

Avaliação do desempenho térmico de coberturas com a substituição de manta térmica por embalagens Tetra Pak-®

Kelen Zanella¹
Maiara Foiato²
Jhulis Marina Carelli³

Resumo

Conforto térmico é um termo utilizado para descrever a satisfação de um ser humano em um determinado espaço com relação à temperatura do mesmo. Uma das maneiras de se garantir esse conforto é utilizando mantas térmicas em coberturas associadas à um tipo de telha que auxilie neste processo. O objetivo do estudo foi avaliar embalagens Tetra Pak-® substituindo estas mantas que são encontradas em lojas de construção. Para isto, executou-se placas com embalagens dispostas em posições diferentes, com o alumínio disposto para cima, para baixo e de forma intercalada, com união diversificada das mesmas, tipo coladas, grampeadas e costuradas, uma e duas camadas e ainda com telhas distintas, sendo elas, telhas cerâmicas, fibrocimento e metálicas. Além desses, para fins de comparação, fez-se o teste com a manta dupla face disponível no mercado local. Os ensaios de medição de temperatura foram realizados em protótipos com o uso do termo higrômetro digital, medindo-se as temperaturas internas e externas durante 3 dias de cada simulação e em 5 horários distintos em cada dia. Chegou-se a resultados positivos quando comparadas as placas confeccionadas de embalagens Tetra Pak-® com a manta aluminizada. Verificou-se pela avaliação dos resultados que a combinação para atingir um melhor conforto térmico foi utilizando as embalagens coladas entre si para formar a placa e com a face aluminizada voltada para cima (sentido da telha). E para essa combinação a diferença de temperatura externa e interna foi de aproximadamente 7,7°C, sendo que, a manta dupla face comercializada apresentou redução de 6,9°C. Observou-se que independentemente de como as embalagens estão dispostas e com qual telha estão sendo utilizadas, o seu uso pode ocasionar melhor conforto térmico no verão, além de ser uma opção sustentável visto a reciclagem das embalagens. Palavras-chave: conforto térmico; embalagens Tetra Pak-®; coberturas.

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico é essencial em edificações, este é assegurado quando as pessoas presentes no ambiente não sentem frio ou calor, ou seja, a temperatura do local é adequada para o bem estar humano e o mesmo torna-se confortável.

¹ Engenheira Civil, formada pela Universidade do Oeste de Santa Catarina; kelenzanella8@gmail.com

² Professora Mestra, Universidade do Oeste de Santa Catarina; maiara.foiato@unoesc.edu.br

³ Professora Mestra, Universidade do Oeste de Santa Catarina; jhulis.carelli@unoesc.edu.br

Um dos métodos utilizados para garantir o conforto térmico é a aplicação de mantas térmicas em coberturas de residências, responsáveis por refletir a radiação solar de volta ao ambiente externo, não deixando com que o calor entre para a edificação, tornando-a mais agradável, especialmente no verão. No inverno, por ser um material impermeável, a manta impede a entrada de toda forma de ar, garantindo assim, o conforto também nesta época do ano.

Uma das maiores preocupações atualmente é a reciclagem de materiais após serem utilizados pela população, diminuindo assim a poluição das cidades. Todavia, existem embalagens que não são possíveis de serem recicladas pela quantidade de camadas e materiais utilizados na constituição das mesmas. Nestes casos, a solução viável é a reutilização, isto significa aplicar um produto novamente na mesma função ou em diversas outras possibilidades.

Dentre estes produtos destacam-se as embalagens Tetra Pak-®, que vem ganhando espaço e visibilidade no sul do país através da reutilização destas na forma de placas, forrando casas para auxiliar nos dias frios que se fazem presentes no inverno rigoroso enfrentado.

A embalagem longa vida é utilizada para garantir a durabilidade e a qualidade dos alimentos nela acondicionados. Após o consumo, estas embalagens tornam-se lixo de difícil decomposição. A maior parte deste lixo destina-se para aterros sanitários, contribuindo para a ocupação de áreas e o aumento do volume de material a ser depositado (JAHNKE, 2006).

Com base no que foi relatado, esta pesquisa teve como objetivo analisar o desempenho térmico de coberturas a partir da substituição de mantas térmicas pelas embalagens Tetra Pak-®, bem como fazer um estudo comparativo de diferentes configurações na instalação dessas embalagens.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 CONFORTO AMBIENTAL

O conforto ambiental para Lamberts, Dutra e Pereira (2014) pode ser entendido como um conjunto de condições ambientais que permitem ao ser humano sentir bem estar térmico, visual, acústico e antropométrico, além de garantir a qualidade do ar e o conforto olfativo.

2.1.1 Conforto térmico

O conforto térmico segundo a NBR 15220 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003) é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

Para Lamberts *et al.* (2016) o conforto se refere ao estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico

não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente.

Convém ressaltar que devido à variação biológica entre as pessoas, é impossível que todos os ocupantes do ambiente se sintam confortáveis termicamente, buscando-se sempre criar condições de conforto para um grupo, ou seja, condições nas quais a maior porcentagem das pessoas se encontre em conforto térmico (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Ainda, segundo Lamberts *et al.* (2016), as trocas térmicas entre o corpo humano e o ambiente podem ocorrer por condução, convecção, radiação, evaporação e respiração, processos que dependem de certas variáveis de conforto térmico.

Estas variáveis podem ser divididas em ambientais como a temperatura do ar, temperatura radiante, a umidade relativa e a velocidade do ar, além de variáveis humanas como o metabolismo gerado pela atividade física e a resistência térmica gerada pela vestimenta (LAMBERTS *et al.*, 2016).

Freitas (2005) dispõe que o conforto térmico dos usuários depende de quatro grandezas físicas principais: a temperatura do ar, as temperaturas das superfícies, a umidade do ar e a velocidade do vento. Todas essas grandezas são interrelacionadas e diretamente influenciadas pela concepção arquitetônica: orientação, disposição, dimensões, materiais, entre outros princípios da arquitetura.

Conforme Freitas (2005), a temperatura, quantidade de calor existente num corpo ou num determinado local, é um dos elementos climáticos melhor percebidos pela população e dos mais influentes no seu cotidiano. Um indivíduo em um clima temperado ou frio pode sentir-se confortável entre 14 e 18°C. Enquanto isso, um habitante de um clima quente e úmido só vai sentir a mesma sensação de bem-estar em temperaturas próximas a 25°C.

2.2 COBERTURAS

A cobertura é o elemento de uma construção que tem como finalidade proteger a obra e o seu conteúdo contra intempéries e ações da natureza (SALGADO, 2011).

Salgado (2011) cita ainda que a cobertura de uma obra é composta basicamente de dois elementos: a estrutura, que é o elemento constituído de vigas e peças metálicas ou de madeira, chamadas de tesouras, e a cobertura (telhas), que é o elemento que cobre a estrutura dando assim proteção à obra.

A estrutura de uma cobertura é basicamente composta de um sistema treliçado destinado a suportar todo o carregamento da mesma além dos esforços provenientes da ação de intempéries (SALGADO, 2011).

2.2.1 Desempenho térmico em coberturas

Nas residências horizontais a maior parte exposta à radiação solar é o telhado, o qual absorve grande parte desta energia e a transfere para o interior das edificações, aumentando os ganhos térmicos e conseqüentemente, elevando a temperatura interna (MICHELS, 2007).

Ainda segundo Michels (2007) o desempenho térmico das coberturas depende das características dos elementos que compõem o telhado, como por exemplo, o material das telhas, a cor da superfície externa, a emissividade e a ventilação existente na camada de ar correspondente ao ático.

