupla face.....	79
4.2.1.5 Placas de 50 mm de Isopor®	81
4.2.2 Temperatura superficial das paredes.....	84
4.2.3 Resistência térmica das barreiras radiantes.....	86
5 CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE A – CALIBRAÇÃO DOS TRANSDUTORES DE FLUXO DE CALOR	95

1 INTRODUÇÃO

Em universidades, canteiros de obra, supermercados, condomínios, locais de eventos e propriedades particulares, as guaritas de fibra de vidro vêm sendo utilizadas para abrigo dos guardas e vigias, devido à boa flexibilidade arquitetônica, durabilidade e resistência a intempéries.

As guaritas designam uma pequena estrutura móvel, geralmente disposta para garantir um portão ou uma entrada, que servem de abrigo e proteção para seguranças que prezam pela integridade física de pessoas e do patrimônio. Dessa forma, é fundamental um ambiente que ofereça conforto e condições para o desempenho dessas funções.

O conforto térmico proporciona ao homem melhores condições de vida e de saúde, pois em um ambiente termicamente confortável reduzem-se os índices de fadiga e de *stress* (FROTA; SCHIFFER, 2007).

Akutsu e Lopes (1988) descrevem o desempenho térmico como resultado da interação “entre a edificação e o ambiente térmico a que esta está submetida” ou suas condições de exposição, como a radiação solar, a radiação emitida pelas superfícies, a temperatura, a latitude e a longitude, a topografia, a orientação solar, o número de ocupantes, as atividades desenvolvidas, os equipamentos utilizados, a quantidade produzida de calor e vapor de água e a taxa de renovação de ar no ambiente.

O sol, incidindo sobre as fachadas e coberturas dos edifícios, vai representar, em maior ou menor escala, um ganho de calor. Esse ganho de calor será função da intensidade da radiação solar incidente e das características térmicas dos materiais utilizados nas edificações (FROTA; SCHIFFER, 1988).

Segundo Mascaró e Mascaró (1992) a carga térmica recebida pela cobertura em uma edificação térrea pode chegar a 72,3% na cidade de Porto Alegre - RS, localizada na latitude 30°01'59" sul e longitude 51°13'48" oeste. Para Abdessalam et al. (1998) e Garde (1997 apud Soubdhan, Feuillard e Bade, 2004), em estudos realizados na França, latitude 20°32'18" sul e longitude 47°24'02" oeste, no verão, 60% do calor transferido para a edificação ocorre através da cobertura. Portanto, a cobertura é o responsável pelo maior ganho térmico dentre os elementos de uma edificação. Principalmente no Brasil, situado predominantemente em zona tropical, onde há predomínio de forte insolação, é fundamental o isolamento da cobertura.

As coberturas nas edificações têm a importante função de preservar não só a saúde dos usuários como a própria construção e sua durabilidade, uma vez que impedem a infiltração de umidade e a degradação dos materiais (NBR 15575) (ABNT, 2013b). Para se evitar um custo

extra, muitas vezes as coberturas projetadas e construídas mostram-se inadequadas às condições climáticas (MASCARÓ, 2004).

Conhecendo-se as grandezas que influenciam no comportamento térmico de uma edificação pode-se optar por soluções mais eficientes quanto ao desempenho térmico, acústico e lumínico. Assim, a fim de obter um melhor desempenho térmico, faz-se necessário o uso de materiais que minimizem a transferência de calor no verão e evitem perdas de calor no inverno, pela cobertura, com a utilização de materiais isolantes resistivos, como o poliestireno expandido, que reduzem o fluxo de calor por condução e as barreiras radiantes, como a manta formada por folhas de alumínio, que reduzem o fluxo de calor por radiação.

Outro elemento que vem se popularizando no Brasil como forma de reduzir os ganhos térmicos pela cobertura são as mantas formadas por embalagens cartonadas abertas, a partir de seu reaproveitamento (GÜTHS; PAGHI, 2004).

Como uma opção de baixo custo, a utilização das embalagens cartonadas de leite e sucos, por terem uma das suas faces aluminizada, mostra-se vantajosa para exercer a função de uma barreira de radiação térmica proveniente da cobertura.

Com o reaproveitamento/reciclagem pode-se contribuir para que este material não seja depositado em aterros sanitários. Segundo o Compromisso Empresarial para reciclagem (CEMPRE, 2013), no Brasil, em 2012, somente 29% dos 12 bilhões das embalagens cartonadas foram recicladas (CEMPRE, 2013).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), promulgada pela lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010 (BRASIL, 2010), estabelece o envolvimento da União, Estados e Municípios, o setor produtivo e a sociedade civil com o objetivo de reduzir ao máximo a produção de resíduos sólidos e promover soluções sustentáveis como, por exemplo, a prática de hábitos de consumo sustentável, reutilizar e reciclar o máximo os resíduos sólidos e dispor apenas os rejeitos em aterros sanitários ambientalmente adequados.

A taxa de resíduo reciclado coletado em Curitiba-PR aumentou de 3,1%, em 2008 para 5,7%, em 2014, mas é muito baixa. Mesmo após 2010, com a implantação da política municipal de resíduos sólidos, que instaurou os serviços de coleta convencional, os quais abrangem todos os tipos de resíduos sólidos gerados nos domicílios, e seletiva, por meio do programa “Lixo que não é lixo” – coleta seletiva realizada porta a porta, do “Câmbio verde” – coleta seletiva em pontos de troca e do “Ecocidadão” – coletas informais realizadas pelos catadores individuais (PREFEITURA..., 2016), não foram notadas alterações significativas (5,4 em 2010 para 5,7% em 2014) (SILVA, 2016).

Como o desempenho térmico resulta da interação dos materiais utilizados na edificação com as condições de exposição, esta pesquisa analisou o desempenho térmico de uma manta formada pela união das embalagens cartonadas, como uma opção de aproveitamento, e alguns materiais isolantes encontrados no mercado da construção civil, em coberturas de guaritas de fibra de vidro. Nas medições em campo, realizou-se a medição do fluxo de calor e comparou-se a temperatura interna e a temperatura da superfície da cobertura de duas guaritas, sendo uma denominada “guarita controle” e a outra “guarita experimental” onde foram colocadas as mantas isolantes, em condições reais de exposição aos elementos do clima.

1.1 OBJETIVO

O objetivo da pesquisa é avaliar o desempenho térmico de mantas isolantes (placa de 50 mm de *Isopor*[®] e *foil* dupla face) e de mantas formadas pela união das embalagens cartonadas, ou simplesmente, mantas *Tetra Pak*[®], em coberturas de guaritas de fibra de vidro, por meio de ensaios em campo, para os períodos de transição outono-inverno e primavera-verão.

1.1.1 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram os seguintes:

- Avaliar o desempenho térmico das mantas isolantes para o amortecimento do frio e do calor através de ensaios em campo;
- Determinar a resistência térmica das barreiras radiantes.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONCEITOS GERAIS DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES

A avaliação de desempenho “consiste em prever o comportamento potencial do edifício, seus elementos e instalações, quando submetidos a condições normais de exposição, e avaliar se tal comportamento satisfaz as exigências do usuário” (FREIRE; PIZZOLATO, 1999).

Avaliar o desempenho térmico de uma edificação basicamente consiste em verificar se o ambiente interno atende ou não a um conjunto de requisitos prefixados em função das exigências do usuário quanto ao seu conforto térmico (AKUTSU, 1988).

Os requisitos de desempenho, segundo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013a), são “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer as exigências do usuário”. Segundo a *Construction Industry Research and Information Association* (CIRIA, 1992), pode-se dividir os requisitos em dois grupos: a) condições impostas por agentes naturais como, por exemplo, temperatura do ar, chuva, radiação solar, barulho e vibração, fogo e sujidades e b) condições exigidas internamente ao edifício, caracterizadas por ventilação, perda de calor, segurança, entre outros.

Conforme Vefago (2006), “O desempenho térmico de uma vedação é função da transferência de calor entre os ambientes interno e externo”. Assim, “um mesmo sistema construtivo utilizado em diferentes condições climáticas apresenta desempenho térmico diferenciado” (ALUCCI; CARNEIRO; BARING, 1986).

O desempenho térmico das edificações está baseado na influência das aberturas, quantidade de energia térmica recebida, espaço interno e na insolação combatida pelos dispositivos de proteção (PERDIGÃO, 1994). Akutsu e Lopes (1988) acrescentam, ainda, as interações entre a edificação e as condições de exposição, que são as condições climáticas, as condições de implantação e as condições de uso da edificação.

Nas condições de implantação tem-se a influência no desempenho térmico da latitude e a longitude, a topografia e a orientação solar e nas condições de uso tem-se o número de ocupantes, as atividades desenvolvidas, os equipamentos utilizados, a quantidade produzida de calor e vapor de água e a taxa de renovação de ar no ambiente (AKUTSU; LOPES, 1988).

Outras grandezas que influenciam no comportamento térmico são a forma e dimensão da edificação, a capacidade térmica e o atraso térmico (AKUTSU; LOPES, 1988).

A capacidade térmica é a capacidade do material de estabilizar a temperatura interna dos recintos em relação às flutuações da temperatura externa, e está relacionada à inércia térmica. Neste contexto, o calor ganho durante o dia é armazenado na massa dos elementos que compõem a envoltória da edificação e somente parte deste calor é transmitida para o interior dos ambientes. Assim, dois parâmetros são importantes para a análise da inércia térmica, o atraso térmico e o amortecimento do calor transmitido, que se relacionam diretamente com as características térmicas do material e sua espessura (PAPST, 1999).

O atraso térmico é “o tempo transcorrido entre uma variação térmica em um meio e sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo, submetido a um regime periódico de transmissão de calor” (NBR 15220) (ABNT, 2005a).

O amortecimento térmico ou do calor transmitido trata da relação entre a amplitude da temperatura superficial interna de um fechamento, pela amplitude da temperatura do ambiente externo (RIVERO, 1985), sendo a amplitude térmica a diferença entre as temperaturas máximas e mínimas (SILVEIRA; GAN, 2006).

Desta forma, “o amortecimento e o atraso da onda de calor são os responsáveis por diminuir e retardar, respectivamente, o fluxo de calor que penetra no componente, aquecendo-o internamente antes de atingir o ambiente interno” (BÜTTNER, 2008).

O desempenho térmico dos materiais depende também da parcela de radiação solar incidente, assim como das propriedades das superfícies atingidas, ou seja, da absorvância e da refletância à radiação solar e da emissividade (PERALTA, 2006; KABRE, 2009).

Para Szokolay (2004), “a absorvância à radiação solar (α) determina a fração da energia solar radiante absorvida e convertida em calor”, sendo função da cor da superfície (superfícies escuras apresentam valores elevados enquanto que claras ou metálicas brilhantes apresentam valores baixos). Desta forma, a absorvância à radiação solar é o “quociente da taxa de radiação solar absorvida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (NBR 15220) (ABNT, 2005a).

Segundo Peralta (2006), “a refletância à radiação solar (ρ) é responsável pela parcela da energia solar incidente em um corpo, e que é refletida por este sem que ocorra modificação da temperatura superficial”. Sendo o “quociente da taxa de radiação solar refletida por uma superfície pela taxa de radiação solar incidente sobre esta mesma superfície” (NBR 15220) (ABNT, 2005a).

Na Figura 1 mostram-se estas propriedades radiantes de alguns materiais utilizados na construção civil como, por exemplo, pinturas, concreto, madeira que absorvem grande parte da energia térmica de onda longa incidente e a irradiam novamente para o ambiente. A emissividade é uma propriedade superficial que dificulta a transferência de radiação infravermelha de onda longa, sendo o “quociente da taxa de radiação emitida por uma superfície pela taxa de radiação emitida por um corpo negro, à mesma temperatura” (NBR 15220) (ABNT, 2005a). Assim, materiais refletores, como as superfícies polidas, apresentam baixa emissividade e elevada reflexão, por exemplo, a folha de alumínio polida, apresenta baixa emissividade (0,05) e alta refletância à radiação de onda longa (mais de 0,9) ao mesmo tempo em que apresenta baixa absorptividade (entre 0,05 e 0,15) e alta refletividade à radiação de onda curta (entre 0,85 e 0,95).

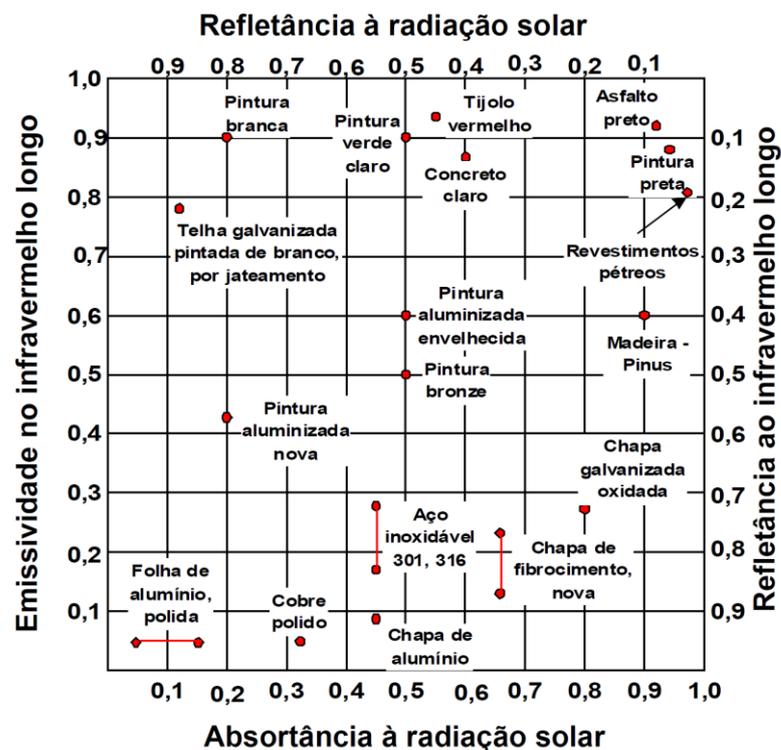


Figura 1 – Propriedades radiantes no espectro da radiação solar e do infravermelho de materiais de construção

Fonte: Vitorino; Sato; Akutsu (2003)

Segundo Incropera e DeWITT (1998), a emissividade dos materiais é devida às suas características superficiais, visto que, na maioria dos sólidos, a radiação emitida pelas moléculas do seu interior é absorvida pelas moléculas a elas adjacentes, sendo que apenas a energia emitida pelas moléculas localizadas a até $1\mu\text{m}$ da superfície do material é que deixa de fato o corpo. Assim sendo, na absorção/reflexão da radiação incidente, a parcela de

energia incidente que é absorvida fica contida nas camadas moleculares mais externas do material (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

Alves (1997) ressalta a importância do conhecimento das propriedades termo-físicas dos materiais que irão compor os componentes externos e internos, assim como dos isolantes, quando necessários.

2.2 CONFORTO TÉRMICO

Conforto térmico, segundo a norma número 55 da *American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE, 1992), é “um estado de espírito que reflete a satisfação com o ambiente térmico que envolve a pessoa”.

Alguns fatores que influenciam a sensação de conforto térmico, segundo Roriz (1987), são: a temperatura do ar; a temperatura superficial do fechamento; a umidade relativa do ar; a ventilação; a adaptação das pessoas ao clima; o tipo de roupa utilizado por elas; o metabolismo humano; dentre outros.

Os principais fatores do clima que influenciam o conforto humano, segundo Givoni (1981), são: a radiação solar; a radiação emitida pelas superfícies; a temperatura e umidade do ar; os ventos e as precipitações.

Quando alguns desses fatores são combinados de forma a trazer conforto ao indivíduo, então se diz que tais condições se situam em uma “zona de conforto”. Olgyay (1998) define “zona de conforto” como um estado em que o corpo mantém o equilíbrio biológico com o menor gasto possível de energia, possibilitando assim, que essa energia seja aproveitada, em sua maioria, para a produtividade. Nesse caso, deve-se modificar a edificação para que esta se adeque às necessidades de conforto dos indivíduos que irão utilizá-la, ou melhorá-la usando equipamentos climatizadores para se obter o conforto térmico desejado (OLGYAY, 1998).

2.3 TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM COBERTURAS

A radiação solar é um dos principais fatores que incidem sobre os elementos de fechamento, principalmente nas coberturas, pois estas ficam mais tempo expostas à radiação

solar, tendo grande responsabilidade pelo ganho de calor na edificação. As paredes são expostas à intensa radiação, porém, somente durante alguns períodos do dia (ALVES, 1997).

Segundo Givoni (1981), a radiação solar, ao incidir sobre uma superfície opaca, é absorvida ou é refletida. A parcela absorvida é emitida ou novamente irradiada sob a forma de radiação de onda longa (calor emitido).

De acordo com Cowan (1973), aproximadamente 87% do calor transferido pela cobertura aos ocupantes acontece por meio do processo de radiação, e somente 13% desse calor é transferido por condução e convecção (Figura 2).

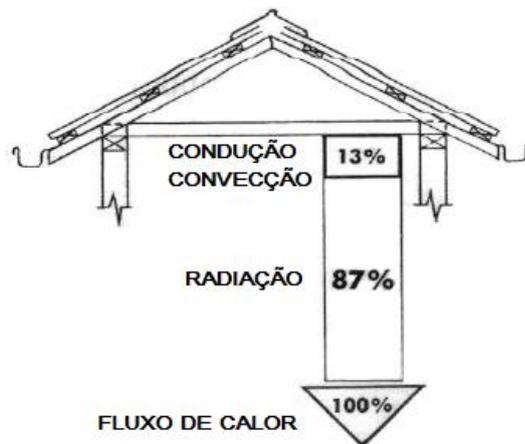


Figura 2 – Infográfico com as formas de transferência de calor da cobertura para o interior da edificação

Fonte: Cowan (1973)

A partir da análise térmica de coberturas de telhas de cerâmica, concreto e fibrocimento, Armelin e Cherry (2004) obtiveram resultados similares aos de Cowan (1973). Os resultados indicaram que a superfície da telha da cobertura atinge temperaturas acima de 60 °C e que a transferência de calor para o ambiente interno pelos processos de convecção e condução corresponde a 11% e por radiação a 89%.

Segundo Robinson (1966), a radiação que atinge a superfície da Terra após atravessar a atmosfera é dividida em três regiões: ultravioleta, visível e infravermelho.

Na região do ultravioleta (comprimentos de onda entre 0,29 e 0,38 μm) e do visível (0,38 a 0,78 μm) apenas uma parte do total absorvido é transformada em calor. Já na região do infravermelho (0,78 μm e 1,0 mm), este fenômeno ocorre com toda parcela absorvida.

Desta forma, a radiação solar, ao incidir na cobertura, transforma-se em energia radiante na faixa do espectro correspondente ao infravermelho sendo, portanto, responsável pelo maior ganho térmico e, conseqüentemente, elevando a temperatura do ambiente interno.

A condução é um processo pelo qual o calor flui de uma região de temperatura mais alta para outra de temperatura mais baixa, dentro de um meio (sólido, líquido ou gasoso) ou entre meios diferentes em contato físico direto (KREITH; BOHN, 1977). Para Rivero (1985) a condução é a transferência de calor entre dois corpos em contato e com diferentes temperaturas. Desta forma, a condução ocorre em um material sólido através da transferência do calor das moléculas mais quentes para as mais frias.

Já a convecção é um processo de transporte de energia em virtude da ação combinada da condução de calor, armazenamento de energia e movimento de massa (KREITH; BOHN, 1977). Segundo Givoni (1998), a convecção natural, causada pela diferença de temperatura, ocorre quando o ar, após entrar em contato com uma superfície aquecida, se expande e sobe. O ar, ao entrar em contato com uma superfície mais fria, perde calor e ocorre o processo inverso, ou seja, o ar é resfriado, fica mais denso e desce. Em superfícies horizontais, considera-se que o sentido do fluxo de ar pode ser ascendente ou descendente conforme a temperatura interna seja maior ou menor do que a externa.

Desta maneira, a radiação solar que incide na superfície das telhas as aquece. Uma parcela deste calor é perdida por convecção e irradiada para o ambiente externo e a outra parcela é absorvida pelas telhas e transferida ao espaço correspondente ao ático (câmara de ar existente entre o telhado e o forro, quando existente), por condução (MICHELS, 2007) (Figura 3).

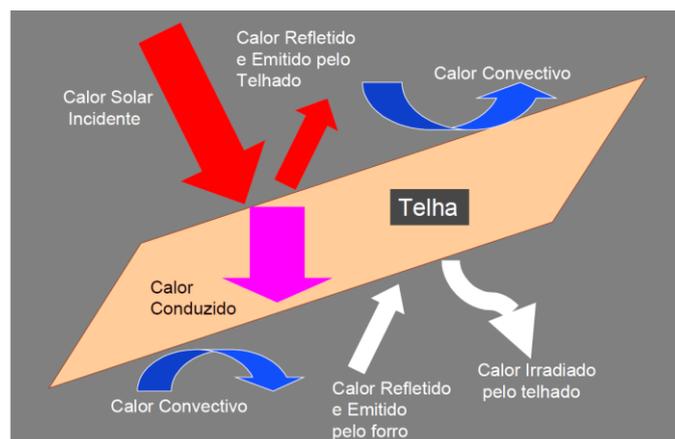


Figura 3 - Representação das trocas de calor em um telhado
Fonte: Vitorino; Sato; Akutsu (2003)

No interior do ático, o calor é transferido das telhas até a superfície do forro por convecção e radiação. O forro absorve parte deste calor e o transmite para o ambiente interno (MICHELS, 2007) (Figura 4).

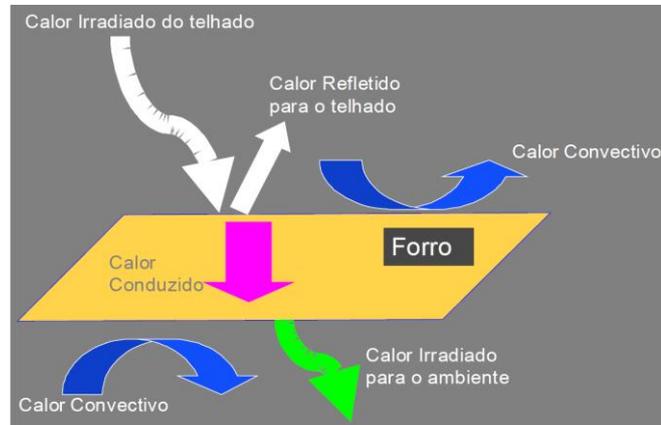


Figura 4 – Representação das trocas de calor em um forro
Fonte: Vitorino; Sato; Akutsu (2003)

O desempenho térmico das coberturas depende da parcela de radiação solar que é absorvida, assim como das propriedades dos elementos que compõem a cobertura, como a cor da superfície externa, o material da cobertura, a emissividade e a ventilação existente no ático.

2.4 ISOLANTES TÉRMICOS

A norma C 168 (ASTM, 2000) define isolante térmico como “um material com a finalidade de fornecer resistência à transferência de calor”. Assim, isolar termicamente é dificultar a transferência de calor entre dois sistemas que se encontram a níveis diferentes de temperatura (TORREIRA, 1980).

