



FREDERICO TEIXEIRA VILLELA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DO USO DE SAPÉ E EMBALAGENS
TETRA PAK[®] COMO MATERIAL DE FORRO E
SUBFORRO PARA HABITAÇÕES POPULARES**

**LAVRAS-MG
2020**

FREDERICO TEIXEIRA VILLELA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DO USO DE SAPÉ E EMBALAGENS TETRA PAK® COMO
MATERIAL DE FORRO E SUBFORRO PARA HABITAÇÕES POPULARES**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

**PROF. DR. ALESSANDRO TORRES CAMPOS
ORIENTADOR**

**MS. MATHEUS CAMPOS MATIOLLI
COORIENTADOR**

**DR. ALLAN ALVES FERNANDES
COORIENTADOR**

**LAVRAS-MG
2020**

FREDERICO TEIXEIRA VILLELA ARAÚJO

**AVALIAÇÃO DO USO DE SAPÉ E EMBALAGENS TETRA PAK® COMO
MATERIAL DE FORRO E SUBFORRO PARA HABITAÇÕES POPULARES**

**ASSESSEMENT OF THE USE OF SAPÉ GRASS AND TETRA PAK® AS
LINING AND SUB-LINING MATERIALS FOR POPULAR HOUSES**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Civil, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 21 de agosto de 2020.



PROF. DR. ALESSANDRO TORRES CAMPOS
ORIENTADOR

MS. MATHEUS CAMPOS MATIOLLI
COORIENTADOR

DR. ALLAN ALVES FERNANDES
COORIENTADOR

DRA. JACQUELINE CARDOSO FERREIRA

**LAVRAS-MG
2020**

*À minha mãe, Márcia Lúcia Araújo Villela
e ao meu pai Evandro Teixeira de Araújo,
Dedico*

“Ora, a fé é o firme fundamento das coisas que se esperam e a prova das coisas que se não veem.”

Hebreus 11:1

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho, avaliar as condições térmicas proporcionadas pela utilização de capim sapé e de caixas reaproveitadas de embalagens Tetra Pak[®] em forros e subforros para modelos de construções em escala reduzida, cobertas com telhas metálicas, por meio da utilização de índices térmicos. Para esse experimento, foram construídos seis modelos em escala distorcida, sendo considerados como tratamentos experimentais os seguintes materiais: telhas cerâmicas (C1), telhas de aço galvanizado (C2), telhas de aço galvanizado com subcobertura de embalagens Tetra Pak[®] (C3), telhas de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak[®] (C4), telhas de aço galvanizado com forro de capim sapé (C5), telhas de aço galvanizado com subforro de capim sapé (C6). Os dados foram coletados durante o verão, das 9 às 17 h, em intervalos de 20 minutos. Os instrumentos de medição utilizados foram sensores de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro acoplados a Dataloggers Onset HOBO[®], com precisão $\pm 0,8$ °C e termoanemômetro de fio quente da marca Extech, modelo Sdl350 com precisão de $\pm 0,01\text{ms}^{-1}$. O reaproveitamento de embalagens Tetra Pak[®] como material de forro e subforro resultaram em uma redução significativa dos valores de índices de conforto térmico. Portanto, a utilização de materiais alternativos proporcionam redução significativa na transferência de calor das telhas para o interior da habitação, tornando-se materiais viáveis principalmente em regiões economicamente vulneráveis e com condições de alta radiação solar.

Palavras-chave: Cobertura. Materiais alternativos. Conforto térmico. Habitação.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the thermal conditions provided by the use of grass “Sapé” and reused Tetra Pak® packaging boxes in ceilings and sub-ceilings for small scale construction models, covered with metal tiles, using thermal indices. For this experiment, six models were constructed on a distorted scale in which the experimental treatments were carried out using the following materials: ceramic tiles (C1), galvanized steel tiles (C2), galvanized steel tiles with Tetra Pak® packaging under-coverage (C3), galvanized steel tiles with Tetra Pak® packaging liner (C4), galvanized steel tiles with grass “Sapé” lining (C5), galvanized steel tiles with grass “Sapé” under-coverage (C6). Data were collected during the summer, from 9 am to 5 pm, at 20 min intervals. The measuring instruments used were air temperature, relative humidity and black globe temperature sensors coupled to HOBO® Dataloggers , with accuracy ± 0.8 ° C and Extech brand hot wire anemometer, model Sdl350 with accuracy of $\pm 0,01\text{ms}^{-1}$. The reuse of Tetra Pak® packaging as a lining and sub-lining material resulted in a significant reduction in the values of thermal comfort indexes. Therefore, it is concluded that the use of alternative materials provides a significant reduction in the heat transfer from the tiles to the interior of the house, becoming viable materials mainly in economically vulnerable regions with conditions of high solar radiation.

Keywords: Roofing. Alternative materials. Thermal comfort. Housing.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 – Tratamentos dos modelos em escala reduzida. 14
- Figura 2 – Vistas em corte das seções transversais do modelo físico construído em escala distorcida para cobertura de telha cerâmica (unidade das cotas: cm)..... 15
- Figura 3 – Vistas em corte das seções transversais dos modelos físicos construídos em escala distorcida para as coberturas com aço galvanizado (unidade das cotas: cm). 16
- Figura 4 – Vista geral da área experimental. 16

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

- Figura 1 – Vistas em corte das seções transversais do modelo físico construído em escala reduzida para cobertura de telha cerâmica (unidade das cotas: cm)..... 30
- Figura 2 – Vistas em corte das seções transversais dos modelos físicos construídos em escala reduzida para as coberturas com aço galvanizado (unidade das cotas: cm). 31
- Figura 3 – Temperatura de Bulbo Seco (TBS) média por hora e Umidade Relativa do Ar (UR) média por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 – Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé. 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.	34
Tabela 2 – Condições de conforto em relação ao Índice de Temperatura e Umidade (ITU)...	35
Tabela 3 – Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) médio por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com sub-forro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.	36
Tabela 4 – Limites de estresse térmico segundo Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG).....	37
Tabela 5 – Índice de Temperatura Efetiva (ITE) médio por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.	38
Tabela 6 – Limites para conforto térmico segundo Índice de Temperatura Efetiva (ITE).	39
Tabela 7 – Carga Térmica de Radiação (CTR) média por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.	40

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE	1
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1 COBERTURA	5
2.2 COMPORTAMENTO TÉRMICO DE DIFERENTES MATERIAIS	8
2.3 ÍNDICES TÉRMICOS AMBIENTAIS E MODELOS	9
2.4 MATERIAIS ALTERNATIVOS	10
2.5 USO DE MODELOS DE CONSTRUÇÕES EM ESCALA REDUZIDA/TEORIA DA SIMILITUDE	12
3 MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1 PROTÓTIPOS EM ESCALA REDUZIDA	13
3.2 INSTRUMENTOS E MEDIÇÕES	15
3.3 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO	17
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA	18
REFERÊNCIAS	19
SEGUNDA PARTE	24
ARTIGO - AVALIAÇÃO DO USO DE SAPÉ E EMBALAGENS TETRA PAK® COMO MATERIAL DE FORRO E SUBFORRO PARA HABITAÇÕES POPULARES EM PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO	24
1 INTRODUÇÃO	27
2 MATERIAL E MÉTODOS	29
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.1 ITU	33
3.2 IBUTG	35
3.3 ITE	37
3.4 CTR	40
4 CONCLUSÃO	41
REFERENCIAS	42

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A função básica da habitação é proteger os ocupantes das adversidades climáticas, especialmente quando se trata de um ambiente que atinge temperaturas extremas (LUCERO-ÁLVAREZ; MARTÍN-DOMÍNGUEZ, 2017). Nesse sentido faz-se necessário, construções que promovam conforto ambiental tanto ao homem quanto aos animais (quando se trabalha com construções zootécnicas) (ALMEIDA; PASSINI, 2013). As temperaturas das coberturas das instalações podem alcançar valores de 75 a 80°C em dias quentes, para determinadas regiões (LEE et al., 2009). Ademais, de toda energia térmica presente no interior de uma habitação, o telhado pode permitir a passagem de até 70% da carga térmica incidente, principalmente quando não há forro ou o material de cobertura apresenta alta emissividade (GOMES, 2003). O conforto térmico pode ser definido como a condição mental no qual expressa satisfação com o ambiente térmico. Segundo ANSI/ASHRAE (2004) as pessoas ocupam a maior parte do tempo em ambientes construídos, nos quais sua residência representa uma parcela significativa desse período. Neste contexto, é de suma importância que se promova um ambiente residencial confortável e satisfatório para os ocupantes. O desconforto térmico pode desencadear condições de estresse e fadiga assim como sintomas alérgicos e dores de cabeça (CHEN; CHANG, 2012).

No continente africano, por exemplo, grande parcela da população de alguns países apresentam insatisfação com o conforto térmico de ambientes internos, principalmente em 70% dos edifícios residenciais, em média, chegando em determinados locais a ser acima de 90% (ADAJI et al., 2019). Essas condições estão, em diversos casos, ligadas ao fato do continente africano ser composto por países em desenvolvimento, em que a vulnerabilidade socioeconômica torna as condições de vidas desumanas. Uma pesquisa realizada nos países do leste africano mostrou que o clima está diretamente relacionado com as condições de vulnerabilidade. Na Tanzânia, riscos associados à insegurança alimentar, pobreza e a incidência de doenças estão correlatados com comportamento climático, resultando, assim, em uma condição de vulnerabilidade da comunidade (GEBREYES; THEOBALD, 2018).

Historicamente, o homem se utiliza dos materiais encontrados na natureza para construir abrigos e se proteger das intempéries. Nesse contexto, os materiais de construção evoluíram de acordo com o crescimento da necessidade de maior conforto e padrões mais elevados estabelecidos pelo homem. Assim, materiais como pedras, barro, madeira, couros, fibras vegetais, dentre outros foram posteriormente substituídos por metais e produtos provenientes das indústrias (SILVA, 2000). No entanto, em países em desenvolvimento, há, ainda, a necessidade de se utilizar materiais economicamente viáveis e de fácil obtenção, pois a grande maioria da população se encontra em condição de vulnerabilidade social (ALMEIDA; PASSINI, 2013).

Os sistemas construtivos passivos visam a garantia do conforto de vida e fazem parte do patrimônio técnico-cultural de diversas comunidades do continente africano. Ao longo dos séculos, elas desenvolveram soluções de baixa tecnologia para combater o clima severo nessas áreas (COCCI GRIFONI; OTTONE; PRENNA, 2018). Os paradigmas das técnicas de construção atuais muitas vezes subestimam como as populações antigas usavam materiais, arquitetura e geografia locais, de forma a aumentar o conforto térmico de suas habitações (MAZZONE, 2020). Alterações simples em edifícios residenciais podem causar mudança significativa na temperatura ambiente. Segundo Onyenokporo & Ochedi (2019), o maior isolamento do telhado é uma alternativa que pode ser feita por meio da utilização de forro. Esse método se mostra como uma estratégia eficaz na melhoria do conforto térmico em residências, principalmente, as utilizadas pela parcela da população em situação de vulnerabilidade, nas comunidades africanas.

As residências de baixa renda, em alguns países africanos, são normalmente contruídas com materiais mais rústicos e de origem natural, como o cob, terra batida, acácia e daub (pau a pique). Nesse cenário, uma pesquisa realizada em Uganda com essa categoria de residências, demonstrou que, dentre diversas estratégias experimentais com intuito de melhorar o conforto térmico interno, a que se mostrou mais efetiva foi a utilização de forros (HASHEMI, 2017). Cabral et al. (2017) avaliaram a utilização de forros ecológicos com materiais não convencionais e demonstraram o elevado potencial dessa categoria de materiais devido à significativa redução na temperatura proporcionada por eles. Desta forma, pesquisas vêm sendo direcionadas

na busca por materiais que causam menor impacto ambiental e possuam características de reutilização. Estes produtos, quando apresentam elevada reflexividade e características isolantes, possuem potencial para substituir os materiais convencionais na utilização em forros (BARBIRATO et al., 2015).

Em países em desenvolvimento, a produção de resíduos sólidos urbanos é um grande problema, quando esses materiais não são destinados a um fim ambientalmente correto. No Brasil, as embalagens representam cerca de um terço dos resíduos sólidos urbanos (NEVES; CASTRO, 2012), dessa forma, medidas para reduzir a quantidade de embalagens e incentivar sua reciclagem devem ser consideradas, mais especificamente, no que tange ao uso deste material como agente isolante em coberturas. Uma pesquisa realizada em escamoteadores para leitões utilizando as embalagens Tetra Pak® como material isolante, demonstrou que o mesmo possui elevada eficiência térmica quando utilizado para esse fim (SARTOR et al., 2015).

Nesse contexto, outro trabalho investigou o uso das embalagens Tetra Pak®, ou longa vida, como material de forro em sua forma tradicional e também margeando a face inferior de telhas onduladas de fibrocimento, ou ainda, como material de fabricação da própria telha ondulada. A pesquisa demonstrou resultados interessantes, quando comparados ao desempenho térmico de telhas convencionais (SILVA et al., 2015).