Segundo Torreira (1980), o isolamento térmico é o processo através do qual se obtém a isolação térmica de um sistema físico pela aplicação adequada de material isolante térmico. Sua finalidade é dificultar, reduzir e minimizar a transferência de calor entre dois sistemas físicos que se encontram em níveis diferentes de temperatura (JAHNKE, 2006).

A NBR 15575 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013) define subcobertura como o componente impermeável aplicado sob o telhado, com a finalidade de impedir que pequenas infiltrações de água atinjam o forro ou a laje da cobertura. Além disso, o elemento pode ser constituído de películas reflexivas ou isolantes, com a finalidade de melhorar o desempenho térmico da cobertura.

2.2.1.1 Isolamento térmico com mantas

Segundo Vittorino, Sato e Aktsu (2003), uma forma de reduzir os ganhos de calor pela cobertura é diminuir a absorção da energia solar pelo uso de materiais de alta refletância na sua face externa ou reduzir a quantidade de energia térmica de onda longa irradiada para o interior dos recintos através do emprego de materiais de baixa emissividade.

Entre os isolantes resistivos tradicionais encontram-se 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. A resistência térmica destes materiais é, principalmente, devido à grande quantidade de ar presente entre as fibras ou confinado nas pequenas células formadas no processo de expansão das espumas e dos isolantes granulares. Algumas espumas podem conter ainda nos seus poros outros gases, com condutividade menor que a do ar (VITTORINO; SATO; AKTSU, 2003).

As barreiras radiantes consistem de um material de baixa emissividade, posicionado no elemento construtivo de tal forma que esteja voltado para um ambiente, que pode ser o espaço ático, com ou sem ventilação, ou os recintos habitáveis. O desempenho do produto é definido em cada caso, pela interação da barreira com as outras superfícies, não cabendo a especificação de uma resistência térmica, mas apenas as características do material a ser usado como barreira radiante (ASTM C 1313-00 apud VITTORINO; SATO; AKTSU, 2003). O material comumente empregado em barreiras radiantes é o alumínio polido, na forma de lâminas ou folhas muito finas, com espessura da ordem de 6 a 8 μm , cuja emissividade é menor que 0,1.

Ainda segundo Vittorino, Sato e Aktsu (2003) os principais produtos oferecidos no mercado nacional como barreiras radiantes são constituídos de: folha de alumínio aderida a uma ou ambas as faces de um substrato que pode ser de diversos materiais como por exemplo, manta polimérica, papel kraft, dentre outros, folha de alumínio em uma ou ambas as faces de "plástico bolha", com espessura de 3 a 5 mm, camada metálica entre filmes de polietilenos aderidos a espuma plástica também de polietileno, com espessura de 2 a 5 mm, filme plástico com camada metálica aderida por deposição a vácuo.

Vittorino, Sato e Aktsu (2003), ao avaliar o desempenho de mantas já comercializadas, comentam que se a manta radiante for instalada inadequadamente, haverá redução do seu desempenho térmico, podendo ocasionar riscos de incêndio, condições inseguras, choques elétricos e promover a deterioração na estrutura na qual está fixada. O desempenho da barreira radiante pode ser afetado negativamente quando, sobre a face da baixa emissividade, ocorrer: presença de materiais estranhos, corrosão devido a presença de um poluente aéreo que possa reagir com o metal da superfície, presença, por longos períodos, de umidade e acúmulo de poeira.

O Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 1991; DOE, 2002 apud JAHNKE, 2006), define barreiras radiantes como materiais que, ao serem instalados em edificações, reduzem os ganhos térmicos no verão e as perdas no inverno, uma vez que estes materiais reduzem a emissão da radiação em onda longa, diminuindo assim o consumo de energia para o aquecimento ou resfriamento da edificação. As barreiras radiantes normalmente são mantas finas e formadas por um material altamente refletivo e de baixa emissividade. O material comumente utilizado é o alumínio aplicado em um ou nos dois lados da manta.

Por evitar a perda de calor e reduzir os ganhos térmicos, as barreiras radiantes ajudam a economizar energia elétrica, principalmente em ambientes climatizados. Numa residência que possui condicionador de ar, em função da redução do fluxo de calor que atinge ao interior da residência, o aparelho será menos utilizado. O mesmo ocorre para o aquecimento: com a barreira radiante dificultando as perdas, o calor gerado internamente é conservado, reduzindo também a necessidade de utilizar o condicionamento térmico artificial (ANTUNES, 2005 apud JAHNKE, 2006).

2.2.1.2 Isolamento térmico com embalagens Tetra Pak-®

As embalagens Tetra Pak-®, também conhecidas como longa vida, são formadas por várias camadas de diferentes materiais como o papel, o polietileno de baixa densidade e o alumínio (PEDROSO; ZWICKER, 2007 apud SILVA *et al.*, 2015). Segundo Jahnke (2006) a união das embalagens cartonadas longa vida transforma-se em uma barreira radiante. A aplicação de embalagem longa vida em subcoberturas, bem como em painel de vedação, contribui para a redução das trocas de calor com o ambiente externo. Assim o material que poderia se tornar lixo, transforma-se em material isolante térmico para edificações de todos os tipos (JAHNKE, 2006).

2.2.2 Estudos de caso a partir da utilização de embalagens Tetra Pak-®

Jahnke (2006) elaborou duas propostas de painel de vedação fazendo o uso das embalagens Tetra Pak-®. Na primeira proposta analisou o painel confeccionado pela indústria Tetra Pak-®, com chapas de polietileno/alumínio/madeira. A segunda foi executada com a reutilização das embalagens. Foram feitos painéis com dimensões de 10 x 10 cm para ensaios de resistência térmica e de 30 x 30 cm para ensaios de condutividade aparente, utilizando o método fluximétrico. Nos ensaios apresentados, a manta foi posicionada com a face reflexiva voltada para baixo. No caso de a face ser colocada para cima, um aumento de 3% na eficiência do painel, resultado pouco significativo, considerando o provável risco de diminuição de eficiência devido à deposição de sujeira.

No estudo de Cembranel *et al.* (2019) foram desenvolvidas mantas de isolamento térmico, para composição de 1,00 m², foram utilizadas 20 embalagens unidas por meio de grampos metálicos. Elaborou-se um modelo construído em madeira, com dimensões de 50 cm de largura, 50 cm de comprimento e um metro de altura, sua cobertura foi feita com telha de fibrocimento 6 mm e forro de PVC de 7 mm. O protótipo foi dividido em três compartimentos, com o objetivo de avaliar as variações de temperatura ao longo do tempo em cada compartimento. Os ensaios e as análises estatísticas desenvolvidas demonstram que o isolante térmico desenvolvido com embalagens usadas de Tetra Pak-® possui, estatisticamente, a mesma condição de isolamento térmico que o isolante comercial. Além disso, apresentam-se como alternativa ambientalmente correta de destinação deste resíduo de difícil reciclagem. Ainda conforme Cembranel *et al.* (2019), é de se esperar que em telhados com telhas cerâmicas o aumento da emissividade se dê mais rapidamente do que nos telhados com menor permeabilidade ao ar como os de telhas metálicas ou as de fibrocimento, por isso para se preservar o desempenho ao longo do tempo é importante que a instalação seja feita de maneira correta para de fato melhorar o ambiente.