O isolamento térmico é formado por um material ou combinação de materiais, que retardam o fluxo de calor que atravessa o envelope da edificação por condução, convecção e/ou radiação (AL-HOMOUD, 2005), proporcionando melhores condições de conforto, reduzindo a temperatura interna e o consumo de energia nas instalações (MIRANVILLE; BOYER; GARDE, 2003).

Conforme Al-Homoud (2005), os isolantes térmicos usualmente são de três tipos:

- materiais inorgânicos: são os materiais fibrosos e celulares, formados por fibra de vidro e lã de rocha, silicato de cálcio e vermiculite;

- materiais orgânicos: também se dividem em dois, materiais fibrosos e celulares, formados por celulose, algodão, madeira, fibras sintéticas e poliestireno, poliuretano e outros polímeros;
- metálicos ou membranas refletivas: são as mantas formadas por um material de baixa emissividade.

A resistência térmica dos materiais orgânicos e inorgânicos conhecidos como resistivos ou isolantes térmicos convencionais se dá, principalmente, pela grande quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003). Algumas espumas podem conter ainda nos seus poros outros gases, com condutividade menor que a do ar, dificultando ainda mais a passagem do calor (DOE, 1991). Desta forma, os isolantes resistivos reduzem a transferência de calor por condução.

Tem-se como exemplo de materiais isolantes resistivos as mantas e painéis constituídos de fibras minerais ou fibras orgânicas flexíveis, as espumas plásticas rígidas de poliuretano ou poliestireno expandido, a vermiculita expandida ou perlita em grânulos e os flocos de lãs minerais (Figura 5).

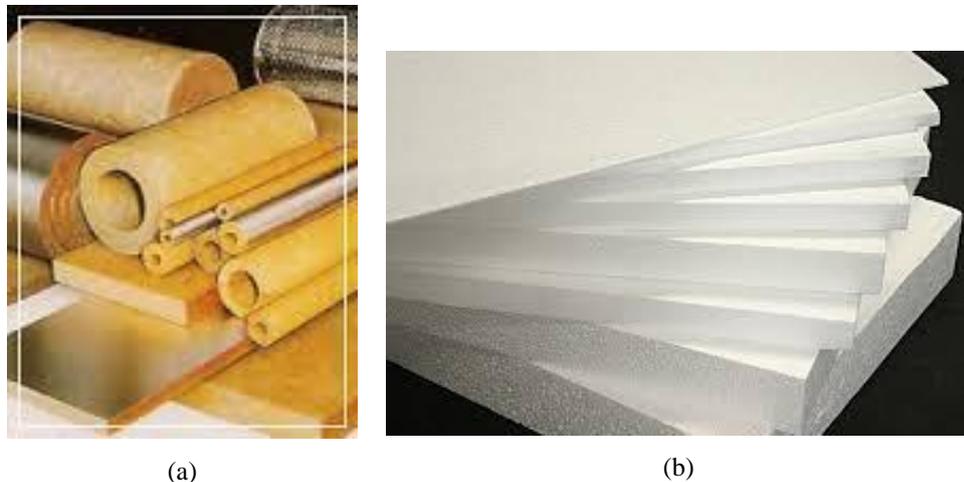


Figura 5 – Exemplos de isolantes resistivos (a) Fibras minerais e (b) Poliestireno expandido
Fonte: Heme isolantes (2016)

Os isolantes térmicos metálicos ou membranas refletivas reduzem os ganhos térmicos advindos da cobertura por serem formados por um material de baixa emissividade. São designados de isolantes térmicos reflexivos ou barreiras radiantes, pois dificultam a passagem de calor por radiação.

Desta forma, os isolantes térmicos reflexivos ou as barreiras radiantes dificultam a passagem do calor pelo emprego de materiais de baixa emissividade e alta reflexão da radiação incidente (DOE, 1991).

O material comumente utilizado nas barreiras radiantes é o alumínio polido, na forma de lâminas ou folhas muito finas, com espessura da ordem de 6 a 8 μm , por ser um material de alta refletividade e baixa emissividade (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003), (Figura 6).



Figura 6 – Barreiras radiantes (a) Foil simples ou 1 face aluminizada e (b) Foil dupla face ou 2 faces aluminizadas

Fonte: Heme isolantes (2016)

Os materiais de isolamento térmico utilizados sob o telhado diferem na maneira de reduzir o fluxo de calor: existem os que reduzem a transferência de calor por condução (isolantes resistivos) e os que reduzem a quantidade de energia térmica de onda longa cedida ao ambiente interno (isolantes reflexivos e barreiras radiantes) por radiação (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

2.4.1 Isolantes térmicos por radiação ou barreiras radiantes

As barreiras radiantes são materiais que, ao serem instaladas em edificações, reduzem os ganhos térmicos no verão e as perdas no inverno, uma vez que esses materiais reduzem a emissão da radiação de onda longa (DOE, 1991).

Segundo Fairey (1994), as barreiras radiantes são formadas por materiais de baixa emissividade, que dificultam a transferência de radiação infravermelha de onda longa através

de uma camada de ar, pela reflexão da radiação incidente e, ao mesmo tempo, pela baixa emissão de energia.

Medina (2000a) e Miranville, Boyer e Garde (2003) descrevem as barreiras radiantes como mantas finas metálicas, normalmente cobertas de alumínio, caracterizadas por possuir ao menos uma superfície de baixa emissividade ($\epsilon = 0,05$).

As barreiras radiantes, conhecidas como *foil*¹, normalmente são mantas finas e consistem de um material de baixa emissividade em uma ou ambas as faces, devendo ser posicionada no elemento construtivo voltada para um “ambiente”, que pode ser o espaço do ático, com ou sem ventilação, ou os recintos habitáveis (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

A lâmina ou a folha de alumínio, utilizada nas barreiras radiantes, aplicada em um ou nos dois lados da manta, apresenta baixa emissividade (0,05) e alta refletância à radiação de onda longa ($> 0,9$) ao mesmo tempo em que apresenta baixa absorvidade ($0,05 \leq \alpha \leq 0,15$) e alta refletividade à radiação de onda curta (entre 0,85 e 0,95). Para proporcionar resistência mecânica ao alumínio, é aplicado em conjunto com outro material, como o papel *kraft*², filmes plásticos ou papelão (Figura 7).

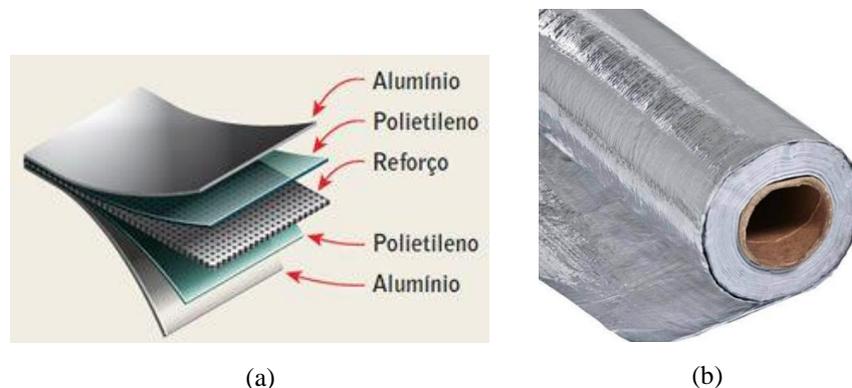


Figura 7 – (a) Composição da manta *foil* dupla face e (b) *Foil* dupla face
Fonte: Equipe de obra (2016)

¹ *Foil* é uma folha metálica, chapa ou lâmina delgada de metal.

² *Kraft* é o nome genérico dado a um conjunto de papéis, produzidos com celulose não branqueada. Papel *kraft* é um papel produzido a partir de uma mistura de fibras de celulose curtas e longas. Esta mescla de fibras confere resistência mecânica.

As barreiras radiantes são utilizadas para reduzir a transferência de calor por radiação infravermelha de onda longa entre as telhas e o forro ou laje, quando existente, em qualquer tipo de edificação: residencial, comercial e industrial. O bom desempenho de uma barreira radiante está associado a sua emissividade e refletividade. Quanto maior o poder de reflexão da radiação e menor o poder emissivo do material, melhor será a barreira radiante (MICHELS, 2007).

A barreira radiante pode ser instalada de duas maneiras diferentes nas edificações residenciais: horizontalmente sobre o forro ou laje ou fixada à estrutura do telhado, acompanhando a inclinação deste. Em testes realizados por DOE (1991), foi comprovado um acréscimo na temperatura das telhas em média de 1 °C a 5 °C com a presença da barreira radiante fixada nos caibros. Ao instalar a barreira radiante horizontalmente sobre a laje, a temperatura das telhas reduziu-se em aproximadamente 1 °C.

2.4.2 Utilização das embalagens cartonadas como material isolante

As embalagens cartonadas são constituídas por 75% de papelão, que confere resistência, 20% de polietileno, que evita o contato com o alimento e o protege da umidade e 5% de alumínio, que evita a passagem de oxigênio, luz e microrganismos (KRÜGER; SUETAKE; ADRIAZOLA, 2005), distribuídas em camadas de acordo com a Figura 8.

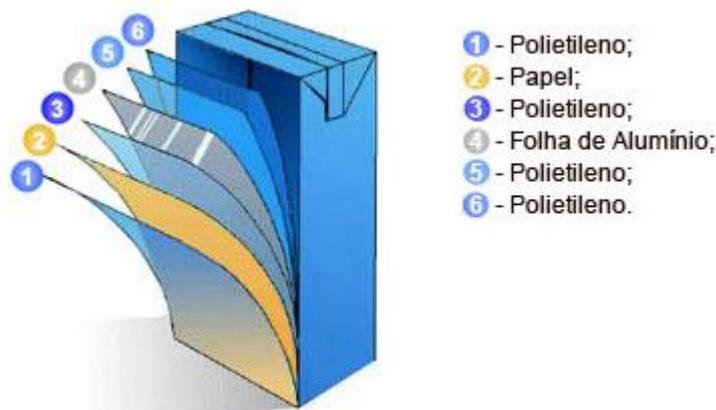


Figura 8 – Estrutura das embalagens cartonadas
Fonte: Embalagem Sustentável (2016)

As embalagens cartonadas foram criadas por Ruben Rausing, fundador da empresa *Tetra Pak*[®]. A sua comercialização iniciou-se em 1952, na Suécia, e desde então tem aumentado por todo o mundo. A *Tetra Pak*[®] possui duas fábricas de embalagens no Brasil. A

primeira fábrica foi inaugurada em 1978, na cidade de Monte Mor (SP), e a segunda em 1999, em Ponta Grossa (PR). Outra empresa que fabrica embalagens cartonadas é a *Swiss Industrial Company* (SIG) com sede na Suíça e, em 2011 inaugurou a primeira unidade fabril em Campo Largo (PR).

No Brasil, o uso de embalagens cartonadas iniciou-se em 1957 e com grande aceitação, pois tornou possível o transporte de produtos perecíveis em longas distâncias. Hoje, é o segundo mercado global e o maior produtor de leite UHT (*ultra high temperature*) em embalagem cartonada asséptica (SIG, 2016).

Apesar de as embalagens cartonadas serem 100% recicláveis, o processo não depende somente de tecnologias, depende principalmente da consciência de cada cidadão em separar o lixo e também da coleta seletiva de cada município. A reutilização das embalagens cartonadas, que poderiam se tornar lixo, pode-se dar a partir de seu uso como isolante térmico para edificações, graças à sua camada de alumínio.

O aproveitamento destas embalagens para isolamento térmico de coberturas em moradias traz importante benefício ambiental, como redução de volume nos aterros sanitários, economia de energia pela menor necessidade do uso de ar condicionado e de ventiladores e a vantagem social, por criar atividades simples para qualquer idade (SCHMUTZLER, 2001).

No Brasil, o projeto Forro Vida Longa, conduzido por Schmutzler (2001), incentivou o aproveitamento das embalagens longa vida de suco e leite como subcobertura e persianas em janelas, explorando as propriedades do alumínio contido nestas embalagens. Para verificar o desempenho térmico deste material, foi construída uma bancada de testes, que apresentou dois compartimentos cobertos com telhas de fibrocimento que foram aquecidas por lâmpadas que produzem radiação infravermelha. Um dos compartimentos permaneceu apenas com a cobertura de fibrocimento e o outro recebeu a manta, deixando uma camada mínima de 2 cm de ar entre a barreira radiante e as telhas. Os resultados mostraram que a manta formada pelas embalagens de suco e/ou de leite e utilizada com a face aluminizada voltada para baixo é ligeiramente melhor do que com a face aluminizada voltada para cima, com uma pequena vantagem sobre algumas mantas encontradas no mercado.

Krüger, Suetake e Adriazola (2006), avaliaram o desempenho térmico de coberturas de fibrocimento sem forro e com a utilização de mantas isolantes constituídas de embalagens *Tetra Pak*[®] abertas (com a face aluminizada voltada para cima ou para baixo); com mantas do tipo *foil*; e com placas de 50 mm de *Isopor*[®], por meio de monitoramento térmico realizado em três células-teste de 1,0 m³ de volume: de paredes em tijolo cerâmico, em blocos de concreto celular autoclavado e em blocos de concreto comum, vazados.

Observou-se que ocorreram as menores diferenças entre temperaturas máximas com o uso do *foil*, ou seja, maior amortecimento do calor e maiores diferenças entre temperaturas mínimas com o uso do *Isopor*[®], ou seja, maior amortecimento do frio.

Em geral, notou-se que a cobertura com a manta de *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a telha apresentou melhores resultados no controle das mínimas diárias, isto é, no amortecimento do frio. No caso, o calor armazenado no protótipo ficou retido em seu interior.

Os resultados da manta de *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do protótipo se aproximaram dos obtidos com a manta de *foil* dupla face, ou seja, amortecimento do calor.

O uso da manta *Tetra Pak*[®] como material seletivo, definida a função da cobertura (segundo o rigor do clima local: se para amortecimento do frio ou do calor), pode ser uma alternativa de baixíssimo custo e ecologicamente saudável como medida passiva (KRÜGER, SUETAKE, ADRIAZOLA, 2006).

A pesquisa realizada por Michels (2007) na cidade de Florianópolis (SC) analisou a eficiência de alguns tipos de barreiras radiantes encontradas no mercado da construção civil, bem como a análise da eficiência energética de mantas formadas pela união das embalagens *Tetra Pak*[®], *in loco* e em laboratório. As medições *in loco* foram realizadas na cobertura de uma residência, onde foram monitorados o fluxo de calor, as temperaturas superficiais da telha e do forro, assim como as temperaturas interna e externa. Os experimentos laboratoriais foram realizados em um equipamento que simula as resistências térmicas de uma cobertura real desenvolvido por Güths e Paghi (2004) e o fluxo de calor foi monitorado por um transdutor a gradiente tangencial, com dimensões de 100 mm x 100 mm. Ainda foi analisada a influência do depósito de poeira sobre a face aluminizada da barreira radiante.

Nas medições realizadas na cobertura de uma residência, nos meses de fevereiro, maio e julho, foram analisadas oito seções com diferentes configurações: seção 1: sem manta com telha esmaltada cerâmica na cor avermelhada; seção 2: alumínio de cozinha com telha esmaltada cerâmica na cor avermelhada; seção 3: lona plástica preta com telha esmaltada cerâmica na cor avermelhada; seção 4: manta dupla face aluminizada com substrato acartonado (0,5 mm de espessura) com telha esmaltada cerâmica na cor avermelhada; seção 5: manta com uma face aluminizada com substrato polietileno expandido (2 mm de espessura) com telha esmaltada cerâmica na cor avermelhada; seção 6: manta formada pelas embalagens *Tetra Pak*[®] com telha esmaltada cerâmica na cor avermelhada; seção 7: sem manta até junho e com folha de *Isopor*[®] a partir de julho e com telha cerâmica porosa – cor alaranjada até junho

e cerâmicas esmaltadas a partir de julho; seção 8: sem manta com telha esmaltada cerâmica na cor branca. Para o mês de fevereiro houve redução do fluxo de calor para todas as amostras analisadas, sendo que o melhor desempenho ocorreu para a seção 4 (manta dupla face aluminizada com substrato acartonado - 0,5 mm de espessura, com telha esmaltada cerâmica na cor avermelhada) reduzindo em torno de 72,7% a passagem de calor para o interior da residência. As medições também mostraram que algumas barreiras radiantes não são tão eficazes, como o caso da amostra da seção 5 (manta com uma face aluminizada com substrato polietileno expandido), que obteve um desempenho térmico pior do que a amostra da seção 4 (manta dupla face aluminizada com substrato acartonado) e da seção 6 (manta formada pelas embalagens longa vida), diminuindo 35,57% a passagem do calor do telhado até a superfície do forro.

Para os períodos analisados nesta pesquisa, as seções 2 (alumínio de cozinha) e 4 (manta dupla face aluminizada com substrato acartonado) obtiveram a melhor eficiência em relação às demais seções em função de possuírem baixa emissividade nas superfícies. Também foi verificado que a seção 5 (manta com uma face) apresentou menor eficiência do que a seção 6 (embalagens *Tetra Pak*[®]), mostrando que existem mantas comercializadas que não possuem a eficiência garantida.

A pesquisa mostrou ainda que a eficiência para o período de perda de energia dos períodos analisados tendeu a ser menor do que a eficiência para o horário de ganho de energia, ou seja, a eficiência apresentou melhores resultados com a presença da radiação solar, pois aumentou a diferença de temperatura entre as telhas e o forro. A presença da barreira radiante dificultou tanto os ganhos de calor durante os dias quentes e ensolarados quanto às perdas térmicas durante o período noturno, nos dias frios ou com muita nebulosidade.

Nos experimentos laboratoriais para análise da eficiência das barreiras radiantes, foram analisadas dezoito (18) mantas encontradas no mercado da construção civil de Florianópolis e duas (2) foram confeccionadas com a união das embalagens *Tetra Pak*[®], as quais foram costuradas umas as outras até formarem mantas de 1 m², assim descritas: A: alumínio de cozinha (0,1 mm de espessura); B: lona plástica preta (0,2 mm de espessura); C: polímero aluminizado com camada de polietileno (1,2 mm de espessura); D: polímero aluminizado com camada de polietileno (2,0 mm de espessura); E: polímero aluminizado com camada de polietileno mais uma camada de polímero aluminizado (2,2 mm de espessura); F: polímero aluminizado com camada de polietileno (5,5 mm de espessura); G: polímero aluminizado com camada de polietileno mais uma camada de polímero aluminizado (5,1 mm

de espessura); H: polímero aluminizado com camada de plástico bolha (3,0 mm de espessura); I: folha de alumínio com papel *kraft* (0,4 mm de espessura); J: Folha de alumínio com papel *kraft* mais uma folha de alumínio (0,1 mm de espessura); K: alumínio com uma malha de reforço de poliuretano (0,1 mm de espessura); L: polímero de alumínio com polietileno de 2 mm (2,1 mm de espessura); M: polímero de alumínio com polietileno (4,1 mm de espessura); N: folha de alumínio com tela plástica mais uma folha de alumínio (0,2 mm de espessura); O: papel de alumínio com papel *kraft* (0,1 mm de espessura); P: alumínio com reforço (0,1 mm de espessura); Q: alumínio com reforço mais uma camada de alumínio (0,1 mm de espessura); R: manta *Tetra Pak*[®] com a camada de polietileno (0,9 mm de espessura); S: manta *Tetra Pak*[®] sem a camada de polietileno (0,6 mm de espessura); T: folha de *Isopor*[®] (10 mm de espessura).

A eficiência das barreiras radiantes variou entre 62% e 88%, evidenciando uma grande diferença no desempenho térmico destas. Em relação às mantas R e S (embalagens *Tetra Pak*[®]), observou-se que a camada de polietileno aderida à face aluminizada elevou a emissividade do sistema. Com a camada de polietileno a emissividade foi estimada em 0,23 e sem esta camada a emissividade foi 0,04, mostrando que a camada de polietileno sobre a face aluminizada da barreira radiante prejudica o seu desempenho.

Em relação à análise da influência do depósito de poeira sobre a face aluminizada da barreira radiante observou-se que conforme o nível de poeira aumentava, maior era o fluxo de calor que atravessava o dispositivo experimental e, conseqüentemente a eficiência da barreira radiante diminuiu. Este fato deve-se ao aumento da emissividade da superfície da barreira radiante, pois a poeira ($\epsilon = 0,9$) recobre a face aluminizada, aumentando as trocas de calor no sistema da cobertura. A barreira radiante com 0% poeira alcançou uma eficiência de 88%. A manta com 25% de poeira atingiu uma eficiência de 75%. Na amostra com a poeira recobrindo 58% da superfície da manta, e a eficiência alcançou 61%. A eficiência da manta com 87% de poeira foi muito parecida com a eficiência de uma barreira radiante que recebeu tinta preta sobre a sua superfície, verificou-se uma redução na eficiência de 38%. Desta forma, quanto maior a quantidade de poeira sobre a barreira radiante, maior será a passagem do fluxo de calor para o interior da edificação e menor será a eficiência da barreira radiante.

Lamberts (1983) analisou o desempenho térmico de coberturas leves com ático, na cidade de Porto Alegre (RS). Para isso, foi construída uma sala (3,50 m x 2,10 m), coberta por duas coberturas de telhas cerâmicas, de dimensões de 1,13 m x 2,64 m cada uma. Uma foi mantida como padrão para a realização de comparações. As paredes receberam uma camada de terra de 1,3 m de altura, exceto na parede norte, devido à presença de uma porta, a fim de

reduzir as trocas de calor nestas superfícies. Foram realizados quatro testes na bancada: o primeiro com ambos os telhados iguais, para averiguar a igualdade das duas coberturas. O segundo teste foi realizado com a telha cerâmica e uma folha de alumínio sob estas. No terceiro teste, a lâmina de alumínio permaneceu na cobertura e as telhas foram pintadas de branco. Para a execução do quarto teste, a folha de alumínio foi retirada e as telhas brancas foram mantidas. Os testes foram comparados com o telhado considerado padrão. Em todas estas etapas, foram medidas a temperatura, a velocidade e direção do ar, a radiação solar e peso úmido da telha. Os resultados mostraram que o melhor desempenho térmico ocorreu com o teste 3 (folha de alumínio + pintura branca nas telhas), seguido do teste 2 (somente folha de alumínio) e em ultimo lugar ficou o teste 4 (somente pintura branca nas telhas). O teste 3 foi o que apresentou melhor desempenho em função da baixa emissividade da telha e devido à baixa absorvidade das telhas pintadas de branco.

Para medir as temperaturas do interior de habitações na Colômbia, Gonzalez, Roldan e Suarez (2005) utilizaram sensores *HOBO*[®] que permitiram a obtenção de dados para a comparação de três residências iguais, com cobertura de fibrocimento, e com diferentes materiais isolantes. Uma residência recebeu uma pintura seletiva (base de alumínio), outra recebeu uma manta aluminizada e a última recebeu isolamento de fibra de vidro. As comparações foram realizadas com outra residência, igual às outras, porém sem nenhum tipo de isolante térmico. A residência que obteve a temperatura interna mais baixa, tanto durante o dia quanto a noite, foi a que recebeu a folha de alumínio, seguida pela que recebeu fibra de vidro. As temperaturas das superfícies internas (paredes) também foram monitoradas e a residência que recebeu a manta aluminizada foi a que mostrou as mais baixas temperaturas superficiais, seguida pela que recebeu fibra de vidro.

