



KAREN CAROLINE PAIVA DA SILVA

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE
EMBALAGENS TETRA PAK EM COBERTURAS**

LAVRAS - MG

2013

KAREN CAROLINE PAIVA DA SILVA

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS TETRA
PAK EM COBERTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções, Ambiência e Tratamento de Resíduos, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos

Coorientador

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

LAVRAS - MG

2013

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Silva, Karen Caroline Paiva da.

Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak em
coberturas / Karen Caroline Paiva da Silva. – Lavras : UFLA, 2013.
70 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Alessandro Torres Campos.

Bibliografia.

1. Construções rurais. 2. Forro. 3. Índices do ambiente térmico. 4.
Cobertura. 5. Materiais alternativos. 6. Reciclagem de resíduos. I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 636.0831

KAREN CAROLINE PAIVA DA SILVA

**REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE EMBALAGENS TETRA
PAK EM COBERTURAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós - Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções, Ambiência e Tratamento de Resíduos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 22 de agosto de 2013.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

UFLA

Profa. Dra. Sílvia De Nazaré Monteiro Yanagi

UFLA

Profa. Dra. Giselle Borges De Moura

UFGD

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
Orientador

LAVRAS – MG

2013

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG) pela oportunidade concedida para a realização do Mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao Prof. Dr. Alessandro Torres Campos, pela orientação, incentivo, disponibilidade e paciência demonstradas durante a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior, pela coorientação, apoio, disponibilidade e pelo empréstimo dos equipamentos para medição, facilitando a coleta dos dados.

Ao Prof. Dr. Jackson Antônio Barbosa, prefeito do *Campus* da UFLA, pelo apoio, auxílios prestados e disponibilização dos materiais para confecção dos modelos utilizados no trabalho.

Agradeço aos meus pais, Maria José e Benedito, ao meu irmão Willian e minha irmã Giselly, que sempre me apoiaram em todos os momentos da minha vida com muito amor e carinho.

Agradeço a todos os meus amigos, em especial ao André, pela amizade, amor, carinho e companheirismo.

Agradeço a Deus que se fez presente em todos os momentos.

RESUMO

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de avaliar o reaproveitamento de embalagens Tetra Pak ® junto a telhas de fibrocimento e o uso de telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak ® no conforto térmico em modelos físicos em escala reduzida de instalações rurais. Para testar os diferentes materiais de cobertura, foram construídos seis modelos em escala distorcida que possuíam 1,25 m de pé direito, 1,20 m de largura e 1,50 m de comprimento. Os tratamentos experimentais foram: telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak ®, telhas cerâmicas, telhas de fibrocimento, telhas de alumínio, telhas de fibrocimento com subcobertura de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima e telhas de fibrocimento com forro de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima. Os dados foram coletados no período de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013, das 9 às 17 horas em intervalos de 20 minutos. Pelos resultados obtidos é possível afirmar que as telhas recicladas apresentaram índices de conforto térmico com valores semelhantes aos apresentados por outros materiais de cobertura, como as telhas cerâmicas. A partir da utilização de imagens termográficas, foi possível observar que as telhas recicladas, também, apresentaram menores valores de temperaturas superficiais, comprovando a eficiência na redução de absorção de calor da respectiva telha. O reaproveitamento das embalagens Tetra Pak ® como forro contribuiu para redução dos valores médios de ITU, ITGU e CTR.

Palavras - chave: Construções rurais. Forro. Índices do ambiente térmico. Cobertura. Materiais alternativos. Reciclagem de resíduos.

ABSTRACT

This research aimed at evaluating the recycling of Tetra Pak ® packaging, along with fiber cement tiles, and the efficiency of the tiles recycled with Tetra Pak ® packages regarding thermal comfort in physical models of reduced scale rural facilities. In order to test the different roofing materials, we constructed six models in distorted scale of 1.25 m in height, 1.20 m width and 1.50 m of length. The experimental treatments were: tiles recycled from Tetra Pak® packages, fiber cement tiles, aluminum tiles, fiber cement tiles with under-coverage of Tetra Pak® packages with the aluminum side facing up, and fiber cement with lining of Tetra Pak ® packages with the aluminum side facing up. The data were collected in the period from December of 2012 to February 2013, from 9 to 17 hours in 20 minute intervals. From the results obtained we may affirm that the recycled tiles presented thermal comfort indexes with values similar to those presented by other roofing materials, such as ceramic tiles. With the use of thermo graphic images, it was possible to observe that the recycled tiles also presented lower surface temperature values, demonstrating the efficiency of the tile in reducing heat absorption. The recycling of Tetra Pak ® packages as lining contributed to reducing the average values of ITU, BGT and CTR.

Key words: Rural constructions. Lining. Thermal environment indexes. Roofing. Alternative materials. Residue recycling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1	Embalagens cartonadas Tetra Pak ®	15
Figura 2	Esquema de troca de calor em um telhado	23
Figura 3	Materiais de cobertura empregados nos modelo em escala distorcida	30
Figura 4	Esquema das seções transversais dos modelos físicos construídos em escala distorcida.....	31
Figura 5	Telha de material reciclado formada a partir de embalagens Tetra Pak ®	32
Figura 6	Vista geral da área do experimento com distribuição dos modelos	33
Figura 7	Sensores : (1) anemômetro digital e (2) sensor HOBO H8.....	34
Figura 8	Termovisor Fluke modelo Ti55 utilizado durante o experimento	35
Figura 9	Médias de índice de temperatura e umidade (ITU adimensional) de todos os dias de coleta em cada horário de observação	41
Figura 10	Médias de índice de temperatura do globo umidade (ITGU adimensional) de todos os dias de coleta em cada horário de observação.....	45
Figura 11	Médias de carga térmica de radiação (CTR $W m^{-2}$) de todos os dias de coleta em cada horário de observação	49
Figura 12	Valores de ITU (adimensional), ITGU (adimensional) e CTR (W m^{-2}) de todos os tratamentos para o dia de maior entalpia do período experimental	52
Figura 13	Imagens termográficas das superfícies internas dos telhados as 14h do dia 22 de fevereiro de 2013.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resumo das análises de variâncias referentes ao efeito dos tratamentos (telhas e composição de telhas com materiais reciclados) e aos horários de observação, em relação ao índice de temperatura e umidade (ITU adimensional), índice de temperatura do globo e umidade (ITGU adimensional) e carga térmica de radiação (CTR em $W m^{-2}$)38
Tabela 2	Valores médios de índice de temperatura e umidade (ITU adimensional) de todos os dias e horários de coleta para seis diferentes tipos de telhados.39
Tabela 3	Valores médios de índice de temperatura do globo e umidade (ITGU adimensional) de todos os dias e horários de coleta para seis diferentes tipos de telhados43
Tabela 4	Valores médios de carga térmica de radiação (CTR $W m^{-2}$) de todos os dias e horários de coleta para seis diferentes tipos de telhados47
Tabela 5	Valores médios de efetividade (e) para seis diferentes tipos de telhados54
Tabela 6	Resumo das análises de variâncias referentes ao efeito dos tratamentos (telhas) e aos horários de observação, em relação às temperaturas superficiais médias superiores (TSS °C) e inferiores (TSI °C).57
Tabela 7	Valores médios de temperaturas superficiais superiores (TSS °C) nos diferentes tratamentos e horários de coleta58
Tabela 8	Valores médios de temperaturas superficiais inferiores (TSI °C) nos diferentes tratamentos e horários de coleta59

LISTA DE SIGLAS

CEMPRE	Compromisso Empresarial de Reciclagem
LDPE	Poliétileno de baixa densidade
AL	Alumínio
TFCFE	Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak ®
TA	Telhas de alumínio
TC	Telhas cerâmicas
TFCSE	Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak ®
TR	Telhas recicladas
TFC	Telhas de fibrocimento
Tbs	Temperatura de bulbo seco
Tgn	Temperatura do globo negro
CTR	Carga térmica de radiação
TRM	Temperatura média radiante
ITGU	Índice de temperatura do globo e umidade
ITU	Índice de temperatura e umidade
H	Entalpia
e	Efetividade
UR	Umidade relativa
TSS	Temperatura superficial superior
TSI	Temperatura superficial inferior
TRM	Temperatura média radiante
v	Vento

LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Celsius
%	Porcentagem
σ	Constante de Stefan-Boltzmann
K	Kelvin
kJkg^{-1}	Quilojoule por quilograma
kPa	Quilopascal
W	Razão de mistura
m	Metro
cm	Centímetro
mm	Milímetro
W m^{-2}	Watts por metro quadrado
m s^{-1}	Metro por segundo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	A problemática dos resíduos sólidos	14
2.2	A embalagem Tetra Pak®	15
2.2.1	Telhas recicladas formadas a partir de embalagens Tetra Pak®	17
2.3	Comportamento térmico de diferentes materiais de cobertura	18
2.4	Uso de subcoberturas em telhados	19
2.5	Uso de forros em telhados	21
2.6	Transferência de calor entre o telhado e o forro	22
2.7	Índices térmicos ambientais	24
2.8	Efetividade	26
2.9	Entalpia	26
2.10	Teoria da similitude	27
2.11	Modelos físicos em escala reduzida e distorcida	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Caracterização dos modelos em escala distorcida	29
3.2	Instrumentos e medições	33
3.3	Determinação dos índices de conforto térmico e efetividade	34
3.4	Imagens termográficas	35
4	ANÁLISE ESTATÍSTICA	37
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1	Índices térmicos ambientais	38
5.2	Índice de temperatura e umidade (ITU)	39
5.3	Índice de temperatura do globo e umidade (ITGU)	42
5.4	Carga térmica de radiação (CTR)	47
5.5	Valores médios de ITU, CTR e ITGU para o dia de maior entalpia	51
5.6	Efetividade	53
5.7	Temperaturas superficiais das telhas a partir de imagens termográficas	55
6	CONCLUSÃO	61
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

A busca de um adequado manejo para os resíduos sólidos urbanos é, certamente, um dos principais desafios para a sociedade. Uma destinação final inadequada desses resíduos, que são gerados todos os dias, pode provocar impactos ambientais como a contaminação do ar, da água, do solo e a proliferação de vetores nocivos à saúde humana.

No Brasil, as embalagens representam cerca de um terço dos resíduos sólidos urbanos (NEVES; CASTRO, 2012), dessa forma, medidas para reduzir a quantidade e toxicidade de embalagens e incentivar sua reciclagem devem ser consideradas.

As embalagens Tetra Pak ®, também conhecidas como longa vida, são formadas por várias camadas de diferentes materiais como o papel, o polietileno de baixa densidade e o alumínio. Estes materiais são capazes de criar uma barreira que impede a entrada de luz, ar, água e microrganismos. São, também, considerados materiais nobres, que não devem ser descartados na natureza, contribuindo para um aumento da poluição ambiental.