Hahn (1993) ressalta que as sombras mais eficientes são as de árvores, uma vez que proporcionam proteção contra o sol, combinada com um resfriamento benéfico, causado pela evapotranspiração das folhas. Neste aspecto, estruturas de cobertura com características semelhantes às árvores, podem constituir uma barreira térmica a mais para auxiliar estruturas de baixa inércia térmica, como é o caso de telhas metálicas, muitas vezes utilizadas em países de clima quente, vulneráveis financeiramente. Neste ínterim, pode ser bastante interessante o emprego de materiais, como o capim sapé, como material complementar às telhas, principalmente naquelas localizações onde os acessos às estruturas de cobertura mais adequadas são restritos. Este material pode ser empregado na forma de forro tradicional, ou mesmo margeando a face inferior das telhas.

A temperatura, a umidade relativa do ar, o movimento do ar e a radiação são fatores ambientais que influenciam no conforto térmico ambiental. A utilização isolada destes fatores, entretanto, não permite caracterizar adequadamente o ambiente térmico. Portanto, vários

autores têm proposto a utilização de índices térmicos ambientais para caracterizar o ambiente térmico, como a temperatura de globo negro (Tgn), o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e a carga térmica de radiação (CTR), que combinam o efeito de dois ou mais fatores (JENTZSCH et al., 2011).

Nesse contexto, o presente trabalho teve objetivo avaliar o uso dos materiais capim sapé e caixas reaproveitadas de Tetra Pak®, utilizados como forro e subforro de modelos em escala reduzida, cobertos com telhas de aço galvanizado. A avaliação da melhora do conforto térmico no interior dos modelos será feita, por meio da utilização dos índices de ambiente térmico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Os telhados destinam-se a proteger edificações contra a ação das intempéries, tais como a chuva, vento, raios solares, neve e também impedir a penetração de poeiras e ruídos no seu interior. Sendo assim, para a construção de telhados existem diversos tipos de materiais, desde que impermeáveis às águas pluviais e resistentes à ação do vento e intempéries (GOMES, 2003). Alguns dos materiais mais utilizados para construção de coberturas são as telhas cerâmicas, telhas de concreto, chapas onduladas de fibrocimento, aço zincado ou galvanizado, alumínio, madeira aluminizada, PVC e fiber-glass.

Segundo Montenegro (1984), a cerâmica ou barro cozido em fornos é uma técnica milenar, surgida antes das antigas civilizações dos vales dos rios Nilo e Eufrates (Egito e Mesopotâmia). Apesar da idade, essa técnica é usada até hoje para construção de telhas cerâmicas, essas que, mesmo com o desenvolvimento de novos materiais, empregando mais tecnologia e industrialização, estão entre as mais efetivas na garantia de um ambiente termicamente confortável. Portanto, esse fato reforça que, algumas técnicas e materiais, mesmo que de origem antiga, podem se mostrar adequados para a utilização em coberturas.

A radiação solar é composta por radiação de ondas curtas, que ao incidir sobre a superfície do material do telhado, o aquece. Uma parcela deste calor é passada ao ambiente externo por convecção, já a outra parcela, é absorvida pelo material que posteriormente é transmitida para o ambiente interno. No interior, 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 espaço interno da residência (MICHELS; LAMBERTS; GUTHS, 2008).

Para a redução da transferência de calor para o espaço interno da residência, faz-se necessária a utilização de materiais que retardem a passagem do fluxo de calor que atravessa a instalação por condução, convecção e radiação. Esta capacidade de reduzir as trocas de calor se dá, em função da resistência térmica que materiais isolantes proporcionam (AL-HOMOUD, 2005).

2.1 COBERTURA

A habitação tem como função parcial a proteção do ser humano contra a ação de agentes externos (SELIG, 2007). Nesse contexto, a arquitetura e a construção da habitação deve ser desenvolvida de forma a oferecer condições térmicas compatíveis ao conforto térmico humano no interior dos edifícios (FROTA & SHIFFER, 2001).

Melhoria substancial do conforto térmico do interior das habitações pode ser obtida por meio da associação de técnicas construtivas passivas e materiais às coberturas de uma edificação, mas que tem como base o aproveitamento das condições favoráveis da natureza para o condicionamento ambiental. Para isso, podem-se adotar alterações no projeto como (TINÔCO, 2001):

- Uso de forros sob a cobertura. O forro atua como uma segunda barreira física, a qual permite a formação de uma camada de ar móvel junto à cobertura, o que contribui sobremaneira na redução da transferência de calor para o interior da construção. Essa redução é de 62% ao se passar de um abrigo sem forro para um abrigo com simples forro de madeira de 6 mm não ventilado e de 90% no caso de forro com ventilação (COSTA, 1982);
- Pinturas com cores claras: possibilita elevada refletividade solar. Atualmente existem pinturas reflexivas que são formuladas para refletir grande porção da radiação solar que incide sobre a cobertura;
- Uso de materiais isolantes: Aplicação de materiais de baixa condutividade térmica sob a cobertura. Os materiais isolantes são porosos cuja a elevada resistência térmica se

baseia na baixa condutividade térmica do ar. A disposição mais efetiva consiste na colocação de um forro isolante que aproveite a camada de ar formada entre o mesmo e a cobertura. As demais soluções são bastante antieconômicas, para uma efetividade similar à obtida pela cobertura simples com forro adequadamente ventilado;

- **Materiais de grande inércia térmica (capacidade calórica):** Esses materiais apresentam a melhor proteção contra o calor e insolação. Desta forma, quando uma cobertura apresenta grande capacidade calórica, a radiação solar que atinge a superfície da mesma durante o dia é inicialmente consumida para o seu aquecimento. Como, a seguir, vem a noite, na qual a temperatura externa é normalmente menor que durante o dia, a cobertura, inicialmente aquecida, novamente tende a esfriar, de tal forma que o processo de transmissão de calor através da mesma é bastante reduzido.

Entre as soluções apresentadas, a mais econômica e com níveis de eficiência elevados, como se depreende do estudo comparativo feito por Costa (1982), foi o uso de uma camada de ar móvel junto à cobertura, a qual é possível utilizando um forro adequadamente projetado. Para confecção de forros, existem diversos materiais alternativos que se mostram eficientes. Cravo et al. (2015) demonstram em seu trabalho a eficiência na utilização de compósitos à base de resíduos agrícolas em forros, mostrando-se como materiais com elevado potencial isolante térmico.

Além da escolha do material mais adequado, o projetista, de uma forma geral, deve se atentar para a orientação das construções. De acordo com Teixeira (1997), este é um fator que, logicamente, está intimamente relacionado com o clima e com a localização das instalações e, portanto, é necessário um estudo específico para cada projeto. As instalações devem ser orientadas no sentido norte-sul ou leste-oeste, conforme a melhor recomendação de conforto térmico para cada caso, dependendo do tipo de instalação, formato da estrutura e do clima local (CAMPOS et al., 2012). Para o presente trabalho, no qual envolve condições de vulnerabilidade econômica, ou seja, populações com dificuldade de acesso a padrões construtivos mais elaborados, torna-se fundamental que o custo por metro quadrado da unidade construída deve ser inferior ao das obras tradicionais de padrão popular.

Para tal, há a possibilidade da utilização de materiais alternativos mais acessíveis economicamente. Entretanto, a grande maioria desses materiais não possui normas técnicas específicas regulamentando sua utilização, levando, assim, o pesquisador a criar procedimentos metodológicos próprios e originais, ou a adotar, por analogia, normas técnicas aplicáveis a materiais convencionais, adaptando-as ou utilizando-as, no que couber às novas necessidades.

A tecnologia alternativa, portanto, engloba os conceitos de materiais e sistemas construtivos alternativos, e remete, por sua vez, ao conceito de tecnologia apropriada. Nem todo o material de construção alternativo ao convencional é necessariamente um material apropriado, uma vez que essa adequação deva ser voltada ao interesse geralmente de pessoas em situação de vulnerabilidade ou, no meio rural, a produtores menos capitalizados (FREIRE; BERALDO, 2003).

Os telhados podem ser feitos a partir de diferentes materiais, sendo que a melhor escolha para se utilizar no projeto será determinada quando as propriedades do material forem compatíveis à finalidade da edificação. Para isso, deve-se observar as propriedades de um bom material para cobertura, avaliando-se, assim, se o mesmo apresenta temperaturas superficiais amenas, quando submetidos a condição de elevada radiação solar. Para isso, deve-se ter alta refletividade solar conjugada à alta emissividade térmica na parte superior da superfície e baixa absorvidade solar conjugada à baixa emissividade térmica na parte inferior. Alguns dos materiais e suas principais características são (TINÔCO, 2001):

- Telhas especiais de isopor entre duas lâminas de alumínio (telha sanduíche) – excelente comportamento térmico;
- Madeirite, madeira compensada, 6 mm de espessura, ondulada, revestida na parte superior por lâmina de alumínio, com durabilidade de aproximadamente 20 anos, bom comportamento térmico, porém dispendioso;
- Alumínio simples, sujeito a danos pelo granizo e ventos, quando novos, sujeito a oxidação com o tempo, perdendo assim uma de suas propriedades, a refletividade. Também está sujeito a ruídos muito fortes, gerando assim um desconforto ambiental na habitação ou instalação;

- Barro, bom comportamento térmico, porém exige engradamento com custo elevado, apresenta muitas frestas que atuam como pequenas bolsas de ar e permitem certa ventilação, o que é desejável em termos de conforto térmico;
- Fibrocimento, apresentam comportamento térmico insatisfatório. Fácil construção. Melhoram termicamente quando pintados de branco, porém as tintas comerciais, com durabilidade aproximada de oito anos, são caras, e as caseiras duram menos de um ano;
- Chapa zincada ou ferro galvanizado, comportamento térmico ruim, durabilidade boa, custo mais reduzido. Quando novo, é praticamente tão efetivo na redução da carga térmica de radiação quanto a chapa de alumínio, porém com o uso, sofre processos corrosivos e perde a efetividade muito mais rapidamente. É um tipo de telha largamente utilizada em vastas regiões da África, também objeto de preocupação no presente estudo;
- Sapé, apresenta bom comportamento térmico devido à camadas de ar formadas entre as folhas, porém com a desvantagem de se mostrar susceptível ao fogo.

2.2 COMPORTAMENTO TÉRMICO DE DIFERENTES MATERIAIS

Com o intuito de garantir melhor conforto térmico dentro das construções, é necessário realizar pesquisas que visem determinar quais materiais de cobertura são mais adequados. Alguns autores consideram o telhado como o elemento construtivo mais importante de uma edificação, devido à grande área de interceptação de radiação (SAMPAIO et al., 2011). É no telhado que a radiação solar atua com maior intensidade, sendo que o fluxo de calor que atravessa, quando atinge o pico de calor é da ordem de cinco vezes maior que aquele disperso no ambiente interno (NÄÄS, 1989).

Em uma pesquisa realizada, foram analisadas coberturas confeccionadas com telhas cerâmicas, cimento amianto e alumínio, geralmente utilizadas em instalações animais, em condições de inverno na cidade de Viçosa - MG. Nas horas de frio mais intenso, todas as coberturas tiveram seus índices de temperatura de globo e umidade abaixo do limite mínimo da zona de conforto térmico animal e umidade relativa acima do máximo tolerado. As coberturas

que melhor atenderam as necessidades de conforto térmico foram as confeccionadas com telhas cerâmicas e alumínio (SANTOS et al., 2004).

Telhados cobertos com telhas de cimento amianto proporcionam maior desconforto térmico do que telhados cobertos com telhas cerâmicas, pois parte da energia que incide na superfície das telhas cerâmicas é gasta no processo de evaporação da água, absorvida durante a noite devido à condensação do vapor de água existente no ar (NÄÄS; MOURA; LAGANA, 1994).

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas em busca de novos materiais de construção. Foi avaliada a influência de telhas recicladas, à base de embalagens longa vida, no conforto térmico de instalações zootécnicas e seu desempenho foi comparado com as de telhas cerâmicas, telhas cerâmicas pintadas de branco e telhas de fibrocimento. Os autores consideraram que as telhas recicladas podem ser uma opção de cobertura em instalações zootécnicas, já que apresentaram índices de conforto térmico semelhantes aos apresentados por outros materiais mais comumente usados, tais como as telhas cerâmicas, além de ser um material sustentável (FIORELLI et al., 2009).

Um trabalho semelhante foi realizado comparando o comportamento térmico de telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento e telhas produzidas a partir da reciclagem de embalagens Tetra Pak®. O protótipo coberto com as telhas recicladas foi o que obteve menores valores de temperaturas de superfície, obtendo melhor desempenho térmico (HERRERA; VECCHIA; NOLASCO, 2010).