Vittorino, Sato e Akutsu (2003), no estado de São Paulo, analisaram a principal propriedade de uma barreira radiante, a baixa emissividade. Para quantificar o desempenho térmico das barreiras radiantes em coberturas, considerou-se a redução nas trocas térmicas por radiação que ocorrem entre o telhado e o ambiente com a aplicação deste produto em uma cobertura sem forro. Desta forma, foram adotados os valores para as temperaturas e para as emissividades superficiais do sistema. Os resultados mostraram que, com a aplicação de uma manta com alta emissividade, reduziu-se em 50% o fluxo de calor para o interior da edificação. Com o uso da barreira radiante com uma face aluminizada, a redução no fluxo de calor atingiu 85%. O maior desempenho térmico ocorreu ao utilizar a barreira radiante com as duas superfícies aluminizada, diminuindo em 91% o fluxo de calor. Para verificar a influência do depósito de poeira na superfície de baixa emissividade, instalou-se uma barreira radiante

com uma superfície de emissividade de 0,12 em uma cobertura e o sistema permaneceu exposto as condições naturais durante sete meses. Após este período foi constatado que o valor da emissividade passou para 0,40, um acréscimo de 0,28. Por esta razão, houve um aumento na transferência de calor do telhado para o ambiente interno da edificação. Os autores sugerem que a barreira radiante deve ser instalada com a face aluminizada voltada para baixo, para evitar o depósito de poeira. Outros fatores que podem aumentar a emissividade da barreira radiante é a presença de umidade por períodos longos e uma camada de polietileno sobre a superfície aluminizada. Os autores salientam ainda a importância da correta instalação da barreira radiante.

2.5 GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO

A origem da palavra guarita vem do “francês *garite*, atualmente *guérite*, refúgio, provavelmente derivado de *se garer*, refugiar-se. Originalmente designou torre construída nos ângulos dos baluartes, que servia como abrigo dos sentinelas” (SILVA, 2014).

As guaritas são pequenas casas ou cabines, fixas ou portáteis, geralmente localizadas em pontos estratégicos, para o monitoramento da entrada e saída de pessoas em um ambiente com tráfego constante, que servem de abrigo a guardas, sentinelas e outros vigias (Figura 9).



(a)



(b)

Figura 9 – (a) Guarita simples posicionada num estacionamento de um conjunto comercial e (b) Guarita dupla posicionada numa bifurcação de ruas para segurança do bairro
Fonte: Autoria própria (2016)

As guaritas de fibra de vidro ou *fiberglass*, plásticos reforçados com fibra de vidro e materiais compostos, possuem como características (JAIGOBIND; AMARAL; JAISINGH, 2007):

- alta resistência mecânica;
- resistência à tração superior a quase todos os metais;
- boa resistência ao impacto;
- baixa absorção de água;
- baixo coeficiente de dilatação térmica;
- excelentes propriedades elétricas;
- fácil moldagem das peças;
- baixo custo;
- incombustibilidade.

A fibra de vidro, por ser maleável, possibilita a produção de peças com grande variedade de formatos e tamanhos, tais como: placas para montagem de circuitos eletrônicos, cascos e hélices de barcos, fuselagens de aviões, depósitos de água, piscinas, pranchas de *surf*, carrocerias de automóveis. Na construção civil, banheiros químicos e em muitas outras aplicações, em especial, as guaritas de fibra de vidro.

No Brasil, muitos estabelecimentos comerciais e residenciais optam por guaritas de fibra de vidro, por ser um produto de fácil aquisição (curto prazo de entrega e menor dispêndio financeiro se comparado com a construção de uma guarita fixa), por ser leve e de fácil deslocamento e podem ser reutilizadas em outras obras e/ou serviços.

A escolha de métodos de construção, o conceito e disposição de formas e espaços, a procura do funcional e do seguro marcaram a evolução das construções, caracterizada pelo seu tipo, finalidade e utilidade para suprir os requisitos de maneira adequada e economicamente viável (SOUZA; FONTANELLA, 2011).

São comercializadas em diferentes modelos: guaritas simples, dupla, com ou sem banheiro, e com ou sem tratamento térmico e acústico. As guaritas simples possuem um acabamento externo liso com 3 mm de espessura e pintura na cor branca ou cinza. Normalmente com 1,20 m de largura por 1,20 m de comprimento, 2,20 m de altura e, aproximadamente, 80 kg. Possuem quatro janelas, sendo duas fixas e uma tipo guilhotina, todas com 0,77 m de largura por 0,87 m de altura e uma janela fixa na porta de 0,40 m de largura por 0,67 m de altura. Os vidros são temperados de 3,0 mm. São comercializadas com instalação elétrica com tomada, interruptor e soquete para lâmpada (Figura 10).



Figura 10 – Guarita simples de fibra de vidro na cor branca
Fonte: Aatoria própria (2016)

As guaritas servem de abrigo para seguranças, sendo seu local de trabalho. Segundo Souza e Fontanella (2011) “existe relação direta da qualidade e da produtividade com o ambiente”. Desta forma, é fundamental um ambiente que ofereça conforto e condições de trabalho para o desempenho das suas funções.

A Norma Regulamentadora NR 17 (MINISTÉRIO..., 2016), tem como objetivo estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

Nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, tais como: salas de controle, laboratórios, escritórios, salas de desenvolvimento de projetos ou análise de projetos, dentre outros são recomendadas as seguintes condições de conforto (NR 17, p. 2) (MINISTÉRIO..., 2016):

- níveis de ruído de acordo com os estabelecidos na NBR 10152 (ABNT, 1987) norma brasileira registrada no INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia);
- índice de temperatura efetiva entre 20 °C e 23 °C;
- velocidade do ar não superior a 0,75m/s;
- umidade relativa do ar não inferior a 40%.

As guaritas ficam expostas as condições climáticas, interferindo diretamente nas condições de conforto, ou seja, na qualidade das atividades dos vigilantes. Como forma de proteção contra intempéries são realizadas adaptações na cobertura das guaritas de fibra de vidro, conforme observa-se na Figura 11.



Figura 11 – Exemplos de adaptações na cobertura nas guaritas de fibra de vidro (a) no estacionamento de um shopping (Mercadoteka) e (b) no estacionamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fonte: Autoria própria (2017)

Nota-se a necessidade de um estudo para adequar as guaritas de fibra de vidro para as reais necessidades dos vigilantes para o desempenho das suas funções.

3 METODOLOGIA

Os procedimentos metodológicos referentes às análises de desempenho térmico de mantas isolantes foram divididos em duas fases. A primeira fase, realizada no período de transição outono-inverno, compreendeu a comparação das temperaturas do ar e superficiais. Na segunda fase, realizada no período de transição primavera-verão, foi destinada a medição do fluxo de calor, das temperaturas superficiais da parede e da janela leste e da parede sul e uma comparação das temperaturas do ar e superficiais. Nas duas fases foram realizadas a padronização dos equipamentos e a escolha dos períodos de análise. Para isso duas condições básicas foram atendidas: definição da posição das guaritas e da estação meteorológica e a padronização das guaritas.

3.1 EQUIPAMENTOS

As variáveis climáticas, como a temperatura e umidade do ar, a temperatura superficial, a velocidade dos ventos e a radiação solar foram obtidas de acordo com a norma ISO 7726 (1998), que dispõe sobre os instrumentos para a medição.

A estação meteorológica da marca *HOBO*[®], modelo H21-001 (Figura 12), pode ser programada para coletar dados em intervalos regulares (de 1 segundo a 18 horas), tem espaço para 10 sensores e utiliza quatro baterias alcalinas padrão AA, sendo possível programar a data e a hora do início e término da gravação dos dados, com o software *HOBO Ware*[®].

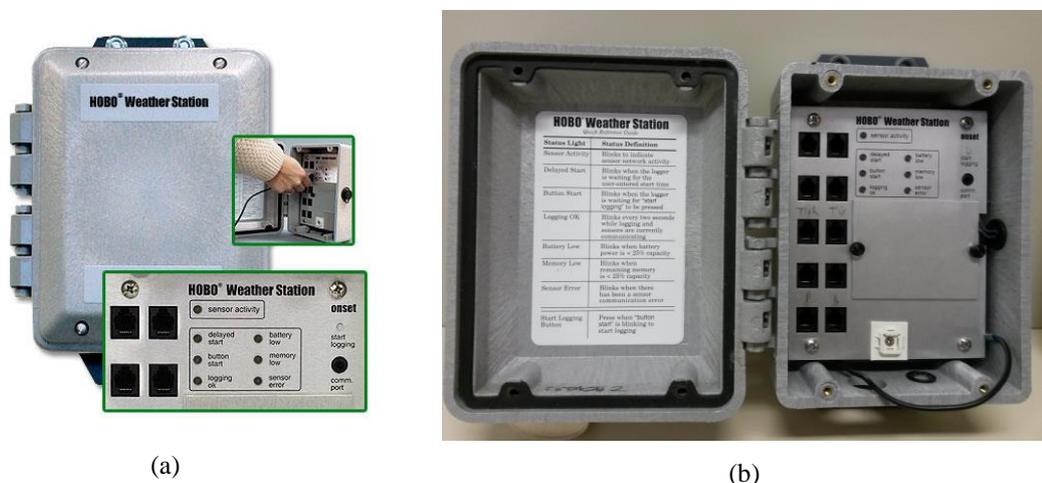


Figura 12 – (a) Estação meteorológica *HOBO*[®] (H21-001) e (b) uso interno da estação meteorológica
Fonte: Onset Computer Corporation (2016)

Foram utilizadas duas estações meteorológicas, uma para medição dos dados externos referenciais e a outra como uma estação medidora de dados posicionada na guarita controle.

Uma das estações meteorológicas, a estação meteorológica externa - referencial, foi acoplada a um tripé e equipada com três sensores: um anemômetro que capta a velocidade do vento, um sensor de radiação solar (piranômetro de silício), e um sensor de temperatura e umidade do ar, para coleta de dados externos referenciais (Figura 13).



Figura 13 – Estação meteorológica externa - referencial
Fonte: Autoria própria.

No Quadro 1, estão descritos os instrumentos de medição: o anemômetro, o piranômetro, os sensores de temperatura e umidade do ar para coleta dos dados externos e o escudo de radiação para proteção do sensor de temperatura.

	<p>Sensor de velocidade do vento (S-WCA-003)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: 0 a 44 m/s - Precisão: $\pm 0,5$ m/s ($0 \pm 1,1$ mph) - Resolução: 0,19 m/s
	<p>Piranômetro de silício 9S (LIB-M003)</p> <p>Mede a radiação solar considerando-se a faixa espectral de 300 a 1000 nm.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: 0 a 1280 W/m² - Precisão: $\pm 10,0$ W/m² ou $\pm 5\%$
	<p>Sensor de temperatura do ar e umidade 12-Bit (S-THB-M002)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: - 40 °C a 75 °C (Ta); e 0 a 100% (UR). - Precisão: $< \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ Ta e $\pm 2,5\%$ (UR)
	<p>Escudo de radiação solar (RS3)</p> <p>Para proteger os sensores externos da radiação solar e da chuva.</p>

Quadro 1 – Instrumentos de Medição
Fonte: Sigma Sensors (2016)

Na guarita controle foi utilizada uma segunda estação meteorológica *HOBO*[®] (estação medidora de dados) equipada com dois sensores de temperatura 12 Bit (S-TMB-M002), conforme o Quadro 2, e um sensor de temperatura e umidade 12 Bit (S-THB-M002), o mesmo utilizado na estação meteorológica externa - referencial.

	<p>Sensor de temperatura 12-Bit (S-TMB-M002)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: -40 °C a 100 °C - Precisão: <math>< \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}</math> (0 °C a 50 °C)
---	---

Quadro 2 – Sensor de temperatura 12-Bit (S-TMB-M002)

Fonte: Sigma Sensors (2016)

A estação meteorológica (estação medidora de dados) da guarita controle foi fixada na parte inferior de uma bancada, que serve de apoio para os vigias. O sensor de temperatura e umidade (S-THB-M002) foi instalado no interior de um escudo de radiação solar no centro geométrico da guarita controle para medir a temperatura do ar e os outros dois sensores de temperaturas (S-TMB-M002) foram instalados na superfície da cobertura na parte interna e na parte externa (Figura 14), para medirem as temperaturas superficiais.

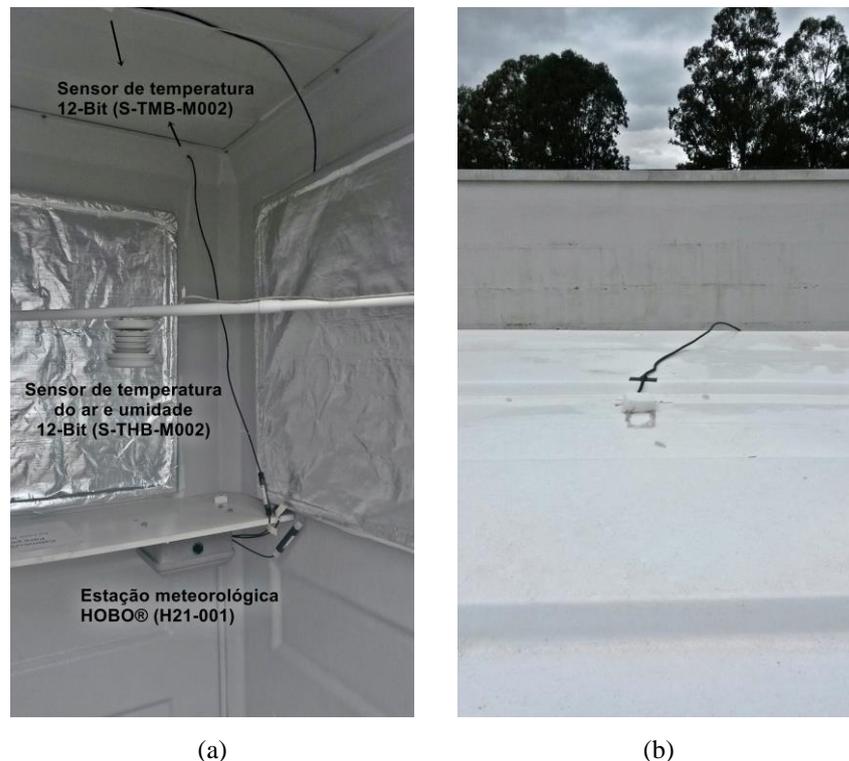


Figura 14 – Em (a) posição dos sensores e da estação meteorológica no interior da guarita controle e (b) posição do sensor na cobertura da guarita controle

Fonte: Autoria própria

Na guarita experimental, foi utilizado um sensor de temperatura *HOBO*[®] Pro v2 *logger* (U23-004) e um escudo de radiação solar, conforme Quadro 3, e um registrador eletrônico *LogBox* – DA – *Novus* de temperatura e umidade relativa (Quadro 4).

	<p>Sensor de temperatura <i>HOBO</i>[®] Pro v2 <i>logger</i> (U23-004)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Intervalo de medição: - 40°C a 100 °C - Precisão: < ± 0,2 °C (0 °C a 50 °C)
	<p>Escudo de radiação solar (RS1)</p> <p>Para proteger os sensores externos da radiação solar e da chuva.</p> <p>Altura: 152 mm; Largura: 210 mm; Profundidade: 187 mm.</p>

Quadro 3 – Sensor de temperatura e escudo de radiação solar utilizados na guarita experimental
Fonte: Sigma Sensors (2016)

	<p>Registrador Eletrônico <i>Logbox</i> – DA - <i>Novus</i> de Temperatura e Umidade Relativa</p> <ul style="list-style-type: none"> - Início de aquisições imediato, em data/hora programável, pelo botão, por entrada digital ou via Palm. - Repetição diária das aquisições. - Comunicação por Infravermelho a distâncias até 50 cm. - Intervalo entre registros: programável de 1s a 18 dias. - Intervalo de medição: - 40 °C a 70 °C. - Dimensões: (70 x 60 x 35) mm.
--	--

Quadro 4 – Registrador eletrônico *Logbox* – DA - *Novus* de temperatura e umidade relativa
Fonte: Novus (2016)

O sensor *HOBO*[®] Pro v2 *logger* foi instalado na superfície da manta para medir a temperatura superficial interna. O registrador eletrônico *Novus* foi instalado no interior de um escudo de radiação solar no centro geométrico da guarita experimental para medir a temperatura do ar (Figura 15).



Figura 15 – Posição dos sensores no interior da guarita experimental
Fonte: Autoria própria

3.2 PADRONIZAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Partindo da premissa que os valores da estação meteorológica estavam corretos, a estação meteorológica da guarita controle com os sensores *HOBO*[®] Pro v2 *logger* e o registrador eletrônico *Logbox – Novus* da guarita experimental foram acoplados ao tripé da estação meteorológica externa – referencial, para verificar a confiabilidade do valor medido.

Para a padronização dos valores medidos encontrou-se o erro médio absoluto (em módulo) para cada sensor. Uma equação de ajuste via regressão linear simples (Figura 16) foi aplicada a cada sensor de forma a se ter uma resposta padronizada à estação meteorológica externa (referencial). Por exemplo, na temperatura medida para o registrador eletrônico – *Novus* o erro médio absoluto encontrado foi 0,65 °C. Após aplicação da equação de ajuste via regressão linear, zerou-se o erro médio absoluto, a partir da equação seguinte:

$$T(\text{ajustada}) = 0,9699 * T(\text{medida}) - 0,0939 \quad (1)$$

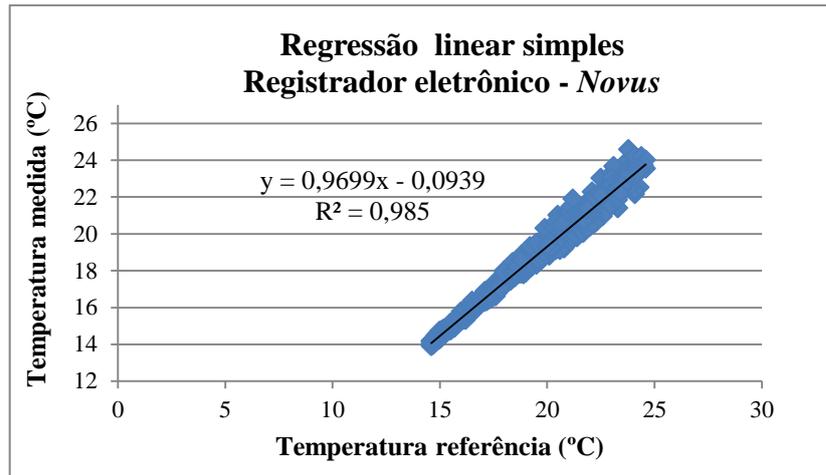


Figura 16 – Regressão linear simples para o registrador eletrônico - Novus
Fonte: Autoria própria

Assim, foram realizadas padronizações dos equipamentos nos dois períodos de medições: período de transição outono-inverno e primavera-verão.

3.2.1 Primeira fase: Período de transição outono-inverno

Foram realizadas medições entre os dias 15 e 21 de abril de 2016. Verificou-se a necessidade de padronização de alguns sensores, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1 – Padronização dos Equipamentos para o período de transição outono-inverno

Equipamentos	Erro médio (°C)	Equação de ajuste (Regressão linear simples)	Erro médio pós-padronização (°C)
Sensor de temperatura 12-Bit (Temp. superficial interna – guarita ctrl)	0,05	$T(\text{ajustada}) = 1,0182 * T(\text{medida}) - 0,4685$	0,01
Sensor de temperatura 12-Bit (Temp. superficial externa - guarita ctrl)	0,07	$T(\text{ajustada}) = 1,012 * T(\text{medida}) - 0,3380$	0,01
Sensor de temperatura e umidade 12-Bit (Temp. interna – guarita ctrl)	0,20	$T(\text{ajustada}) = 0,9833 * T(\text{medida}) + 0,6041$	0,01
<i>HOBO® Pro v2 logger</i> (Temp. superficial interna – guarita exp)	0,00	-----	-----
Registrador Eletrônico <i>Logbox – Novus</i> (Temp. interna – guarita exp)	0,65	$T(\text{ajustada}) = 0,9699 * T(\text{medida}) - 0,0939$	0,00

Fonte: Autoria própria.

Desta maneira, foram padronizados os seguintes equipamentos para as medições do período de transição outono-inverno: os sensores de temperatura superficial interna e externa,

o sensor de temperatura do ar utilizado na guarita controle e o sensor de temperatura do ar utilizado na guarita experimental.

3.2.2 Segunda fase: Período de transição primavera-verão

As medições foram realizadas entre os dias 06 e 07 de fevereiro de 2017. Verificou-se a necessidade de padronização de alguns sensores, conforme descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Padronização dos Equipamentos para o período de transição primavera-verão

Equipamentos	Erro médio (°C)	Equação de ajuste (Regressão linear simples)	Erro médio pós-padronização (°C)
Sensor de temperatura 12-Bit (Temp. superficial interna – guarita ctrl)	0,00	-----	-----
Sensor de temperatura 12-Bit (Temp. superficial externa - guarita ctrl)	0,05	$T(\text{ajustada}) = 1,0072 * T(\text{medida}) - 0,1744$	0,04
Sensor de temperatura e umidade 12-Bit (Temp. interna – guarita ctrl)	0,24	$T(\text{ajustada}) = 1,0271 * T(\text{medida}) + 0,3709$	0,00
<i>HOBO</i> [®] Pro v2 <i>logger</i> (Temp. superficial interna – guarita exp)	0,07	$T(\text{ajustada}) = 0,9537 * T(\text{medida}) + 1,1509$	0,03
Registrador Eletrônico <i>Logbox – Novus</i> (Temp. interna – guarita exp)	0,51	$T(\text{ajustada}) = 0,9928 * T(\text{medida}) - 0,3309$	0,00

Fonte: Autoria própria.

Assim, para as medições do período de transição primavera-verão foram padronizados os seguintes equipamentos: os sensores de temperatura superficial externa, o sensor de temperatura do ar utilizado na guarita controle e os sensores da temperatura superficial e do ar utilizados na guarita experimental.

3.3 GUARITAS DE FIBRA DE VIDRO

Para avaliar o desempenho térmico proporcionado pelo uso de materiais isolantes, foram realizadas medições das condições térmicas internas em guaritas de fibra de vidro. Foram utilizadas duas guaritas do tipo simples de fibra de vidro, com 2,20 m de altura, 1,20 m

de largura e 1,20 m de comprimento (Figura 17), sem banheiro, na cor branca, as quais foram adquiridas para a pesquisa diretamente do fabricante.