Um destino correto para as embalagens após seu uso seria a reciclagem. Embalagens Tetra Pak ®, também, podem ser empregadas na fabricação de telhas, proporcionando benefícios ao ambiente. Outra proposta é a utilização das embalagens como subcoberturas ou como forros em telhados, contribuindo para a redução do fluxo de calor para o interior das instalações.

No Brasil, muitas habitações de famílias de baixa renda e instalações para animais são cobertos com telhas de cimento-amianto ou de fibrocimento, em virtude da facilidade de instalação e custo inferior. Entretanto, estes materiais de cobertura não proporcionam as características térmicas adequadas, causando desconforto no interior da construção. O uso das embalagens Tetra Pak ®, junto a telhas de cimento-amianto ou de fibrocimento, pode contribuir para a diminuição

do fluxo de calor do telhado para dentro do ambiente, por meio do aumento de resistência térmica global, proporcionando melhor condição de conforto, reduzindo a temperatura interna e o consumo de energia nas instalações. Além disso, sua instalação é simples, de baixo custo e não requer mão de obra especializada.

Nas instalações zootécnicas, o conforto ambiental favorece a eficiência alimentar, o desenvolvimento e a produtividade dos animais. O estresse térmico, no período de verão, pode ser reduzido, consideravelmente, por meio da implantação coberturas com elevada reflexão da radiação solar.

Para avaliar e classificar o ambiente térmico no interior de instalações para animais empregam-se, comumente, índices ambientais, como o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) e a carga térmica de radiação (CTR), que combinam o efeito de dois ou mais fatores ambientais como a temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e radiação.

No contexto, objetivou-se com o trabalho reutilizar as embalagens Tetra Pak ® como subcoberturas e como forros em telhados e analisar seu desempenho com relação à redução de fluxo de calor, além de avaliar a eficiência das telhas recicladas, produzidas a partir das embalagens, no conforto térmico de instalações.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A problemática dos resíduos sólidos

Um agravante da produção excessiva de resíduos é o uso indiscriminado de materiais descartáveis como as embalagens. A crescente preocupação com os problemas ambientais causados por estes resíduos exige soluções rápidas, que possam dar um destino final adequado aos resíduos que são gerados.

Na gestão dos resíduos a reciclagem e o reaproveitamento são componentes necessários e que podem gerar vários benefícios econômicos, ambientais, de valorização da matéria-prima dos materiais e redução de espaços em aterros sanitários.

Apesar dos vários benefícios, os processos de reciclagem e reutilização, ainda, passam por várias limitações. Para Guimarães (2011), ser reciclável não é o mesmo que ser reciclado. Os materiais recicláveis, muitas vezes, não chegam a ser reciclados por diversos fatores: inexistência ou grandes distâncias de indústrias de reciclagem falta de atravessadores para o transporte dos resíduos, falta de locais adequados para fazer a triagem e, muitas vezes, pela ausência de coleta seletiva.

Ressalta-se que, mais importante do que a busca por melhorias no tratamento e disposição final dos resíduos sólidos, é a redução da sua geração na fonte e a preocupação com um consumo sustentável.

2.2 A embalagem Tetra Pak ®

As embalagens Tetra Pak ® (Figura 1) 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.

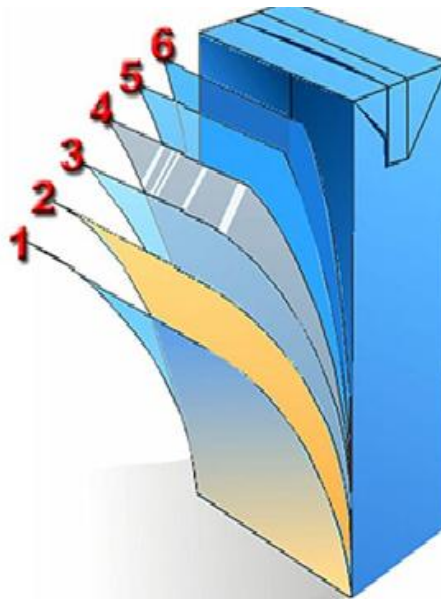


Figura 1 Embalagens cartonadas Tetra Pak ®

Nota: (1) polietileno, proteção contra a umidade exterior; (2) papel, estabilidade e resistência; (3) polietileno, camada de aderência; (4) folha de alumínio, barreira contra oxigênio, aroma e luz; (5) polietileno, camada de aderência; (6) polietileno, proteção para o produto.

Fonte: Zuben (2013)

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 por meio da retirada apenas do papel das embalagens por meio de um equipamento chamado hidrapulper. 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, 2008).

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 (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM - CEMPRE, 2013).

Lopes (2007) sugere que novos compósitos de polietileno e alumínio podem ser obtidos a partir da reciclagem de embalagens pós-consumo.

Xie et al. (2011) propuseram a fabricação de materiais alternativos de construção, como placas e painéis contendo resíduos de embalagens Tetra Pak®. As placas foram 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.

2.2.1 Telhas recicladas formadas a partir de embalagens Tetra Pak ®

Na fabricação das telhas recicladas a partir de embalagens Tetra Pak ®, primeiramente ocorre a trituração do polietileno, contendo o alumínio, usando-se moinhos de faca. Após a trituração, para se formar as chapas, o material é disposto em formas. Essas formas, contendo o polietileno e alumínio, são introduzidas em prensas, também, utilizadas para a produção de placas de compensado. No processo de fabricação das telhas recicladas, a temperatura de trabalho é de, aproximadamente, 180°C. Após a fusão do polietileno, as placas passam por um processo de resfriamento, para cura e endurecimento das camadas plásticas (OLIVEIRA; OLIVEIRA; RODRIGUES, 2012).

Araújo, Morais e Altides (2008) realizaram um trabalho para avaliar o comportamento mecânico e físico-químico das telhas recicladas, fabricadas a partir das embalagens Tetra Pak ®, em comparação com as telhas convencionais (fibrocimento), por meio da utilização de ensaios de tração e de flexão, densidade e de absorção de água. As telhas recicladas de embalagens Tetra Pak ® demonstraram resultados melhores que as telhas de fibrocimento tanto na caracterização mecânica como físico-química. As embalagens cartonadas são uma fonte atraente de matéria-prima de alta qualidade, em se tratando de reciclados e possui alto valor agregado, uma vez que é possível aproveitar toda a embalagem.

2.3 Comportamento térmico de diferentes materiais de cobertura

Com o intuito de garantir melhor conforto térmico dentro das instalações, é necessário realizar pesquisas que visem determinar materiais de cobertura mais adequados. Encontra-se, por exemplo, no verão, problemas de superaquecimento. A radiação solar aquece a superfície dos telhados, aumentando, também, a temperatura interna das instalações (SADAUSKIENĖ et al., 2009). As temperaturas das superfícies superiores das instalações podem chegar a 75-80 °C (LEE et al., 2009).

Sampaio et al. (2011) consideram o telhado como o elemento construtivo mais importante de uma edificação, em virtude da grande área de interceptação de radiação solar. É no telhado que a radiação solar atua com maior intensidade, sendo que o fluxo de calor que atravessa o mesmo no pico de calor é da ordem de cinco vezes maior que aquele disperso no ambiente interno (NÄÄS, 1989).

Nas regiões tropicais, a escolha adequada do telhado torna-se um fator importante para o conforto térmico, principalmente em instalações zootécnicas. A alta intensidade de radiação incidente e os elevados valores de temperatura e umidade relativa do ar representam condições de desconforto que podem restringir a reprodução e o desenvolvimento dos animais.

Santos et al. (2004) analisaram coberturas confeccionadas com telhas cerâmicas, cimento-amianto e alumínio, normalmente 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 do 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.

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, em virtude da condensação do vapor de água existente no ar (NÄÄS; MOURA; LAGANA, 1994).

Fiorelli et al. (2009), propondo a utilização de novos materiais de construção, avaliaram a influência das telhas recicladas, à base de embalagens longa vida, no conforto térmico de instalações zootécnicas e compararam seu desempenho com 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 de cobertura, tais como as telhas cerâmicas, além de ser um material sustentável, fabricado a partir de embalagens Tetra Pak ®.

Herrera, Vecchia e Nolasco (2010) compararam 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.

2.4 Uso de subcoberturas em telhados

O uso de materiais que minimizem o fluxo de calor do telhado para o ambiente interno é necessário para proporcionar melhores condições de conforto, reduzindo a temperatura interna e o consumo de energia nas instalações (MIRANVILLE et al., 2003).

Dentre os produtos utilizados para isolar termicamente, existem os que dificultam a transferência do calor por condução (isolantes resistivos) e os que

minimizam a passagem por radiação (isolantes reflexivos) (VITTORINO; SATO; AKUTSU, 2003).

Em relação aos materiais que dificultam a passagem do calor por condução, citam-se a fibra de vidro e lã de rocha. O bom desempenho destes materiais está relacionado com o valor da resistência térmica que eles apresentam. Quanto maior o valor da resistência térmica, maior será a resistência à passagem do fluxo de calor para o interior de uma instalação (UNITED STATES OF THE AMERICA, 1991).

Encontram-se, também, os isolantes que reduzem a transferência do calor por radiação, são chamados de isolantes térmicos reflexivos ou de subcoberturas. Este tipo de isolante é formado por um material de alta refletividade e baixa emissividade, o qual reduz a emissão da radiação em onda longa. Assim, as perdas de calor no inverno e os ganhos térmicos no verão são reduzidos. O material comumente utilizado como subcobertura é o alumínio.

Armelin e Cherry (2004) estudaram a influência da adoção do sistema que utiliza uma manta de subcobertura de base de alumínio instalada entre as telhas de cobertura e a estrutura. Foram analisadas instalações com e sem barreira de radiação, com diferentes níveis de ventilação, e com diferentes cores e tipos de telhas. Os autores concluíram que há uma redução do fluxo de calor de, aproximadamente, 80%, quando se utiliza cobertura com barreira e ventilação.

Michels, Lamberts e Guths (2008) compararam a eficiência de subcoberturas, incluindo aquelas feitas a partir da união de embalagens Tetra Pak[®], em telhado real, visando analisar a redução do fluxo de calor para o interior do edifício. As medições mostraram que algumas barreiras que são encontradas no mercado da construção civil, não são muito eficientes, como a amostra comercial formada de uma camada de polímero aluminizado e uma camada de polietileno, que obteve um desempenho térmico pior do que a amostra formada a partir das embalagens Tetra Pak[®]. Os autores observaram, também, que, da mesma forma

que as barreiras impediam o fluxo de calor para o ambiente interno durante o dia, elas, também, reduziam a perda de calor do edifício durante a noite, trazendo benefícios durante o período de inverno na região sul do Brasil, por exemplo, onde é desejável para evitar ao máximo a perda de calor.

2.5 Uso de forros em telhados

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 na redução da transferência de calor para o interior da construção (TINÔCO, 2001).