Sampaio, Cardoso e Souza (2011) realizaram um estudo em três modelos de edificações construídos em escala distorcida, com dimensões de 1,40 m de largura, 3,00 m de comprimento e 1,50 m de pé direito, os modelos foram construídos em terreno plano e distanciados 4,00 m entre si. Testou-se telhas cerâmicas, fibrocimento e aço galvanizado, todas com inclinação de 30%. A partir de medições feitas com o uso de termômetro infravermelho com mira laser, chegou-se a resultados satisfatórios para as telhas cerâmicas e de fibrocimento, com alta eficiência na interceptação solar, sendo as mais indicadas para cobertura de edificações.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 METODOLOGIA DE ENSAIOS

Para o desenvolvimento do estudo utilizou-se protótipos existentes no Laboratório de Engenharia da Unoesc – Joaçaba. Os mesmos tinham dimensões externas de 1,10 m x 1,30 m

aproximadamente e altura de 1 m. O local foi escolhido para que os elementos recebessem a luz solar de forma satisfatória, obtivessem o máximo de incidência solar sobre a cobertura durante todo o dia e que simulasse o máximo possível um ambiente construído.

3.1.1 Telhas

Para este estudo definiu-se a utilização de 3 tipos de telhas, sendo uma delas denominada a telha principal, usada para todos os testes e os outros 2 tipos foram empregues apenas para fins de comparação. A telha principal utilizada foi a cerâmica com encaixe, suas dimensões eram de 40 cm x 23 cm. Utilizou-se também a telha de fibrocimento com espessura de 6 mm e a telha metálica ondulada.

3.1.2 Execução do telhado

A estrutura do telhado foi realizada totalmente de madeira, em duas águas e com inclinação de aproximadamente 35%, este valor sendo adotado para suprir a inclinação necessária para a telha principal (cerâmica). Primeiramente, as madeiras utilizadas foram cortadas com uma serra policorte manual. A montagem foi iniciada pelos banzos inferiores, seguido dos superiores e do oitão conforme mostra a Fotografia 1.

Fotografia 1 - Estrutura do telhado



Fonte: os autores (2020).

Anteriormente à fixação das ripas com pregos, alocou-se as placas executadas com as embalagens, e estas foram fixadas na estrutura através de um grampeador. As ripas foram posicionadas a 34 cm de distância entre as mesmas para realizar o encaixe da telha cerâmica.

3.1.3 Montagem das placas com as embalagens

Para realizar a montagem das placas, as embalagens foram recolhidas, cortadas com o auxílio de uma tesoura, lavadas com água e sabão e secas ao ar livre.

A montagem das placas foi realizada de acordo com o teste que iria ser efetuado. Para o primeiro ensaio, denominado Teste 1, executou-se 3 placas com o alumínio disposto de formas diferentes. Para o primeiro protótipo, as embalagens foram dispostas com o alumínio para baixo, e, no segundo com o alumínio para cima. O terceiro foi executado com o alumínio intercalado, isto é, uma embalagem disposta para cima e a seguinte para baixo.

Para este primeiro teste, as embalagens foram costuradas entre elas e alocadas na estrutura do telhado por meio de grampeador, o uso deste foi padronizado para todos os testes. As três disposições testadas são apresentadas na Fotografia 2 (a/b/c), obtidas na confecção dos telhados, anteriormente às medições.

Fotografia 2 - Disposição diferente das embalagens: a) Alumínio para baixo, b) Alumínio para cima e c) Alumínio intercalado



(a)



(b)



(c)

Fonte: os autores (2020).

Posteriormente, fez-se a avaliação com diferentes tipos de ligação entre as embalagens: costuradas (idem ao Teste 1), grampeadas e coladas. Esta etapa foi denominada de Teste 2. Utilizou-se para a colagem adesivo de contato da marca Cascola. A disposição das embalagens seria de acordo com os resultados obtidos no Teste 1. Neste segundo teste fez-se a análise com a manta aluminizada dupla face, comercializada para o uso em coberturas visando o conforto térmico. Utilizou-se a mesma como um método de comparação para os valores obtidos nos demais ensaios. Os 2 tipos de embalagens sendo confeccionados e a

manta dupla face posicionada na estrutura do telhado pode ser vista na Fotografia 3 (a/b/c), a seguir.

Fotografia 3- Diferente união entre as embalagens: a) Colada, b) Costurada e c) Manta comercializada



(a)

(b)

(c)

Fonte: os autores (2020).

O terceiro ensaio, denominado Teste 3, foi feito com duas camadas de placas, ou seja, utilizou-se duas placas, uma sobre a outra no ensaio. Em um dos protótipos, além das duas camadas, no meio destas foi aplicada uma manta de polietileno utilizada para confecção de pisos laminados. Este teste também foi efetuado com base nos testes anteriores, usando a melhor disposição e a melhor união das embalagens. O terceiro protótipo foi realizado com a manta dupla face comercializada já testada anteriormente para fins de comparação. A disposição dos dois protótipos pode ser vista na Fotografia 4 (a/b).

Fotografia 4 - Duas camadas e sanduíche: a) Duas camadas e b) Sanduíche



(a)

(b)

Fonte: os autores (2020).

O Teste 4 foi realizado com os outros dois tipos de telha, a fim de analisar qual dos métodos contribuiria na redução da temperatura interna do telhado. A placa foi colada com o alumínio para cima, conforme os testes anteriores. Na Fotografia 5 (a/b) é possível observar os protótipos correspondentes ao Teste 4, prontos para as medições.

Fotografia 5 - Diferentes tipos de telhas: a) Telha de fibrocimento b) Telha metálica



(a)



(b)

Fonte: os autores (2020).

3.1.4 Ensaio de desempenho térmico

Optou-se como metodologia para o ensaio de desempenho térmico das coberturas uma medição de temperatura interna e externa utilizando o aparelho termo higrômetro digital.

Na parte interna do telhado, o aparelho foi alocado no meio da laje existente e acima da mesma, levemente apoiado na tesoura central, garantindo que o aparelho ficasse no meio do protótipo, havendo assim, um espaço entre o termo higrômetro e a manta. Para a inserção do aparelho de medição, executou-se uma pequena abertura na parte frontal do oitão da estrutura, permitindo assim, a realização das medições.

A fim de padronizar as medições externas com as internas, colocou-se o termo higrômetro digital sobre as telhas para efetuar as medições, fazendo com que o método

utilizado recebesse a incidência direta do sol e ficasse relativamente na mesma altura da parte interna.

Escolheu-se dias ensolarados para a realização dos ensaios de desempenho térmico para cada disposição e união das embalagens. As medições tanto da parte interna quanto da parte externa foram realizadas nos seguintes horários: 8h, 10h, 12h, 14h e as 16h do mesmo dia, estes foram escolhidos com intervalo de 2 horas e por serem horários que representavam a mudança da incidência solar. Cada medição de cada protótipo era feita por 2 minutos, para que o aparelho pudesse estabilizar sua leitura. As medições eram feitas durante 3 dias para que as mudanças de temperatura pudessem ser analisadas com maior precisão.

3.1.5 QUANTIFICAÇÃO DOS INSUMOS

Para auxiliar na definição dos resultados recolheu-se os valores gastos para cada teste efetuado, assim como, o gasto com o material. Além disso, considerou-se aproximadamente o tempo gasto com a mão de obra necessária, este dado foi útil, pois, deve-se levar em consideração a dificuldade de montagem de cada placa e quantas pessoas eram necessárias para cada protótipo ficar pronto para iniciar os testes. Para anotar o tempo gasto na confecção fez-se o uso de celular.

Para isso, elaborou-se uma tabela com os devidos valores e também, através da tabela SINAPI de outubro de 2020, utilizou-se o custo unitário de um pedreiro e um servente, considerando que os mesmos realizariam a união e colocação das embalagens no telhado.