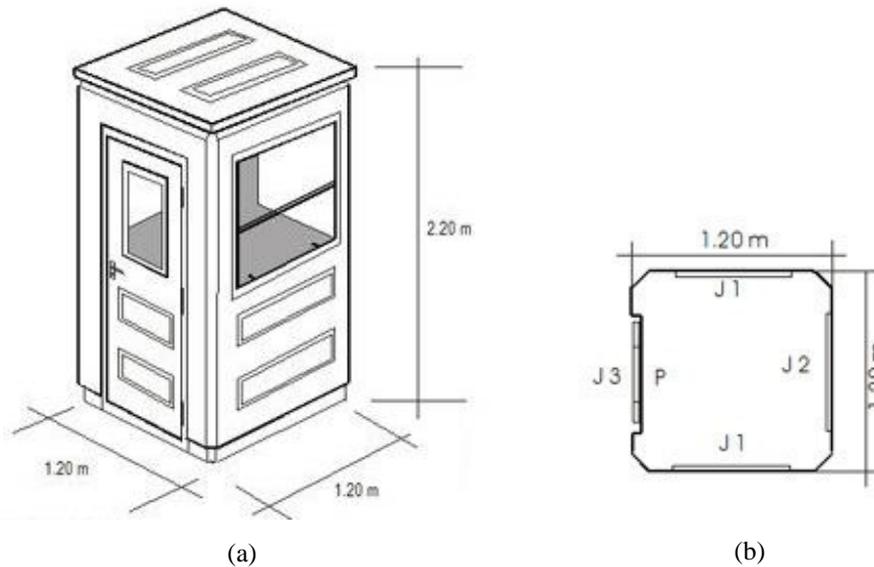


Figura 17 – Layout da guarita de fibra de vidro (a) dimensões externas e (b) planta baixa
Fonte: FBL Fibras Brasil (2016)

As guaritas e a estação meteorológica externa foram alocadas no terreno da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, no campus Curitiba-PR, sede Ecoville, no bairro Campo Comprido no terraço do bloco IJ em uma área de acesso restrito (Figura 18). A estação meteorológica externa foi instalada sobre uma laje, a 3,50 m de distância vertical das guaritas a cerca de 25 m de distância horizontal destas.

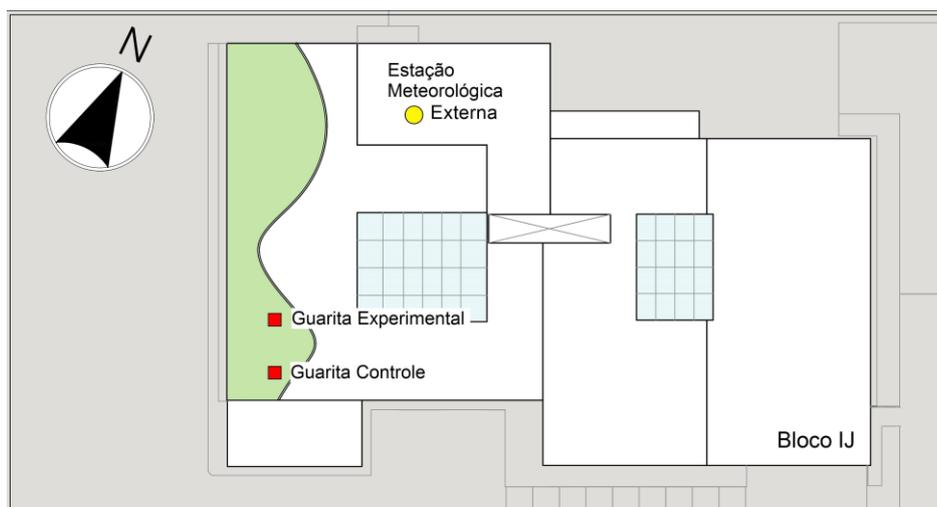


Figura 18 – Posição das guaritas e da estação meteorológica no terraço do bloco IJ, da UTFPR, campus Curitiba-PR, sede Ecoville
Fonte: Autoria própria

As duas guaritas estão separadas uma da outra por 4,20 m de forma a minimizar o sombreamento mútuo entre elas. A guarita da esquerda denominada de “guarita controle (ctrl)” e a da direita “guarita experimental (exp)” onde foram colocadas as mantas em períodos distintos (Figura 19).

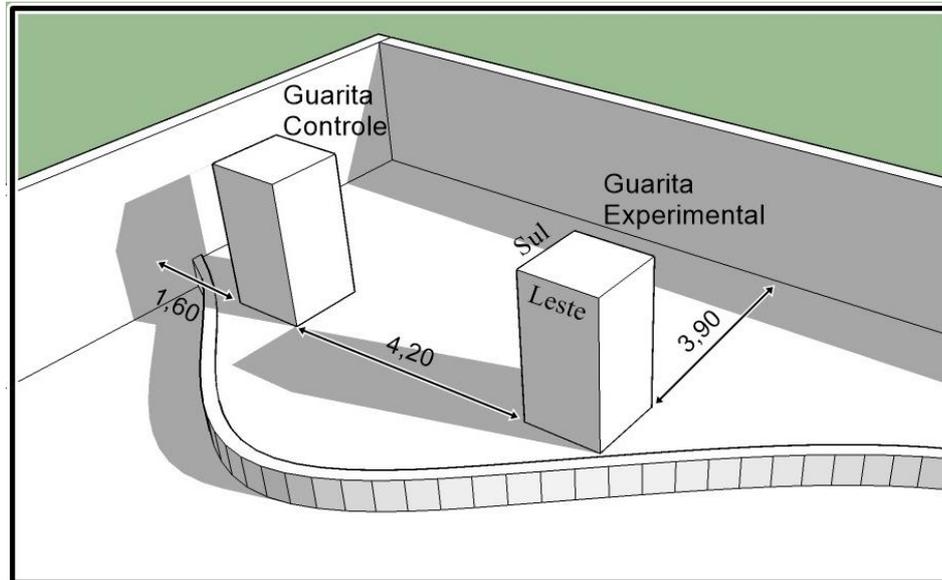


Figura 19 – Posição das guaritas no terraço do bloco IJ. Guarita controle (à esquerda) e a guarita experimental (à direita)

Fonte: Autoria própria

Na avaliação do desempenho térmico das guaritas de fibra de vidro levou-se em consideração a absorvância (cor branca), principalmente para a cobertura (horizontal) e pela baixa inércia térmica. Pois, segundo Granja (2002), a influência da absorvância é mais significativa em fechamentos opacos com baixa inércia térmica, isto é, quanto menores os valores de inércia, maior a importância de valores elevados para a absorvância.

3.4 PADRONIZAÇÃO DAS GUARITAS

Após o estudo de sombreamento para o correto posicionamento das guaritas, realizou-se um monitoramento simultâneo de ambas, anteriormente aos testes experimentais, com um *data logger* de temperatura e umidade da *HOBO*[®], modelo H08-003-02 (Figura 20).



Figura 20 – Data logger de temperatura e umidade HOBO® (H08-003-02)
Fonte: Onset Computer Corporation (2016)

Este aparelho mede a temperatura e a umidade relativa do ar e possui memória interna para até 7943 medidas, sendo possível programar intervalos de medição, data e hora de início de registro dos dados com o *software Hobo Ware*®. A faixa de operação do aparelho é de temperaturas entre -20 °C e +70 °C e umidade relativa entre 0 e 95%. Uma resolução de 0,4 °C.

Este sensor foi instalado a uma altura de 1,60 m no centro de cada guarita dentro de um tubo de PVC (*Polyvinyl chloride*) para minimizar eventuais ganhos por radiação de onda curta e ao mesmo tempo permitir que o sensor seja naturalmente ventilado.

O monitoramento foi realizado entre os dias 21/04/2016 e 26/04/2016. Verificou-se um aquecimento na guarita experimental (exp) de 0,6 °C pela manhã e um resfriamento de, também, 0,6 °C no período da tarde. Observa-se na Figura 21 as variações das temperaturas no dia 23/04/2016.

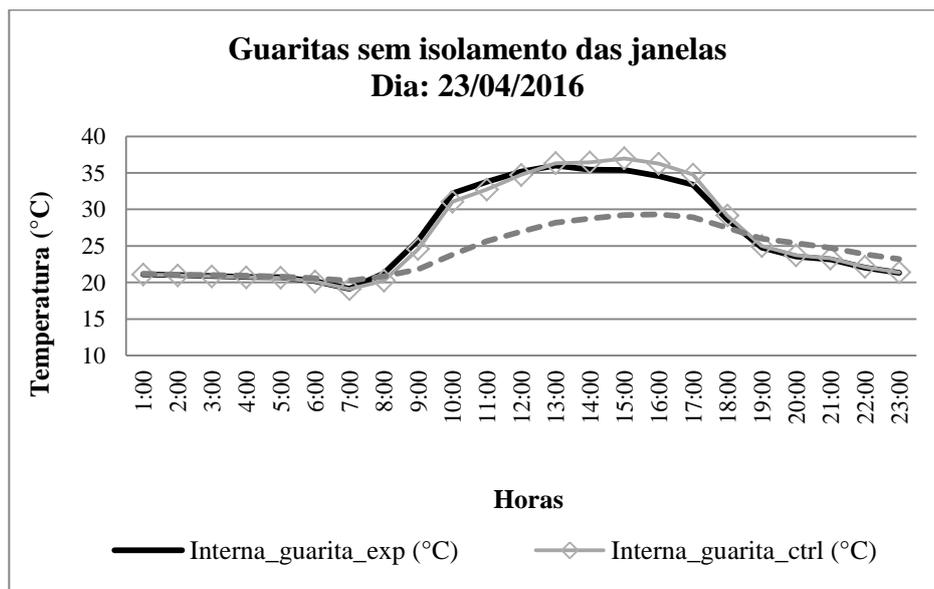


Figura 21 – Comparação das temperaturas internas das guaritas sem isolamento das janelas
Fonte: Autoria própria

Assim, as janelas foram isoladas com uma manta branca, (Figura 22), para minimizar o efeito de ganho solar distinto entre as guaritas, já que a área de janelas ocupa aproximadamente 22% da área das fachadas.

A manta branca utilizada para isolar as janelas foi uma manta de *foil* simples, com uma face aluminizada e a outra na cor branca.



Figura 22 – Guarita com as janelas isoladas com uma manta branca
Fonte: Autoria própria

Um novo monitoramento simultâneo foi realizado nos dias 04 e 05 de maio de 2016 com as janelas isoladas.

Para a padronização dos *dala loggers* de temperatura e umidade da *HOBO*[®] utilizados nestes monitoramentos, mediu-se simultaneamente a temperatura ambiente lado a lado por 24 horas, comparando-se um período de estabilização da temperatura de cada registrador. Após, aplicou-se uma equação de correção:

$$\text{Erro} = [\text{Erro}_{\text{máx}} - (\text{Erro}_{\text{máx}} + \text{Erro}_{\text{mín}}) / 2] * \cos [2 \pi / (\text{intervalo de horas}) * (\text{hora} - \text{Erro}_{\text{máx}})] \quad (2)$$

Neste modelo cossenoidal considerou o erro máximo, o erro mínimo e o intervalo de horas, para os horários das 08 horas da manhã às 18 horas, pois estes horários apresentaram erros maiores que 0,02 °C. Após a aplicação do modelo cossenoidal o erro máximo foi de 0,02 °C, menor que a resolução do equipamento que é de 0,4 °C, como pode ser verificado no dia 04/05/2016 na Figura 23.

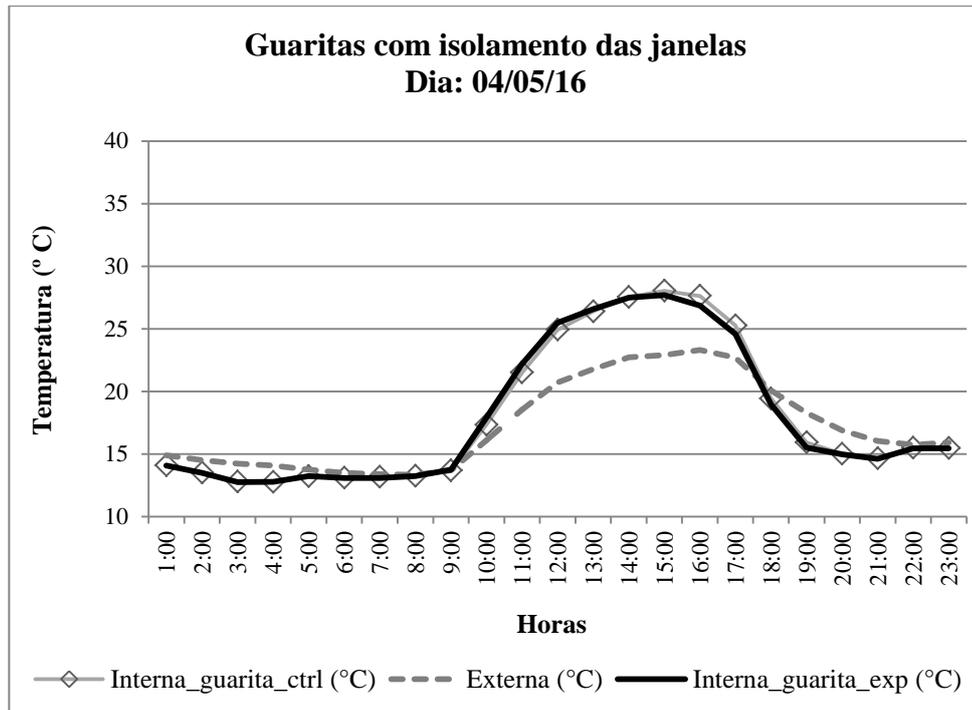


Figura 23 – Comparação das temperaturas internas das guaritas com isolamento das janelas
Fonte: Autoria própria

Desta forma, para as medições nos períodos de transição outono-inverno e primavera-verão todas as janelas foram isoladas com uma manta branca.

3.5 MEDIÇÕES

Para se realizarem as medições, tanto na primeira como na segunda fase, os seguintes procedimentos foram adotados:

- a estação meteorológica foi programada para captar os dados de velocidade do vento, radiação solar, temperatura e umidade do ar a cada 5 minutos;
- na guarita controle, nas configurações originais de fábrica, isolaram-se todas as partes de vidro com uma manta branca; e,

- na guarita experimental, também foram isoladas todas as partes de vidro com uma manta branca, tendo sido adicionada uma estrutura com caibros de madeira para que todas as mantas ficassem a cerca de 10 cm da cobertura, mantendo-se assim, uma câmara de ar não-ventilada padronizada (Figura 24).



Figura 24 – Estrutura de madeira na guarita experimental
Fonte: Autorial própria

Com a colocação da estrutura de madeira criou-se então uma câmara de ar de 10 cm entre a cobertura e a manta isolante contribuindo para o aumento da resistência térmica total.

Para medirem a temperatura superficial externa e interna da cobertura e a temperatura superficial da manta isolante, os sensores foram isolados por um pedaço de isopor e vedados com silicone, conforme observa-se na Figura 25.



Figura 25 – Em (a) sensor isolado por isopor e fixado na cobertura da guarita controle para medição da temperatura superficial externa e (b) sensor isolado por isopor e fixado na manta Tetra Pak® voltada para a cobertura para medição da temperatura superficial interna
Fonte: Autorial própria

Na segunda fase, no período de transição primavera-verão, realizaram-se medições da temperatura superficial da cobertura e da parede e da janela leste e da parede sul, da temperatura do ar e do fluxo de calor.

Nos processos de transmissão de calor, na prática, sempre há simultaneidade entre dois ou três fenômenos. Pode-se mensurar a intensidade de qualquer processo de transferência tanto como fluxo de calor (quociente da quantidade de calor que atravessa uma superfície durante um intervalo de tempo pela duração desse intervalo) quanto como densidade do fluxo de calor (quociente do fluxo de calor que atravessa uma superfície pela área dessa superfície) (NBR 15220) (ABNT, 2005a).

O fluxo térmico ou fluxo de calor é definido como sendo a quantidade de calor trocada na unidade de tempo e área em qualquer um dos três processos. Pode ser permanente ou transitório. Quando o fluxo térmico é constante, ou seja, a temperatura em cada ponto não é alterada as condições de regime permanente predominam. Nesta situação, não há mudanças na energia interna e a entrada de calor deve ser igual à saída em qualquer ponto. No regime do fluxo de calor em regime transitório a temperatura em diversos pontos varia com o tempo. As questões que envolvem fluxo de calor em regime transitório são mais complexas do que os permanentes, sendo determinados por métodos aproximados (RIVERO, 1985).

A transferência de calor depende da diferença de temperatura assim como da posição da superfície aquecida. Desta forma, em superfícies horizontais, considera-se que o sentido do fluxo pode ser ascendente ou descendente conforme a temperatura interna seja maior ou menor do que a externa.

O equipamento utilizado para a determinação dos fluxos de transferência de calor para cada tipo de manta isolante nas guaritas de fibra de vidro foi o transdutor de fluxo de calor a gradiente tangencial, AQUIS (Sistema de aquisição de sinais), construído no Laboratório de Meios Porosos e Propriedades Físicas de Materiais – LMPT, da Universidade Federal de Santa Catarina. Os transdutores são placas de cobre planas, 100 mm x 100 mm, de espessura reduzida (Figura 26), colocadas junto à superfície onde se deseja efetuar a medida do fluxo de calor. O aparelho possui quatro termopares. Estes foram utilizados para medirem a temperatura superficial da parede na face leste e sul e a temperatura superficial da janela na face leste. Para obtenção dos dados foi utilizado o software AQUIS (software de aquisição de sinais em tensão e via porta paralela).

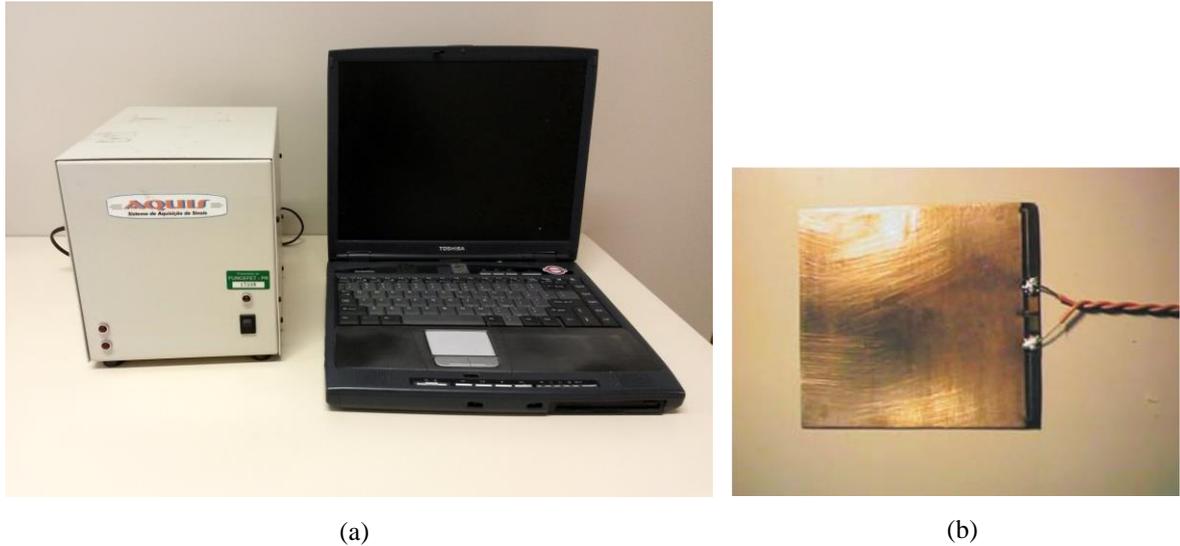


Figura 26 – Em (a) Aparelho AQUIS (Sistema de aquisição de sinais) e *notebook* para gravar os dados e (b) Transdutor - placa de cobre plana, 100 mm x 100 mm, que compõe o transdutor
Fonte: Autoria própria

As medições para o período de transição outono-inverno e primavera-verão foram realizadas em cinco diferentes configurações, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 – Configurações e as sequências de monitoramento para o período de transição outono-inverno e primavera-verão

Configuração	Sequência de monitoramento Outono-Inverno	Sequência de monitoramento Primavera-Verão
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] com a face aluminizada para o interior do ambiente	15/05/2016 a 17/05/2016	07/12/2016 a 10/12/2016
Barreira radiante - <i>Foil</i> dupla face	22/05/2016 a 24/05/2016	11/12/2016 a 14/12/2016
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] com a face aluminizada voltada para a cobertura	11/06/2016 a 13/06/2016	01/12/2016 a 05/12/2016
Placas de 50 mm <i>Isopor</i> [®]	24/06/2016 a 28/06/2016	01/02/2017 a 05/02/2017
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] - dupla (duas mantas <i>Tetra Pak</i> [®] coladas - ambas as faces aluminizadas expostas)	03/07/2016 a 05/07/2016	24/11/2016 a 29/11/2016

Fonte: Autoria própria

3.6 DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS DE ANÁLISE

A classificação por classe de estabilidade atmosférica a partir do método denominado Pasquill-Gifford-Turner (PGT), inicialmente proposto por Pasquill e Gifford (PASQUILL, 1961) e posteriormente revista por Turner (1970), consiste em uma classificação de estabilidade atmosférica segundo seis classes: A (altamente instável ou convectiva), B (moderadamente instável), C (pouco estável), D (estabilidade neutra), E (moderadamente estável), e F (extremamente estável), sendo posteriormente adicionada a classe G, que representa condições noturnas estáveis de baixa velocidade do ar (MOHAN; SIDDIQUI, 1998). Para a definição do período de análise levou-se em consideração a estabilidade atmosférica somente do período diurno. Na Tabela 4 apresentam-se os limites propostos pelo método PGT para cada classe atmosférica do período diurno.

Tabela 4 – Classes de estabilidade atmosférica para o período diurno segundo o método Pasquill-Gifford-Turner (PGT)

Velocidade do vento (m/s)	Período Diurno			
	Irradiância Solar (W/m ²)			
	Alta (> 600)	Moderada (300 - 600)	Leve (< 300)	Nublado
≤ 2,0	A	A-B	B	C
2,0 - 3,0	A-B	B	C	C
3,0 - 5,0	B	B-C	C	C
5,0 - 6,0	C	C-D	D	D
> 6,0	C	D	D	D

Fonte: Adaptado de Mohan e Siddiqui (1998)

Nas medições para o período de transição outono-inverno e primavera-verão, para cada uma das cinco configurações monitoradas, foram escolhidos um dia ou um período para análise do desempenho térmico das mantas isolantes. Utilizaram-se como critério de escolha para cada dia, as condições de céu claro, com grande incidência solar, e com baixa velocidade de vento, correspondendo, em geral, à classe “A” do método PGT.

Na Tabela 5 apresenta-se o período escolhido para cada sequência de monitoramento para o período de transição outono-inverno, assim como a velocidade do vento médio, a irradiância solar máxima e a classe de estabilidade atmosférica.