Cavalcanti et al. (2009) defendem que a camada de ar que é formada entre o telhado e o forro possui baixa condutividade térmica e baixo coeficiente de absorção da radiação, tornando-o um elemento muito resistente à passagem de calor.

Uma alternativa de forro que tem sido utilizada em algumas granjas avícolas e suínicas do país é a película de polietileno (polímero tipo termoplástico flexível) constituindo, assim, solução prática de baixo custo. Essas películas são fabricadas em diferentes cores e em várias espessuras (TINÔCO, 2001).

Abreu et al. (2007) estudaram o efeito da época do ano (primavera e verão), e a utilização de forro de polietileno sobre as condições térmicas e desempenho de aves de corte. Foram encontradas diferenças para épocas em todas as variáveis estudadas, como carga térmica de radiação, índice de temperatura e umidade, umidade relativa do ar e temperatura. Para os autores, o uso do forro na cobertura dos aviários justifica-se pelo fato de resultar em melhores condições de conforto térmico para as aves.

Moraes et al. (1999) avaliaram o conforto térmico em sete modelos reduzidos de galpões avícolas com as seguintes coberturas: cimento-amianto

(como testemunha), cimento-amianto com forro de polietileno na altura do pé-direito, cimento amianto com aspersão de água sobre a cobertura, cimento-amianto com dupla lâmina reflexiva de alumínio sob a cobertura, cimento-amianto com pintura branca na face superior da cobertura, cimento-amianto com poliuretano na face superior da cobertura e cimento-amianto com poliuretano na face inferior da cobertura. O tratamento mais eficiente, com base nos resultados obtidos de ITGU foi o de aspersão de água sobre a cobertura. Já o tratamento mais eficiente, pelos valores encontrados da CTR, foi o no qual se empregou forro de polietileno na altura do pé-direito do modelo reduzido.

2.6 Transferência de calor entre o telhado e o forro

A radiação solar é composta por radiação de onda curta que, ao incidir sobre a superfície das telhas, aquece-as. Uma parcela deste calor é perdida por convecção e irradiação ao ambiente externo e a outra parcela, absorvida pelas telhas, 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 (Figura 2) (MICHELS; LAMBERTS; GUTHS, 2008).

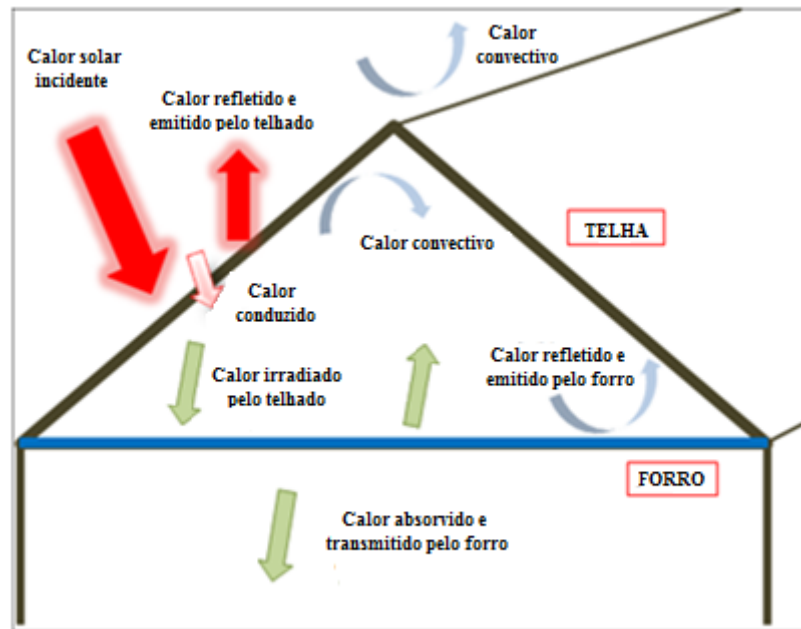


Figura 2 Esquema de troca de calor em um telhado.

Fonte: Michels, Lamberts e Guths (2008)

Para que ocorra uma redução da transferência de calor para o espaço interno da residência, é necessário, então, instalar um material que retarda a passagem do fluxo de calor que atravessa a instalação por condução, convecção e/ou radiação. Esta capacidade de reduzir as trocas de calor é função da resistência térmica que materiais isolantes proporcionam (AL-HOMOUD; MOHAMMAD, 2005).

2.7 Índices térmicos ambientais

A temperatura, a umidade relativa do ar, o movimento do ar e a radiação são variáveis ambientais que influenciam no conforto térmico ambiental. A utilização isolada destas variáveis, 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 do globo negro (Tgn), o índice de temperatura e umidade (ITU), o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) e a carga térmica de radiação (CTR), que combinam o efeito de duas ou mais variáveis (JENTZSCH et al., 2011).

A temperatura do globo negro (Tgn) indica o efeito combinado da radiação, da temperatura absoluta do ar e da velocidade do ar (BOND; KELLY, 1955).

O índice de temperatura e umidade (ITU) (Equação 1) pode ser descrito, em função das temperaturas dos termômetros de bulbo seco e bulbo úmido, ou da temperatura do ponto de orvalho (KELLY; BOND, 1971).

$$ITU = T_{bs} + 0,36T_{po} + 41,2 \quad (1)$$

em que:

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

T_{po} = temperatura de ponto de orvalho, °C.

O índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) engloba, em um único valor, os efeitos combinados da temperatura, da umidade relativa do ar e da radiação, sendo definido pela Equação 2, proposta por Buffington et al. (1981):

$$ITGU = Tgn + 0,36Tpo + 41,5 \quad (2)$$

em que:

Tgn = temperatura do globo negro, °C;

Tpo = temperatura de ponto de orvalho, °C.

A carga térmica de radiação (CTR), que pode ser determinada pela Equação 3, proposta por Esmay (1969), 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.

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

em que:

CTR = carga térmica radiante, W m²;

σ = constante de Stefan-Boltzmann, $5,67 \times 10^{-8}$ W m⁻² K⁻¹;

TRM = temperatura média radiante, K.

A temperatura média radiante (TRM), descrita por Bond e Kelly (1995), pode ser expressa pela Equação (4):

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

em que:

v = velocidade do ar, m s⁻¹;

Tgn = temperatura do globo negro, K;

Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

2.8 Efetividade

A efetividade é um parâmetro que indica a capacidade que cada material de cobertura tem de possibilitar melhor ambiente térmico. Têm-se utilizado o conceito de efetividade (e), definida em relação à CTR ou ao ITGU, para classificar a diversidade de materiais utilizados nas coberturas (SANTOS et al., 2005).

Segundo Moraes et al. (1999), o uso do ITGU no cálculo da efetividade (e) é mais indicado (Equação 5), por ser o índice mais utilizado na quantificação das condições de conforto térmico em instalações zootécnicas.

$$e = \frac{ITGU(ao\ sol) - ITGU(tel\ ha\ testada)}{ITGU(ao\ sol) - ITGU(tel\ ha\ alum\ ínio)} \quad (5)$$

2.9 Entalpia

A entalpia (H) é uma grandeza psicrométrica que indica a quantidade de calor presente em uma massa de ar seco. Seu valor é determinado em função da temperatura do ar e da razão de mistura entre o ar seco e o úmido, sendo expressa em kJ kg^{-1} de ar seco.

De acordo com Albright (1990), a entalpia (Equação 6) pode ser utilizada para determinar as condições ambientais e quanto maior seu valor, maior o desconforto gerado no ambiente.

$$H = 1,006T_{bs} + W(2501 + 1,805T_{bs}) \quad (6)$$

$$W = (0,622 \times ea) \times P_{atm}$$

$$ea = (UR \times es) \times 100^{-1}$$

$$es = 0,6108 \times e^{(17,3t_{bs} / 237,3 + t_{bs})}$$

em que:

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

W = razão de mistura, kPa;

P_{atm} = pressão atmosférica, kPa;

UR = umidade relativa, %.

2.10 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):

- a) 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;
- b) Modelos adequados: permitem uma predição aprimorada de uma característica, porém não permitem, necessariamente, predição acurada de outras características;
- c) Modelos distorcidos: são reproduções dos modelos reais com utilização de duas ou mais escalas em suas dimensões;
- d) 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 (JENTZSCH et al., 2011).

2.11 Modelos físicos em escala reduzida e distorcida

O uso de modelos físicos em escala foi proposto por Murphy (1950), baseando-se na teoria da similitude.

Os modelos em escala já foram utilizados por diversos pesquisadores (CONCEIÇÃO et al., 2008; NÄÄS, 2001; SAMPAIO et al., 2011; SEVEGNANY, 1997) para avaliação do uso de diferentes materiais e/ou configurações de coberturas.

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 materiais para instalações zootécnicas pode contribuir, significativamente, para a diminuição do custo da pesquisa e, ainda, permitir a realização de diferentes testes por meio de alterações no modelo.

Segundo Jentzsch et al. (2011), é possível prever as condições térmicas ambientais de um protótipo a partir de modelos físicos construídos em escala reduzida de até 12 vezes.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na área experimental do setor de Construções e Ambiência do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no município de Lavras, Minas Gerais (MG), durante a estação de verão, no período de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013. O município localiza-se no sul do estado de MG, nas coordenadas geográficas de 21°14' S de latitude e de 45°00' W de longitude, situado a 918 m de altitude. O clima do município, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo Cwa, temperado úmido com inverno seco.

3.1 Caracterização dos modelos em escala distorcida

Foram utilizados modelos físicos, em escala distorcida, em virtude do alto custo de implantação de protótipos em escala real e dificuldades do seu manejo em campo, considerando que alguns fenômenos podem ser estudados a partir desses modelos.

Foram construídos seis modelos de instalações, tendo como cobertura os materiais descritos na Figura 3.