2.3 ÍNDICES TÉRMICOS AMBIENTAIS E MODELOS

Existem diversos índices cujo objetivo fundamental é determinar a adequação de um ambiente com relação a uma atividade ou a um tipo específico de uso (SILVA, 2000). Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base em diferentes aspectos do conforto e podem ser classificados como (FROTA; SCHIFFER, 2001):

- Índices biofísicos - que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, correlacionando os elementos do conforto com as trocas de calor que dão origem a esses elementos;

- Índices fisiológicos - que se baseiam nas relações fisiológicas originadas por condições conhecidas de temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade do ar e velocidade do ar;
- Índices subjetivos - que se baseiam nas sensações subjetivas de conforto experimentadas em condições em que os elementos de conforto térmico variam.

Alguns índices tem seu uso destacado, tanto para a avaliação de materiais, quanto para a avaliação do conforto de edificações, citando-se, entre eles o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG), o Índice de Temperatura e Umidade (ITE), Carga Térmica de Radiação (CTR).

Sampaio et al. (2011) consideram há uma tendência em se utilizar coberturas metálicas, tanto para áreas urbanas quanto instalações rurais, devido ao seu baixo custo e fácil instalação. Porém, as telhas metálicas apresentam maiores valores de ITU quando comparadas às telhas de barro e fibrocimento, principalmente em dias mais quentes.

A temperatura de globo negro (T_{gn}) indica o efeito combinado da radiação, da temperatura absoluta do ar e, indiretamente, da velocidade do ar (BOND; KELLY, 1955).

2.4 MATERIAIS ALTERNATIVOS

Para as construções em geral, usam-se os materiais da forma com que são encontrados na natureza, ou resultantes de beneficiamento e transformação. Dessa forma os materiais podem ser assim classificados (BERALDO; NAÃS; FREIRE, 1991):

- Naturais, utilizados da forma em que são encontrados na natureza, como as areias e os pedregulhos;
- Artificiais, resultantes de um processo industrial de transformação, como as telhas, os tijolos, o cimento, dentre outros.

As embalagens Tetra Pak® são utilizadas para embalar produtos de consumo, sendo principalmente adotadas em produtos lácteos, bebidas e alimentos industrializados. São elaboradas a partir de três componentes, 75% de papel, 20% de plástico (polietileno) e 5% de alumínio (PEDROSO; ZWICKER, 2007). O papel é responsável por fornecer às embalagens estabilidade e resistência, o polietileno protege contra a umidade exterior e o alumínio funciona como barreira contra passagem de oxigênio e luz.

Uma das formas de reciclagem das embalagens é por meio de empresas que dividem os três componentes, o papel o alumínio e o polietileno. Nesse sistema usa-se energia elétrica para produzir um jato de plasma para aquecer a mistura. O plástico é transformado em parafina e o alumínio recuperado em forma de lingotes, já o papel é vendido para as empresas de papel (MARCHI, 2011).

Outro método de reaproveitamento é através da retirada apenas do papel das embalagens por meio de um equipamento chamado hidrapupler. O papel pode ser usado para produção de papelão e tabuletes de papel, por exemplo. O alumínio e o plástico são encaminhados para uma prensa quente onde, com o calor, o plástico se derrete, funcionando como uma cola, aderindo-se ao alumínio. O material resultante tem diversas aplicações, como para fabricação de telhas recicladas, forros e móveis (HERRERA; VECCHIA; NOLASCO, 2010).

No ano de 2010, foram recicladas cerca de 25% das embalagens Tetra Pak® produzidas no Brasil, totalizando cerca de 50.000 toneladas. A taxa de reciclagem mundial em 2010 foi de 20% das embalagens pós-consumo (CEMPRE, 2013).

Objetivando resolver o problema de reutilização das embalagens, uma pesquisa foi desenvolvida propondo a fabricação de materiais alternativos de construção, como placas e painéis contendo os resíduos das embalagens. As placas são feitas com uma mistura de 30% do resíduo. Relatórios de testes mostraram que o produto apresentou alta resistência ao calor e baixa absorção de água (XIE et al., 2011).

2.5 USO DE MODELOS DE CONSTRUÇÕES EM ESCALA REDUZIDA/TEORIA DA SIMILITUDE

A teoria da similitude tem por objetivo obter previsões reais a partir de observações feitas em um modelo. Os modelos físicos em escala reduzida ou distorcida reproduzem um protótipo, onde escalas são utilizadas para representar o tamanho real. Podem-se considerar quatro tipos de modelos (MURPHY, 1950):

- Modelos verdadeiros: são aqueles em que todas as características importantes são reproduzidas em escala e atendem a todos os critérios de projeto e condições de operação.
- Modelos adequados: permitem uma predição aprimorada de uma característica, porém não permitem, necessariamente, predição acurada de outras características.
- Modelos distorcidos: são reproduções dos modelos reais com utilização de duas ou mais escalas em suas dimensões.
- Modelos dissimilares: o original e o modelo apresentam qualidades físicas básicas distintas, não existindo semelhança entre o modelo reduzido e o real, apenas analogia.

Por razões técnicas, na prática, costuma-se trabalhar com similitude parcial, por meio de modelos adequados. Muitas vezes não é possível a reprodução exata de todos os detalhes físicos e geométricos, principalmente quando se utilizam modelos com escalas muito pequenas. As instalações em escala real possuem grandes dimensões e, no caso de experimentos, há necessidade de realizar repetições de natureza estatística, o que torna seu uso inviável. Além disso, a utilização de modelos no desenvolvimento de pesquisas com novos materiais pode contribuir significativamente para a diminuição do custo da pesquisa e ainda permitir a realização de diferentes testes através de alterações no modelo. É possível predizer as condições térmicas ambientais de um protótipo a partir de modelos físicos construídos em escala reduzida de até 12 vezes (JENTZSCH et al., 2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no setor de Construções e Ambiência do Departamento de Engenharia da UFLA, no município de Lavras, Minas Gerais (MG), durante a estação de verão. O município localiza-se no sul do estado de MG nas coordenadas geográficas de 21°14' latitude sul e de 45°00' longitude oeste, situado a 930 m de altitude. O clima do município, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido com inverno seco. A pesquisa foi realizada por meio de membros do Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiência em Biosistemas (COAMBI/UFLA).

3.1 PROTÓTIPOS EM ESCALA REDUZIDA

Foram utilizados modelos em escala reduzida devido ao alto custo de implantação de protótipos em escala real e dificuldades do seu manejo em campo. Para este trabalho foram empregados os materiais de cobertura descritos a seguir (Figura 1):

C1-telhado recoberto com telhas cerâmicas francesas;

C2- telhado recoberto telhas de aço galvanizado;

C3- -elhado recoberto com telhas de aço galvanizado, com subforro feito em embalagens Tetra Pak® recicladas, instalado junto à face interior das telhas;

C4- telhado recoberto com telhas de aço galvanizado, com forro em embalagens Tetra Pak® recicladas;

C5- telhado recoberto com telhas de aço galvanizado com forro de sapé;

C6- telhado recoberto com telhas de aço galvanizado com subforro de sapé junto à face inferior das telhas;

Figura 1 – Tratamentos dos modelos em escala reduzida.



Fonte: Do autor.

As estruturas dos modelos foram feitas com perfis de aço e os modelos construídos em escala reduzida, de 1:10 na horizontal e 1:2 na vertical (SEVEGNANI, 1997; CONCEIÇÃO et al., 2008).

Os modelos possuem 1,25 m de pé direito, 1,20 m de largura e 1,50 m de comprimento. O modelo coberto com telhas cerâmicas apresentou telhado com inclinação de 30° (Figura 2) enquanto que os protótipos cobertos com telhas em aço galvanizado apresentaram o telhado com inclinação de 15° (Figura 1: C2, C3, C4, C5, C6).

Todos os modelos possuem beiral de 20 cm (Figuras 1 e 2) (SANTOS et al., 2005). As faces leste e oeste dos modelos foram totalmente fechadas com placas de madeirite de 1 cm de espessura (Figura 1).

Os modelos foram montados em terreno plano, livres de sombreamento, orientados no sentido leste oeste e posicionados com uma distância mínima de dois metros um do outro (FONSECA; ALMEIDA; PASSINI, 2011).

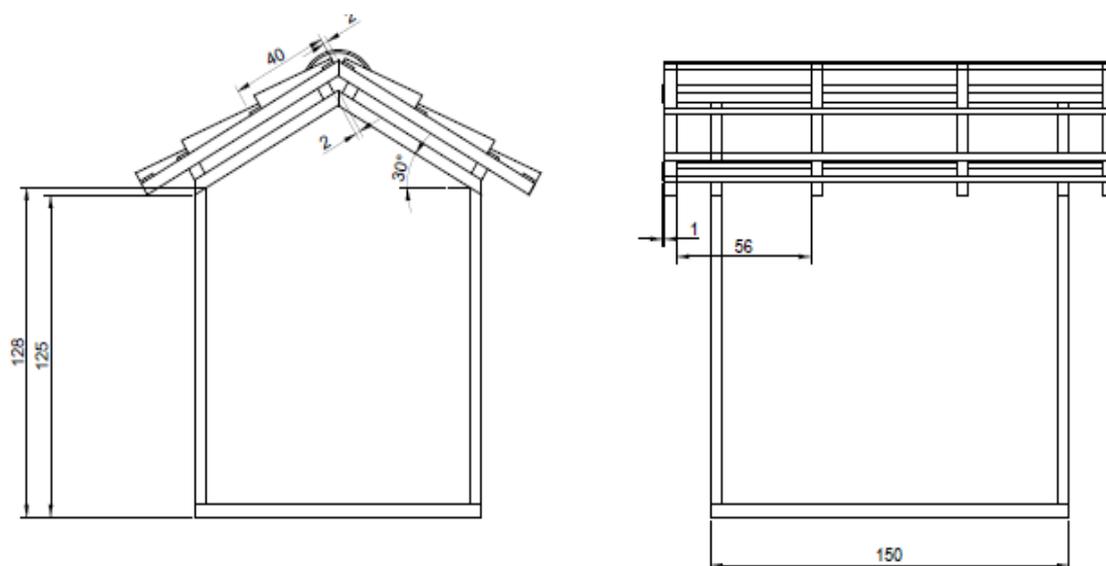
3.2 INSTRUMENTOS E MEDIÇÕES

Os dados foram medidos durante o período de verão do ano de 2017, das 9 às 17 horas, em intervalos de 20 minutos. Os dados de temperaturas de globo negro (Tgn), temperaturas de bulbo seco (Tbs), temperaturas de ponto de orvalho (Tpo) e umidade relativa do ar (UR), foram adquiridos por meio de sensores datalogger Onset HOBO H8, precisão de $\pm 0,8$ °C, medidores, registradores e armazenadores de dados de temperatura e umidade.

A velocidade do ar foi medida por meio de um termoanemômetro digital marca Extech, modelo Sdl350, precisão de $\pm 0,01$ m s⁻¹, sendo as medições realizadas próximo de cada globo.

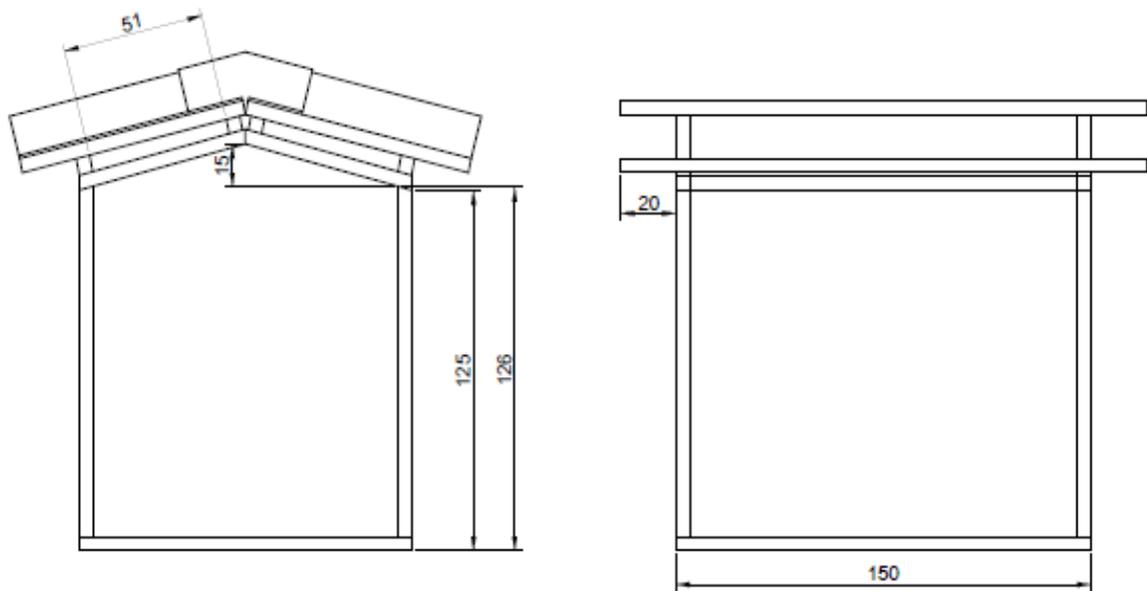
Para a determinação da temperatura de globo, foram instalados globos negros de cobre, pintados externamente de preto fosco, com 0,05 cm de espessura, calibrados com equipamento de referência.