A quantificação dos materiais foi efetuada por meio de compra dos insumos necessários para os testes e através de uma pesquisa em lojas de materiais de construção na cidade de Joaçaba – SC. O único material não quantificado foi as embalagens de caixa de leite e derivados, uma vez que foram arrecadadas por meio de doação, e que posteriormente seriam doados à ONG Brasil sem Frestas.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DAS EMBALAGENS

Através dos valores obtidos, os dados foram organizados em quadros e também através de gráficos. Primeiramente, os quadros foram montados com os dados retirados das suas respectivas medições, considerando a temperatura externa e interna de cada horário. A partir destes dados, a fim de haver uma demonstração mais detalhada, foram gerados gráficos que mostram os resultados obtidos para cada teste realizado, com a finalidade de se ter um melhor entendimento. Para facilitar este entendimento os gráficos gerados foram divididos, no decorrer do estudo estão apresentados os gráficos de maior semelhança no comportamento.

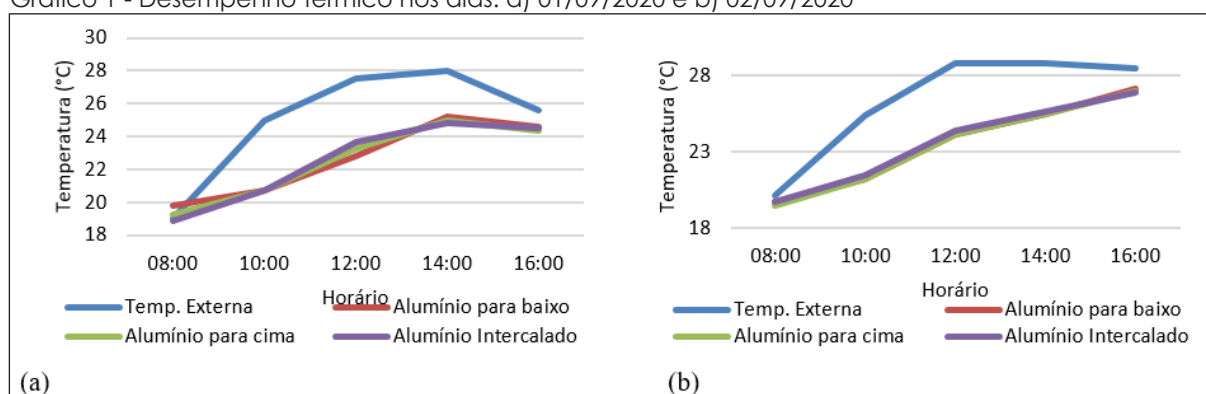
4.1.1 Teste 1

As diferentes disposições foram realizadas com o intuito de verificar com qual lado o alumínio se comportaria melhor termicamente, ou seja, com a face aluminizada voltada para a telha ou com esta face virada para baixo, além disso, testou-se as embalagens com a face do alumínio intercalado.

Para realizar os primeiros ensaios, padronizou-se o tipo de ligação entre as embalagens e sua fixação na estrutura do telhado. A união entre embalagens foi realizada por meio de costura e a fixação foi feita por meio de grampeador. Esta padronização foi realizada para auxiliar na análise dos resultados, fazendo com que não houvesse outras variáveis além da disposição das embalagens.

A partir das medições efetuadas em cada protótipo com as diferentes disposições, elaborou-se gráficos para cada dia com as temperaturas externas e internas em cada horário específico, obtendo-se assim, uma melhor comparação. O Gráfico 1 (a/b) mostra os resultados obtidos para os dias 01/09/2020 e 02/09/2020.

Gráfico 1 - Desempenho térmico nos dias: a) 01/09/2020 e b) 02/09/2020



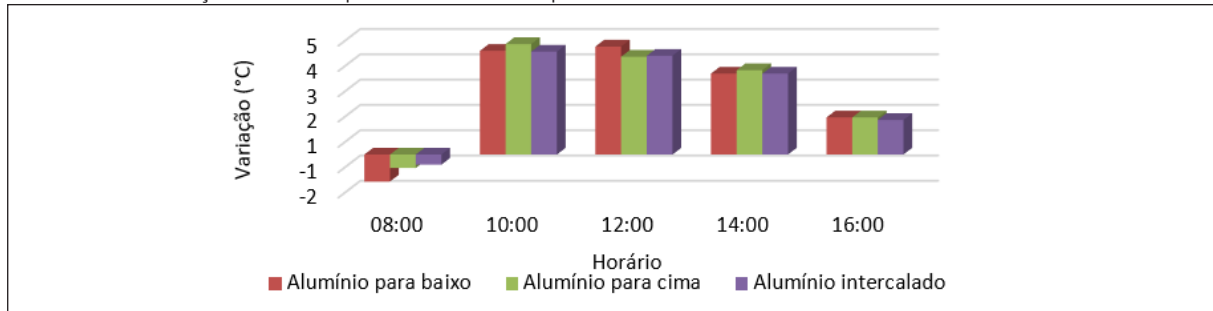
Fonte: os autores (2020).

Para o dia 01/09/2020, verifica-se que houve grande diferença de temperatura principalmente nos horários das 10h, 12h e 14h. O melhor resultado foi observado com o alumínio para baixo às 12h, obtendo 4,7°C a menos que a parte externa.

No dia 02/09/2020 nota-se que a diferença de temperatura continuou grande e no mesmo intervalo de tempo que no dia anterior, conforme já citado anteriormente, a maior redução foi constatada para a disposição do alumínio para baixo e para cima, com 4,7°C ambos.

A partir dos dados coletados, chegou-se nas variações de temperatura entre o ambiente externo e interno para cada protótipo com sua respectiva disposição das embalagens, relacionando assim, o quanto as placas em conjunto com a telha cerâmica evitaram que o calor fosse transmitido para o interior. Para melhor representar as variações fez-se a média entre os 3 dias para cada horário conforme mostra o Gráfico 2.

Gráfico 2 - Variações de temperatura térmica para o Teste 1



Fonte: os autores (2020).

Com base nas variações apresentadas, é possível notar que o alumínio para cima foi ligeiramente melhor que o disposto para baixo, por exemplo, às 10h essa diferença foi de aproximadamente 6,5%, condizendo com o avaliado por Jahnke (2006) quando cita que em seus ensaios a eficiência aumentou 3% com a face aluminizada voltada para cima, porém, o mesmo prioriza que não vale a pena utilizar essa disposição, pois, haverá acúmulo de sujeira na manta, o que futuramente pode vir a atrapalhar no desempenho da mesma.

Nos demais horários a variação de desempenho entre o alumínio para cima ou para baixo foi pequena, como por exemplo, às 16h a variação de temperatura entre as duas foi exatamente a mesma.