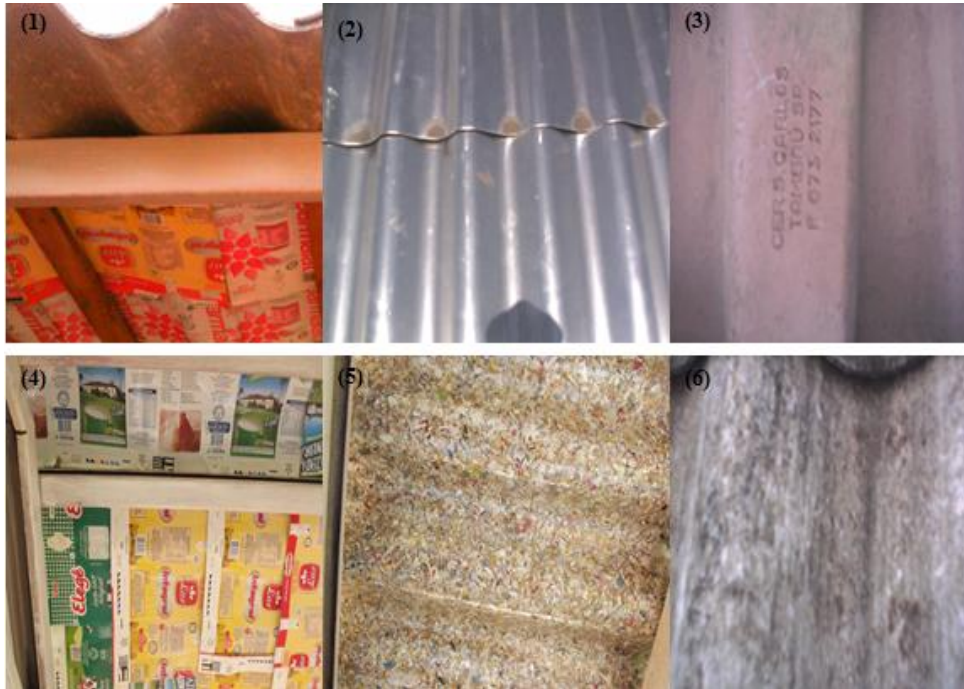


Figura 3 Materiais de cobertura empregados nos modelo em escala distorcida

Nota: (1) Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima (TFCFE); (2) Telhas de alumínio (A); (3) Telhas cerâmicas tipo romana (TC); (4) Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima (TFCSE); (5) Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak ® (TR); (6) Telhas de fibrocimento (TFC).

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

Para a construção dos modelos em escala distorcida foram utilizadas, como base, as dimensões reais de um galpão comercial típico para criação de frangos de corte, com 12,00 m de largura, 120,00 m de comprimento e pé-direito de 2,50 m. Os modelos possuíam, então, 1,25 m de pé direito, 1,20 m de largura e 1,50 m de comprimento, representando uma seção da instalação real com três

módulos de 5,00 m, distância entre tesouras em escala real. Os modelos cobertos com telhas de fibrocimento, telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak® e telhas de alumínio, possuíam telhado com inclinação de 15°, já o modelo coberto com telhas cerâmicas possuía um telhado com inclinação de 30°. Todos os modelos possuíam beiral de 20 cm, equivalente a um beiral real de 2,00 m (SANTOS et al., 2005) (Figura 4).

As faces leste e oeste dos modelos foram totalmente fechadas com placas de Madeirit de 1 cm de espessura.

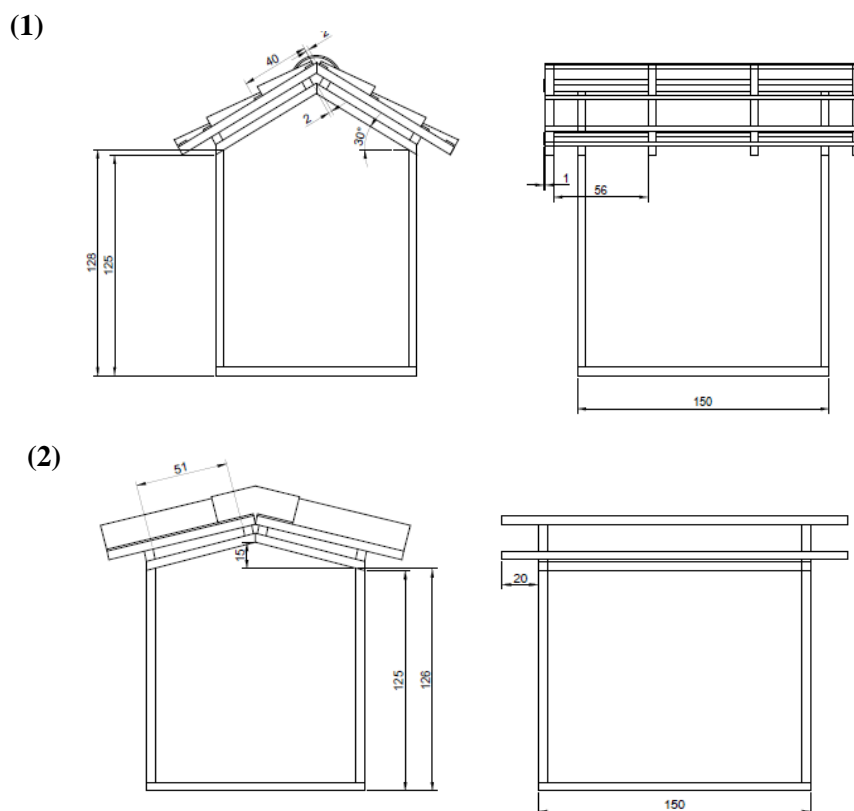


Figura 4 Esquema das seções transversais dos modelos físicos construídos em escala distorcida

Nota: (1) modelo coberto com telhas cerâmicas e (2) modelo coberto com telhas onduladas (unidade de cotação: cm)

As telhas recicladas utilizadas no experimento foram fornecidas pela empresa Ecotermica. Trata-se de um material 100% reciclável que utiliza caixas do tipo Tetra Pak ® em sua composição (Figura 5).



Figura 5 Telha de material reciclado formada a partir de embalagens Tetra Pak ®

Os modelos foram montados em terreno plano, livres de sombreamento, orientados no sentido leste oeste e distanciados dois metros um do outro, segundo recomendação de Fonseca, Almeida e Passini (2011) (Figura 6).



Figura 6 Vista geral da área do experimento com distribuição dos modelos

3.2 Instrumentos e medições

Os dados foram medidos durante 20 dias, não consecutivos, no período de dezembro de 2012 a fevereiro de 2013, das 9 às 17 horas em intervalos de 20 minutos.

Os dados de temperaturas do 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 dataloggers, marca HOBO® com 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 anemômetro digital, precisão de $\pm 0,01$ m s⁻¹, sendo as medidas obtidas nas proximidades de cada globo.

Foram utilizadas esferas plásticas em substituição ao globo padrão, que consiste de uma esfera de cobre com diâmetro 15 cm e espessura 0,05 cm. Para isso, procedeu-se à calibração dos termômetros construídos com bolas plásticas

com relação ao globo padrão. A seguir é apresentada a equação de calibração (7) da Tgn. O coeficiente de determinação (R^2) para a equação de calibração obtida foi de 0,948.

$$T_{gncorr} = 0,870 \times T_{gnp} + 3,298 \quad (7)$$

em que:

T_{gncorr} = temperatura do globo negro e umidade corrigido, °C;

T_{gnp} = temperatura do globo negro e umidade obtido por meio de bolas plásticas, °C.

Os sensores dos demais instrumentos foram instalados na altura correspondente ao centro geométrico de cada modelo físico de instalação (CONCEIÇÃO et al., 2008) (Figura 7).

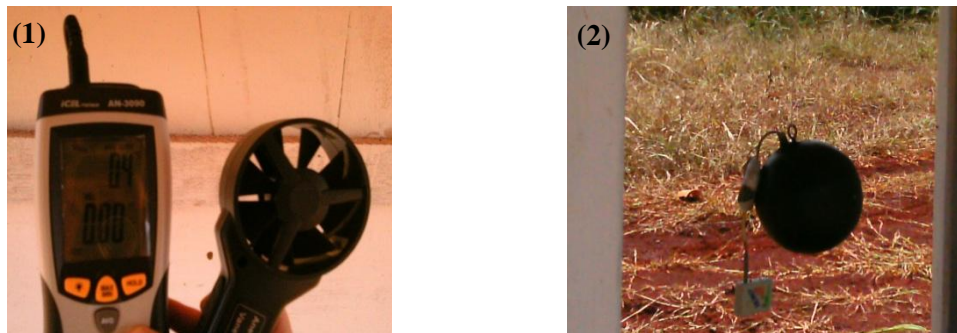


Figura 7 Sensores : (1) anemômetro digital e (2) sensor HOBO H8

3.3 Determinação dos índices de conforto térmico e efetividade

A partir dos dados coletados nos horários predeterminados foram calculados os índices de temperatura e umidade (ITU), temperatura do globo e

umidade (ITGU) e carga térmica de radiação (CTR) para cada modelo e ambiente externo de acordo com as equações (1), (2) e (3).

Foi calculada a entalpia externa (H) para se determinar o dia, no período estudado, em que este índice apresentou maior valor, sendo considerado o dia de maior desconforto.

A efetividade (e) de cada modelo testado foi calculada a partir dos valores de ITGU, ao sol e padrão (telha de alumínio), nos horários de 9 às 17 horas, conforme a equação (5).

3.4 Imagens termográficas

Foram realizadas imagens termográficas da superfície das telhas, visando avaliar sua temperatura superficial. As imagens reais e termográficas foram coletadas nos horários 11h, 14h e 17h, por meio de um termovisor Fluke modelo Ti55, Figura 8. As leituras com a câmera termográfica foram realizadas a uma distância de, aproximadamente, 40 cm das superfícies superiores e inferiores das telhas (FIORELLI et al., 2012).



Figura 8 Termovisor Fluke modelo Ti55 utilizado durante o experimento

A partir das imagens termográficas das telhas foram delineados os perímetros correspondentes e determinados os valores médios de temperatura (ABREU et al., 2011).

4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O experimento foi montado em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas os tratamentos (modelos) e nas subparcelas os horários (de 9 às 17 horas), no delineamento em blocos, com vinte repetições (dias). Os dados foram interpretados por meio de análise de variância, empregando o teste “F”. As médias foram comparadas pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Para a realização das análises estatísticas foi utilizado o software estatístico SISVAR.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Índices térmicos ambientais

O resumo das análises de variância para as variáveis respostas, índice de temperatura e umidade (ITU), índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) e carga térmica de radiação (CTR), correspondente aos tratamentos e horários de medição é listado na Tabela 1. É possível observar que houve diferença significativa para os valores obtidos de ITU, ITGU e CTR para os fatores tratamentos e horários de medição, porém, não foi verificada diferença significativa para a interação tratamento x horários.

Tabela 1 Resumo das análises de variâncias referentes ao efeito dos tratamentos (telhas e composição de telhas com materiais reciclados) e aos horários de observação, em relação ao índice de temperatura e umidade (ITU adimensional), índice de temperatura do globo e umidade (ITGU adimensional) e carga térmica de radiação (CTR em $W m^{-2}$)

FV	GL	Quadrados médios		
		ITU	ITGU	CTR
Tratamentos	5	474,69*	288,98*	19922,79*
Erro (a)	95	131,11	40,16	3083,88
Horários	24	1924,79*	469,58*	31391,18*
Tratamentos x Horários	120	10,31	2,46	425,64
Bloco	19	4832,68*	891,41*	53802,19*
Erro (b)	2736	16,17	3,848	404,31
CV erro (a) - %		14,63	8,18	11,27
CV erro (b) - %		5,14	2,53	4,08

* significativo a 5% de probabilidade.