Tabela 5 – Período escolhido para análise do desempenho térmico das mantas isolantes para cada sequência de monitoramento para o período de transição outono-inverno

Configuração	Sequência de monitoramento	Velocidade do Vento Médio (m/s)	Irradiância Solar Máxima (W/m ²)	Classe de Estabilidade Atmosférica	Período Escolhido
<i>Tetra Pak®</i> - interior	15/05/2016	1,6	721	A	17/05/2016
	16/05/2016	1,4	868	A	
	17/05/2016	0,6	727	A	
<i>Foil</i> dupla face	22/05/2016	1,0	323	C	23/05/2016
	23/05/2016	0,9	869	A	
	24/05/2016	1,9	684	C	
<i>Tetra Pak®</i> - cobertura	11/06/2016	0,5	712	A	11/06/2016
	12/06/2016	0,7	673	A	
	13/06/2016	0,5	709	A	
Placas de <i>Isopor®</i>	24/06/2016	0,7	791	A	27/06/2016
	25/06/2016	1,1	705	A	
	26/06/2016	0,5	204	B	
	27/06/2016	0,4	799	A	
	28/06/2016	0,5	643	A	
<i>Tetra Pak®</i> - dupla	03/07/2016	0,7	783	A	04/07/2016
	04/07/2016	0,9	802	A	
	05/07/2016	0,9	799	A	

Fonte: Autoria própria

Os períodos escolhidos apresentaram condições de céu claro, velocidade do vento médio menores que 2,0 m/s e irradiância solar máxima alta, ou seja, maiores que 600 W/m², correspondendo à classe de estabilidade atmosférica “A” do método PGT.

Para o período de transição primavera-verão, na Tabela 6 mostra-se o período escolhido para cada sequência de monitoramento, da mesma forma como a velocidade do vento médio, a irradiância solar máxima e a classe de estabilidade atmosférica.

Tabela 6 – Período escolhido para análise do desempenho térmico das mantas isolantes para cada sequência de monitoramento para o período de transição primavera-verão

(continua)

Configuração	Sequência de monitoramento	Velocidade do Vento Médio (m/s)	Irradiância Solar Máxima (W/m ²)	Classe de Estabilidade Atmosférica	Período Escolhido
<i>Tetra Pak®</i> - dupla	24/11/16 a 25/11/16	1,3	1277	A	28/11/16 a 29/11/2016
	25/11/16 a 26/11/16	1,2	1213	A	
	26/11/16 a 27/11/16	1,1	1246	A	
	27/11/16 a 28/11/16	1,2	1202	A	
	28/11/16 a 29/11/16	1,2	1277	A	

(conclusão)

<i>Configuração</i>	Sequência de monitoramento	Velocidade do Vento Médio (m/s)	Irradiância Solar Máxima (W/m ²)	Classe de Estabilidade Atmosférica	Período Escolhido
<i>Tetra Pak®</i> - cobertura	01/12/16 a 02/12/16	1,6	629	A	05/12/16 a 06/12/2016
	02/12/16 a 03/12/16	1,2	528	A-B	
	03/12/16 a 04/12/16	1,9	1272	A	
	04/12/16 a 05/12/16	1,0	1204	A	
	05/12/16 a 06/12/16	0,8	1277	A	
<i>Tetra Pak®</i> - interior	07/12/16 a 08/12/16	0,9	1277	A	07/12/16 a 08/12/2016
	08/12/16 a 09/12/16	1,2	1218	A	
	09/12/16 a 10/12/16	1,3	1277	A	
<i>Foil</i> dupla face	11/12/16 a 12/12/16	1,0	1277	A	13/12/16 a 14/12/2016
	12/12/16 a 13/12/16	1,0	1262	A	
	13/12/16 a 14/12/16	0,9	1277	A	
Placas de <i>Isopor®</i>	01/02/17 a 02/02/17	0,7	1218	A	04/02/17 a 05/02/2017
	02/02/17 a 03/02/17	1,0	1227	A	
	03/02/17 a 04/02/17	0,9	1227	A	
	04/02/17 a 05/02/17	1,1	1227	A	

Fonte: Autoria própria

Os períodos escolhidos apresentaram condições de céu claro, e ao mesmo tempo as menores velocidades do vento médio e irradiância solar máxima alta, correspondendo à classe de estabilidade atmosférica “A” do método PGT.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados estão divididos em duas partes, medições para o período de transição outono-inverno e medições para o período de transição primavera-verão.

4.1 MEDIÇÕES PARA O PERÍODO DE TRANSIÇÃO OUTONO-INVERNO

Nas medições para o período de transição outono-inverno, para cada uma das cinco configurações monitoradas, mediram-se as temperaturas do ar e as temperaturas superficiais da cobertura interna e externa e da superfície da manta isolante.

4.1.1 Manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada para o interior do ambiente

Para esta configuração, o dia escolhido, 17/05/2016, apresentou uma amplitude térmica de 12,5 °C e as seguintes temperaturas do ar, como se observa na Figura 27.

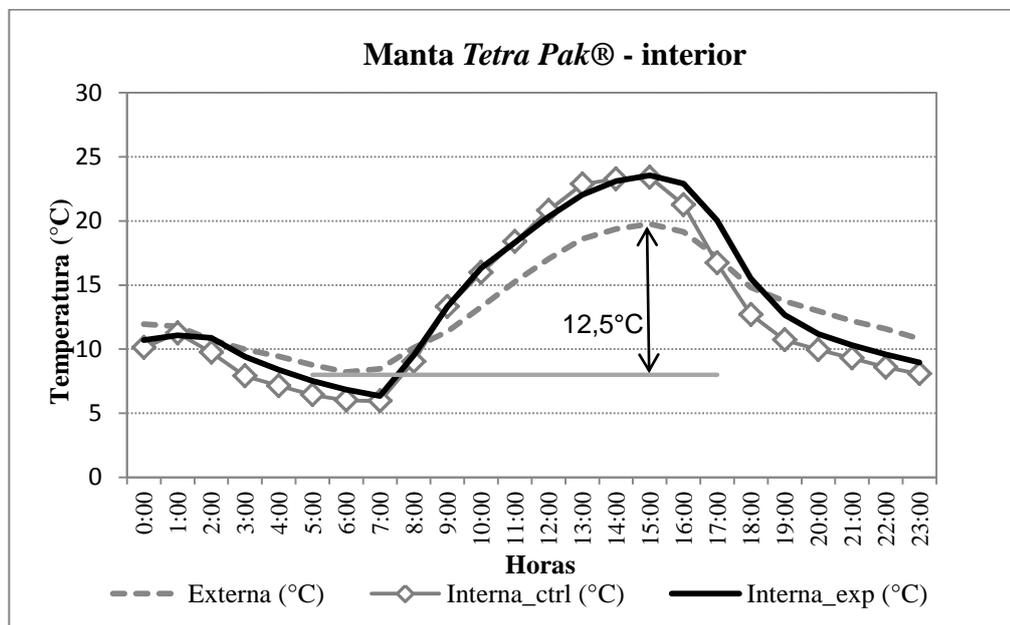


Figura 27 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna para a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externa e internas, observou-se um aumento de 3,6 °C na guarita controle e de 3,8 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à

temperatura externa e, uma redução das temperaturas mínimas de 2,3 °C na guarita controle e de 1,9 °C na guarita experimental. Comparando a temperatura máxima e a temperatura mínima da guarita experimental em relação à guarita controle houve um aumento de 0,2 °C na temperatura máxima e 0,4 °C na temperatura mínima, em conformidade com a Tabela 7.

Tabela 7 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar para a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	3,6	3,8
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 2,3	-1,9
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	0,2
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	0,4

Fonte: Autoria própria

As temperaturas superficiais foram coletadas no mesmo dia, como se observa na Figura 28.

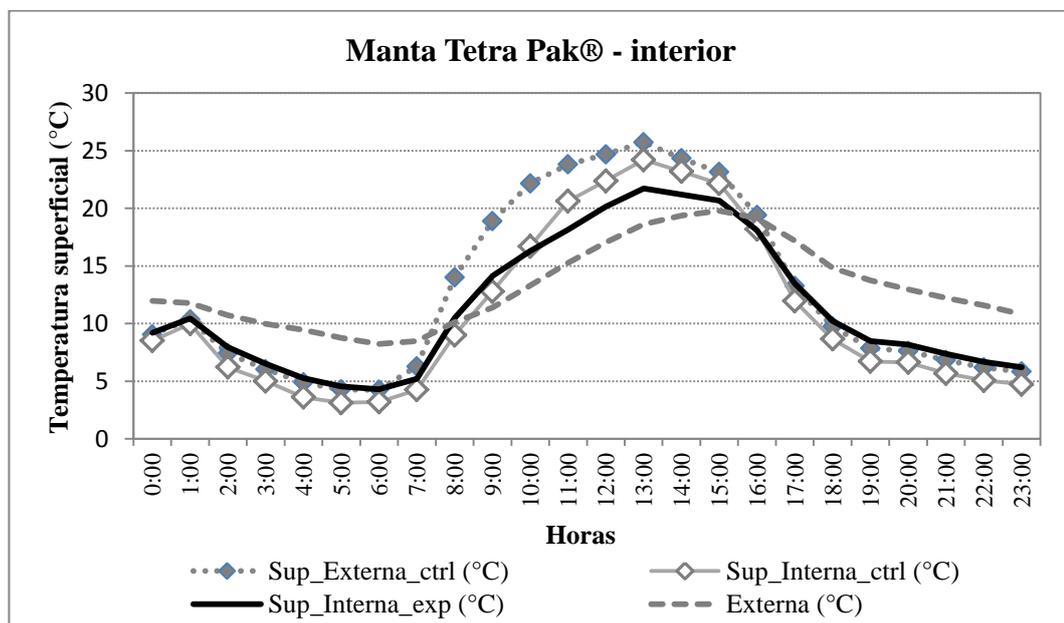


Figura 28 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa para a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Verificou-se uma redução na temperatura superficial interna de 4,0 °C com a utilização da manta em relação à temperatura superficial externa. Uma redução de 2,5 °C na temperatura superficial interna máxima e um aumento de 1,1 °C na temperatura superficial

interna mínima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), conforme se observa na Tabela 8.

Tabela 8 – Comparação entre temperatura superficial interna para a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 1,5	- 4,0
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 1,1	0,0
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 2,5
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	1,1

Fonte: Autoria própria

Assim, a aplicação da manta *Tetra Pak*[®] voltada para o interior do ambiente, em termos de temperatura superficial, houve uma queda na carga térmica vinda da cobertura (2,5 °C) mais significativa do que o aumento na temperatura mínima (1,1 °C). A face de baixa emissividade voltada para o interior do ambiente colaborou assim apenas para o amortecimento do calor.

4.1.2 Barreira Radiante – *Foil* dupla face

Para o *foil* dupla face, o dia escolhido, 23/05/2016, apresentou uma amplitude térmica de 7,1 °C e as seguintes temperaturas do ar, conforme se observa na Figura 29.

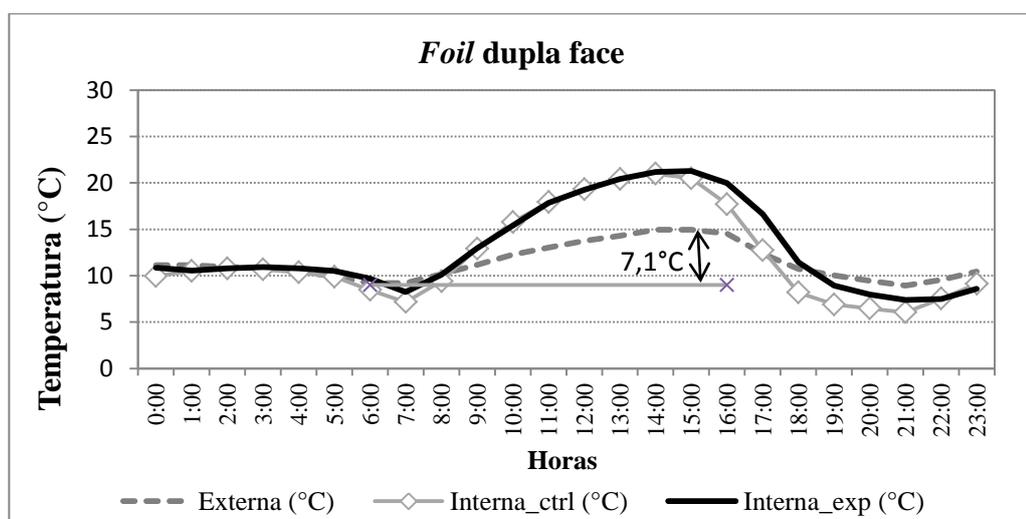


Figura 29 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com o *foil* dupla face no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externas e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 6,0 °C na guarita controle e de 6,3 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. E uma redução das temperaturas mínimas de 2,9 °C na guarita controle e de 1,6 °C na guarita experimental. Comparando a temperatura máxima e a temperatura mínima da guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante) houve um aumento de 0,3 °C na temperatura máxima e 1,3 °C na temperatura mínima, de acordo com mostrado na Tabela 9.

Tabela 9 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar para o *foil* dupla face no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	6,0	6,3
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 2,9	-1,6
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	---	0,3
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	---	1,3

Fonte: Autoria própria

As temperaturas superficiais foram coletadas no mesmo dia, como se observa na Figura 30.

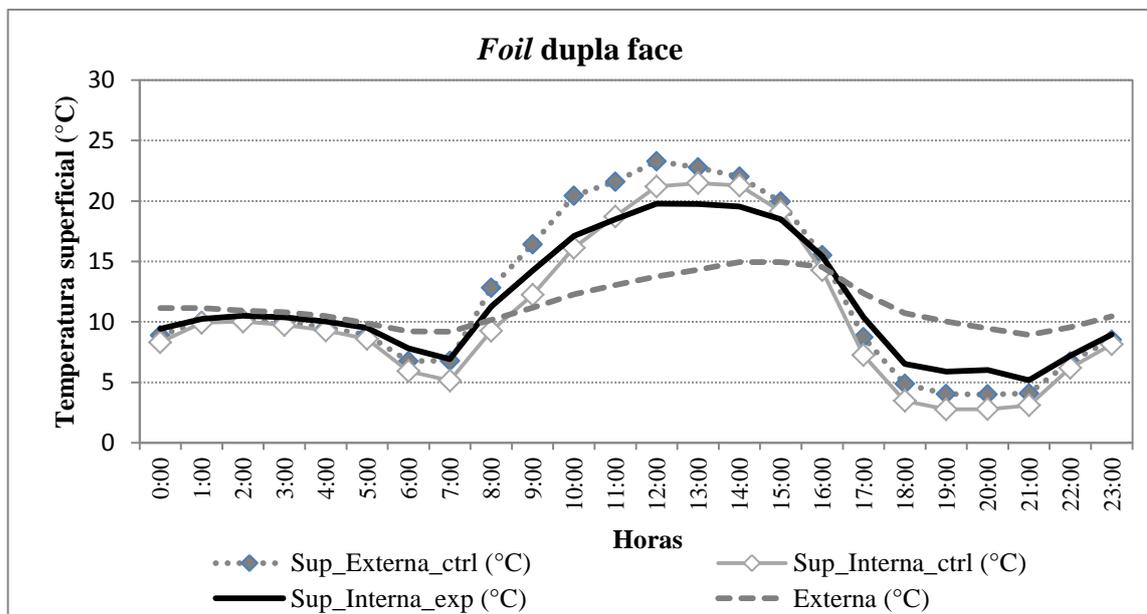


Figura 30 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa para o *foil* dupla face no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Verifica-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 3,5 °C e um aumento de 1,2 °C na temperatura mínima superficial interna na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. Uma redução de 1,7 °C na temperatura superficial interna máxima e um aumento de 2,4 °C na temperatura superficial interna mínima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), conforme descrito na Tabela 10.

Tabela 10 – Comparação entre temperatura superficial interna para o *foil* dupla face no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 1,8	-3,5
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 1,2	1,2
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 1,7
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	2,4

Fonte: Autoria própria

Assim, a aplicação do *foil* dupla face, de forma semelhante à manta *Tetra Pak*[®] para o interior do ambiente, pouco contribuiu para a redução da temperatura ambiente durante o dia, porém colaborando mais significativamente que esta última para o amortecimento do frio. Em termos de redução da carga térmica vinda da cobertura (temperatura superficial), a manta *foil* dupla face apresenta uma menor vantagem que a manta *Tetra Pak*[®] para o interior do ambiente, com uma redução da temperatura máxima em relação à guarita controle (sem manta isolante) menos significativa que no último caso (2,5 °C versus 1,7 °C).

4.1.3 Manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura

O dia escolhido, 11/06/2016, apresentou uma amplitude térmica de 10,9 °C e as seguintes temperaturas do ar com a utilização da manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura, como se observa na Figura 31.

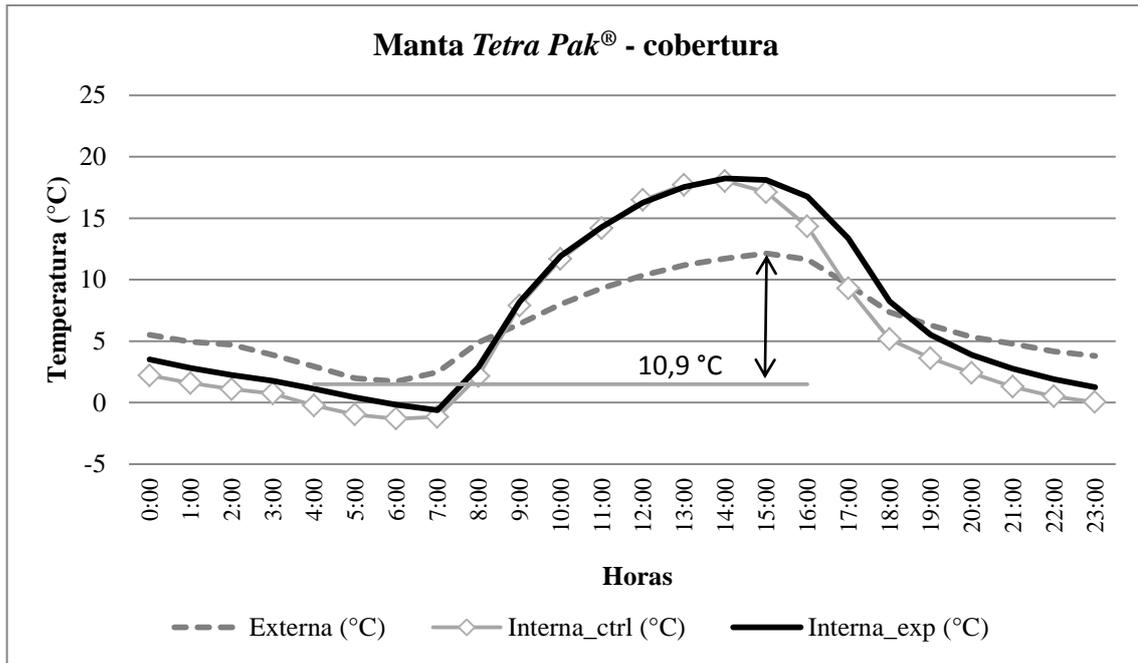


Figura 31 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno
Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externas e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 5,9 °C na guarita controle e de 6,1 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. E uma redução das temperaturas mínimas de 3,0 °C na guarita controle e de 2,3 °C na guarita experimental. E, comparando a temperatura máxima e a temperatura mínima da guarita experimental em relação à guarita (sem manta isolante) controle houve um aumento de 0,2 °C na temperatura máxima e 0,7 °C na temperatura mínima, como se percebe na Tabela 11.

Tabela 11 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar para a manta Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	5,9	6,1
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 3,0	-2,3
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	0,2
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	0,7

Fonte: Autoria própria

No mesmo dia, foram coletadas as temperaturas superficiais como se constata na Figura 32.

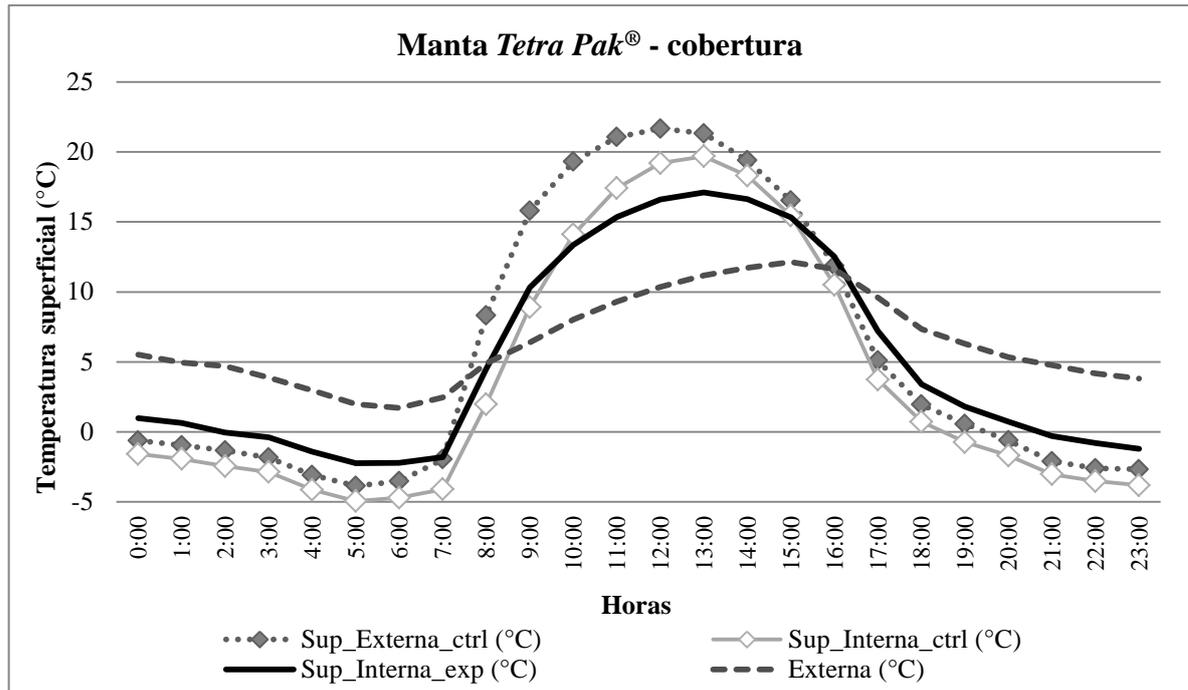


Figura 32 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa para a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Verifica-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 4,5 °C e um aumento de 1,6 °C na temperatura mínima superficial interna com relação à temperatura superficial externa. Uma redução de 2,6 °C na temperatura superficial interna máxima e um aumento de 2,7 °C na temperatura superficial interna mínima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), conforme a Tabela 12.

Tabela 12 – Comparação entre temperatura superficial interna para a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 2,0	-4,5
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 1,1	1,6
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 2,6
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	2,7

Fonte: Autoria própria

A aplicação da manta *Tetra Pak*® voltada para a cobertura, comparativamente às situações anteriores, apresenta pouca vantagem quanto a efeitos na temperatura do ar, porém, em termos de redução de carga térmica vinda da cobertura, trouxe amortecimento tanto da máxima quanto da mínima superior aos dois outros casos.

4.1.4 Placas de 50 mm de *Isopor*[®]

Para as placas de 50 mm de *Isopor*[®], o dia escolhido, 27/06/2016, apresentou uma amplitude térmica de 11,0 °C e as seguintes temperaturas do ar, conforme mostrado na Figura 33.