Figura 2 - Vistas em corte das seções transversais do modelo físico construído em escala distorcida para cobertura de telha cerâmica (unidade das cotas: cm).



Fonte: Do autor.

Figura 3 – Vistas em corte das seções transversais dos modelos físicos construídos em escala distorcida para as coberturas com aço galvanizado (unidade das cotas: cm).



Fonte: Do autor.

Figura 4 – Vista geral da área experimental.



Fonte: Do autor.

Os sensores dos instrumentos foram instalados à altura correspondente ao centro geométrico de cada modelo.

3.3 ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

A partir dos dados medidos nos horários predeterminados, foram calculados os índices térmicos para avaliar a adequação do ambiente no interior dos modelos, no que diz respeito ao conforto térmico dos mesmos.

O índice de temperatura e umidade (ITU) (Equação 1) foi desenvolvido inicialmente por Thom (1959) e originalmente era uma função das temperaturas dos termômetros de bulbo seco e da temperatura do ponto de orvalho, foi modificada por McGrgor e Nieuwolt (1998) como uma função da temperatura do ar e umidade relativa:

$$ITU = 0,8T_{bs} + \frac{UR * T_{bs}}{500} \quad (1)$$

Em que:

T_{bs} = temperatura de bulbo seco, °C;

UR = umidade relativa do ar, %.

O índice de temperatura efetiva (ITE) foi desenvolvido para avaliar condições internas por Missenard (1937). O índice representa as sensações de um homem isolado do movimento do ar e da radiação solar (OM, 2015).

$$ITE = T_{bs} - 0,4(T_{bs} - 10)(1 - UR/100) \quad (2)$$

Em que:

T_{bs} = temperatura de bulbo seco, °C;

UR = umidade relativa do ar, %.

A carga térmica de radiação (CTR), que pode ser determinada pela Equação 3, é outro indicador do ambiente térmico que, em condições de regime permanente, expressa a radiação total recebida pelo globo negro de todos os espaços ou partes da vizinhança (ESMAY, 1969).

$$CTR = \sigma TRM^4 \quad (3)$$

Em que:

CTR = carga térmica radiante, W m⁻²;

σ = constante de Stefan-Boltzmann, 5.67x10⁻⁸ W m⁻² K⁻¹;

TRM = temperatura média radiante, K.

A temperatura média radiante (TRM), que integra a CTR, pode ser expressa pela Equação 4 (BOND; KELLY, 1955):

$$TRM = 100 \sqrt[4]{2,51\sqrt{v}(Tgn - Tbs) + (Tgn/100)^4} \quad (4)$$

Em que:

v = velocidade do ar, $m s^{-1}$;

Tgn = temperatura de globo negro, K;

Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

O índice de bulbo úmido termômetro de globo (IBUTG) é calculado por meio da Equação 4 estabelecida pela NR 15 (2019). Este índice é adequado para avaliação de ambientes internos sem carga solar:

$$IBUTG = 0,7 Tbs + 0,3Tgn \quad (5)$$

Em que:

Tbs = temperatura de bulbo seco, °C;

Tgn = temperatura de globo negro, °C.

3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi montado em DBC com 18 repetições (dias) num esquema em parcelas subdivididas no tempo, sendo que os fatores envolvidos foram Coberturas, com 6 níveis, e Horários, com 8 níveis. É importante ressaltar que para análise, foram obtidas as médias por hora, totalizando assim, 8 Horários. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o Teste F ao nível de 5% de significância e posteriormente, quando necessário, foi aplicado o teste Scott-Knott, também ao nível de 5% de significância visando identificar as diferenças entre as médias. A normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias foram verificadas, respectivamente, pelos testes de Shapiro-wilk e Bartlett, ao nível de 5% de significância. As análises foram realizadas com a utilização do software R (R, 2019).

REFERÊNCIAS

ADAJI, M. U.; ADEKUNLE, T. O.; WATKINS, R.; ADLER, G. Indoor comfort and adaptation in low-income and middle-income residential buildings in a Nigerian city during a dry season. **Building and Environment**, v. 162, n. April 2019, p. 106276, 2019. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106276.

AL-HOMOUD, M. S. Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. **Building and Environment**, v. 40, n. 3, p. 353–366, 2005.

ALMEIDA, E.; PASSINI, R. Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões para frangos de corte, utilizando-se de diferentes tipos de coberturas. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 1, p. 19–27, 2013.

ANSI/ASHRAE. ANSI/ASHRAE 55:2004 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. **Ashrae**, v. 2004, p. 30, 2004. doi: 10.1007/s11926-011-0203-9.

BARBIRATO, G.; FIORELLI, J.; LINO, G.; CRAVO, J. C. M.; BERTOLINI, M. S.; LAHR, F. A. R. Desempenho térmico de bezerreiros cobertos com telha de fibrocimento e forro ecológico de subprodutos agroindústrias associado a materiais isolantes. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 3, p. 261–267, 2015.

BERALDO, A. L.; NAÃS, I. de A.; FREIRE, W. J. **Materiais para construções rurais**. [s.l.] Livros Técnicos e Científicos, 1991.

BOND, T. E.; KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, v. 36, n. 4, p. 251–255, 1955.

CABRAL, M. R.; NAKANISHI, E. Y.; FIORELLI, J.; SAVASTANO JUNIOR, H. Evaluation of thermal performance of calves'shelter with eco-lining of wood particles and sisal fiber. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 11, n. 3, p. 217–228, 2017.

CAMPOS, A.T.de; CAMPOS, A.T.; NOVAES, L.P. ; PIRES, M.F.Á. ; CAMPOS, D.S.; ROCHA, W.S.D. ; MARTINS, C.E. Instalações, Ambiente e Manejo de Dejetos. In: Oriel Fajardo de Campos; João Eustáquio Cabral de Miranda. (Org.). **Gado de Leite: O Produtor Pergunta, a Embrapa Responde**. 3ed.Brasília: Embrapa, 2012, p. 293-311.

CEMPRE. **CEMPRE – Compromisso Empresarial para reciclagem**.

CHEN, A.; CHANG, V. W. C. Human health and thermal comfort of office workers in Singapore. **Building and Environment**, v. 58, p. 172–178, 2012. doi: 10.1016/j.buildenv.2012.07.004.

COCCI GRIFONI, R.; OTTONE, M. F.; PRENNA, E. Evaluation of building comfort in developing countries through CFD analysis and TENS method. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 13, n. 2, p. 246–257, 2018. doi: 10.2495/SDP-V13-N2-246-257.

CONCEIÇÃO, M. N.; ALVES, S. P.; TELATIN JUNIOR, A.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S.; SAVASTANO JUNIOR, H.; TONOLI, G. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 5, p. 536–539, 2008.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. D. L.; BALIEIRO, J. D. C.; FIORELLI, J. Compósito à base de resíduos agrícolas para aplicação como forro em aviários. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 9, n. 4, p. 358–367, 2015.

DA COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural**. São Paulo: Editora Blucher, 1982.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2. ed. [s.l.] Westport: CT Abi, 1969.
FIORELLI, J. I.; MORCELLI, J. A. B.; VAZ, I. R.; DIAS, A. A. Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 204–209, 2009.

FONSECA, P. C. F.; ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Ambiente térmico no interior de abrigos individuais para bezerros com a utilização de diferentes tipos de coberturas. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1044–1051, 2011.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e materiais alternativos de construção**. [s.l.] Editora UNICAMP, 2003.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico: arquitetura e urbanismo**. [s.l.] São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GEBREYES, M.; THEOBALD, T. Understanding social vulnerability to climate change using a “riskcapes” lens: case studies from Ethiopia and Tanzania. v. 72, n. 2, p. 163–164, 2018.

GOMES, F. C. **Tecnologia do ambiente construído**. Lavras: UFLA / FAEPE, 2003. 150 p.

HAHN, G. L. **Bioclimatologia e instalações zootécnicas: aspectos teóricos e aplicados**. [s.l.] FUNEP, 1993.

HASHEMI, A. Effects of thermal insulation on thermal comfort in low-income tropical housing. **Energy Procedia**, v. 134, p. 815–824, 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.535.

HERRERA, Q. J. A.; VECCHIA, F.; NOLASCO, C. G. Comparación del comportamiento térmico de três cubiertas: láminas de reciclado Tetra Pak, láminas de fibrocemento y teja de barro. **Ingeniería Revista Académica**, v. 14, n. 1, p. 23–31, 2010.

JENTZSCH, R.; BAËTA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; DAMASCO, F. A.; CECON, P. R.; SARAZ, J. A. O. Predição de parâmetros térmicos ambientais no interior de modelos físicos em escalas reduzidas de galpões avícolas. **Revista Interciência**, v. 36, n. 10, p. 01–05, 2011.

LEE, S.; PARK, S. H.; YEO, M. S.; KIM, K. W. An experimental study on airflow in the cavity of a ventilated roof. **Building and Environment**, v. 44, n. 7, p. 1431–1439, 2009.

LUCERO-ÁLVAREZ, J.; MARTÍN-DOMÍNGUEZ, I. R. Effects of solar reflectance and infrared emissivity of rooftops on the thermal comfort of single-family homes in Mexico. **Building Simulation**, v. 10, n. 3, p. 297–308, 2017. doi: 10.1007/s12273-016-0331-2.

MARCHI, C. M. D. F. Cenário mundial dos resíduos sólidos e o comportamento corporativo brasileiro frente à logística reversa. **Perspectivas em Gestão & Conhecimento**, v. 1, n. 2, p. 118–135, 2011.

MAZZONE, A. Thermal comfort and cooling strategies in the Brazilian Amazon. An assessment of the concept of fuel poverty in tropical climates. **Energy Policy**, v. 139, n. February, p. 111256, 2020. doi: 10.1016/j.enpol.2020.111256.

MCGREGOR, G. R.; NIEUWOLT, S. **Tropical climatology: an introduction to the climates of the low latitudes**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 1998.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 4, p. 445–451, 2008.
MISSENARD, A. **L'Homme at lê climat**. [s.l.: s.n.]

MONTENEGRO, G. A. **Ventilação e cobertas: estudo teórico, histórico e descontraído**. São Paulo, 1984.129 p.

MURPHY, G. **Similitude in Engineering**. [s.l.] The Ronald Press Company, 1950.
NÄÄS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Editora Ícone, 1989.

NÄÄS, I. A.; MOURA, W.; LAGANA, C. A. Amplitude térmica e seu reflexo na produtividade de frangos de corte. . In. **Conferencia Apinco de Ciências e Tecnologia Avícola**, p. 203–204, 1994.

NEVES, A. C. R. R.; CASTRO, L. O. A. Separação de materiais recicláveis: panorama no

Brasil e incentivos à prática. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1734–1742, 2012.

REGULAMENTADORA, Norma. NR-15: Atividades e operações insalubres. Brasília: MTE, 2019.

OM, E. How Well is the Tropical Africa Prepared for Future Physiologic Stress? The Nigerian Example. **Journal of Climatology & Weather Forecasting**, v. 03, n. 02, 2015. doi: 10.4172/2332-2594.1000133.

ONYENOKPORO, N. C.; OCHEDI, E. T. Low-cost retrofit packages for residential buildings in hot-humid Lagos, Nigeria. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 37, n. 3, p. 250–272, 2019. doi: 10.1108/IJBPA-01-2018-0010.

PEDROSO, M. C.; ZWICKER, R. Sustentabilidade na cadeia reversa de suprimentos: um estudo de caso do Projeto Plasma. **Revista de Administração**, v. 42, n. 4, p. 414–430, 2007.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2019.

SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P.; P., G. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 230–236, 2011.

SANTOS, P. A.; YANAGI JÚNIOR, T.; TEIXEIRA, V. H.; FERREIRA, L. Ambiente térmico no interior de modelos de galpões avícolas em escala reduzida com ventilação natural e artificial dos telhados. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 3, p. 575–584, 2005.

SANTOS, R. C.; TINÔCO, I. F. F.; SILVA, J. N.; CORDEIRO, M. B.; PAULA, M. O.; GATES, R. S. Influência das coberturas de barro, cimento-amianto e alumínio, com duas alturas de pé-direito, no conforto térmico de galpões para produção de aves e suínos, em condições de inverno. **Engenharia na Agricultura**, v. 12, n. 2, p. 145–153, 2004.

SARTOR, K.; SARUBBI, J.; LAZZARI, R.; SOUZA, S.; PAIM, R. W.; MEDEIROS, B. B. L. Revestimento De Escamoteadores Para Leitões. p. 1449–1456, 2015.