5.2 Índice de temperatura e umidade (ITU)

Para comparação das médias dos valores de ITU dos tratamentos, utilizou-se o critério de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de probabilidade (Tabela 2).

Tabela 2 Valores médios de índice de temperatura e umidade (ITU adimensional) de todos os dias e horários de coleta para seis diferentes tipos de telhados.

Tratamentos	Descrição	ITU
(TR)	Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak ®.	76,56 a
(TFCFE)	Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	76,82 a
(TA)	Telhas de alumínio.	77,49 a
(TC)	Telhas cerâmicas tipo romana.	77,51 a
(TFCSE)	Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	78,90 b
(TFC)	Telhas de fibrocimento.	79,43 b

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Pode-se verificar que menores valores de índice de temperatura e umidade (ITU) foram encontrados nos tratamentos TR, TFCFE, TA e TC, que se apresentaram, estatisticamente, iguais (teste Skott-Knott, $p < 0,05$). Maiores valores de ITU, que denotam condições de menor conforto térmico por elevada temperatura, foram observados nos tratamentos TFCSE e TFC, que se apresentaram, estatisticamente, iguais (teste Skott-Knott, $p < 0,05$).

Os valores de ITU, para todos os tratamentos, foram superiores a 76, caracterizado como limite para a classificação de situação de alerta em instalações para vacas leiteiras, (IGONO; JOHNSON, 1992).

Para frangos de corte, valores de ITU menores que 74 configuram conforto térmico para as aves, entre 74 e 79, representam situações de alerta, entre 79 e 84 indicam perigo e, valores acima de 84 configuram situação de emergência (NATIONAL WEATHER SERVICE CENTRAL REGION - NSCR, 1976). Neste experimento, as médias de ITU, para a maioria dos tratamentos, encontram-se classificadas como de alerta, exceto para o tratamento TFC, que foi classificado como situação de perigo.

Na Figura 9 podem ser observadas as variações das médias de ITU de cada tratamento em cada horário de medição.

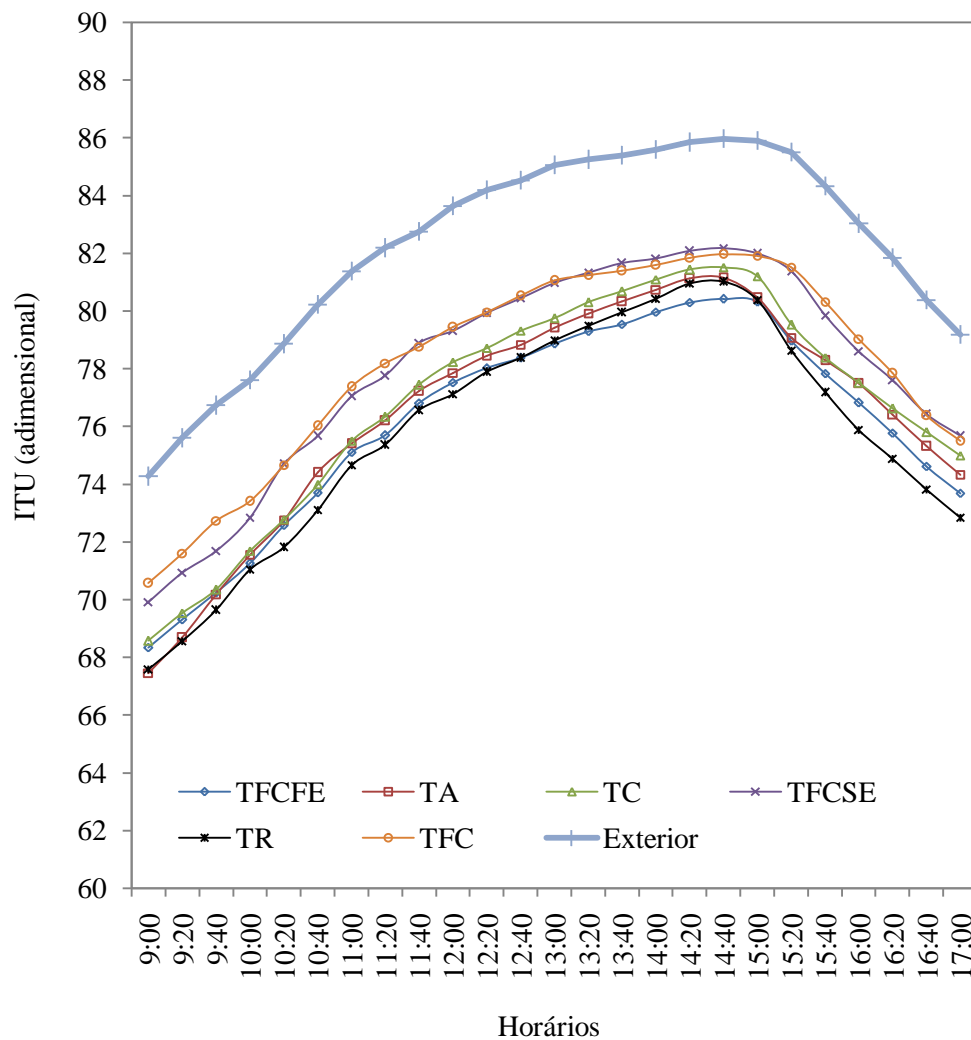


Figura 9 Médias de índice de temperatura e umidade (ITU adimensional) de todos os dias de coleta em cada horário de observação

Nota: (TFCFE) Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima; (TA) Telhas de alumínio; (TC) Telhas cerâmicas tipo romana; (TFCSE) Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima; (TR) Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak®; (TFC) Telhas de fibrocimento.

A interação tratamento x horário de medição não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$, teste F).

O tratamento TR mostrou, quando comparado aos tratamentos TA, TC e TFC, valores inferiores de ITU, durante todo o dia, indicando condições de maior conforto térmico por apresentar valores inferiores de temperatura no ambiente interno da instalação.

Os valores de ITU variaram ao longo do dia, em função dos horários, para todos os tratamentos. Os valores de ITU se mostraram crescentes a partir das 9h, atingindo os valores máximos as 14h40min, decrescendo até as 17h.

O período do dia, em que os valores médios de ITU foram mais elevados, encontra-se no intervalo entre 13h e 14h40min e para este intervalo, os tratamentos TFCFE e TR apresentaram melhores condições térmicas por apresentarem menores valores de ITU. Já o tratamento TFCSE, para este período do dia, apresentou os valores mais elevados de ITU, superando os valores demonstrados pelo tratamento TFC.

No intervalo entre 10h20min e 16h20min, os valores de ITU de todos os tratamentos estavam acima do limite considerado desejável para o conforto térmico de aves de corte, demonstrando que, na maior parte do dia, os sistemas de condicionamento térmico utilizados não foram suficientes para reduzir os valores do ITU. Em condições de campo, uma parcela significativa de sobreaquecimento advém do próprio calor gerado pelas aves (NAZARENO et al., 2011), o que agravaria ainda mais a situação de desconforto térmico no interior dos modelos de instalações.

5.3 Índice de temperatura do globo e umidade (ITGU)

Para comparação das médias dos valores de ITGU dos tratamentos, utilizou-se o critério de agrupamento de Scott-Knott, a 5% de probabilidade,

Tabela 3. Menores valores de índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) foram encontrados nos tratamentos TR, TFCFE, TC e TA, que se apresentaram estatisticamente iguais (teste Skott-Knott, $p < 0,05$). Maiores valores de ITGU, que denotam condições de menor conforto térmico por elevada temperatura do globo negro, foram observados nos tratamentos TFCSE e TFC, que se apresentaram estatisticamente diferentes (teste Skott-Knott, $p < 0,05$).

Tabela 3 Valores médios de índice de temperatura do globo e umidade (ITGU adimensional) de todos os dias e horários de coleta para seis diferentes tipos de telhados

Tratamentos	Descrição	ITGU
(TR)	Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak ®.	77,86 a
(TFCFE)	Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	78,25 a
(TA)	Telhas cerâmicas tipo romana.	78,44 a
(TC)	Telhas de alumínio.	78,75 a
(TFCSE)	Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	79,61 b
(TFC)	Telhas de fibrocimento.	80,47 c

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Com relação ao conforto térmico, o reaproveitamento das embalagens Tetra Pak ® como subcobertura não foi favorável, diferente do reaproveitamento como forro na instalação, que possibilitou reduzir os valores de ITGU ao longo do dia. Estes resultados corroboram com os já encontrados por Abreu et al. (2007) e

Oliveira et al. (2000), que verificaram o efeito do isolamento térmico do telhado com o uso de forro sobre o desempenho de frangos de corte.

No tratamento TFCFE, houve a formação de uma camada isolante de ar entre o forro e o telhado, o que, também, atuou de forma a diminuir a temperatura do termômetro do globo e, conseqüentemente, diminuir o ITGU em relação aos demais tratamentos, proporcionando melhores condições de conforto nos ambientes internos.

Os tratamentos TC e TA apresentaram valores médios de ITGU menores do que o tratamento TFC, corroborando com o observado em outras pesquisas (CASTRO, 2002; JÁCOME et al., 2007; LIMA et al., 2009).

Segundo Medeiros et al. (2005), condições térmicas ambientais, caracterizadas por ITGU entre 69 a 77, são consideradas confortáveis para aves adultas. Com base nos valores médios de ITGU, obtidos no experimento, os tratamentos TR e TFCFE foram os que apresentaram valores inferiores a 77, proporcionando melhores condições térmicas.

Na Figura 10 podem ser observadas as variações das médias de ITGU de cada tratamento em cada horário de medição.