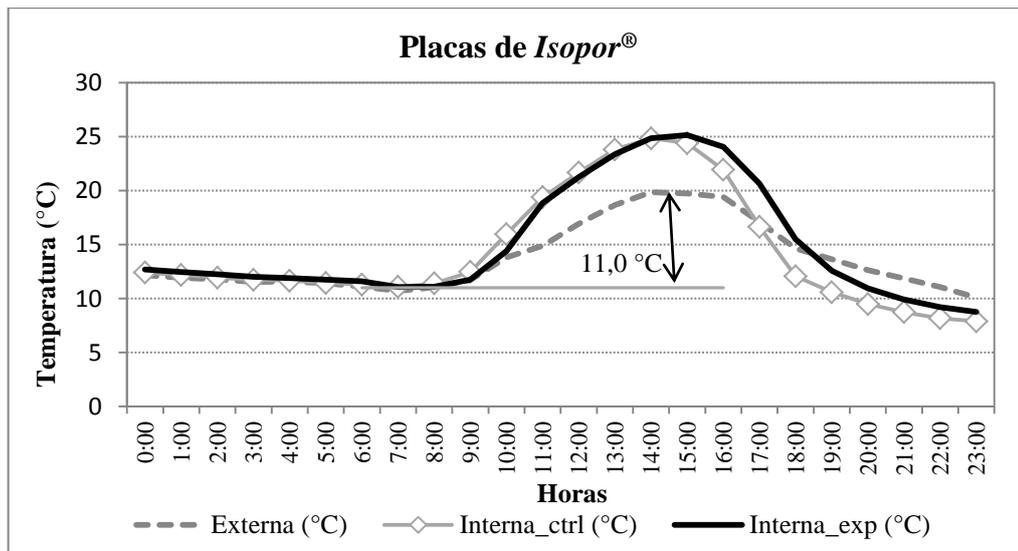


Figura 33 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com placas de 50 mm de *Isopor*[®] no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externa e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 5,0 °C na guarita controle e de 5,3 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. E uma redução das temperaturas mínimas de 2,2 °C na guarita controle e de 1,3 °C na guarita experimental. E comparando a temperatura máxima e a temperatura mínima da guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante) houve um aumento de 0,3 °C na temperatura máxima e 0,9 °C na temperatura mínima, como se verifica na Tabela 13.

Tabela 13 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com placas de 50 mm de *Isopor*[®] no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	5,0	5,3
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 2,2	-1,3
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	0,3
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	0,9

Fonte: Autoria própria

No mesmo dia foram coletadas as temperaturas superficiais como se observa na Figura 34.

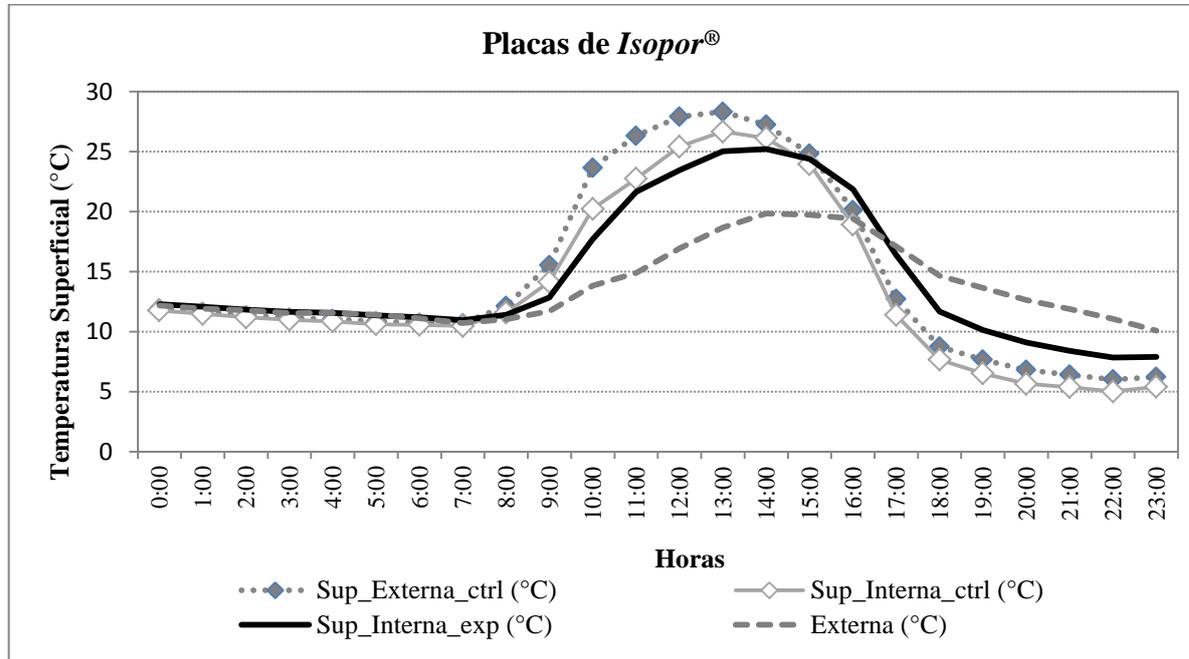


Figura 34 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Verifica-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 3,1 °C e um aumento de 1,8 °C na temperatura mínima superficial interna na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. Em consequência, observou-se uma redução de 1,5 °C na temperatura superficial interna máxima e um aumento de 2,8 °C na temperatura superficial interna mínima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), conforme se observa na Tabela 14

Tabela 14 – Comparação entre temperatura superficial interna com placas de 50 mm de Isopor® no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 1,6	-3,1
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 1,0	1,8
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 1,5
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	2,8

Fonte: Autoria própria

A aplicação de placas de 50 mm de *Isopor*[®] comparativamente às situações anteriores, apresenta pouca vantagem quanto a efeitos na temperatura do ar, porém, em termos de redução de carga térmica vinda da cobertura, trouxe amortecimento tanto da máxima quanto da mínima, superior aos dois outros casos.

4.1.5 Manta *Tetra Pak*[®] - dupla (duas mantas *Tetra Pak*[®] coladas)

Para esta configuração, o dia escolhido, 04/07/2016, apresentou uma amplitude térmica de 13,4 °C e as seguintes temperaturas do ar, como se observa na Figura 35.

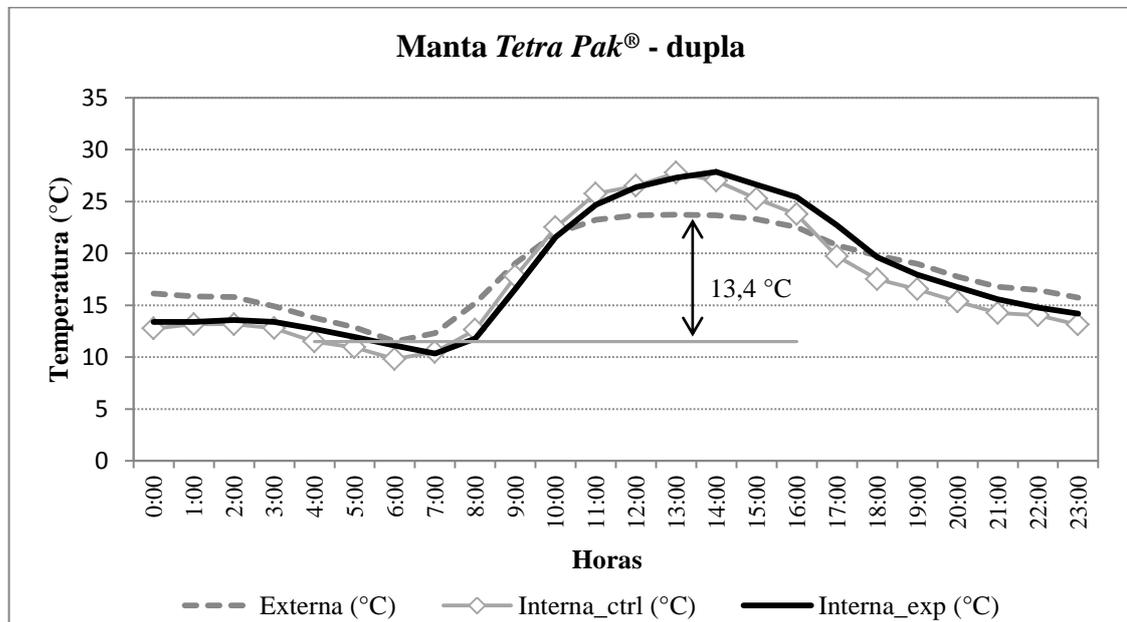


Figura 35 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta *Tetra Pak*[®] - dupla no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria.

Comparando as temperaturas externa e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 4,0 °C na guarita controle e de 4,1 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. E uma redução das temperaturas mínimas de 1,7 °C na guarita controle e de 1,2 °C na guarita experimental. E comparando a temperatura máxima e a temperatura mínima da guarita experimental em relação à guarita (sem manta isolante) controle houve um aumento de 0,1°C na temperatura máxima e 0,5 °C na temperatura mínima, segundo mostrado na Tabela 15.

Tabela 15 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta *Tetra Pak*[®] - dupla no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	4,0	4,1
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 1,7	-1,2
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	---	0,1
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	---	0,5

Fonte: Autoria própria

No mesmo dia foram coletadas as temperaturas superficiais conforme se observa na Figura 36.

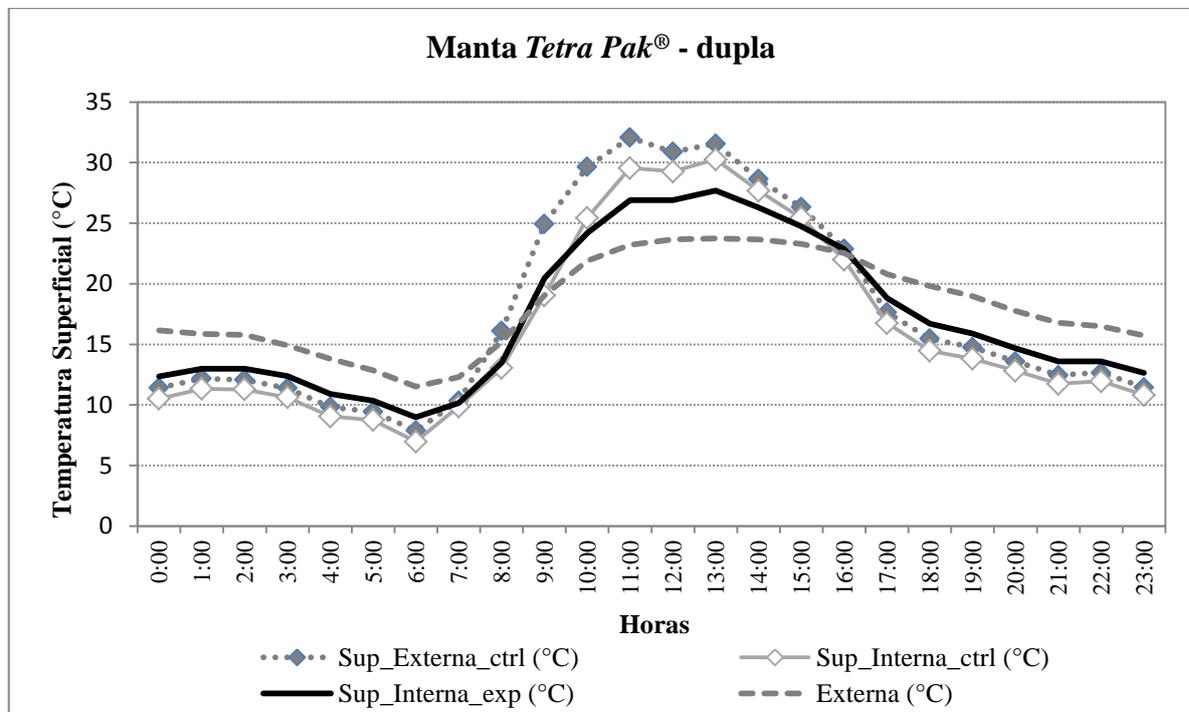


Figura 36 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta *Tetra Pak*[®] - dupla no período de transição outono-inverno

Fonte: Autoria própria

Verifica-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 4,4 °C e um aumento de 1,1 °C na temperatura mínima superficial interna na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. Uma redução de 2,6 °C na temperatura superficial interna máxima e um aumento de 2,0 °C na temperatura superficial interna mínima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), de acordo com o mostrado na Tabela 16.

Tabela 16 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta *Tetra Pak*[®] - dupla no período de transição outono-inverno

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 1,8	- 4,4
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 0,9	1,1
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 2,6
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	2,0

Fonte: Autoria própria

A aplicação da manta *Tetra Pak*[®] dupla comparativamente às situações anteriores, apresenta pouca vantagem quanto a efeitos na temperatura do ar, porém, em termos de redução de carga térmica vinda da cobertura, trouxe amortecimento tanto da máxima quanto da mínima.

Na tabela resumo (Tabela 17) mostra-se um comparativo entre as guaritas para as mantas isolantes estudadas, em termos de mínimas diárias atingidas internamente relativamente à guarita controle (sem manta isolante).

Tabela 17 – Comparação da redução do frio entre as mantas isolantes para o período de transição outono-inverno

Mantas isolantes	Diferenças	Diferença na temperatura do ar da guarita experimental relativamente à guarita controle (°C)	Diferença na temperatura superficial interna da guarita experimental relativamente à guarita controle (°C)
Redução do frio			
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] para o interior	Mínima diária	0,4	1,2
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] para a cobertura	Mínima diária	0,7	2,7
<i>Foil</i> dupla face	Mínima diária	1,3	2,4
Placas de 50 mm de <i>Isopor</i> [®]	Mínima diária	0,9	2,8
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] - dupla	Mínima diária	0,5	2,0

Fonte: Autoria própria

Com a utilização das mantas isolantes consegue-se evitar perdas de calor pela cobertura para o período de transição outono-inverno. As placas de *Isopor*[®] apresentaram o melhor resultado para o amortecimento do frio, um aumento de 2,8 °C na temperatura mínima diária. Em seguida, a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura, com um aumento de 2,7 °C na temperatura mínima diária. Após o *foil* dupla face com um aumento de 2,4 °C e a manta *Tetra Pak*[®] - dupla com um aumento de 2,0 °C na temperatura mínima

diária. A manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior teve o pior resultado, tendo somente um aumento de 1,2 °C na temperatura mínima diária.

4.2 MEDIÇÕES DO PERÍODO DE TRANSIÇÃO PRIMAVERA-VERÃO

Nas medições do período de transição primavera-verão foram analisadas as temperaturas do ar e as temperaturas superficiais da cobertura, as temperaturas superficiais das paredes na face leste e sul e da janela na face leste e a medição do fluxo de calor, para cálculo da resistência.

4.2.1 Temperatura do ar e temperatura superficial

4.2.1.1 Manta *Tetra Pak*[®] - dupla (duas mantas *Tetra Pak*[®] coladas)

Para esta configuração, o período escolhido, entre 28 e 29/11/2016, apresentou uma amplitude térmica de 14,7 °C e as seguintes temperaturas do ar, de acordo com o mostrado na Figura 37.

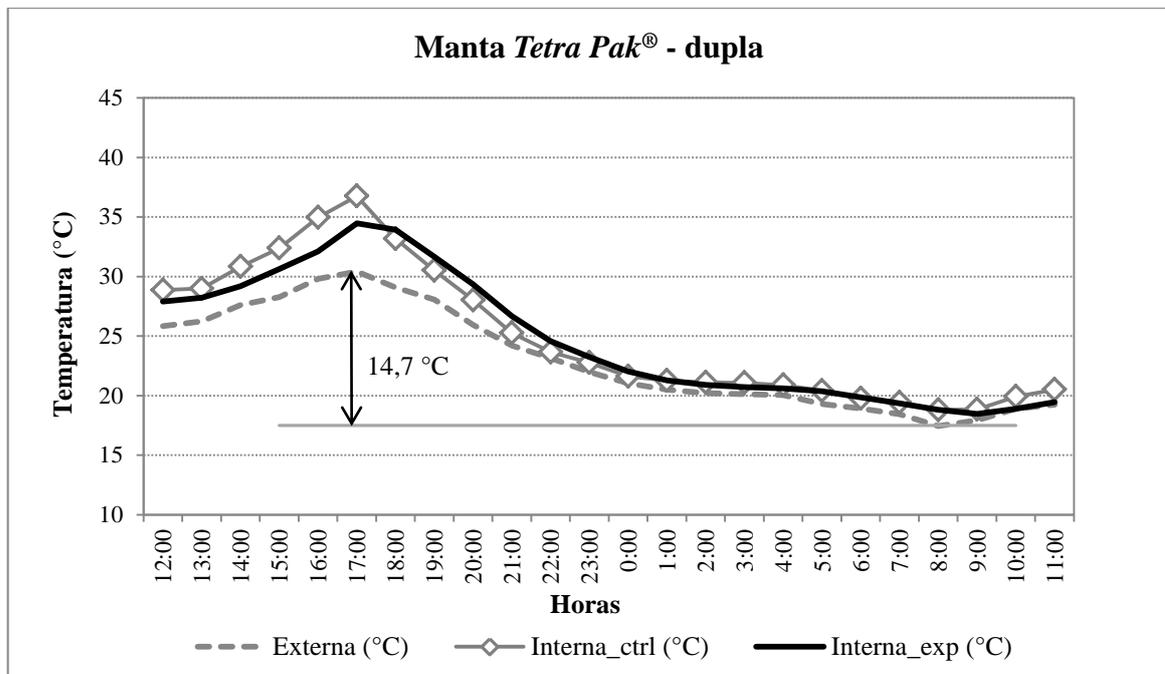


Figura 37 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta *Tetra Pak*[®] - dupla no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externas e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 6,3 °C na guarita controle e de 4,0 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. Comparando a temperatura máxima da guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante) houve uma redução de 2,3 °C na temperatura máxima, como se observa na Tabela 18.

Tabela 18 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta *Tetra Pak*® - dupla no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	6,3	4,0
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	1,4	1,0
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 2,3
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	- 0,3

Fonte: Autoria própria

As temperaturas superficiais foram coletadas o mesmo período como se observa na Figura 38.

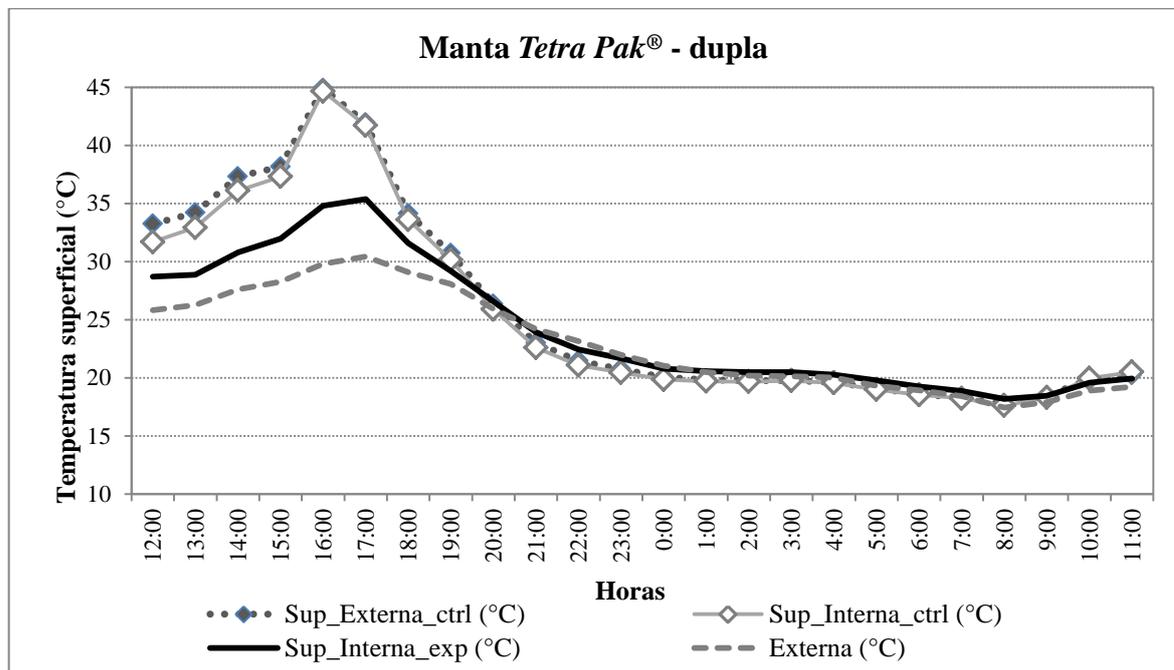


Figura 38 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta *Tetra Pak*® - dupla no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Verificou-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 9,5 °C na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. Analogamente, notou-se uma redução de 9,3 °C na temperatura superficial interna máxima na guarita experimental em

relação à guarita controle (sem manta isolante), ou seja, uma redução de 23% na temperatura superficial, conforme o apresentado na Tabela 19.

Tabela 19 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta *Tetra Pak*[®] - dupla no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 0,3	- 9,5
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 0,1	0,5
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 9,3
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	- 0,6

Fonte: Autoria própria

A aplicação da manta *Tetra Pak*[®] - dupla trouxe amortecimento da temperatura máxima tanto em relação à temperatura externa quanto em relação à guarita controle.

4.2.1.2 Manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura

O período escolhido, entre 05 e 06/12/2016, apresentou uma amplitude térmica de 13,5 °C e as seguintes temperaturas do ar com a utilização da Manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura, conforme apresentado na Figura 39.

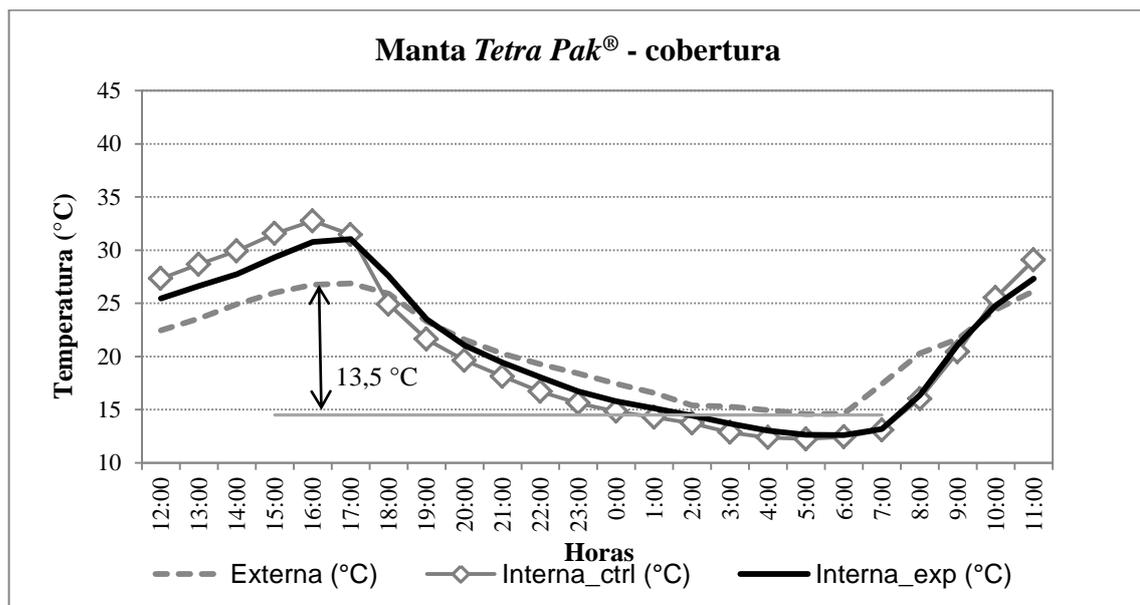


Figura 39 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externas e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 5,9 °C na guarita controle e de 4,2 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. Comparando a temperatura máxima da guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante) houve uma redução de 1,7 °C na temperatura máxima, como descrito na Tabela 20.