SEVEGNANI, K. B. **Avaliação de tinta cerâmica em telhados de modelos em escala reduzida, simulando galpões para frango de corte**. 1997. Universidade Estadual de Campinas, 1997.

SILVA, K. C. P.; CAMPOS, A. T.; YANAGI JUNIOR, T.; CECCHIN, D.; FIGUEIREDO, D. A.; FERREIRA, J. C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak em coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, p. 58–65, 2015.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000, 286p.

;TEIXEIRA, V. H. **Construções e ambiência: instalação para suínos e aves**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 182 p.

THOM, E. C. The discomfort index. **Weatherwise**, v. 12, n. 2, p. 57–61, 1959.

TINÔCO, I. de F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 3, n. 1, p. 01–26, 2001.

XIE, M.; LI, L.; QIAO, Q.; SUN, Q.; SUN, T. A comparative study on milk packaging using life cycle assessment: from PA-PE-Al laminate and polyethylene in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 17–18, p. 2100–2106, 2011.

SEGUNDA PARTE

**ARTIGO - AVALIAÇÃO DO USO DE SAPÉ E EMBALAGENS TETRA PAK®
COMO MATERIAL DE FORRO E SUBFORRO PARA HABITAÇÕES POPULARES**

**ARTIGO FORMATADO DE ACORDO COM A NBR 6022 (ABNT, 2003), ADAPTADO
À NORMA DA UFLA.**

RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho, avaliar as condições térmicas proporcionadas pela utilização de capim sapé e caixas reaproveitadas de embalagens Tetra Pak® em forros e subforros para modelos de construções em escala reduzida, cobertas com telhas metálicas, por meio de índices térmicos. Para esse experimento, foram construídos seis modelos em escala distorcida, sendo considerados como tratamentos experimentais os seguintes materiais: telhas cerâmicas (C1), telhas de aço galvanizado (C2), telhas de aço galvanizado com subcobertura de embalagens Tetra Pak® (C3), telhas de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak® (C4), telhas de aço galvanizado com forro de capim sapé (C5), telhas de aço galvanizado com subforro de capim sapé (C6). Os dados foram coletados durante o verão, das 9 às 17 h, em intervalos de 20 min. Os instrumentos de medição utilizados foram sensores de temperatura do ar, umidade relativa e temperatura de globo negro acoplados a Dataloggers HOBO, com precisão $\pm 0,8$ °C e termoanemômetro de fio quente da marca Extech, modelo Sdl350 com precisão de $\pm 0,01\text{ms}^{-1}$. O reaproveitamento de embalagens Tetra Pak® como material de forro e subforro resultaram em uma redução significativa dos valores de índices de conforto térmico. Portanto, conclui-se que a utilização de materiais alternativos proporcionam uma redução significativa na transferência de calor das telhas para o interior da habitação, tornando-se materiais viáveis principalmente em regiões economicamente vulneráveis com condições de alta radiação solar.

Palavras-chave: Cobertura. Materiais alternativos. Conforto térmico. Habitação.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the thermal conditions provided by the use of grass “Sapé” and reused Tetra Pak® packaging boxes in ceilings and sub-ceilings for small scale construction models, covered with metal tiles, using thermal indices. For this experiment, six models were constructed on a distorted scale in which the experimental treatments were carried out using the following materials: ceramic tiles (C1), galvanized steel tiles (C2), galvanized steel tiles with Tetra Pak® packaging under-coverage (C3), galvanized steel tiles with Tetra Pak® packaging liner (C4), galvanized steel tiles with grass “Sapé” lining (C5), galvanized steel tiles with grass “Sapé” under-coverage (C6). Data were collected during the summer, from 9 am to 5 pm, at 20 min intervals. The measuring instruments used were air temperature, relative humidity and black globe temperature sensors coupled to HOBO® Dataloggers, with accuracy ± 0.8 ° C and Extech brand hot wire anemometer, model Sdl350 with accuracy of $\pm 0,01\text{ms}^{-1}$. The reuse of Tetra Pak packaging as a lining and sub-lining material resulted in a significant reduction in the values of thermal comfort indexes. Therefore, it is concluded that the use of alternative materials provides a significant reduction in the heat transfer from the tiles to the interior of the house, becoming viable materials mainly in economically vulnerable regions with conditions of high solar radiation.

Keywords: Roofing. Alternative materials. Thermal comfort. Housing.

1 INTRODUÇÃO

O conforto térmico pode ser definido como a condição mental na qual o ser expressa satisfação com o ambiente térmico. Segundo a ASHRAE (2013) as pessoas passam a maior parte do tempo em ambientes construídos, no qual sua residência representa uma parcela significativa desse período. Neste contexto, é de suma importância que se promova uma melhora no desempenho térmico de residências de baixa renda, uma vez que distúrbios psicológicos, alergias e problemas de saúde se mostram mais importantes em ambientes com maiores níveis de estresse térmico (HADDAD et al., 2019).

No continente africano, por exemplo, em alguns países, identifica-se uma elevada insatisfação com o conforto térmico no ambiente interno, principalmente em edifícios residenciais. Esse nível de insatisfação médio de 70%, chega a ser, em determinados locais, acima de 90% (ADAJI et al., 2019). Essas condições ambientais são frequentemente encontradas em países em desenvolvimento, como é o caso do continente africano, composto por diversas regiões em estado de vulnerabilidade socioeconômica. Uma pesquisa realizada nos países do leste africano mostrou que o clima está diretamente relacionado com as condições de vulnerabilidade. Na Tanzânia, riscos associados à insegurança alimentar, pobreza e a incidência de doenças estão correlatados com comportamento climático, resultando assim, em situação de vulnerabilidade da comunidade (GEBREYES; THEOBALD, 2018).

Estima-se que existe uma demanda de cerca de 1,8 a 4,1 bilhões de pessoas que estão potencialmente expostas ao estresse térmico devido à falta de acesso a alguma tecnologia de resfriamento, principalmente na Índia, Sudeste Asiático e África Subsaariana. No entanto, estima-se que mais de 1 bilhão de pessoas ainda não tenham acesso à energia elétrica. Portanto, o uso de técnicas construtivas passivas se torna uma ferramenta favoravelmente válida dentro deste contexto socioambiental (MASTRUCCI et al., 2019).

Os sistemas construtivos passivos que visam a garantia do conforto de vida, fazem parte do patrimônio técnico-cultural de diversas comunidades do continente africano. Ao longo dos séculos, esses povos desenvolveram soluções de baixa tecnologia para combater o clima severo dessas áreas (GRIFONI; OTTONE; PRENNA, 2018). Os paradigmas das técnicas de construção atuais, muitas vezes, subestimam como as populações antigas usavam materiais, arquitetura

e geografia locais como forma de aumentar o conforto térmico de suas habitações (MAZZONE, 2020).

Alterações simples em edifícios residenciais podem causar uma mudança significativa na temperatura ambiente. O isolamento do telhado é uma alternativa que pode ser feita por meio da utilização de forro. Esse método mostra ser uma estratégia eficaz na melhoria do conforto térmico em residências da população que se encontra em situação de vulnerabilidade nas comunidades africanas (ONYENOKPORO; OCHEDI, 2019).

As residências de baixa renda, em vários países africanos, são normalmente feitas utilizando materiais mais rústicos e de origem natural como o cob, terra batida, acácia e daub (pau a pique). Nesse cenário, uma pesquisa realizada na Uganda com essa categoria de residências, demonstrou que, dentre diversas estratégias experimentadas, com intuito de melhorar o conforto térmico interno a que se mostrou mais efetiva foi a utilização de forros (HASHEMI, 2017).

A utilização de materiais de origem natural permanece presente na construção de diversos tipos de habitações ao redor do mundo. Esse fato deve-se não só pela cultura e tradição passada por gerações, mas também porque são materiais mais acessíveis economicamente e que em diversos casos apresentam eficiência em proteger seus ocupantes contra as intempéries e garantindo certo conforto ao habitante. Por isso o uso de materiais de origem vegetal em coberturas vem sendo avaliado e demonstrando satisfatório desempenho térmico quando comparados a materiais mais comumente usados na construção civil (ALMEIDA; PASSINI, 2013).

As embalagens Tetra Pak® são usadas mundialmente em alimentos considerados perecíveis possibilitando que estes sejam transportados e estocados por períodos maiores sem a necessidade de refrigeração (TEKIN; UCAR; KARAGÖZ, 2019). No ano de 2019 foram vendidas aproximadamente 190 bilhões de embalagens Tetra Pak® no mundo, contudo a taxa de reciclagem global foi de apenas 26% (TETRA PAK, 2020).

Pesquisas recentes buscam novas formas de reaproveitar esses resíduos sólidos. Estudos avaliando o comportamento térmico de embalagens Tetra Pak® evidenciaram a elevada eficiência deste material como isolante térmico (SARTOR et al., 2015). Nesse sentido, buscando usufruir desta propriedade do material, Silva et al. (2015) avaliaram a reutilização de embalagens Tetra Pak® como material de forro em determinados tipos de cobertura. De acordo com

os autores, os resultados demonstraram uma elevação da condição de conforto térmico dos modelos avaliados. Sendo assim, o reaproveitamento de embalagens Tetra Pak®, se mostra uma alternativa acessível economicamente para populações em situação de vulnerabilidade, que se encontram em ambientes com elevados níveis de estresse térmico, a um custo de implantação bastante reduzido.

Nesse contexto, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o uso de materiais alternativos, para comunidades em situação de vulnerabilidade, na forma de forro e subforro em telhados de protótipos em escala reduzida. Analisou-se a eficiência destes materiais na melhoria das condições ambientais das edificações.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no setor de Construções e Ambiência do Departamento de Engenharia da UFLA, no município de Lavras, Minas Gerais (MG), durante a estação de verão. O município localiza-se no sul do estado de MG nas coordenadas geográficas de 21°14' latitude sul e de 45°00' longitude oeste, situado a 930 m de altitude. O clima do município, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido com inverno seco.

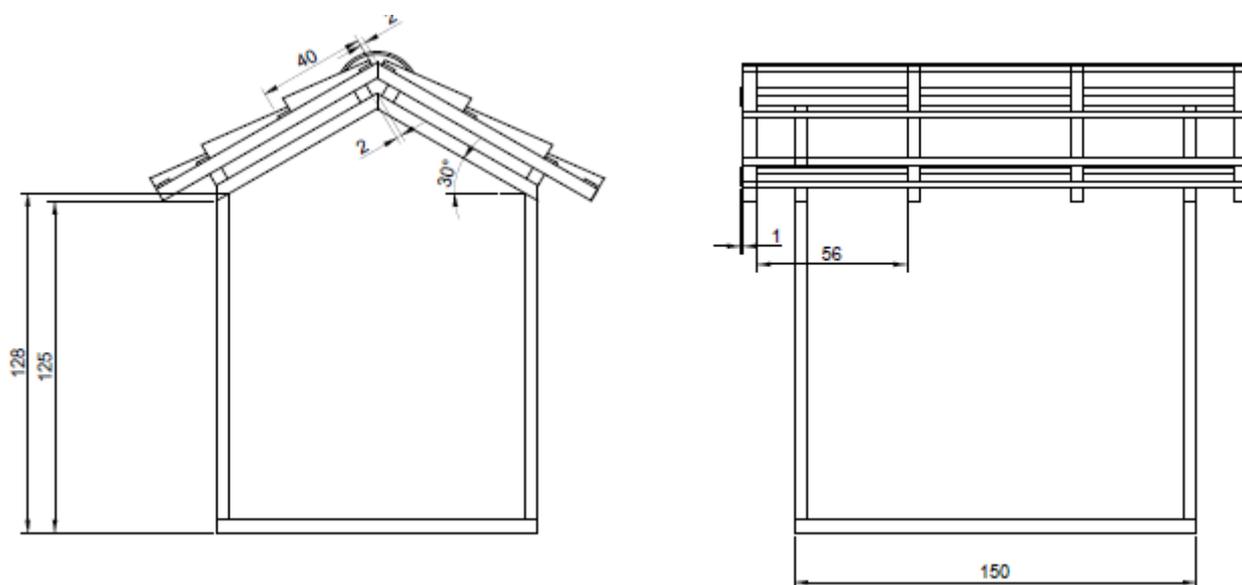
Foram utilizados modelos em escala reduzida devido ao alto custo de implantação de protótipos em escala real e dificuldades do seu manejo em campo. Para este trabalho foram empregados os materiais de cobertura: C1-telhado recoberto com telhas cerâmicas francesas; C2) telhado recoberto telhas de aço galvanizado; C3) telhado recoberto com telhas de aço galvanizado, com subforro em embalagens Tetra Pak® recicladas, instalado junto à face interior das telhas; C4) telhado recoberto com telhas de aço galvanizado, com forro em embalagens Tetra Pak® recicladas; C5) telhado recoberto com telhas de aço galvanizado com forro de sapé; C6) telhado recoberto com telhas de aço galvanizado com subforro de sapé, junto à face inferior das telhas.