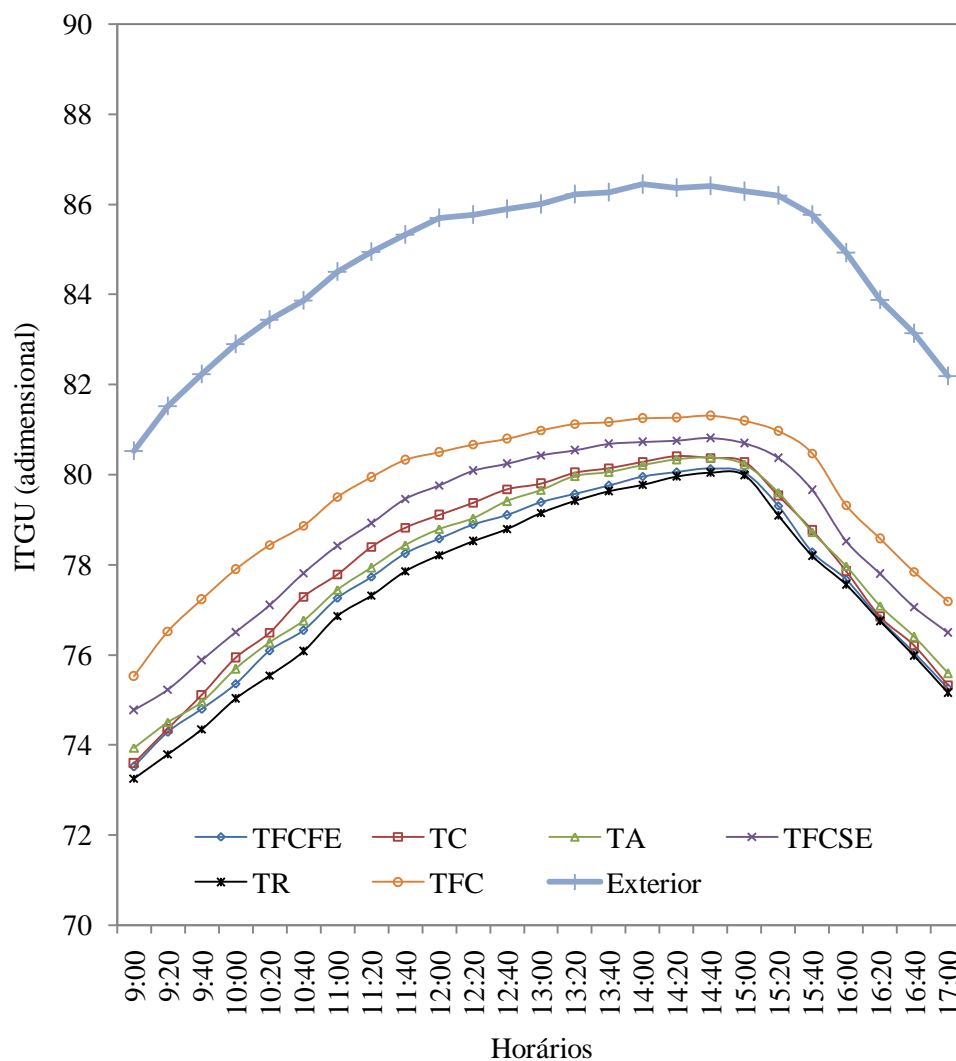


Figura 10 Médias de índice de temperatura do globo umidade (ITGU adimensional) de todos os dias de coleta em cada horário de observação

Nota: (TFCFE) Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima; (TA) Telhas de alumínio; (TC) Telhas cerâmicas tipo romana; (TFCSE) Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima; (TR) Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak®; (TFC) Telhas de fibrocimento.

A interação tratamento x horário de medição não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$, teste F), porém pode-se observar, por meio da Figura 8, que o tratamento TFC apresentou, em todos os horários de observação, os maiores valores de ITGU.

O tratamento TR mostrou, quando comparado aos tratamentos TA, TC e TFC, valores inferiores de ITGU, durante todo o dia, indicando melhores condições de conforto térmico por apresentar valores inferiores de temperatura do globo negro no ambiente interno da instalação.

Os valores de ITGU variaram ao longo do dia, em função dos horários, para todos os tratamentos. Os valores de ITGU se mostraram crescentes a partir das 9h, atingindo os valores máximos as 14h40min, decrescendo até as 17h.

O período do dia em que os valores médios de ITGU foram mais elevados se encontra no intervalo entre 13h e 14h40min e, para este intervalo, os tratamentos TR e TFCFE apresentaram melhores condições térmicas por apresentarem menores valores de ITGU. Já o tratamento TFC apresentou os valores mais elevados.

No período mais quente do dia, os valores médios de ITGU dos tratamentos TC e TFC foram inferiores aos encontrados por Rocha et al. (2010), e superiores aos citados por Furtado et al. (2006), que conduziram experimentos com frangos em condições de verão no semiárido paraibano. Furtado et al. (2006) consideram que em valores de ITGU superiores a 75 causam desconforto às aves acima de quinze dias de vida e a situação de estresse se agrava sempre que as aves se desenvolvem.

5.4 Carga térmica de radiação (CTR)

A comparação das médias dos valores de CTR correspondentes aos tratamentos foi baseada no critério de agrupamento de Scott- Knott, a 5% de probabilidade, Tabela 4.

Tabela 4 Valores médios de carga térmica de radiação (CTR W m²) de todos os dias e horários de coleta para seis diferentes tipos de telhados

Tratamentos	Descrição	CTR (W m ²)
(TR)	Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak ®.	486,64 a
(TA)	Telhas de alumínio.	487,84 a
(TFCFE)	Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	490,64 a
(TC)	Telhas cerâmicas tipo romana.	492,24 a
(TFCSE)	Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	498,26 b
(TFC)	Telhas de fibrocimento.	500,26 b

As médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

De acordo com a Tabela 5, menores valores de carga térmica de radiação (CTR) foram encontrados nos tratamentos TR, TA, TFCFE e TC, que se apresentaram estatisticamente iguais ($p < 0,05$, teste Skott-Knott). Maiores valores

de CTR foram observados nos tratamentos TFCSE e TFC, que se apresentaram estatisticamente iguais ($p < 0,05$, teste Skott-Knott).

O tratamento coberto com TR foi o que apresentou menor valor de CTR, além disso, não se identificou diferença estatística significativa de CTR com o modelo coberto com TC, resultado semelhante ao encontrado por Fiorelli et al. (2009), indicando a eficiência da respectiva telha em análise.

Furtado, Azevedo e Tinôco (2003) analisaram galpões cobertos com telhas cerâmicas e telhas de fibrocimento e identificaram que os valores de CTR sob coberturas de telhas de fibrocimento são superiores aos de telhas cerâmicas, resultado semelhante ao encontrado neste trabalho.

Comparando os tratamentos TFC e TFCFE, pode-se observar que o uso do forro possibilitou menores valores da CTR no ambiente interno do modelo. O forro constitui uma proteção econômica e permanente, contribuindo para a redução da transferência de calor para o interior da instalação. Segundo Santos et al. (2002), as condições de conforto térmico em aviários podem ser melhoradas com o uso de forro na altura do pé-direito.

Na Figura 11 podem ser observadas as variações das médias de CTR de cada tratamento em cada horário de medição.

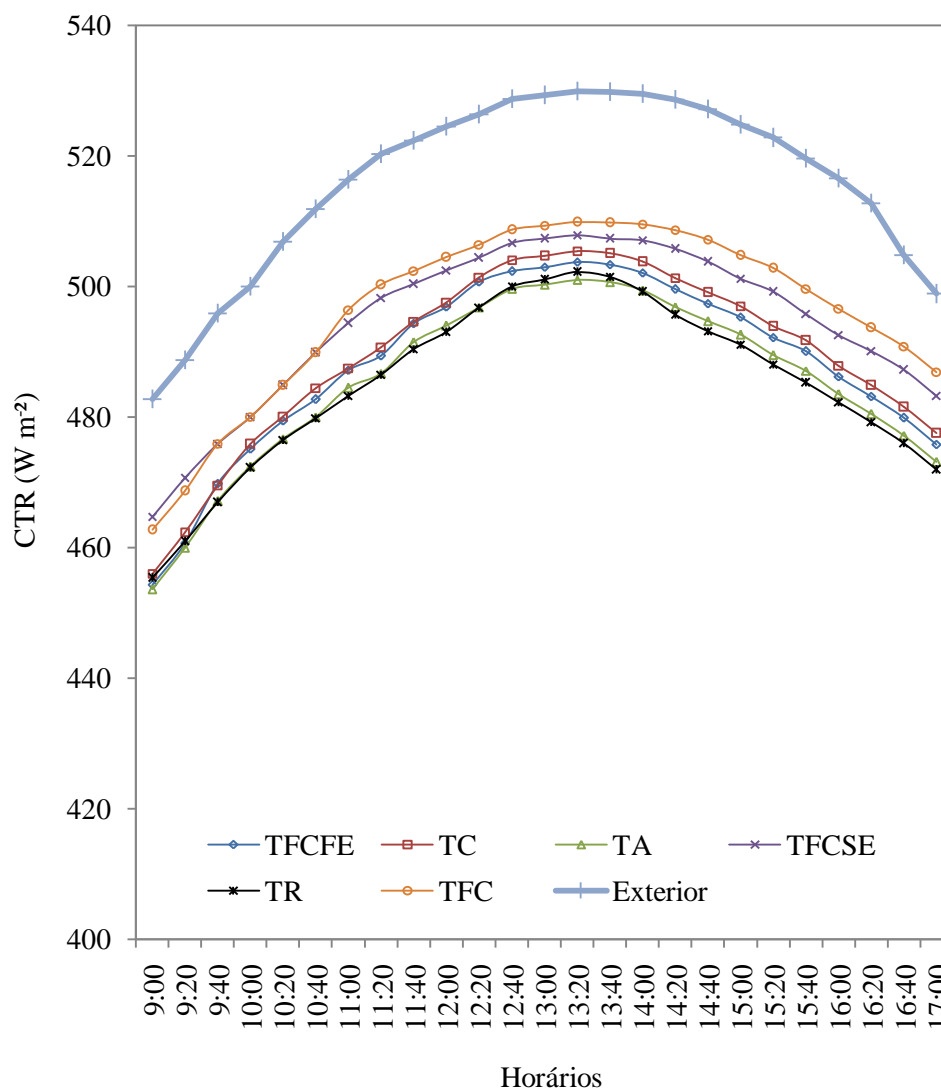


Figura 11 Médias de carga térmica de radiação (CTR $W m^{-2}$) de todos os dias de coleta em cada horário de observação

Nota: (TFCFE) Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima; (TA) Telhas de alumínio; (TC) Telhas cerâmicas tipo romana; (TFCSE) Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima; (TR) Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak®; (TFC) Telhas de fibrocimento.

A interação tratamento x horário de medição não foi estatisticamente significativa ($p > 0,05$, teste F). Por meio da Figura 9 pode-se observar que os tratamentos TFC e TFCSE foram os que apresentaram maiores valores de CTR.

O tratamento TR mostrou, quando comparado aos tratamentos TA, TC e TFC, valores inferiores de CTR, durante todo o dia, indicando condições de maior conforto térmico no ambiente interno da instalação.

Os valores de CTR variaram ao longo do dia, em função dos horários, para todos os tratamentos. Os valores de CTR se mostraram crescentes a partir das 9h, atingindo os valores máximos as 13h20min, decrescendo até as 17h.

O período do dia em que os valores médios de CTR foram mais elevados se encontra no intervalo entre 12h e 14h. Este comportamento da CTR, também, foi verificado por Sartor et al. (2000) e Zanolla et al. (1999), isto pode ser explicado pelo fato de que os valores que definem a CTR ocorrem, em função, principalmente, da irradiação solar direta, a qual atinge os valores mais elevados próximos de 12h, quando o sol se posiciona de forma mais perpendicular ao plano do horizonte local e, também, em função da radiação de ondas longas emitidas pela vizinhança (FONSECA, 1998).