Tabela 20 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	5,9	4,2
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 2,3	- 2,0
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 1,7
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	0,4

Fonte: Autoria própria

No mesmo período foram coletadas as temperaturas superficiais como se observa na Figura 40.

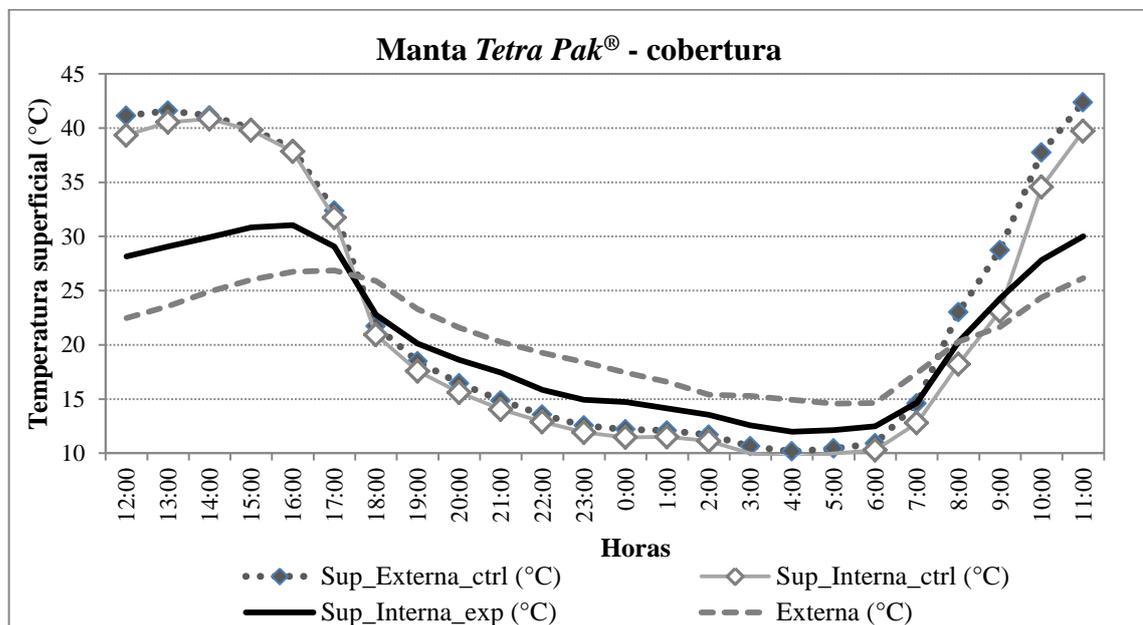


Figura 40 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Verificou-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 11,3 °C na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. Houve uma redução de 9,8 °C na temperatura superficial interna máxima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), conforme descrito na Tabela 21.

Tabela 21 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 1,5	- 11,3
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	0,6	1,8
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 9,8
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	2,4

Fonte: Autoria própria

A aplicação da manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura, em termos de redução de carga térmica vinda da cobertura, trouxe amortecimento da temperatura máxima tanto em relação à temperatura externa quanto em relação com a guarita controle (sem manta isolante).

4.2.1.3 Manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente

Para esta configuração, o período escolhido, entre 07 e 08/12/2016, apresentou uma amplitude térmica de 11,0 °C as seguintes temperaturas do ar, de acordo com o apresentado na Figura 41.

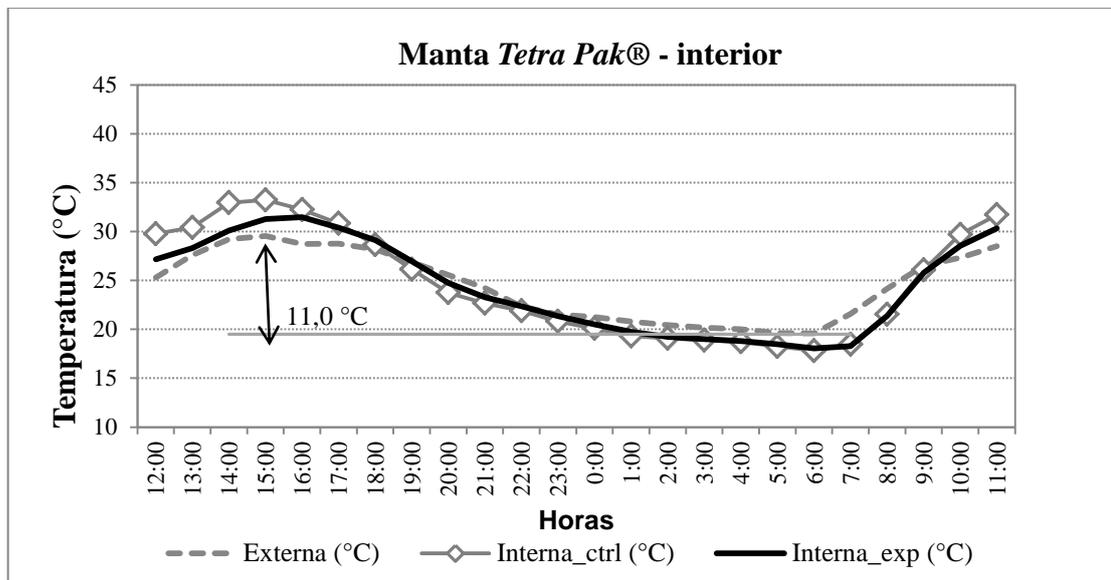


Figura 41 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externas e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 3,7 °C na guarita controle e de 1,9 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. Comparando a temperatura máxima da guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante) houve uma redução de 1,8 °C na temperatura máxima, conforme apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	3,7	1,9
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 1,8	- 1,5
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 1,8
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	0,2

Fonte: Autoria própria

No mesmo período foram coletadas as temperaturas superficiais, como se observa na Figura 42.

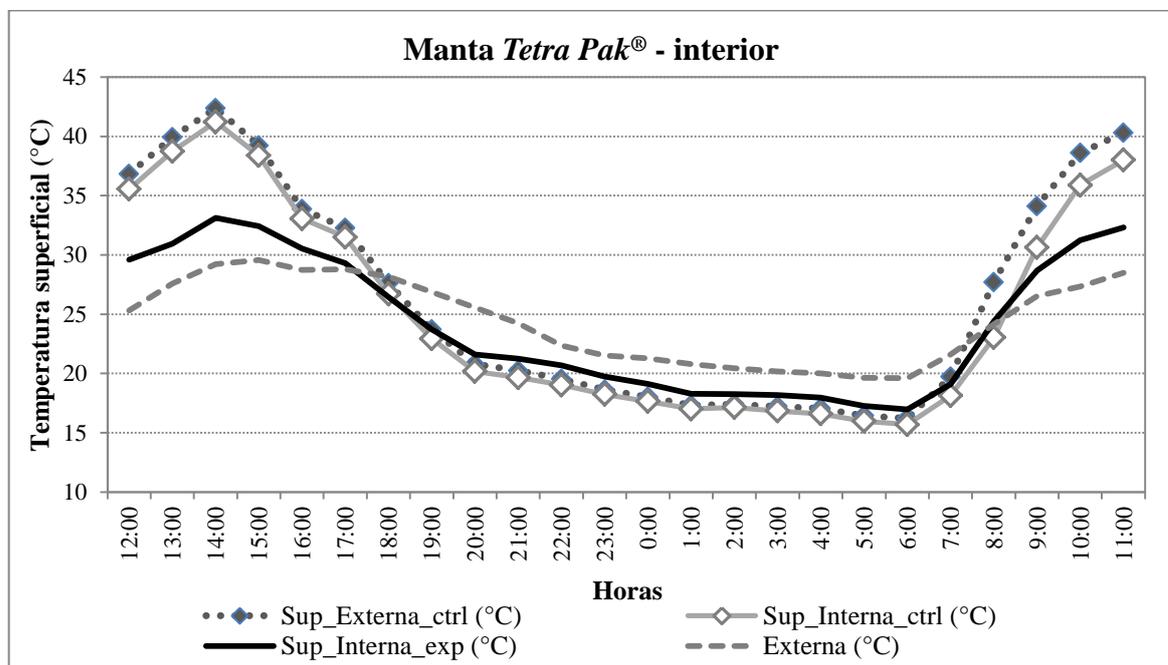


Figura 42 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Verificou-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 9,3 °C na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. Isso se traduz por uma

redução de 8,1 °C na temperatura superficial interna máxima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), conforme visto na Tabela 23.

Tabela 23 – Comparação entre temperatura superficial interna com a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 1,2	- 9,3
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 0,5	0,8
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 8,1
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	1,3

Fonte: Autoria própria

Observou-se um amortecimento da temperatura máxima tanto em relação à temperatura externa quanto em relação com a guarita controle (sem manta isolante) com a aplicação da manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente.

4.2.1.4 Foil dupla face

Para o *foil* dupla face, o período escolhido, entre 13 e 14/12/2016, apresentou uma amplitude térmica de 11,9 °C e as seguintes temperaturas do ar, conforme apresentado na Figura 43.

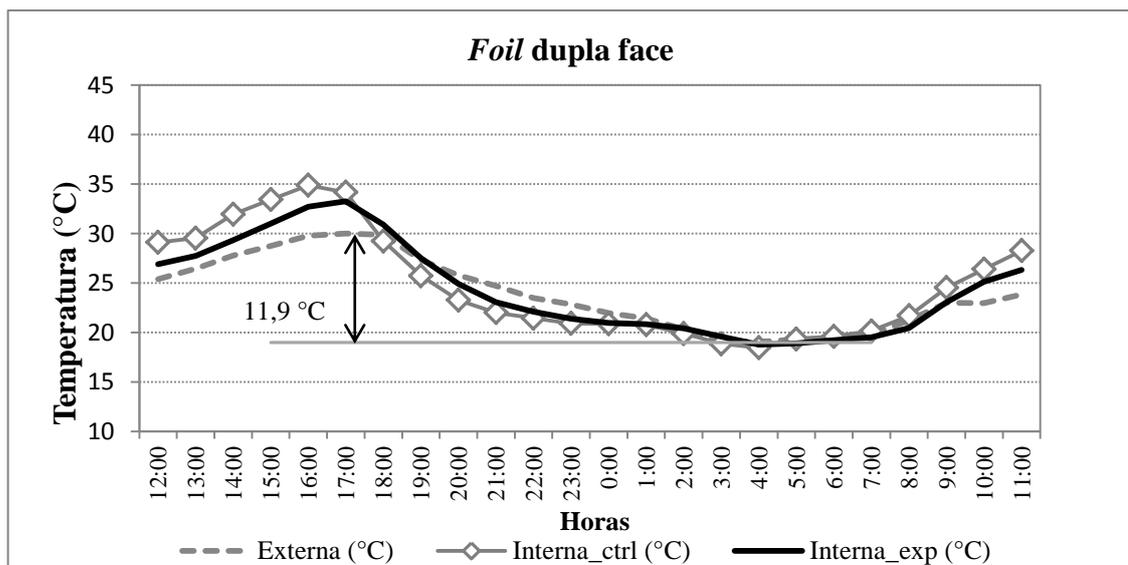


Figura 43 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com o foil dupla face no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externas e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 4,9 °C na guarita controle e de 3,3 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. Comparando a temperatura máxima da guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante) houve uma redução de 1,6 °C na temperatura máxima, como se observa na Tabela 24.

Tabela 24 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com o *foil* dupla face no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	4,9	3,3
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 0,6	- 0,3
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 1,6
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	0,3

Fonte: Autoria própria

As temperaturas superficiais foram coletadas no mesmo período, conforme apresentado na Figura 44.

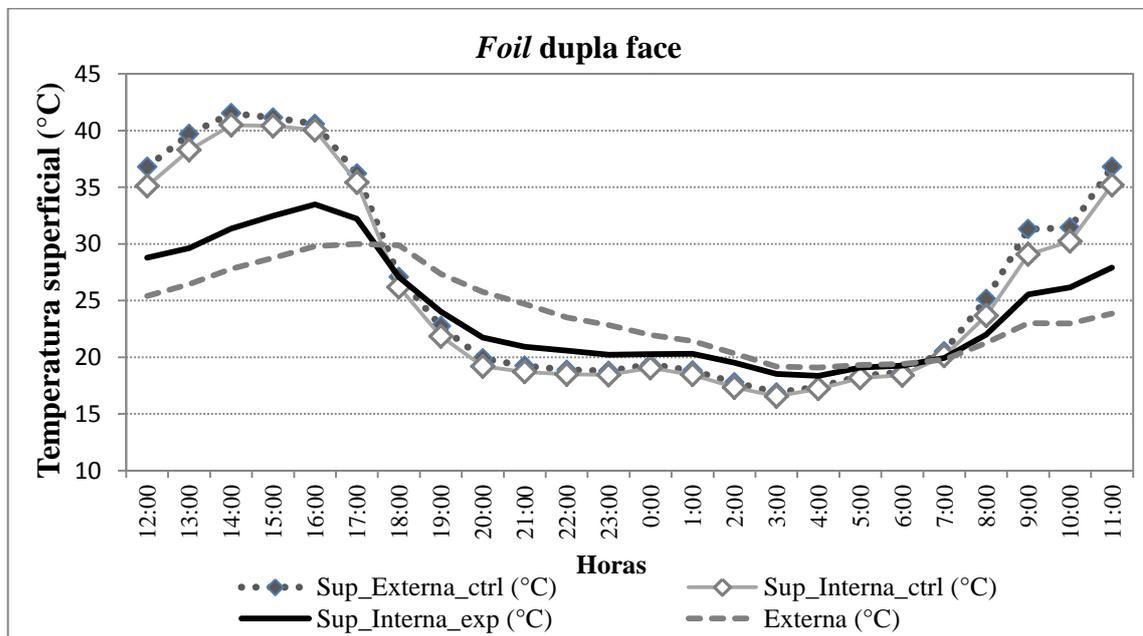


Figura 44 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com o *foil* dupla face no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Verificou-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 8,0 °C na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. A redução observada foi de

7,0 °C para a temperatura superficial interna máxima na guarita experimental em relação à guarita controle (sem manta isolante), como se observa na Tabela 25.

Tabela 25 – Comparação entre temperatura superficial interna com o *foil* dupla face no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 1,0	- 8,0
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 0,3	1,5
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 7,0
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	1,8

Fonte: Autoria própria

A aplicação do *foil* dupla face reduziu a temperatura superficial máxima tanto em relação à temperatura externa quanto em relação com a guarita controle (sem manta isolante).

4.2.1.5 Placas de 50 mm de *Isopor*[®]

Para as placas de 50 mm de *Isopor*[®], o período escolhido, entre 04 e 05/02/2017, apresentou uma amplitude térmica de 11,3 °C e as seguintes temperaturas do ar, conforme visto na Figura 45.

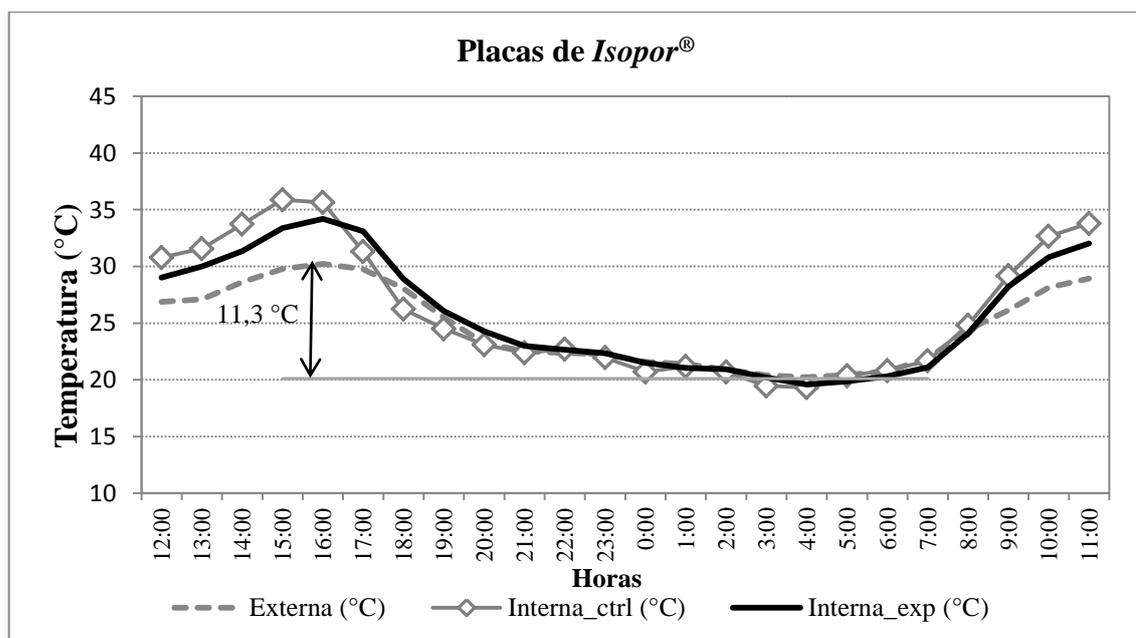


Figura 45 – Comparação entre a temperatura externa e a temperatura interna com placas de 50 mm de *Isopor*[®] no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Comparando as temperaturas externas e as temperaturas internas, observou-se um aumento de 5,7 °C na guarita controle e de 4,0 °C na guarita experimental na temperatura máxima em relação à temperatura externa. Comparando a temperatura máxima da guarita experimental em relação à temperatura externa (sem manta isolante) houve uma redução de 1,7 °C na temperatura máxima, de acordo com o mostrado na Tabela 26.

Tabela 26 – Comparação entre temperaturas máxima e mínima do ar com placas de 50 mm de *Isopor*® no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Interna Controle (°C)	Temperatura Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	5,7	4,0
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 0,9	- 0,6
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 1,7
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	0,3

Fonte: Autoria própria

No mesmo período, foram coletadas as temperaturas superficiais como se observa na Figura 46.

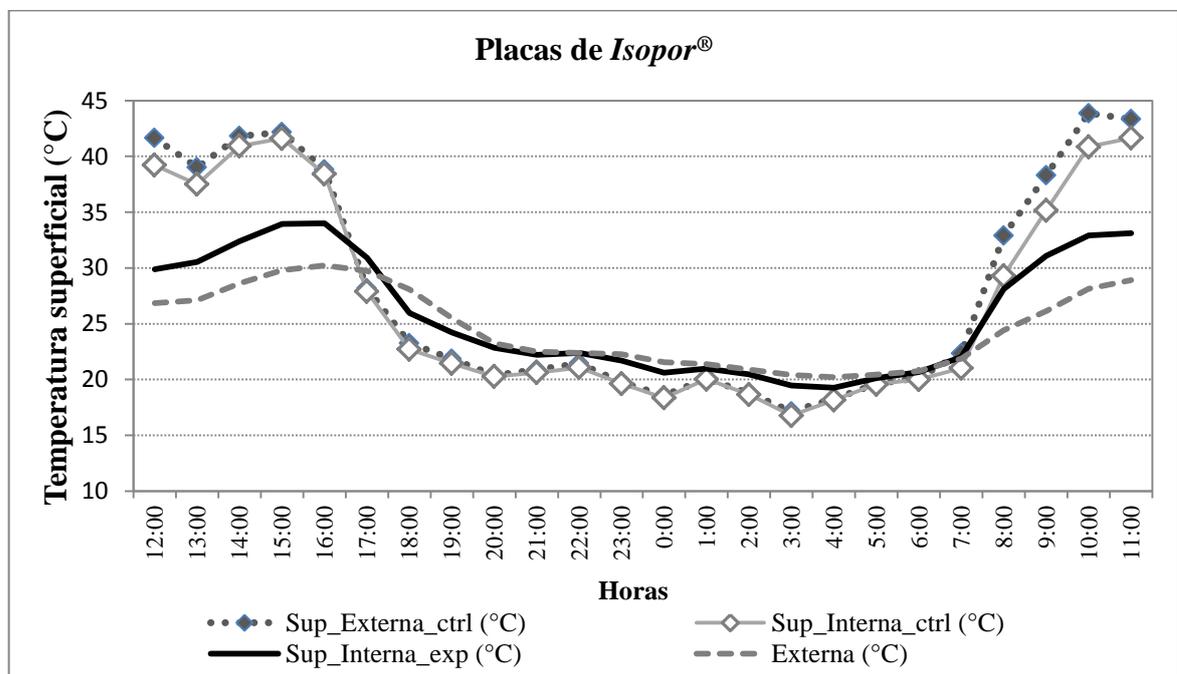


Figura 46 – Comparação entre a temperatura superficial interna e externa com placas de 50 mm de *Isopor*® no período de transição primavera-verão

Fonte: Autoria própria

Verificou-se uma redução na temperatura máxima superficial interna de 9,9 °C na guarita experimental em relação à temperatura superficial externa. Isso significou uma

redução de 7,7 °C na temperatura superficial interna máxima na guarita experimental em relação à guarita controle, conforme descrito na Tabela 27.

Tabela 27 – Comparação entre temperatura superficial interna com placas de 50 mm de *Isopor*® no período de transição primavera-verão

Diferenças	Temperatura Superficial Interna Controle (°C)	Temperatura Superficial Interna Experimental (°C)
Δ Temp. (Máx): Ref Temp. Externa	- 2,2	- 9,9
Δ Temp. (Mín): Ref Temp. Externa	- 0,4	2,1
Δ Temp. (Máx) = Experimental - Controle	- - -	- 7,7
Δ Temp. (Mín) = Experimental - Controle	- - -	2,5

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 28 mostra-se um comparativo entre as guaritas para as mantas isolantes estudadas.

Tabela 28 – Comparação da redução do calor entre as mantas isolantes no período de transição primavera-verão

Mantas isolantes	Diferenças	Diferença na temperatura do ar da guarita experimental relativamente à guarita controle (°C)	Diferença na temperatura superficial interna da guarita experimental relativamente à guarita controle (°C)
Redução do calor			
Manta <i>Tetra Pak</i> ® para o interior	Máxima diária	- 1,8	- 8,1
Manta <i>Tetra Pak</i> ® para a cobertura	Máxima diária	- 1,7	- 9,8
<i>Foil</i> dupla face	Máxima diária	- 1,6	- 7,0
Placas de 50 mm de <i>Isopor</i> ®	Máxima diária	- 1,7	- 7,7
Manta <i>Tetra Pak</i> ® dupla	Máxima diária	- 2,3	- 9,3

Fonte: Autoria própria

Com a utilização das mantas isolantes consegue-se evitar ganhos de calor pela cobertura para o período de transição primavera-verão. A manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para a cobertura e a manta *Tetra Pak*® dupla apresentaram os melhores resultados para o amortecimento do calor, uma redução de 9,8 °C e 9,3 °C respectivamente, na temperatura superficial interna. Sem considerar o aumento da emissividade com o tempo devido o acúmulo de poeira.