Os protótipos foram construídos (Figuras 1 e 2) com perfis de aço, em escala reduzida, sendo 1:10 na horizontal e 1:2 na vertical. Os modelos possuem 1,25 m de pé direito, 1,20 m de largura e 1,50 m de comprimento. A instalação com cobertura de telhas cerâmicas foi dimensionada com inclinação de telhado a 30°, enquanto que os demais a inclinação foi de 15°. Todos os modelos possuem beiral de 20 cm. As faces leste e oeste dos modelos foram

totalmente fechadas com placas de madeirite de 1 cm de espessura. Os modelos foram montados em terreno plano, livres de sombreamento, orientados no sentido leste-oeste e posicionados com uma distância mínima de dois metros um do outro (FONSECA; ALMEIDA; PASSINI, 2011).

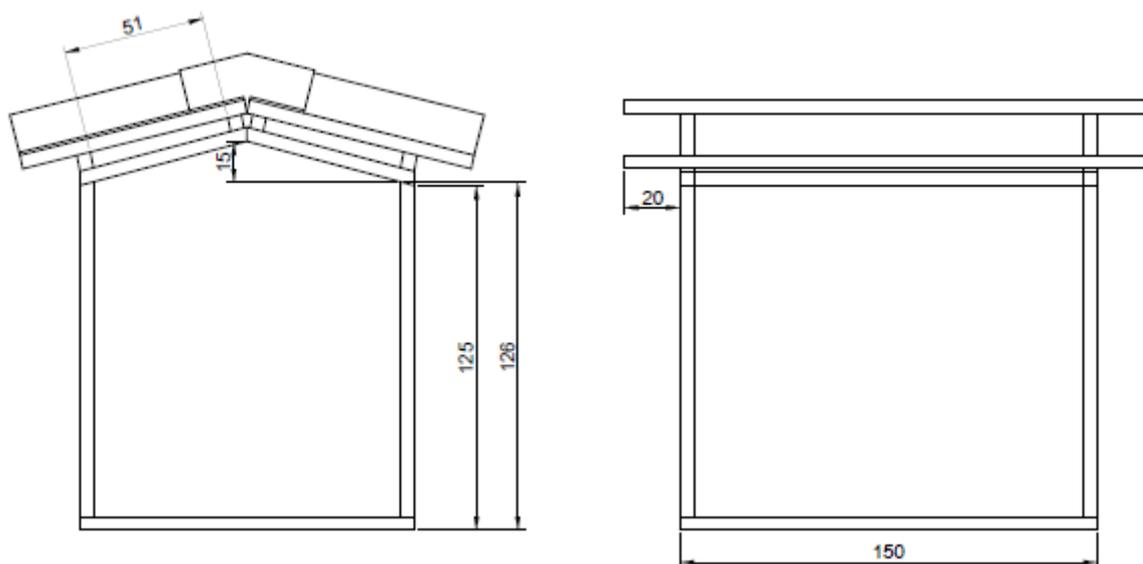
Os dados foram obtidos durante o período de verão, das 9 às 16 horas em intervalos de 20 minutos. Os dados de temperaturas de globo negro (T_{gn}), temperaturas de bulbo seco (T_{bs}), temperaturas de ponto de orvalho (T_{po}) e umidade relativa do ar (UR), foram adquiridos através de sensores acoplados a dataloggers da marca Onset HOBO H8, precisão de $\pm 0,8$ °C. A velocidade do ar foi medida por meio de um termoanemômetro digital da marca Extech, modelo Sdl350, precisão de $\pm 0,01$ m s⁻¹, sendo as medidas coletadas próximo de cada globo no interior dos modelos. Para a determinação da temperatura de globo, foram instalados globos negros de cobre, pintados externamente de preto fosco, com 0,05 cm de espessura, calibrados com equipamento de referência. Os sensores foram instalados à altura correspondente ao centro geométrico de cada modelo.

Figura 1 - Vistas em corte das seções transversais do modelo físico construído em escala reduzida para cobertura de telha cerâmica (unidade das cotas: cm).



Fonte: Do autor.

Figura 2 - Vistas em corte das seções transversais dos modelos físicos construídos em escala reduzida para as coberturas com aço galvanizado (unidade das cotas: cm).



Fonte: Do autor.

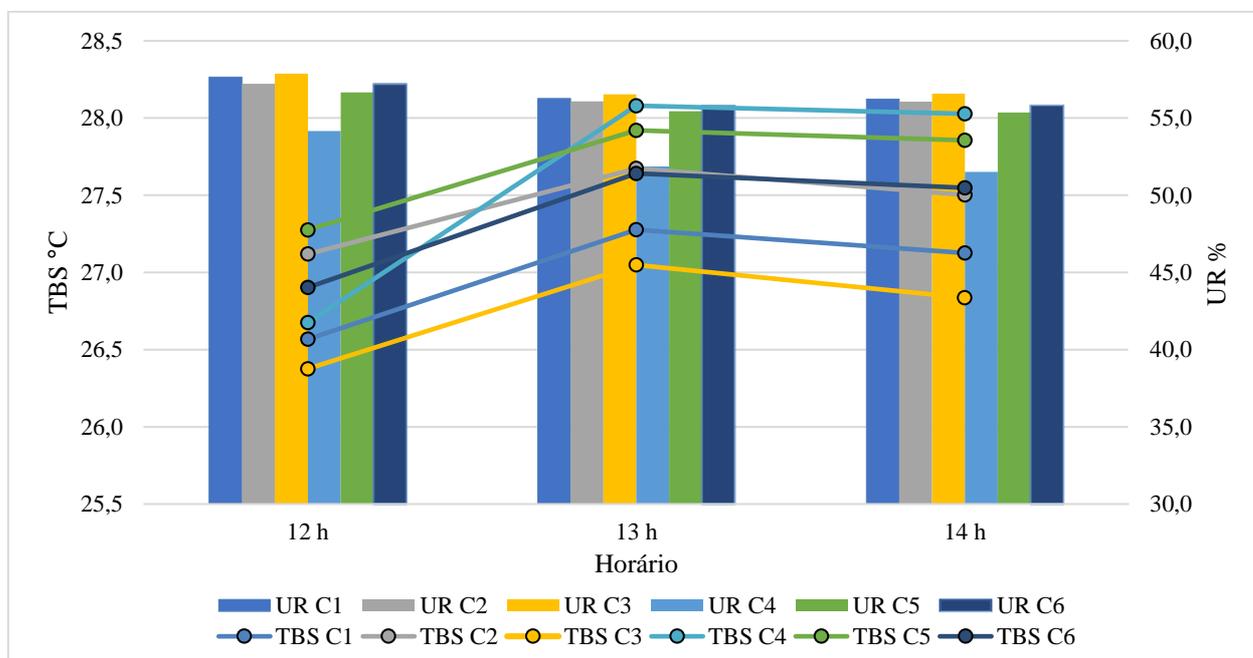
Como forma de avaliar as condições térmicas ambientais, fornecidas por cada uma das coberturas, foram calculados os seguintes índices: Índice de Temperatura e Umidade (ITU); Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG); Índice de Temperatura Efetiva (ITE) e Carga Térmica de Radiação (CTR), assim como metodologia preconizada por diversos autores (BARUTI et al., 2020; CORDEIRO et al., 2020; MAGALHÃES et al., 2020; MAHGOUB et al., 2020).

O experimento foi montado em DBC com 18 repetições (dias não consecutivos) num esquema em parcelas subdivididas no tempo, sendo que os fatores envolvidos foram Coberturas, com 6 níveis, e Horários, com 8 níveis. É importante ressaltar que para análise, foram obtidas as médias por hora, totalizando assim, 8 Horários. Os dados foram submetidos à análise de variância, utilizando o Teste F ao nível de 5% de significância e posteriormente, quando necessário, foi aplicado o teste Scott-Knott, também ao nível de 5% de significância visando identificar as diferenças entre as médias. A normalidade dos resíduos e homogeneidade de variâncias foram verificadas, respectivamente, pelos testes de Shapiro-wilk e Bartlett, ao nível de 5% de significância. As análises foram realizadas com a utilização do software R (R core team, 2019).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da Figura 3 é possível observar que as menores temperaturas médias foram obtidas nas coberturas C1 e C3, no período mais quente do dia, destacando a redução significativa da temperatura interna do modelo C3 devido à utilização das embalagens Tetra Pak® como subforro. Essa redução se deve pelo fato da folha de alumínio presente em uma das faces das embalagens Tetra Pak® ser altamente reflexiva, portanto, a radiação térmica que é transmitida da telha de aço galvanizado para o interior do modelo é refletida de volta pela camada de embalagens posicionadas margeando a face da telha. Contudo, a cobertura C4 demonstrou pior desempenho térmico em relação a TBS às 13 horas, horário no qual foi registrada a maior média de temperatura. A umidade relativa variou nos horários mais quentes de 55,4 a 57,8% nas demais coberturas com exceção da cobertura C4 que apresentou valores inferiores, variando de 51,5% a 54,2% dentro desse intervalo.

Figura 3 – Temperatura de Bulbo Seco (TBS) média por hora e Umidade Relativa do Ar (UR) média por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 – Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.



Fonte: Do autor.

Na avaliação do comportamento térmico de um modelo utilizando-se uma cobertura de palha de palmeira, Barnabé et al. (2015), observaram um retardo no aumento da temperatura no interior do protótipo em relação às demais coberturas avaliadas. Esse comportamento foi justificado, pelo fato de parte da energia proveniente do sol ser gasta na evaporação da água absorvida pela palha. Trata-se de um material orgânico e fibroso o qual absorve a água resultante da condensação da superfície da cobertura durante o período noturno. No entanto, esse desempenho não foi observado na utilização do capim sapé como forro e subforro, apresentado no interior do modelo temperaturas estatisticamente iguais a da cobertura de aço galvanizado (C2). Como o sapé não foi exposto à radiação direta e umidade, não ocorreu como o descrito por Barnabé et al. (2015). Esperava-se que a camada de sapé formasse uma barreira a mais para atuar como um isolante, reduzindo a temperatura no interior dos modelos. Entretanto, provavelmente devido ao fato dos modelos serem abertos, este efeito não foi tão pronunciado, no período estudado.

3.1 ITU

Como pode ser observado na Tabela 1, os horários em que se observou maiores valores de ITU médio foram das 12 às 15 horas, exceto para a Cobertura C4. Nesse caso o intervalo onde ocorreram as maiores temperaturas ocorreu entre 13 e 15 horas. Com relação ao desempenho térmico dos tratamentos, observou-se que houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$) entre o ITU médio das coberturas. Na parte da manhã, das 9 às 11 horas, as coberturas C1, C3 e C6 apresentaram valores de ITU médio estatisticamente iguais, enquanto a cobertura C4 foi a que apresentou o menor valor de ITU médio. Ao meio dia os tratamentos C1, C3 e C4 passaram a se destacar com os menores valores de ITU médio, sendo que das 13 às 14 horas somente as coberturas C1 e C3 se encontraram estatisticamente iguais entre os menores valores de ITU médio. Analisando os horários de maior ITU médio, 12 às 15 horas, em geral, verificou-se que as coberturas C1 e C3 estiveram entre as de menor valor de ITU médio. Por outro lado, os tratamentos C4 e C5 destacam-se por apresentar os maiores valores de ITU médio dentro deste período.

Observou-se um aumento da temperatura ao longo do dia, atingindo os maiores valores às 13 horas da tarde. Contudo verificou-se um comportamento inverso da umidade relativa,

uma vez que se obteve os menores valores nos horários mais quentes do dia. Esse relacionamento foi observado também por Mushore et al. (2019) em seu trabalho avaliando as condições de conforto térmico da Universidade de Zimbábue. Esse comportamento contribuí para as condições de conforto fisiológicas, já que a redução de umidade diante de altas temperaturas permite um aumento da evaporação do suor fazendo com que haja uma perda de calor maior entre o corpo humano e o ambiente. Devido às condições mais frias de onde se encontra a Universidade de Zimbábue, foi no verão em que se obteve as melhores condições de conforto durante as horas mais quentes do dia atingindo valores de ITU entre 21 e 24°C.

Tabela 1- Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de campim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.

Horários	Coberturas					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
9	19.28 bD	20.14 aD	19.62 bD	18.35 cE	19.98 aD	19.29 bD
10	21.30 bC	22.07 aC	21.52 bC	20.87 cD	21.93 aC	21.39 bC
11	23.31 bB	23.83 aB	23.34 bB	22.75 cC	23.88 aB	23.43 bB
12	24.29 bA	24.78 aA	24.14 bA	24.20 bB	24.89 aA	24.58 aA
13	24.87 bA	25.22 aA	24.67 bA	25.34 aA	25.41 aA	25.17 aA
14	24.72 bA	25.06 aA	24.48 bA	25.27 aA	25.34 aA	25.08 aA
15	24.32 cA	24.645 bA	24.19 cA	25.06 aA	25.02 aA	24.75 bA
16	23.11 aB	23.25 aB	22.88 aB	23.10 aC	23.45 aB	23.16 aB

** As médias seguidas por mesma letra minúscula nas linhas e as médias seguidas por mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor.