Considerando-se para a CTR o valor de $498,3 \text{ W m}^{-2}$ como indicativo de conforto térmico para coberturas com telhas cerâmicas e de $515,4 \text{ W m}^{-2}$ para coberturas com telhas de fibrocimento (FIORELLI et al., 2010), pode-se observar que os valores encontrados no tratamento TC não ultrapassaram o limite máximo recomendado nos intervalos de 9h a 12h e 14h40min a 17h, ou seja, na maior parte do período estudado. Quanto aos tratamentos que utilizaram telhas de fibrocimento, TFC, TFCSE e TFCFE, em nenhum período foi ultrapassado o limite máximo recomendado.

5.5 Valores médios de ITU, CTR e ITGU para o dia de maior entalpia

Na Figura 12 são apresentados os valores de ITU, ITGU e CTR para um único dia, o dia de maior entalpia (H) e, conseqüentemente, o dia de condições mais desconfortáveis.

Dentro do período estudado, o dia de maior entalpia teve como valor médio $H = 72,13 \text{ kJ kg}^{-1}$, o que de acordo com Barbosa Filho et al. (2006), pode ser considerado um ambiente desconfortável para as aves em terminação.

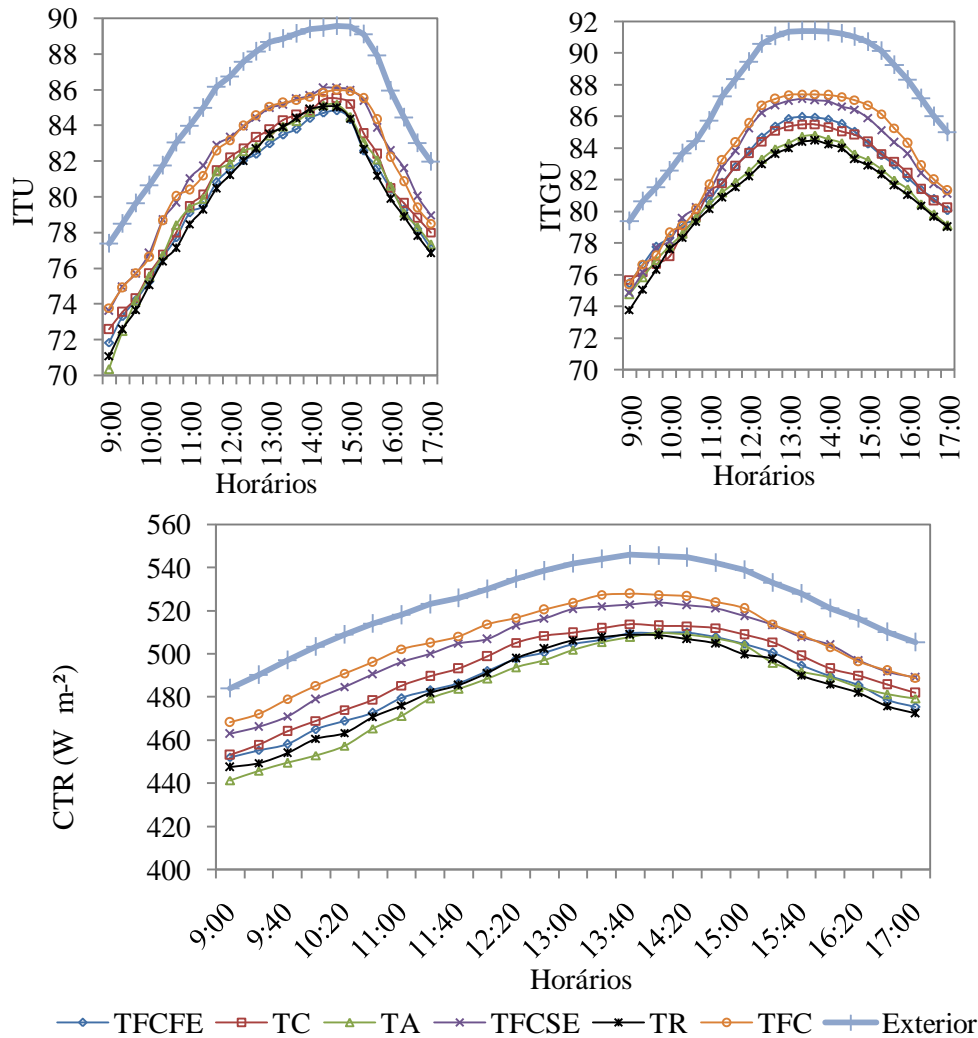


Figura 12 Valores de ITU (adimensional), ITGU (adimensional) e CTR ($W m^{-2}$) de todos os tratamentos para o dia de maior entalpia do período experimental

Nota: (TFCFE) Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak[®] com a face aluminizada voltada para cima; (TA) Telhas de alumínio; (TC) Telhas cerâmicas tipo romana; (TFCSE) Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak[®] com a face aluminizada voltada para cima; (TR) Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak[®] (TR); (TFC) Telhas de fibrocimento.

Para o índice de temperatura e umidade (ITU), no dia de maior entalpia, os tratamentos TFC e TFCSE apresentaram valores semelhantes. O interior do modelo coberto com telhas recicladas apresentou menores valores de ITU na maior parte do dia. No intervalo de 12h40min a 14h20min, o interior do modelo coberto com forro de embalagens Tetra Pak ® apresentou menores valores de ITU. Com relação ao índice de temperatura do globo e umidade (ITGU), o interior do modelo coberto com telhas recicladas foi o que apresentou menores valores ao longo do dia. O tratamento TFC apresentou os maiores valores de ITGU. Kawabata, Castro e Savastano Junior (2005), com o objetivo de avaliar o conforto térmico em abrigos individuais de bezerreiros com diferentes opções de coberturas, a partir dos dias com os maiores valores de entalpia, também encontraram no interior do abrigo coberto com telhas de fibrocimento, os valores de ITGU mais elevados.

O tratamento TC apresentou maior eficiência térmica, quando comparado com o tratamento TFC, o mesmo resultado foi encontrado por Sevegnani (1997).

Também para o índice de carga térmica de radiação (CTR), no dia de maior entalpia, o tratamento TFC apresentou piores condições térmicas, com valores de CTR superiores aos demais tratamentos.

Conceição et al. (2008), comparando diferentes materiais de cobertura no dia de maior entalpia, encontraram para telhas cerâmicas, no intervalo de 12h as 15h, período mais quente do dia, valores de CTR entre 510 a 520 W m², valores bem próximos aos encontrados neste experimento.

5.6 Efetividade

De acordo com a Equação (4), as coberturas que apresentam o mesmo desempenho térmico em relação à de alumínio apresentam efetividade térmica igual a 1, coberturas com melhor desempenho apresentam valores maiores do que

1 e coberturas com pior desempenho valores menores do que 1. Com relação à efetividade, de acordo com os resultados apresentados na Tabela 5, apenas os tratamentos TFCFE e TR apresentaram desempenho térmico melhor do que a cobertura de alumínio.

Tabela 5 Valores médios de efetividade (e) para seis diferentes tipos de telhados

Tratamentos	Descrição	e
(TFC)	Telhas de fibrocimento.	0,71
(TFCSE)	Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	0,82
(TC)	Telhas cerâmicas tipo romana.	0,96
(TA)	Telhas de alumínio.	1,00
(TFCFE)	Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak ® com a face aluminizada voltada para cima.	1,03
(TR)	Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak ®.	1,08

Os maiores valores de efetividade foram encontrados nos tratamentos TFCFE e TR. No caso do tratamento TR, os maiores valores de efetividade ocorreram, em razão da natureza do material constituinte da telha, que possui alumínio na sua composição, contribuindo para uma maior efetividade. O tratamento TFCFE apresentou maiores valores de efetividade, em função do isolamento, amortecimento e retardo térmico causado pela presença do forro.

O tratamento TR apresentou valor de efetividade maior que o tratamento TC, o mesmo resultado não foi encontrado por Cardoso et al. (2011). Os autores avaliaram a efetividade de telhas confeccionadas com materiais alternativos, em comparação com a telha padrão (cerâmica). Foram testadas telhas de resíduo Tetra Pak®, telhas de resíduo de tubos de pasta de dente, telhas de fibra vegetal e betume, telhas Reciplac aluminizada e branca e telhas Reciplac aluminizada e natural. Com relação à efetividade, todas as coberturas apresentaram desempenho ligeiramente inferior à cobertura cerâmica, com pequenas diferenças entre uma e outra.

Santos et al. (2005) empregaram a efetividade, utilizando a telha de alumínio como padrão, para avaliar o ambiente térmico no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas, equipados com telhados natural e artificialmente ventilados. As maiores efetividades foram observadas nos tratamentos (B30CVF), telhas cerâmicas sem lanternim e com câmara de ventilação forçada e (B30CVN), telhas cerâmicas com lanternim e câmara de ventilação natural. Para os autores, a maior efetividade do tratamento B30CVF ocorreu, em decorrência da retirada do ar aquecido entre o forro e o telhado pela ação de um ventilador. Já no tratamento B30CVN foi em razão do lanternim, que promoveu a renovação do ar no interior do galpão. Considerou-se, também, o fato de se utilizar o polietileno na forma de forro em ambos os tratamentos.

5.7 Temperaturas superficiais das telhas a partir de imagens termográficas

O uso do processamento de imagens termográficas (Figura 13) contribuiu para a identificação de diferenças significativas de temperatura de superfície dos telhados analisados no experimento.