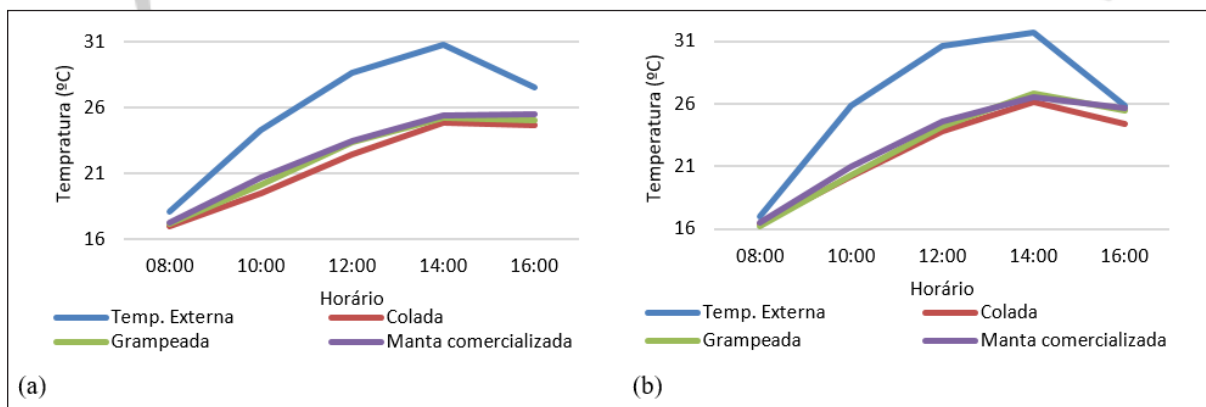
Para os demais testes, apesar de os resultados encontrados terem dado pouca diferença expressiva, definiu-se a disposição do alumínio como sendo para cima, optando por utilizar o melhor resultado, além disso, percebia-se que esta disposição teria uma maior refletividade do calor do que com o alumínio disposto para baixo, auxiliando assim, a barrar a entrada do calor.

4.1.2 Teste 2

Analisou-se diferentes tipos de uniões entre as embalagens para ver qual seria melhor termicamente levando em consideração sua facilidade na montagem e custo. Os testes foram realizados com as embalagens coladas, grampeadas e utilizou-se os resultados para as embalagens costuradas realizados anteriormente no Teste 1, totalizando assim, 3 tipos de ligação.

Além disso, realizou-se o teste com uma manta dupla face da marca Durafoil Extra a fim de comparar a eficiência das embalagens perante o produto encontrado no mercado. No Gráfico 3 (a/b) pode-se observar as temperaturas internas e externas obtidas para os dois primeiros dias de medição.

Gráfico 3 - Desempenho térmico nos dias: a) 18/09/2020 b) 19/09/2020



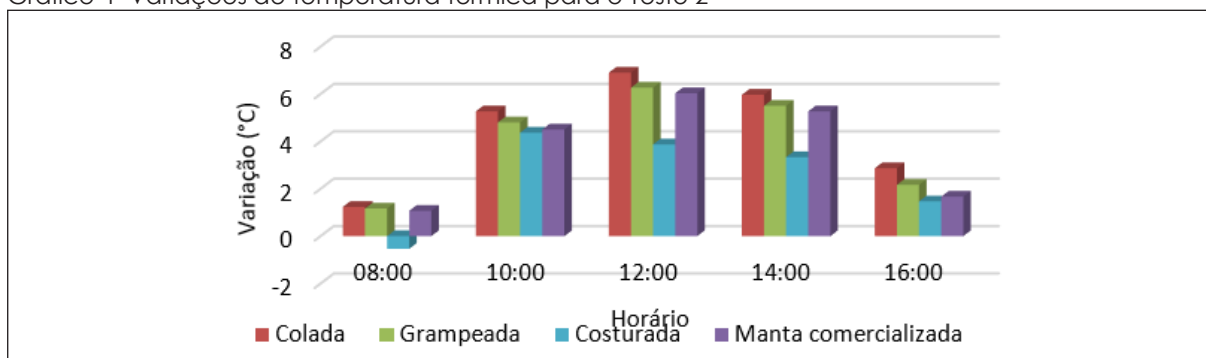
Fonte: os autores (2020).

A partir dos resultados apresentados é possível observar que no dia 18/09/2020 o tipo de união que mais apresentou diminuição na temperatura interna foi a colada, com pico de redução de 6,20°C às 12h, sendo que a grampeada apresentou resultado de 5,60°C e a manta dupla face comercializada resultou em 5,40°C abaixo da temperatura externa, ambas às 14h00.

Segundo a medição do dia 19/09/2020, é possível analisar que novamente o tipo de união que obteve melhor resultado foi a colada, com maior redução às 12h, apresentando 6,80°C a menos que a temperatura externa.

O Gráfico 4 apresenta as variações médias de temperatura entre o ambiente interno e externo para cada protótipo com sua respectiva união entre as embalagens.

Gráfico 4 -Variações de temperatura térmica para o Teste 2



Fonte: os autores (2020).

As variações de temperatura indicadas no Gráfico 4 demonstram uma diferença significativa entre os diferentes tipos de união, observa-se que a manta colada obteve melhores resultados, cerca de 10% maiores que a manta grampeada as 12h e 9,7% maior as 10h. Além disso, observa-se que a manta costurada obteve variações inferiores a todos os testes, como por exemplo com a manta comercializada, chegando a ser 37% menor às 14h.

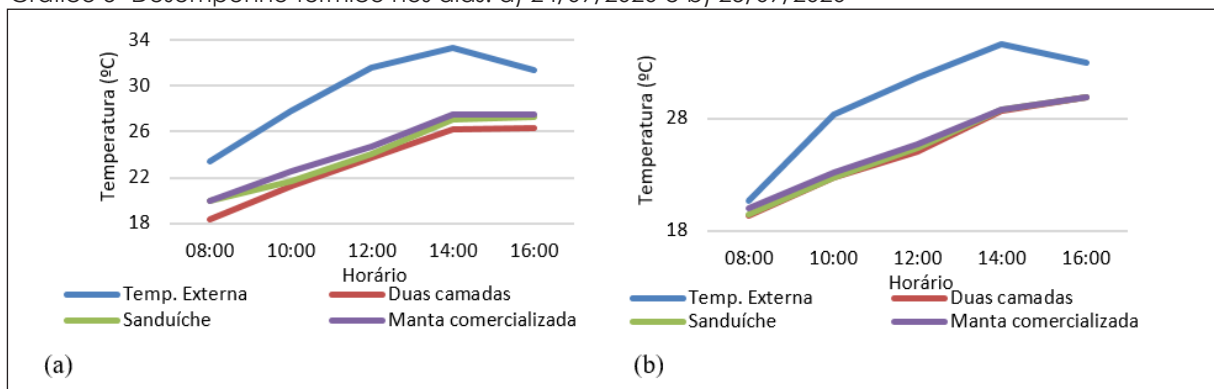
Nota-se ainda que as mantas coladas e grampeadas apresentaram diferenças de temperatura maiores que a manta dupla face disponível no mercado, conforme observa-se às

16h onde a placa colada foi 72% melhor e a grampeada foi 30% superior, ambas comparadas a manta comercializada. Já às 12h os resultados para a manta colada foram 14% superiores que a dupla face, ultrapassando o citado por Cembranel *et al.* (2019), que em seu estudo avaliou que as embalagens possuem, estatisticamente, a mesma condição de isolamento térmico que o isolante comercial.

4.1.3 Teste 3

Testou-se os protótipos com duas camadas de placas coladas com o alumínio disposto para cima conforme as disposições anteriormente analisadas e baseando-se nos melhores resultados. Para o primeiro protótipo, utilizou-se duas camadas dispostas uma em cima da outra, e, para o segundo, fez-se a disposição do tipo sanduíche com duas camadas e no meio manta de polietileno. No Gráfico 5 (a/b) a seguir, apresentam-se os resultados obtidos para as medições dos dias 24/09/2020 e 25/09/2020 e em seguida a análise dos mesmos.