Em um estudo realizado na Malásia, constatou-se que o efeito da urbanização tende a aumentar o desconforto fisiológico causado pela elevação da temperatura, verificou-se um aumento de 0,7 °C para o ITU, provavelmente, correspondente ao aumento da urbanização (MORRIS et al., 2017). Esse fenômeno mostra que para os tratamentos C2, C4, C5 e C6, os

quais apresentaram valores de ITU médio próximos ao limite de 26 °C, efeitos como o aumento da urbanização podem levar essas coberturas a entrarem na escala de desconforto para 100% dos ocupantes (Tabela 2). Um estudo realizado na Nigéria examinou a variabilidade do conforto térmico ao longo dos anos e concluiu que, para países em desenvolvimento, em regiões tropicais, esses, devem se preparar para um aumento significativo do nível de estresse térmico graças ao aumento da urbanização e da temperatura do planeta (OM, 2015). O autor ainda ressalta que a maioria dos países em desenvolvimentos não estão preparados para as mudanças climáticas, principalmente devido à falta de tecnologia e à má alocação de recursos. O modelo com subforro de embalagens Tetra Pak® (C3) resultou em uma redução significativa dos valores de ITU médio quando comparado a cobertura de aço galvanizado (C2), por isso novas tecnologias vêm sendo estudadas afim de encontrar materiais acessíveis e sustentáveis. CARNEIRO et al. (2015), avaliaram o conforto térmico proporcionado por coberturas com telha reciclada e telhados verdes (cobertura que permite o crescimento de vegetação) e obtiveram em seus resultados reduções nos valores de ITU, sendo elas mais significativas para as coberturas de telhado verde, o que salienta a importância do estudo de novas tecnologias alternativas para a melhora do conforto térmico de habitações.

Tabela 2- Condições de conforto em relação ao Índice de Temperatura e Umidade (ITU).

Escala ITU (°C)	Condições de conforto
ITU < 15	100% dos indivíduos se sentem desconfortáveis devido ao estresse pelo frio.
15 < ITU < 21	50% dos indivíduos se sentem confortáveis e 50% sob estresse pelo frio.
21 < ITU < 24	100% dos indivíduos se sentem confortáveis.
24 < ITU < 26	50% dos indivíduos se sentem confortáveis e 50% sob estresse pelo calor.
ITU > 26	100% dos indivíduos se sentem desconfortáveis devido ao estresse pelo calor.

Fonte: Adaptado de Polydoros e Cartalis (2015).

3.2 IBUTG

Observando a Tabela 3, verificou-se que houve diferença significativa entre o IBUTG médio para os diferentes tratamentos, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste F (valor $p < 0,05$). De acordo com os dados apresentados, verifica-se que os maiores valores médios de IBUTG se encontram dentro do intervalo das 12 às 15 horas. Período este onde normalmente

ocorrem os maiores valores de radiação solar sobre as instalações. As coberturas C1, C3 e C4 se destacam por apresentarem os menores valores de IBUTG médio. Contudo, a cobertura C4 se sobressai com melhor comportamento térmico dentre os demais tratamentos apresentando o menor valor médio de IBUTG. Além do mais, às 11 horas, a cobertura C4 foi a única estatisticamente diferente das demais, com o menor valor de IBUTG médio do horário, o que reforça a quão significativa é a melhoria proporcionada pela utilização do forro com embalagens recicladas de Tetra Pak®. Os tratamentos C2, C5 e C6 apresentaram os maiores valores de IBUTG médio.

Tabela 3 – Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG) médio por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com sub-forro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.

Horários	Coberturas					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
9	18.37 bD	18.99 aD	18.47 bD	17.67 cD	18.78 aE	18.36 bD
10	20.17 bC	20.79 aC	20.41 bC	19.62 cC	20.67 aD	20.36 bC
11	21.91 aB	22.27 aB	21.82 aB	21.12 bB	22.35 aB	22.09 aB
12	22.54 bA	23.04 aA	22.49 bA	22.10 bA	23.25 aA	23.06 aA
13	22.99 bA	23.35 aA	22.82 bA	22.93 bA	23.67 aA	23.42 aA
14	22.95 bA	23.15 aA	22.44 cA	22.88 bA	23.51 aA	23.24 aA
15	22.27 bB	22.72 aA	22.20 bA	22.72 aA	23.05 aA	22.88 aA
16	21.46 aB	21.49 aB	21.11 bB	20.78 bB	21.51 aC	21.41 aB

** As médias seguidas por mesma letra minúscula nas linhas e as médias seguidas por mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.
Fonte: Do autor.

Para a avaliação das condições de conforto térmico, utilizou-se a Tabela 4, proposta pela Norma Regulamentadora Número 15 (NR 15, 2019), presente na Escola Nacional da Inspeção do Trabalho (ENIT), na qual delimita os limites de tolerância para exposição ao calor. Foi determinado o regime de trabalho contínuo e a classificação do tipo de atividade como pesada,

para avaliar as condições de conforto com base no IBUTG. Desta forma, constata-se que todas as coberturas se enquadraram dentro da região de conforto térmico, apresentando valores inferiores a 25, logo, todos os tratamentos apresentam uma condição térmica, neste caso, que não expõe seus habitantes ao estresse. Um experimento realizado em instalações avícolas em região de clima semelhante à do presente trabalho, foram encontrados valores para IBUTG próximos a 30, caracterizando situação de desconforto segundo a NR-15 (2019), contrapondo assim, ao valores obtidos nesse trabalho em que o valor de IBUTG mais próximo ao limite estabelecido pela norma foi de 23,67, apresentado pela cobertura C5 às 13 horas (CARVALHO et al., 2014). De acordo com Carvalho et al. (2012), principalmente para realização de atividades em ambientes quentes em que os valores de IBUTG atingem uma sobrecarga térmica segundo a NR 15, deve-se atentar, acima de tudo, a fatores ergonômicos, alimentação e períodos de descanso para os ocupantes, pois esses se encontram sujeitos ao maior desgaste físico podendo assim desencadear problemas de saúde.

Tabela 4 – Limites de estresse térmico segundo Índice de Bulbo Úmido Termômetro de Globo (IBUTG).

REGIME DE TRABLHO INTERMITENTE COM DESCANSO NO PRÓPRIO LOCAL DE TRABALHO	TIPO DE ATIVIDADE		
	LEVE	MODERADA	PESADA
Trabalho contínuo	até 30,0	até 26,7	até 25
45 minutos trabalho 15 minutos descanso	30,1 a 30,5	26,8 a 28,0	25,1 a 25,9
30 minutos trabalho 30 minutos descanso	30,7 a 31,4	28,1 a 29,4	26,0 a 27,9
15 minutos trabalho 45 minutos descanso	31,5 a 32,2	29,5 a 31,1	28,0 a 30,0
Não é permitido o trabalho, sem a adoção de medidas adequadas de controle	acima de 32,2	acima de 31,1	acima 30,0

Fonte: Adaptado de NR-15 (2019).

3.3 ITE

Observa-se, pela Tabela 5, que em geral, os horários que apresentaram maiores valores de Índice de Temperatura Efetiva (ITE) médio foram das 12 às 15 horas, exceto para a cobertura C4, em que os horários de maior ITE médio foram das 13 às 15 horas. No intervalo das 9 às 11

horas, a cobertura C4 se destaca por ser isolada estatisticamente dos demais tratamentos ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Scott-Knott (valor $p < 0,05$), apresentando os menores valores de ITE médio. Com valores superiores e estatisticamente iguais seguem as coberturas C6, C3 e C1. Já ao meio dia, as coberturas C1, C3 e C4 foram as que apresentaram menores valores médios de ITE. Contudo, no intervalo das 13 às 15 horas, o tratamento C4 deixa de estar entre os menores valores de ITE médio e somente as coberturas C1 e C3 passam a apresentar os menores valores. As coberturas C2 e C5 e C6 foram as que apresentaram os maiores valores de ITE, respectivamente.

Tabela 5 – Índice de Temperatura Efetiva (ITE) médio por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.

Horários	Coberturas					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
9	19.24 bD	20.03 aD	19.55 bD	18.37 cE	19.88 aD	19.24 bD
10	21.08 bC	21.77 aC	21.27 bC	20.65 cD	21.64 aC	21.15 bC
11	22.86 bB	23.33 aB	22.89 bB	22.31 cC	23.37 aB	22.97 bB
12	23.72 bA	24.16 aA	23.58 bA	23.56 bB	24.25 aA	23.97 aA
13	24.21 bA	24.53 aA	24.04 bA	24.53 aA	24.69 aA	24.47 aA
14	24.07 bA	24.38 aA	23.86 bA	24.44 aA	24.62 aA	24.39 aA
15	23.71 bA	24.01 aA	23.60 bA	24.25 aA	24.33 aA	24.08 aA
16	22.69 aB	22.79 aB	22.46 aB	22.57 aC	22.96 aB	22.69 aB

* As médias seguidas por mesma letra minúscula nas linhas e as médias seguidas por mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor.

Segundo valores propostos por Santos, Amorim e Cavalcante (2014) (Tabela 6), todos os tratamentos apresentaram valores de ITE médio, para todos os horários, abaixo do limite de conforto em relação ao calor, garantindo, assim, um ambiente termicamente confortável. Em

estudo realizado no Cairo, Egito, demonstrou-se através de avaliação por ITE, um impacto significativo do crescimento urbano do microclima de cidades em desenvolvimento, provocando assim diversas zonas de estresse térmico no perímetro urbano (MAHMOUD; GAN, 2018).

Um levantamento realizado na região tropical da África, concluiu que para países localizados nessa região é recomendado um alto nível de preparação para o futuro aumento de estresse térmico, uma vez que, em determinadas regiões, já se atinge valores de ITE de 26,1 °C, o que caracteriza uma situação de desconforto térmico, que ainda deve se intensificar nos próximos anos. Além da elevação do estresse térmico, há evidências de que o aumento da temperatura em diferentes cidades ao redor do mundo possui associações significativas com o aumento da mortalidade e da morbidade (OSTRO; RAUCH; GREEN, 2011).

Tabela 6 – Limites para conforto térmico segundo Índice de Temperatura Efetiva (ITE).

ITE (°C)	SENSAÇÃO TÉRMICA
ITE < 25	Limite para conforto com relação ao calor
25 ≤ ITE ≤ 29,2	Sensação de calor moderado

Fonte: Adaptado de Santos, Amorim e Cavalcante (2014).

Coelho, Gonçalves e Latorre (2010) mostram em seu trabalho que em países em desenvolvimento existe uma correlação entre o ITE e a saúde humana. Para determinadas condições ambientais o índice de temperatura efetiva também se correlaciona com diversos grupos de doenças. Portanto, faz-se de suma importância a adoção de técnicas construtivas que viabilizem ou contribuam para que se atinja um ambiente termicamente confortável afim de garantir a saúde dos seus ocupantes. Assim como observado para a C2 no qual não foi aplicado o uso do forro, nos horários mais quentes do dia o ITE médio se encontra próximo ao limite de conforto proposto por Santos, Amorim e Cavalcante (2014). Pode-se assim concluir que para regiões e dias mais quentes em relação ao local onde foi realizada a pesquisa aliado ao aumento da temperatura global, a utilização dos forros se apresenta como uma alternativa extremamente viável para a redução da temperatura interna de edificações.

3.4 CTR

Os resultados médios diários de CTR, relacionados na Tabela 7, demonstram diferença significativa ($p < 0,5$), de maneira geral, entre os tratamentos e os horários de estudo. Vê-se que no período das 11 às 15 horas foram observados os maiores valores de CTR médio para as coberturas C2, C3, C4 e C6. Já para a cobertura C1, os valores mais elevados de CTR médio situam-se apenas entre as 13 e 14 horas. Enquanto para o tratamento C5, o intervalo de maior CTR foi das 12 às 15 horas. Analisando diferentes tipos de cobertura, Akamine e Passini (2017), também obtiveram em seu experimento maiores valores de CTR às 13 horas, que segundo os autores, tal comportamento se justifica pela elevada incidência de radiação solar durante este horário.

Tabela 7 – Carga Térmica de Radiação (CTR) média por hora das coberturas: C1 – Telha cerâmica; C2 – Telha de aço galvanizado; C3 – Telha de aço galvanizado com subforro de embalagens Tetra Pak®; C4 - Telha de aço galvanizado com forro de embalagens Tetra Pak®; C5 – Telha de aço galvanizado com forro de capim sapé. C6 – Telha de aço galvanizado com subforro de capim sapé.