Logo após a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente com uma redução de 8,1 °C e as placas de *Isopor*® com uma redução de 7,7 °C na

temperatura superficial interna. O *foil* dupla face apresentou o pior resultado entre as mantas estudadas com uma redução de 7,0 °C na temperatura superficial interna.

Na Tabela 29 compararam-se as temperaturas superficiais das mantas isolantes no período de transição outono-inverno e primavera-verão.

Tabela 29 – Comparação entre o aumento da mínima diária e da redução da máxima diária entre os períodos de transição outono-inverno e primavera-verão

Mantas Isolantes	Período de Transição Outono-Inverno	Período de Transição Primavera-Verão
	Aumento da Mínima Diária (°C)	Redução da Máxima Diária (°C)
Manta <i>Tetra Pak</i> ® para a cobertura	2,7	- 9,8
Manta <i>Tetra Pak</i> ® - dupla	2,0	- 9,3
Placas de 50 mm de <i>Isopor</i> ®	2,8	- 7,7
<i>Foil</i> dupla face	2,4	- 7,0
Manta <i>Tetra Pak</i> ® para o interior do ambiente	1,2	- 8,1

Fonte: Autoria própria

Dentre as mantas isolantes, a manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para a cobertura apresentou o melhor desempenho térmico tanto para evitar perdas de calor no período de transição outono-inverno quanto para reduzir ganhos de calor pela cobertura no período de transição primavera-verão.

A manta *Tetra Pak*® - dupla também apresentou um bom desempenho tanto no amortecimento do frio quanto do calor. As placas de 50 mm de *Isopor*® e o *foil* dupla face apresentaram um desempenho mediano para o amortecimento do calor e um bom desempenho para o amortecimento do frio.

A Manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente apresentou bom desempenho para reduzir os ganhos de calor no período de transição primavera-verão, mas um baixo desempenho para o amortecimento do frio.

4.2.2 Temperatura superficial das paredes

No período de transição primavera-verão realizaram-se as medições das temperaturas superficiais internas da parede na face leste e sul e da janela na face leste, pois no período de transição primavera-verão estas faces ficam mais tempo expostas à radiação solar. O sensor para medir a temperatura na janela da face leste foi colocado sobre a manta branca.

Na Tabela 30 compara-se a temperatura superficial da manta isolante com a temperatura do ar na guarita experimental.

Tabela 30 – Comparação entre as temperaturas superficiais internas máximas das mantas isolantes com a temperatura do ar na guarita experimental no período de transição primavera-verão

Mantas isolantes	Temperatura superficial interna da manta isolante (°C)	Temperatura do ar na guarita experimental (°C)	Diferença entre a temperatura superficial da manta e a temperatura do ar (°C)
Manta <i>Tetra Pak</i> ® - dupla	34,9	34,5	0,4
Manta <i>Tetra Pak</i> ® para a cobertura	31,1	31,0	0,1
Manta <i>Tetra Pak</i> ® para o interior do ambiente	33,5	31,5	2,0
<i>Foil</i> dupla face	33,4	33,3	0,1
Placas de 50 mm de <i>Isopor</i> ®	34,0	34,2	0,2

Fonte: Autoria própria

Com a instalação da manta *Tetra Pak*® com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente ocorreu uma redução de 2,0 °C na comparação entre a temperatura superficial da manta e a temperatura do ar na guarita experimental. A utilização das outras mantas isolantes não trouxe diferenças significativas.

Na Tabela 31 fez-se a média das temperaturas superficiais internas da janela na face leste e das paredes na face leste e na face sul, para comparar com a temperatura do ar.

Tabela 31 – Comparação entre a temperatura externa e do ar na guarita experimental com a média das temperaturas superficiais internas da janela na face leste e das paredes na face leste e na face sul na guarita experimental no período de transição primavera-verão

Mantas isolantes	Temperatura externa (°C)	Temperatura do ar na guarita experimental (°C)	Temperatura superficial da janela leste (°C)	Temperatura superficial da parede leste (°C)	Temperatura superficial da parede sul (°C)	Média das temperaturas superficiais da janela e das paredes (°C)
Manta <i>Tetra Pak</i> ® - dupla	30,4	34,5	39,6	33,6	33,4	35,5
Manta <i>Tetra Pak</i> ® - para a cobertura	26,9	31,0	33,7	28,4	31,1	31,1
Manta <i>Tetra Pak</i> ® - para o interior do ambiente	29,6	31,5	34,5	30,3	31,0	31,9
<i>Foil</i> dupla face	30,0	33,3	36,1	30,9	30,4	32,5
Placas de 50 mm de <i>Isopor</i> ®	30,2	34,2	38,4	31,6	32,0	34,0

Fonte: Autoria própria

Verificou-se que a temperatura do ar na guarita experimental sofre influência das temperaturas das paredes face leste e da parede face sul, principalmente da janela na face leste, mesmo com a utilização da manta branca aplicada como elemento de sombreamento.

Desta maneira, se explica a pouca vantagem na utilização das mantas isolantes para controle das temperaturas do ar na guarita experimental devido à área de cobertura ser significativamente inferior ao total das áreas das fachadas.

Uma comparação simplificada com a metragem do objeto deste estudo mostra que a relação entre área de cobertura por área total de paredes é de cerca de 15%; porém, para uma habitação padrão popular como do programa “Minha Casa Minha Vida”, essa proporção é superior a 50%.

4.2.3 Resistência térmica das barreiras radiantes

Para estimar o valor da resistência térmica para as barreiras radiantes em estudo, realizaram-se as medições dos fluxos térmicos no período de transição primavera-verão. Segundo Incropera e DeWITT (1998), o fluxo térmico pode ser representado em termos da diferença de temperatura superficial da cobertura e da resistência térmica:

$$\text{Fluxo térmico} = (T_{\text{superficial externa}} - T_{\text{superficial da manta}}) / \text{Resistência térmica} \quad (3)$$

Assim, obtiveram-se as seguintes resistências térmicas para as barreiras radiantes em estudo, conforme apresentado na Tabela 32.

Tabela 32 – Resistência térmica das barreiras radiantes no período de transição primavera-verão

Mantas Isolantes	Resistência térmica (m ² K/W)
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] - dupla	0,42
<i>Foil</i> dupla face	0,37
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] para a cobertura	0,31
Manta <i>Tetra Pak</i> [®] para o interior do ambiente	0,16

Fonte: Autoria própria

Quando comparam-se as mantas com ambas as faces aluminizadas, a manta *Tetra Pak*[®] - dupla (duas mantas *Tetra Pak*[®] coladas - ambas as faces aluminizadas expostas) apresentou uma resistência ao fluxo de calor 12% maior que o *foil* dupla face

A melhor opção para a instalação de uma barreira com uma única face aluminizada seria com esta face voltada para a cobertura. Pois esta apresentou uma resistência térmica 48% maior que quando instalada com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente.

Assim, as mantas *Tetra Pak*[®] - dupla e voltada para a cobertura confirmam os resultados obtidos para a redução da temperatura máxima de 9,3 °C e 9,8°C, respectivamente.

5 CONCLUSÃO

As aplicações das mantas isolantes na cobertura das guaritas de fibra de vidro apresentaram pouca vantagem quanto a efeitos na temperatura do ar. A razão da área de cobertura por área total de paredes, nas guaritas, é de cerca de 15%, sendo desta forma a área de cobertura significativamente inferior ao total das áreas das fachadas.

A avaliação do desempenho térmico de mantas isolantes resultou que a manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura apresentou o melhor desempenho térmico tanto para evitar perdas de calor no período de transição outono-inverno quanto para reduzir ganhos de calor pela cobertura no período de transição primavera-verão. Assim, com a utilização da manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para a cobertura, aumentou-se em 2,7 °C a temperatura superficial mínima e reduziu-se em 9,8 °C a temperatura superficial máxima.

A manta *Tetra Pak*[®] - dupla (duas mantas *Tetra Pak*[®] coladas - ambas as faces aluminizadas expostas) apresentou uma redução de 9,3 °C na temperatura superficial máxima e um aumento de 2,0 °C na temperatura superficial mínima.

A manta *Tetra Pak*[®] com a face aluminizada voltada para o interior do ambiente apresentou uma redução de 8,1 °C na temperatura superficial máxima. No período de transição outono-inverno esta manta apresentou o pior resultado entre as mantas isolantes, um aumento de 1,2 °C na temperatura superficial mínima.

As placas de 50 mm de *Isopor*[®] e o *foil* dupla face apresentaram uma redução de 7,7 °C e 7,0 °C na temperatura superficial máxima e um aumento de 2,8 °C e 2,4 °C na temperatura superficial mínima, respectivamente.

Comparando as mantas com ambas as faces aluminizadas expostas, a manta *Tetra Pak*[®] - dupla apresentou uma resistência ao fluxo de calor 12% maior que o *foil* dupla face. Quando a manta possui somente uma face aluminizada, a melhor opção para a instalação seria com esta face voltada para a cobertura, pois esta reduziu a temperatura superficial máxima em 9,8 °C, apresentando uma resistência térmica 48% maior que quando instalada com a face voltada para o interior do ambiente.

Verificou-se o bom desempenho térmico das mantas *Tetra Pak*[®] para dificultar os ganhos de calor durante os dias quentes e ensolarados, como sendo uma opção de baixo custo e com o viés do aproveitamento/reciclagem contribuindo para que este material não seja depositado em aterros sanitários.

REFERÊNCIAS

ABDESSALAM, Mohamed; CASARI, Roger; MARCHIO, Dominique; MACE, Emmanuel et; MALEY, Vicent. Climatiser dans les DOM. **Guide pratique pour le tertiaire**. v. 7, p. 23–34, 1998.

AL-HOMOUD, Mohammad S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and Environment**. v. 40, p. 353-366, 2005.

ALUCCI, Márcia Peinado; CARNEIRO, Claudia de Medeiros; BARING, João Gualberto de Azevedo. Implantação de conjuntos habitacionais: recomendações para adequação climática e acústica. **Anais...** São Paulo: IPT, 1986.

ALVES, Silvana Aparecida. **Recomendações de projeto para a casa de madeira, construída com painéis sanduíches de chapa de compensado, visando atingir o conforto térmico, clima de São Carlos-SP**. 1997. 193f. Dissertação. Mestrado em Arquitetura – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.

AKUTSU, Maria. Avaliação do desempenho térmico de edificações: a necessidades de revisão normativa. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. **Tecnologia de edificação**. São Paulo: Pini, 1988.

AKUTSU, Maria; LOPES, David. Simulação do desempenho térmico de edificações. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo – IPT. **Tecnologia de edificações**. São Paulo, Pini, p. 473-76, 1988.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard specification for sheet radiant barriers for building construction applications, **ASTM C 1313**. West Conshohocken, 2013.

_____. Terminology relating to thermal insulation, **ASTM C 168**. West Conshohocken, 2000.

ARMELIN, Hugo S.; CHERRY, Nigel. Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação térmica na construção civil. **E-mat–Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**. São Paulo, v. 1, n. 1, p. 79-82, 2004.

ASHRAE Standard **55-92**. Thermal environmental conditions for human occupancy. ANSI/ASHRAE Standard. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta – USA. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10152**: níveis de ruído para conforto acústico. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2005a.

_____. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005b.

_____. **NBR 15220**: desempenho térmico de edificações. Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005c.

_____. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575**: edificações habitacionais: desempenho. Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013b.

BRASIL. Política Nacional de Resíduo Sólidos. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 2 de agosto de 2010.

BÜTTNER, Simone Berigo. **Avaliação de desempenho térmico e energético de coberturas em clima tropical continental**. 2008. 297 f. Dissertação. Mestrado em Tecnologia da Arquitetura - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

CAVALCANTE, Rodrigo Augusto de Sousa; CARVALHO, Carlos Silva; SILVA, Daniela Lima da; OLIVEIRA, Maria Larissa de Moraes; NAZARÉ, Brena Renata Maciel. Análise ergonômica do trabalho (AET): Estudo de caso na guarita da UEPA/Paragominas – Campus VI. **Blucher Design Proceedings**, v. 2, n. 1, p. 835-846. São Paulo: Blucher, 2015. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/15ergodesign-62-E051

CAMPBELL, S. **Application Note: weather station siting and installation tools**. Logan: Campbell Scientific, Inc., 1997.

CEMPRE – Compromisso Empresarial para reciclagem. **Revista CEMPRE Review 2013**. Disponível em: <<http://cempre.org.br/artigo-publicacao>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION - CIRIA – **Wall technology. Volume A: Performance Requirements**. Special publication 87. London, UK. CIRIA. 1992.

COWAN, Henry J. **Reflective insulation and the control of thermal environments**. Sydney: St Regis-Aci Pty. Koenigsberger, 1973.

DEPARTMENT OF ENERGY. Document DOE/CE-0335P. **Radiant barrier attic fact sheet**. 1991. Disponível em: <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/radiant/rb_01.html>. Acesso em: 13 out. 2005.

EMBALAGEM SUSTENTÁVEL. Disponível em: <<http://embalagensustentavel.com.br/2011/06/21/tetra-pak-e-o-pos-consumo/>>. Acesso em: 30 mai. 2016.

EQUIPE DE OBRA. Disponível em: <<http://construcaomercado.pini.com.br/negocios-incorporacao-construcao/157/artigo320753-1.aspx>>. Acesso em: 12 set. 2016.

FAIREY, Philip. **Radiant Energy Transfer and Radiant Barrier Systems in Buildings**, Florida Solar Energy Center, Publication DN – 6, 1994.

FBL FIBRAS BRASIL. Disponível em: <<http://www.fblfibras.com.br>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

FREIRE, Eloisa Helena Barcelos; PIZZOLATO, Nelio Domingues. **Habitações populares: seleção de sistemas construtivos**. In: SEMENGE 99, 5º, 1999, Niterói-RJ. Anais... Niterói: UFF, 1999. Artigo técnico.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli T. Ramos. **Manual do conforto térmico**. São Paulo: Nobel, 1988.

_____. **Manual de conforto térmico: arquitetura, urbanismo**. 8. ed. São Paulo: Nobel, 2007. 243 p.

GARDE, François. **Validation et développement d'un modèle thermo-aéraulique de bâtiments en climatisation passive et active. Intégration multimodèle de systèmes**. 1997. Ph.D. Thesis: Sci. Université de La Réunion, France apud SOUBDHAN, Ted; FEUILLARD, Tony; BADE, François. **Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate**. Solar energy, v. 79, n. 3, p. 311-320, 2004. DOI: 10.1016/j.solener.2004.10.009.

GIVONI, Baruch. **Man, climate and architecture**. 2 ed. London: Applied Science. 1981.

_____. **Climate considerations in urban and building design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GONZALEZ, Alexander. ROLDAN, J. E., SUAREZ, J. Control de radiacion en cubiertas de fibrocemento. In: VI encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Alagoas, Maceió. **Anais do VI ENCAC**, 2005, Maceió.

GOOGLE MAPS. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps>>. Acesso em: 05 abr. 2016.

GRANJA, Ariovaldo Denis. **Transmissão de calor em regime periódico: efeito da inércia térmica em fechamentos opacos**. 2002. 132f. Tese. Doutorado em Engenharia Civil – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

GÜTHS, Saulo; PAGHI, Carlos Eduardo. Um método de análise da eficiência energética de mantas isolantes reflexivas. In: **X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, São Paulo**, 2004.

HEME ISOLANTES. Disponível em: <<http://www.hemeisolantes.com.br>>. Acesso em: 01 jun.2016.

INCROPERA, Frank P.; DeWITT, David P. **Fundamentos de transferência de calor e de massa**. 4. Rio de Janeiro: LTC, 1998.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7726 - **Ergonomics of the thermal environments – Instruments for measuring physical quantities**. Genève: ISO, 1998.

JAIGOBIND Allan George A.; AMARAL Lucia do; JAISINGH Sammay. **Fabricação de peças em fibra de vidro (compósitos)**. Dossiê Técnico. Curitiba: TECPAR - Instituto de Tecnologia do Paraná, 2007. 46 p.

KABRE, Chitrarekha. **A new thermal performance index for dwelling roofs in the warm humid tropics**. Building and Environment. v. 45, n.2010, p. 727-738, 2009.

KREITH, Frank; BOHN, Mark S. **Princípios de transferência de calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 1977.

KRÜGER, Eduardo Leite; SUETAKE, Graziela Yumi; ADRIAZOLA, Márcia Keiko Ono. Avaliação do desempenho térmico de coberturas constituídas de embalagens Tetra Pak. In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió - AL. **Anais do VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído**. Maceió - AL: UFAL, 2005. v. 1. p. 1-9.

_____. Comparação do desempenho térmico de coberturas constituídas de embalagens Tetra Pak com manta reflexiva e placas de EPS. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2006, Florianópolis. **Anais do ENTAC 2006**. ANTAC - Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ANTAC), 2006. v. 1. p. 1-8.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de coberturas leves com ático: bancada de testes e modelo matemático**. 1983. 96f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 1983.

MASCARÓ, Juan Luis; MASCARÓ, Lucia Elvira Raffo. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. Ed Sagra-DC Luzzatto, 1992.

_____. **O custo das decisões arquitetônicas**. 3º ed. Porto Alegre: Masquatro, 2004.

MEDINA, Mario A. On the performance of radiant barriers in combination with different attic insulation levels. **Energy and Buildings**, v. 33, p. 31-40, 2000.

MICHELS, Caren. **Análise da transferência de calor em coberturas com barreiras radiantes**. 2007. 119f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/pol%C3%ADtica-de-res%C3%ADduos-s%C3%B3lidos>>. Acesso em: 02 de jul. 2016.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Normas regulamentadora nº 17: Ergonomia**. Disponível em: <http://acesso.mte.gov.br/data/files/FF8080812BE914E6012BEFBAD7064803/nr_17.pdf>. Acesso em: 25 jun. 2016.

MIRANVILLE, Frederic; BOYER, Harry; GARDE, Francois. On the thermal behaviour of roof-mounted radiant barriers under tropical and humid climatic conditions: modelling and empirical validation. **Energy and Buildings**, Saint-Pierre, v.35, n.10, p.997-1008, 2003.

MOHAN, Manju; SIDDIQUI, T. A. Analysis of various schemes for the estimation of atmospheric stability classification. **Atmospheric Environment**, v. 32, n. 21: p. 3775-3781, 1998.

NOVUS. Registrador Eletrônico Logbox – DA. Disponível em: <<http://www.novus.com.br/>>. Acesso em: 09 mai. 2016.

OLGYAY, Victor. **Arquitetura y clima: Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A., 1998.

ONSET COMPUTER CORPORATION. **Estação Meteorológica HOBO**. Disponível em: <<http://www.onsetcomp.com>>. Acesso em: 09 mai. 2016.

PAPST, Ana Lígia. **Uso de inércia térmica no clima subtropical estudo de caso em Florianópolis-SC**. 1999. 165f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC, 1999.

PASQUILL, Frank. The estimation of the dispersion of windborne material. **Meteorological Magazine**, v. 90, n. 1063: p. 33- 49, 1961.

PERALTA, Gizela. **Desempenho térmico de telhas: Análise de monitoramento e normalização específica**. 2006. 131f. Dissertação. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PERDIGÃO, Ana Kláudia de A. **Beiral quebra-sol/quebra-chuva: um estudo comparativo da resposta térmica no ambiente construído em zonas equatoriais úmidas**. 1994. 203f. Dissertação. Mestrado em Arquitetura e Planejamento – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

PREFEITURA DE CURITIBA. **Plano de gestão integrada de resíduos sólidos de Curitiba**. Disponível em: <<http://www.curitiba.pr.gov.br/conteudo/plano-de-gestao-integrada-de-residuos-solidos/6>>. Acesso em: 02 de jul. 2016.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima. Condicionamento térmico natural**. 240 p. Porto Alegre: 1985.

ROBINSON, Nathan. **Solar radiation**. Elsevier, 1966.

RORIZ, Maurício. **Zona de conforto térmico – Um estudo comparativo de diferentes abordagens**. 1987. 133f. Dissertação. Mestrado em Arquitetura e Planejamento - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP. São Carlos, 1987.

SCHMUTZLER, Luis Otto Faber (2001), **Projeto forro Vida Longa - UNICAMP**. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~vidalong/>> Acesso em: 20 de jun. 2016.

SIG. Disponível em <www.sig.biz/brazil/pt/sig-brasil/fabrica-brasileira/>. Acesso em: 27 jun. 2016.

SIGMA SENSORS. Disponível em <<http://www.sigmasensors.com.br>>. Acesso em: 09 mai. 2016.

SILVA, Christian Luiz da. **Avaliação da política municipal da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos de Curitiba**. 2016. Disponível em: < <https://cidadeslixozero.files.wordpress.com/2016/06/relatorio-pmgirs-curitiba-junho-2016.pdf>>. Acesso em: 02 de jul. 2016.

SILVA, Deonísio da. **De onde vêm as palavras: origens e curiosidades da língua portuguesa**. LEXIKON Editora, 2014.

SILVEIRA, Virginia Piccinini; GAN, Manoel Alonso. Estudo de tendência das temperaturas mínimas na Região Sul do Brasil. In: **XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia - CBMET**, Florianópolis. 2006.

SPANNENBERG, Mariane Gampert. **Análise de desempenho térmico, acústico e lumínico em habitação de interesse social: estudos de caso em Marau-RS**. 2006. 189f. Dissertação. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SOUBDHAN, Ted; FEUILLARD, Tony; BADE, François. **Experimental evaluation of insulation material in roofing system under tropical climate**. Solar energy, v. 79, n. 3, p. 311-320, 2004.
DOI: 10.1016/j.solener.2004.10.009.

SOUZA, Henor Artur de; FONTANELLA, Márcia Silva. Percepção do ambiente térmico nas salas de aula pelos alunos da UFOP. REM. **Revista Escola de Minas**, v. 64, p. 415-419, 2011.

SZOKOLAY, Steven. **Introduction to architectural science: the basis of sustainable design**. Oxford: Elsevier/Architectural Press, 2004.

TORREIRA, Raul P. **Isolamento térmico**. São Paulo, 1980.

TURNER, D. Bruce. **Workbook of atmospheric dispersion estimates**. Office of Air Program Pub. No. AP-26, Environmental Protection Agency, USA, 1970.

VEFAGO, Luiz Henrique Maccarini. **Fachadas pré-fabricadas em argamassa reforçada com fibra de vidro em três estudos de caso na grande porto alegre**. 2006. 205f. Dissertação. Mestrado em Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

VITTORINO, Fúlvio; SATO, Neide Matiko Nakata; AKUTSU, Maria. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas**. ENCAC-COTED, Curitiba: Brasil, 2003.