Gráfico 5- Desempenho térmico nos dias: a) 24/09/2020 e b) 25/09/2020

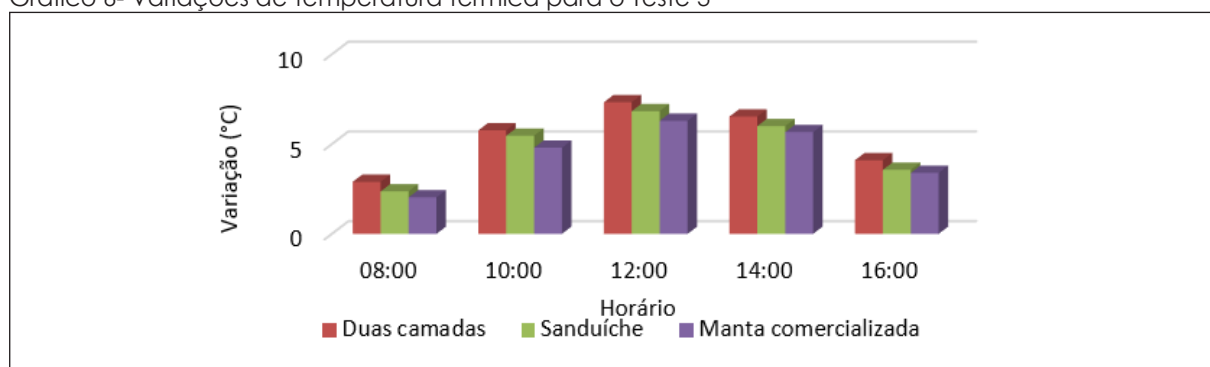


Fonte: os autores (2020).

No primeiro dia de medição, é possível observar que a maior diminuição de temperatura foi às 12h, de 7,90°C para a placa com duas camadas, já para o tipo sanduíche o melhor resultado foi também às 12h com redução de 7,50°C. A manta comercializada dupla face obteve 5,90°C de diferença de temperatura, apresentando o pior resultado para o dia 24/09/2020. Com relação ao dia 25/09/2020, os resultados obtidos sinalizam que o teste com duas camadas apresentou melhores resultados, com diminuição de 6,50°C às 12h entre a temperatura externa e interna.

A partir das medições realizadas e análises feitas, foi possível gerar o Gráfico 6 com as variações de temperatura média obtidas para os 3 dias de medição.

Gráfico 6- Variações de temperatura térmica para o Teste 3



Fonte: os autores (2020).

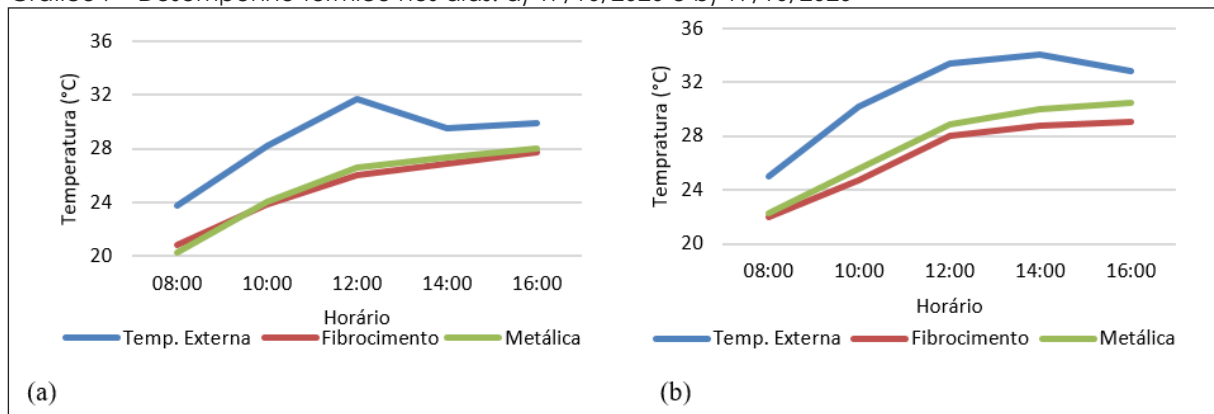
O Gráfico 6 mostra que o teste com duas camadas foi o mais eficiente dos 3 avaliados, sendo melhor até que a manta dupla face comercializada. Foi possível constatar que o horário com maior diferença de temperatura foi às 08h para todos os testes, havendo diferença entre o protótipo com duas camadas e o de sanduíche de 22,5% e entre o de duas camadas e a manta dupla face de 42,6%. O horário que obteve maior variação de temperatura para as duas camadas foi às 12h com 7,3°C a menos que a externa. Já às 14h a eficiência foi de 6,5°C.

As duas camadas coladas obtiveram melhores resultados que apenas uma camada, avaliada no Teste 2, como por exemplo às 12h em que a manta com duas camadas alcançou diminuição de 7,3°C perante a parte externa, para este mesmo horário a manta com apenas uma camada apresentou 6,9°C a menos que a externa, porém, para as demais análises optou-se por utilizar apenas uma camada de manta, ocasionando uma economia no número de embalagens utilizadas e também na quantidade de cola necessária, visto que, a diferença de diminuição de temperatura não foi significativa.

4.1.4 Teste 4

Para o Teste 4 analisou-se outros dois diferentes tipos de telhas, a de fibrocimento e a metálica. Utilizou-se uma camada de placa colada, com o alumínio disposto para cima, conforme testes anteriores. A seguir o Gráfico 7 (a/b), gerado com os resultados obtidos nas medições, mostra suas respectivas temperaturas internas e externas em cada horário avaliado.

Gráfico 7 - Desempenho térmico nos dias: a) 17/10/2020 e b) 19/10/2020



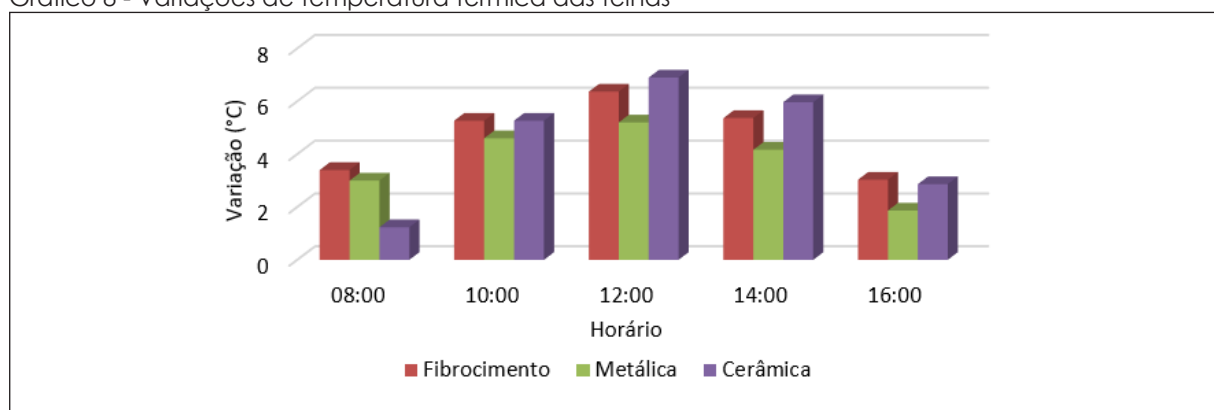
Fonte: os autores (2020).

É possível observar que no dia 17/10/2020 a maior diminuição de temperatura foi às 12h com valor de 5,7°C a menos que a temperatura externa, para telha de fibrocimento. A metálica atingiu 5,10°C a menos que a parte externa. No horário das 14h não houve uma eficiência significativa, pois, a diminuição de temperatura para a telha de fibrocimento foi de 2,6°C e para telha metálica foi de 2,10°C.