Horários	Coberturas					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
9	434.34 aD	437.84 aC	432.59 aC	432.38 aC	432.24 aD	433.82 aC
10	448.50 aC	452.62 aB	448.97 aB	447.39 aB	450.14 aC	450.89 aB
11	463.90 aB	464.56 aA	461.69 aA	459.24 aA	466.33 aB	465.19 aA
12	466.78 bB	470.93 aA	466.63 bA	465.44 bA	474.79 aA	472.99 aA
13	471.28 bA	473.65 bA	469.44 bA	471.77 bA	479.49 aA	476.48 aA
14	474.27 aA	471.75 aA	465.96 bA	468.29 bA	477.80 aA	474.19 aA
15	462.84 bB	467.29 bA	462.84 bA	465.55 bA	474.29 aA	470.69 Aa
16	459.81 aB	456.17 aB	453.44 bB	451.86 bB	460.74 aB	456.89 aB

* As médias seguidas por mesma letra minúscula nas linhas e as médias seguidas por mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

Fonte: Do autor.

Na parte da manhã, entre 9 e 11 horas, não foi observada diferença estatística entre a CTR média dos tratamentos ($p < 0,05$). Ao meio dia, as coberturas C1, C3 e C4, passaram a se

destacar apresentando menores valores de CTR média. No horário das 13 e 15 horas, as coberturas C1, C2, C3 e C4 apresentaram menores valores, enquanto às 14 e 16 horas, apenas as coberturas C3 e C4 se destacaram por apresentar uma menor carga térmica. Desta forma, observou-se que os tratamentos C3 e C4 apresentaram os melhores resultados dentre os demais, com menores valores de CTR média com uma redução significativa principalmente nos horários de temperaturas mais elevadas, demonstrando assim uma melhor eficiência térmica. Enquanto as coberturas C5 e C6 foram as que apresentaram os piores desempenhos térmicos se destacando entre os maiores valores de CTR em todos os horários analisados.

Nota-se, que a utilização de embalagens Tetra Pak®, resultou em uma diminuição significativa da carga térmica presente nos modelos. Esta melhoria também foi observada em um experimento semelhante realizado por Silva et al. (2015), no qual a utilização de embalagens Tetra Pak® como forro de coberturas feitas de cimento amianto também resultaram na redução da CTR do ambiente interno do modelo.

Tomando-se como referência os valores de CTR $498,3 \text{ Wm}^{-2}$, indicados por Rosa (1984), para coberturas de telha cerâmicas, observa-se que os valores obtidos são inferiores no tratamento C1 mesmo nos horários de maior incidência térmica. Sampaio et al. (2011) obtiveram dados que corroboram com os resultados do presente trabalho, verificando-se também um CTR superior com o uso de telhas cerâmicas, quando comparado a cobertura de telhas metálicas, sendo esses variando de $406,7$ a $479,2 \text{ Wm}^{-2}$ e de $406,2$ a $518,3 \text{ Wm}^{-2}$ para telhas cerâmicas e metálicas, respectivamente. Essa condição ratifica a utilização de forros, uma vez que para os tratamentos C3 e C4, se obteve valores de CTR próximos e em determinados horários inferiores à da cobertura C1.

4 CONCLUSÃO

Conclui-se que o uso de materiais alternativos como embalagens reaproveitadas Tetra Pak® apresentaram características isolantes promissoras que justificam seu uso em construções de baixo custo. A utilização das embalagens como forro e subforro proporcionaram uma redução considerável na transferência de calor das telhas para o interior das instalações, principalmente em condições de alta radiação solar, aumentando assim as condições de conforto térmico do ambiente.

Provavelmente devido a configuração dos modelos usados no experimento, caracterizados por serem completamente abertos, não foram detectadas melhorias significativas no conforto térmico no interior das instalações, com o uso de sapé como material de forro e sub-forro.

REFERENCIAS

ADAJI, M. U.; ADEKUNLE, T. O.; WATKINS, R.; ADLER, G. Indoor comfort and adaptation in low-income and middle-income residential buildings in a Nigerian city during a dry season. **Building and Environment**, v. 162, n. April 2019, p. 106276, 2019. doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106276.

AKAMINE, L. A.; PASSINI, R. Índices De Conforto Térmico Para Aves Em Modelos Reduzidos Com Diferentes Coberturas. **Espacios**, v. 38, n. 6, p. 1193–1198, 2017.

ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Thermal comfort in reduced models of broilers' houses, under different types of roofing materials eduardo a. de almeida 1 , roberta passini 2. p. 19–27, 2013.

ASHRAE, ANSI. Standard 55-2013 2013 Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA

BARNABÉ, J. M. C.; PANDORFI, H.; ALMEIDA, G. L. P. de; GUISELINI, C.; JACOB, A. L. Conforto térmico e desempenho de bezerras Girolando alojadas em abrigos individuais com diferentes coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 481–488, 2015. doi: 10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p481-488.

BARUTI, M. M.; JOHANSSON, E.; YAHIA, M. W. Urbanites' outdoor thermal comfort in the informal urban fabric of warm-humid Dar es Salaam, Tanzania. *Sustainable Cities and Society*, v. 62, n. 102380, 2020.

CARNEIRO, T. A.; GUISELINI, C.; PANDORFI, H.; NETO, J. P. L.; LOGES, V.; SOUZA, R. F. L. De. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* Condicionamento térmico primário de instalações rurais por meio de diferentes tipos de cobertura Primary thermal conditioning of rural installations by means of different types of cover. p. 1086–1092, 2015.

CARVALHO, C. C. S.; DOS SANTOS, T. C.; DA SILVA, G. C.; SANTOS, L. V; MOREIRA, S. J. M.; BOTELHO, L. F. R. Animal and human thermal comfort in poultry houses in Brazilian semiarid [Conforto térmico animal e humano em galpões de frangos de corte no semiárido mineiro]. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v. 18, n. 7, p. 769–773, 2014. doi: 10.1590/S1415-436620140007000015.

CARVALHO, C. da C. S.; SOUZA, C. de F.; TINOCO, I. de F. F.; VIEIRA, M. de F. A.; MENEGALI, I.; SANTOS, C. R. dos. Condições ergonômicas dos trabalhadores em galpões de frangos de corte durante a fase de aquecimento. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, v. 16, n. 11, p. 1243–1251, 2012. doi: 10.1590/s1415-43662012001100014.

COELHO, M. D. S. Z. S.; GONÇALVES, F. L. T.; LATORRE, M. D. R. D. D. O. Statistical analysis aiming at predicting respiratory tract disease hospital admissions from environmental variables in the city of São Paulo. ***Journal of Environmental and Public Health***, v. 2010, 2010. doi: 10.1155/2010/209270.

CORDEIRO, A. L. L.; SATRAPA, R. A.; GREGIANINI, H. A. G.; GREGIANINI, J. T. F.; MAIA, G. F. N.; LANDIM-ALVARENGA, F. C. Influence of temperature-humidity index on conception rate of Nelore embryos produced in vitro in northern Brazil. *Tropical Animal Health and Production*, v. 52, n. 3, p. 1527-1532. 2020.

FONSECA, P. C. F.; ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Ambiente térmico no interior de abrigos individuais para bezerros com a utilização de diferentes tipos de coberturas. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 6, p. 1044–1051, 2011.

GEBREYES, M.; THEOBALD, T. Understanding social vulnerability to climate change using a “riskcapes” lens: case studies from Ethiopia and Tanzania. v. 72, n. 2, p. 163–164, 2018.

GRIFONI, R. C.; OTTONE, M. F.; PRENNA, E. Evaluation of building comfort in developing countries through CFD analysis and TENS method. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 13, n. 2, p. 246–257, 2018. doi: 10.2495/SDP-V13-N2-246-257.

HADDAD, S.; PIGNATTA, G.; PAOLINI, R.; SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M. An extensive study on the relationship between energy use, indoor thermal comfort, and health in social housing: The case of the New South Wales, Australia. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, v. 609, n. 4, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/609/4/042067.

HASHEMI, A. Effects of thermal insulation on thermal comfort in low-income tropical housing. **Energy Procedia**, v. 134, p. 815–824, 2017. doi: 10.1016/j.egypro.2017.09.535.

MAHMOUD, S. H.; GAN, T. Y. Long-term impact of rapid urbanization on urban climate and human thermal comfort in hot-arid environment. **Building and Environment**, v. 142, n. June, p. 83–100, 2018. doi: 10.1016/j.buildenv.2018.06.007.

MAGALHÃES, C. A. S.; ZOLIN, C. A.; LULU, J.; LOPES, L. B.; FURTINI, I. V.; VENDRUSCULO, L. G.; ZAIATZ, A. P. S. R.; PEDREIRA, B. C.; PEZZOPANE, J. R. M. Improvement of thermal comfort indices in agroforestry systems in the southern Brazilian Amazon. *Journal of Thermal Biology*, v. 91, n. 102636, July 2020.

MAHGOUB, A. O.; GOWID, S.; GHANI, S. Global evaluation of WBGT and SET indices for outdoor environments using thermal imaging and artificial neural networks. *Sustainable Cities and Society*, v. 60, n. 102182, 2020.

MASTRUCCI, A.; BYERS, E.; PACHAURI, S.; RAO, N. D. Improving the SDG energy poverty targets: Residential cooling needs in the Global South. *Energy and Buildings*, v. 186, p. 405–415, 2019. doi: 10.1016/j.enbuild.2019.01.015.

MAZZONE, A. Thermal comfort and cooling strategies in the Brazilian Amazon. An assessment of the concept of fuel poverty in tropical climates. *Energy Policy*, v. 139, n. February, p. 111256, 2020. doi: 10.1016/j.enpol.2020.111256.

MORRIS, K. I.; CHAN, A.; MORRIS, K. J. K.; OOI, M. C. G.; OOZEER, M. Y.; ABAKR, Y. A.; NADZIR, M. S. M.; MOHAMMED, I. Y.; AL-QRIMLI, H. F. Impact of urbanization level on the interactions of urban area, the urban climate, and human thermal comfort. *Applied Geography*, v. 79, p. 50–72, 2017. doi: 10.1016/j.apgeog.2016.12.007.

MUSHORE, T. D.; CHIMUTI, B.; GWENZI, J.; MANJOWE, M.; MUTASA, C.; MASHONJOWA, E.; MHIZHA, T.; MUROYIWA, G.; ROUSTA, I. Localised human thermal discomfort assessment using high temporal resolution meteorological data: A case of University of Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, v. 110, n. January, p. 138–148, 2019. doi: 10.1016/j.pce.2019.01.010.

REGULAMENTADORA, Norma. NR-15: Atividades e operações insalubres. Brasília: MTE, 2019.

OM, E. How Well is the Tropical Africa Prepared for Future Physiologic Stress? The Nigerian Example. *Journal of Climatology & Weather Forecasting*, v. 03, n. 02, 2015. doi: 10.4172/2332-2594.1000133.

ONYENOKPORO, N. C.; OCHEDI, E. T. Low-cost retrofit packages for residential buildings in hot-humid Lagos, Nigeria. **International Journal of Building Pathology and Adaptation**, v. 37, n. 3, p. 250–272, 2019. doi: 10.1108/IJBPA-01-2018-0010.

OSTRO, B.; RAUCH, S.; GREEN, S. Quantifying the health impacts of future changes in temperature in California. **Environmental Research**, v. 111, n. 8, p. 1258–1264, 2011. doi: 10.1016/j.envres.2011.08.013.

POLYDOROS, A.; CARTALIS, C. Assessing thermal risk in urban areas—an application for the urban agglomeration of Athens. *Advances in Building Energy Research*, v. 8, n. 1, p. 74–83, 2014.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>, 2019.

ROSA, Y.B.C.J. Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico em condições de verão, para Viçosa - MG. Viçosa: UFV, 1984. 77p. Dissertação Mestrado

SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P.; P., G. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 2, p. 230–236, 2011.

SANTOS, J. B. dos; AMORIM, R. F. C.; CAVALCANTE, L. P. A. Análise do conforto térmico humano no município de Arapiraca - Alagoas, utilizando software Matlab. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 07, n. 5, p. 939–948, 2014.

SARTOR, K.; SARUBBI, J.; LAZZARI, R.; SOUZA, S.; PAIM, R. W.; MEDEIROS, B. B. L. Revestimento De Escamoteadores Para Leitões. p. 1449–1456, 2015.

SILVA, K. C. P.; CAMPOS, A. T.; YANAGI JUNIOR, T.; CECCHIN, D.; FIGUEIREDO, D. A.; FERREIRA, J. C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak em coberturas.

Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, p. 58–65, 2015.

TEKIN, K.; UCAR, S.; KARAGÖZ, S. Influence of Co-Pyrolysis of Waste Tetra Pak with Waste Motor Oil on Product Distribution and Properties for Fuel Application. **Energy and Fuels**, v. 33, n. 11, p. 11101–11112, 2019. doi: 10.1021/acs.energyfuels.9b02634.

TETRA PAK. **RECICLAGEM PÓS-CONSUMO**. Disponível em:
<https://www.tetrapak.com/br/sustainability/recycling>. 2020