Para o dia 19/10/2020 percebe-se que houve grande distinção entre as telhas testadas, sendo a maior diferença para a telha de fibrocimento as 12h com 5,4°C a menos que a parte externa. Já para a telha metálica o melhor resultado foi de 4,5°C no mesmo horário. Às 14h a diminuição de temperatura para a telha de fibrocimento ficou em torno dos 5,3°C e para a telha metálica a redução foi de 4,10°C.

As variações de temperatura encontram-se no Gráfico 8 e são resultado da média dos 3 dias em que foram realizadas as medições. Para fins de comparação, adicionou-se os resultados obtidos no Teste 2 para telha cerâmica.

Gráfico 8 - Variações de temperatura térmica das telhas



Fonte: os autores (2020).

A partir das variações, percebe-se que de todos os horários medidos, a telha de fibrocimento foi a que melhor se comportou e a que mais auxiliou para a diminuição de

temperatura quando comparada com a telha metálica, sendo o melhor resultado encontrado às 12h com 6,4°C de variação, com diferença de 22,4% perante a telha metálica.

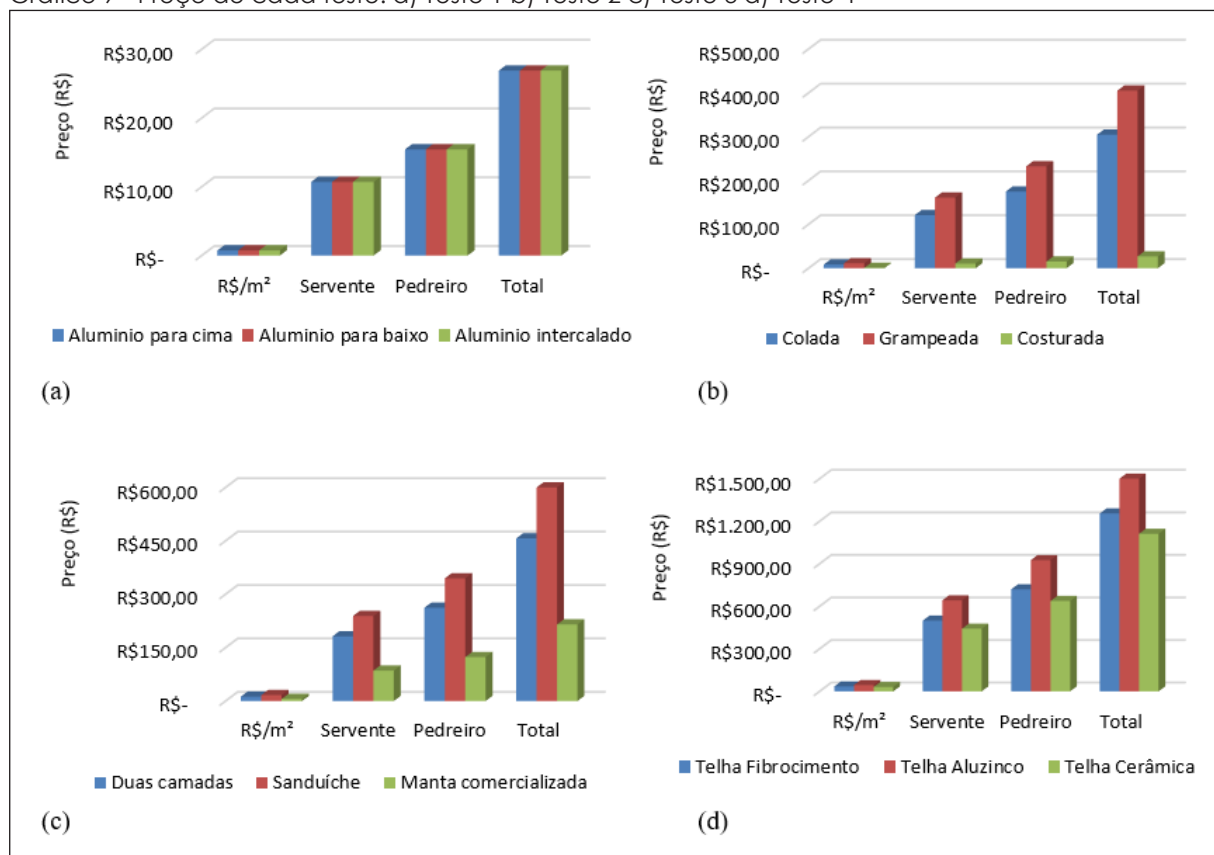
Quando se compara a telha de fibrocimento com a telha cerâmica, percebe-se que a cerâmica obteve melhor desempenho às 12h e às 16h com variação de 8% e 10%, respectivamente. Observa-se que às 10h as duas atingiram os mesmos resultados e encontram-se iguais.

Os resultados seguiram o encontrado por Sampaio, Cardoso e Souza (2011), o mesmo cita que telhas cerâmicas e de fibrocimento são as mais eficientes termicamente, sendo as mais indicadas para cobertura de edificações.

4.1.5 Custo por m²

A fim de uma melhor avaliação se fez necessário efetuar a composição por m² e ver o quanto de material foi utilizado para cada teste quantificando com o preço por m² de cada um e também da mão de obra necessária para o serviço. Quantificou-se por meio da Tabela SINAPI, sendo que a hora do pedreiro custa R\$ 20,58 e do servente custa R\$ 14,27. O Gráfico 9 (a/b/c/d) mostra o custo necessário para efetuar cada placa.

Gráfico 9 - Preço de cada teste: a) Teste 1 b) Teste 2 c) Teste 3 d) Teste 4



Fonte: os autores (2020).

A partir do Gráfico 9 (a/b/c/d) é possível definir qual dos testes é o mais econômico e posteriormente definir juntamente com o seu desempenho térmico qual é o melhor para possivelmente substituir uma manta comercializada.

O Teste 1 utilizou 3 placas costuradas entre si e para isto utilizou-se 2 retróses de linha para a confecção das mesmas. No mercado encontra-se um retrós de linha por aproximadamente R\$ 1,50, que foi utilizado para executar duas placas, por isso, cada uma custou R\$ 0,75 em relação ao custo da linha. A união entre as mesmas foi efetuada em casa, e para isto não foi necessário comprar nenhum material além da linha, porém, analisa-se a dificuldade para esta união uma vez que a máquina de costura utilizada não era profissional, tornando-se inviável a realização de todos os testes desta maneira pela dificuldade de execução. Levava-se em torno de 1 hora para a confecção de cada placa, além de ser preciso duas pessoas, uma para costurar e outra para ajudar no manuseio. O mesmo aplica-se para a manta costurada utilizada no Teste 2.

Para a manta colada do Teste 2, foi preciso fazer a compra da cola, onde o conjunto da cola mais o pincel para a aplicação custou no total R\$ 17,00, sendo que, para a confecção de uma manta foi necessária metade da cola. A aplicação foi de fácil manuseio, a mesma era aplicada nos dois lados das embalagens e esperava-se em torno de 5 minutos para realizar a união. O tempo levado para colar a manta era de aproximadamente 45 minutos, precisando de apenas uma pessoa para realizar a colagem.

Ainda no Teste 2, para confeccionar a manta grampeada foi essencial comprar apenas uma caixa com grampos, porém, a continuação dos testes com essa união não era viável, pois havia muita dificuldade no grampeamento das embalagens. Os grampeadores utilizados não eram apropriados e, com isso, não alcançavam no meio da manta dificultando o processo. Uma pessoa apenas era necessária para grampear, porém o tempo gasto com a confecção da placa era grande pelo fato de ter que ser feita em duas partes. Esse processo pode ter sido o responsável pelos resultados inferiores obtidos.

Para o Teste 3 realizado com duas camadas foi preciso fazer a compra da cola no mesmo preço anteriormente citado, e foi necessário a compra de outro pincel. Para realizar a montagem da mesma levou-se cerca de 1h30 minutos, não necessitando além de uma pessoa para tal. A placa sanduiche foi efetuada juntamente com a de duas camadas e utilizou-se a mesma cola e o mesmo pincel. Para efetuar as 4 placas foi necessário 1 pote e meio de cola totalizando R\$ 6,4 de cola cada uma. Para completar a sanduiche foi indispensável a compra da manta de polietileno que custou R\$ 4,00/m² de manta. O tempo gasto também foi de 1h30 minutos.

A manta dupla face comercializada utilizada no Teste 2 e Teste 3 foi obtida por meio de doação, porém, perante pesquisas em empresas da região, chegou-se em um preço de R\$ 6,00/m² de manta. Sua colocação era relativamente fácil, comparado com as placas que precisavam ser confeccionadas, para alocar a mesma na estrutura foi necessário a compra de uma fita própria para isto, no valor de R\$ 5,00/m.

Todas as telhas utilizadas foram arrecadadas de doação, para quantificação dos resultados, realizou-se pesquisa nas lojas da região, sendo que a telha cerâmica foi encontrada por aproximadamente R\$ 31,00/m² e o goivo para a mesma foi comprado pelo valor de R\$ 5,00 a unidade. A média de preços da telha de fibrocimento é de R\$ 35,00/m² e da telha metálica é de R\$ 45,00/m².

Após a análise dos custos feita, é possível observar que os testes mais baratos foram os quais a manta era feita com as embalagens costuradas entre si, porém, conforme já citado, essa união foi uma das mais difíceis de serem executadas pelo fato de não terem sido feitas com máquina profissional. Apesar de possuir um preço maior, a manta colada foi a de mais fácil de manusear e também, uma das mais rápidas. Por fim, a manta costurada foi a que obteve os piores resultados e a que mais houve problemas na hora da execução, não tornando-se viável o seu uso.

5 CONCLUSÃO

O clima é considerado um importante item na hora da definição de um projeto através do conforto térmico, pois, em épocas onde as estações do ano encontram-se cada vez mais rigorosas e intensas há uma maior busca por proteção em relação às variações climáticas, buscando sempre melhores condições de bem-estar, conforto físico e psicológico.

O conforto térmico de uma edificação pode ser assegurado pela sua cobertura, bastando interferir na sua constituição, utilizando métodos e/ou materiais capazes de proporcionar esse conforto necessário no interior da residência.

O primeiro teste realizado consistia em analisar as placas em diferentes disposições, como com a face aluminizada para cima ou para baixo, além do alumínio intercalado entre si. Já o segundo tinha o objetivo de avaliar distintas maneiras de unir as embalagens, foram realizadas placas coladas, grampeadas e costuradas. O Teste 3 consistia em avaliar as placas utilizadas em duas camadas ou do tipo sanduíche e para o Teste 4 avaliou-se outros dois tipos de telhas, sendo utilizadas a telha de fibrocimento e a telha metálica. Por fim, utilizou-se para fins de comparação, uma manta dupla face comercializada.

No cenário analisado, a placa com as embalagens dispostas com o alumínio para cima obteve os melhores resultados, estes foram de forma pouco expressiva, mas, ainda assim foi a disposição mais eficiente, assim como, as mesmas serem utilizadas coladas, em apenas uma camada e com a telha cerâmica. Desta maneira, a placa conseguiu diminuir a passagem de calor e ainda superou os resultados alcançados para a manta dupla face comercializada em até 72% no horário das 16h. No horário das 12h e às 14h a placa em conjunto com a telha cerâmica atingiu 14% e 13% a menos que a manta dupla face, respectivamente.

Com relação às telhas utilizadas, a que melhor conseguiu retardar a passagem de calor para o interior da cobertura foi a telha cerâmica, devido sua composição e maior espessura perante as outras.

As demais telhas e combinações de embalagens utilizadas no estudo tiveram desempenhos térmicos próximos, porém, inferiores aos da placa colada com o alumínio para cima e a telha cerâmica. Todos estes obtiveram resultados superiores aos da manta dupla face comercializada, que se tornou o pior resultado dentre todos os testes realizados.

Uma explicação para estes resultados inferiores da manta dupla face comercializada pode ser a sua espessura com relação as embalagens, as quais possuem uma espessura maior, dificultando a passagem de calor por condução para o interior.

A desvantagem das embalagens é a dificuldade de manuseio das mesmas, visto que para a montagem das placas elas devem ser lavadas, cortadas e secadas, uma a uma, sendo este, um processo demorado e braçal. Em contrapartida, a maior vantagem do uso das embalagens como subcobertura é a sustentabilidade que as mesmas proporcionam, visto que, não há muitas maneiras de reciclá-las.

Após fazer as análises com base nas medições realizadas, conclui-se que perante o conforto térmico é possível fazer o uso das embalagens nas coberturas, devido aos bons resultados encontrados, sendo que, dentre as diferentes disposições que foram ensaiadas, todas obtiveram resultados melhores que a manta comercializada própria para isto. Isso tudo mostra que além de as embalagens serem uma opção sustentável para a sociedade, elas também superam produtos encontrados no mercado frente ao desempenho térmico.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220- 1 - Desempenho térmico de edificações Parte 1**: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5 - Edificações habitacionais - Desempenho Parte 5**: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013. 63 p.

CEMBRANEL, Adir Silverio; HENKES, Jairo Afonso; AGUIAR, Wagner de; GOMES, Tayonará Cristina; PAGLIARINI, Marcos Vinícius. **Embalagens Tetra Pak -® no Isolamento Térmicos de Cobertura em Edificações**. Florianópolis, 2019. 17 p.

FREITAS, Ruskin. **O que é conforto**. Maceió, 2005. Disponível em: <https://ruskinfreitas.files.wordpress.com/2010/08/o-que-c3a9-conforto.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

JAHNKE, Karin Anete. **Análise do desempenho térmico de painéis de vedação e mantas para subcobertura com a reutilização de embalagem LV**. 2006. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando O.R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 3 ed. Rio de Janeiro: ELETROBRAS/PROCEL, 2014.

LAMBERTS, Roberto; GHISI, Enedir; ABREU, Ana Lúcia Papst de; CARLO, Joice C.; BATISTA, Juliana Oliveira; MARINOSKI, Deivis Luis; NARANJO, Alejandro; DUARTE, Vanessa C. P. **Desempenho térmico de edificações**. Florianópolis: ELETROBRAS/PROCEL/LabEEE, 2016.

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

SALGADO, Júlio César Pereira. **Técnicas e Práticas Construtivas: da Implantação ao Acabamento**. 1. ed. São Paulo: Érica, 2011.

SAMPAIO, Carlos A. de P.; CARDOSO, Célio O.; SOUZA, Geovani P. de. **Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico**. São Paulo, 2011. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162011000200003&script=sci_arttext. Acesso em: 07 set. 2020.

SILVA, Karen C. P. da; CAMPOS, Alessandro T.; YANAGI JUNIOR, Tadayuki; CECCHIN, Daiane; LOURENÇONI, Dian; FERREIRA, Jacqueline C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak-® em coberturas. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient**, Paraíba, v. 19, n. 1, 2015.

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

VITTORINO, Fúlvio; SATO, Neide M. N.; AKUTSU, Maria. **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas**. Curitiba: ENCAC/COTEDI, 2003.