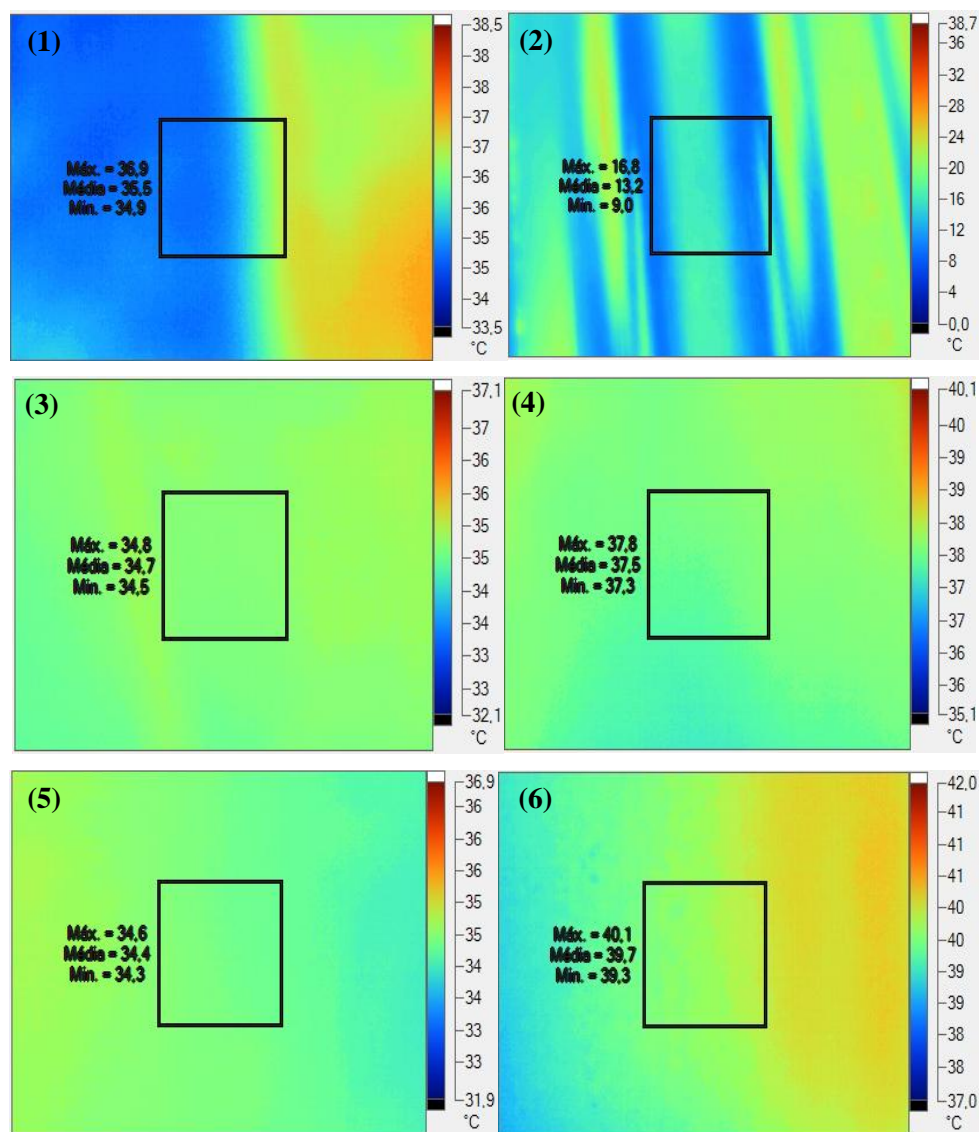


Figura 13 Imagens termográficas das superfícies internas dos telhados as 14h do dia 22 de fevereiro de 2013

Nota: (1) Telhas de fibrocimento e forro montado a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima (TFCFE); (2) Telhas de alumínio (TA); (3) Telhas cerâmicas tipo romana (TC); (4) Telhas de fibrocimento e subcobertura montada a partir de embalagens Tetra Pak® com a face aluminizada voltada para cima (TFCSE); (5) Telhas recicladas à base de embalagens Tetra Pak® (TR); (6) Telhas de fibrocimento (TFC).

O resumo das análises de variância para as variáveis temperaturas superficiais médias superiores (TSS) e inferiores (TSI) das telhas, correspondente aos tratamentos e horários de medição é mostrado na Tabela 6. Houve diferença significativa para os fatores tratamentos, horários de medição e interação tratamento x horários.

Tabela 6 Resumo das análises de variâncias referentes ao efeito dos tratamentos (telhas) e aos horários de observação, em relação às temperaturas superficiais médias superiores (TSS °C) e inferiores (TSI °C).

FV	GL	Quadrados médios	
		TSS	TSI
Tratamentos	5	2144,88*	661,28*
Erro (a)	95	53,07	14,38
Horários	2	165,67*	267,18*
Tratamentos x Horários	10	1003,87*	34,50*
Bloco	19	308,09*	236,69*
Erro(b)	228	32,60	14,92
CV erro (a) - %		20,04	10,27
CV erro (b) - %		15,71	10,46

* significativo a 5% de probabilidade.

Os valores referentes à variação da TSS, nos diferentes tratamentos e horários de coleta encontram-se descritos na Tabela 7.

Tabela 7 Valores médios de temperaturas superficiais superiores (TSS °C) nos diferentes tratamentos e horários de coleta

Tratamentos	Horários		
	11 h	14 h	17 h
(TR)	35,52 a	38,92 b	36,14 b
(TFCFE)	43,61 c	40,02 b	42,67 c
(TC)	37,93 b	39,13 b	39,38 c
(TFC)	44,38 c	43,84 c	41,23 c
(TA)	33,76 a	35,09 a	34,27 a
(TFCSE)	44,68 c	40,97 b	43,67 c

As médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

O tratamento TA foi o que apresentou menores valores de TSS. Em todos os horários analisados os tratamentos cobertos com telhas de fibrocimento apresentaram maiores valores de TSS, mostrando que esse tipo de cobertura tende a absorver uma maior quantidade de calor em comparação aos outros tipos de coberturas estudadas.

Às 11h e às 17h o tratamento TR obteve comportamento semelhante ao tratamento TA, apresentando os menores valores de TSS, o que comprova que a telha produzida a partir de embalagens Tetra Pak ® é eficiente na redução de absorção de calor.

Os valores referentes à variação da TSI, nos diferentes tratamentos e horários de coleta, encontram-se descritos na Tabela 8.

Tabela 8 Valores médios de temperaturas superficiais inferiores (TSI °C) nos diferentes tratamentos e horários de coleta

Tratamentos	Horários		
	11h	14h	17h
(TR)	33,43 b	30,25 b	36,93 a
(TFCFE)	32,58 b	35,86 a	35,13 a
(TC)	34,64 b	35,73 c	36,37 a
(TFC)	42,92 c	39,27 c	40,01 b
(TA)	25,77 a	27,15 a	32,93 a
(TFCSE)	32,20 b	37,56 c	35,40 a

As médias seguidas da mesma letra, na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott, a 5% de probabilidade.

Comparando os tratamentos TFC, TFCSE e TFCFE, em todos os horários de observação, o tratamento TFC foi o que apresentou maiores valores de TSI. Neste caso, o reaproveitamento das embalagens Tetra Pak®, tanto como subcobertura como forro, contribuiu para a redução de TSI.

Fiorelli et al. (2012) utilizaram imagens termográficas para identificar diferenças significativas de temperaturas de superfícies em coberturas de bezerreiros. Foram testadas diferentes associações de telhas de fibrocimento, como telhas fibrocimento pintadas de branco, telhas de fibrocimento sem pintura e telhas de fibrocimento com tela de sombreamento, “sombrite”, posicionado na face inferior. Os autores constataram que as telhas de fibrocimento com tela de sombreamento foram as que apresentaram menores valores de temperatura de superfície. A colocação do sombrite contribuiu para a redução da temperatura da superfície interna da cobertura, no entanto, seu efeito não minimizou os índices de conforto térmico aferidos nos abrigos. Comportamento semelhante pode ser observado no tratamento TFCSE que, também, contribuiu para redução da

temperatura da superfície interna, mas não minimizou os índices de conforto térmico.

6 CONCLUSÃO

A telha reciclada pode ser uma opção de cobertura para ser utilizada em instalações zootécnicas, uma vez que apresentou índices de conforto térmico semelhantes aos outros materiais de cobertura tidos como de boa qualidade em termos de conforto térmico, como a telha cerâmica.

Tomando como base a efetividade térmica, a telha reciclada apresentou bom desempenho, o que caracteriza a possibilidade do uso da cobertura de material alternativo em análise para atenuar o índice de temperatura do globo e umidade exterior sobre o ambiente interno das instalações.

A partir da utilização de imagens termográficas foi possível observar que a telha reciclada, também, apresentou menores valores de temperaturas superficiais, comprovando a eficiência na redução de absorção de calor da respectiva telha.

O reaproveitamento das embalagens Tetra Pak® como forro contribuiu para redução dos valores médios de ITU, ITGU e CTR. Além da reutilização das embalagens por meio da fabricação das telhas, estas também podem ser utilizadas como forro nas instalações.

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. et al. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1193-1198, 2011.

_____. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007.

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. Michigan: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. 453 p.

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

ARAÚJO, D. C.; MORAIS, C. R. S.; ALTIDES, M. E. D. Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p. 50-56, 2008.

ARMELIN, H. S.; CHERRY, N. Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação térmica na construção civil. **Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil**, Porto, v. 1, n. 1, p. 79-82, 2004.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Avaliação direta e prática. **Avicultura Industrial**, São Paulo, v. 4, n. 1144, p. 54-57, 2006.

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

BUFFINGTON, C. S. et al. Black globe humidity index (BGHI) as confort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.

CARDOSO, A. S. et al. Coberturas com materiais alternativos de instalações de produção animal com vistas ao conforto térmico. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 19, n. 5, p. 404-421, 2011.

CASTRO, A. P. A. **Análise da refletância de cores de tintas através da técnica espectrofotométrica**. 2002. 183 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

CAVALCANTI, M. A. V. et al. Comparative analysis of the efficiency of thermal systems built with reflective insulators with and without vacuum. **Thermal Engineering**, Natal, v. 8, n. 2, p. 15-20, 2009.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM. **Embalagens cartonadas longa vida**. Disponível em: <http://www.cempre.org.br/ft_longavida.php>. Acesso em: 10 fev. 2013.

CONCEIÇÃO, M. N. et al. Desempenho de telhas de escória de alto forno e fibras vegetais em protótipos de galpões. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 536-539, 2008.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2nd ed. Westport: CT Abi, 1969. 325 p.

FIORELLI, J. I. et al. Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 204-209, 2009.

_____. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 1, p. 64-67, jan. 2012.

_____. Influência de diferentes materiais de cobertura no conforto térmico de instalações para frangos de corte no oeste paulista. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 986-992, 2010.

FONSECA, J. M. **Efeito da densidade de alojamento sobre o desempenho de frangos de corte criados em sistemas de nebulização e ventilação em túnel**. 1998. 57 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

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**, Jaboticabal, v. 31, n. 6, p. 1044-1051, 2011.

FURTADO, D. A.; AZEVEDO, P. V.; TINÔCO, I. F. F. Análise do conforto térmico em galpões avícolas com diferentes sistemas de condicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 559-564, 2003.

FURTADO, D. A. et al. Efeitos de diferentes sistemas de condicionamento ambiente sobre o desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 484-489, 2006.

GUIMARÃES, G. C. **Consumo sustentável para a minimização de resíduos sólidos urbanos**. 2011. 121 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

HERRERA, Q. J. A. **Aplicação da climatologia dinâmica ao estudo do comportamento térmico das edificações, caso específico: telhas produzidas a partir da reciclagem de caixas acartonadas.** 2008. 142 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

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**, Brranquilla, v. 14, n. 1, p. 23-31, 2010.

IGONO, M. O.; JOHNSON, H. D. Physiologic stress index of lactating dairy cows based on diurnal pattern of rectal temperature Summer season. **Journal of Dairy Science**, Savoy, v. 68, n. 4, p. 979-985, 1992.

JÁCOME, I. M. T. D. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 55, p. 527-531, 2007.

JENTZSCH, R. et al. Predição de parâmetros térmicos ambientais no interior de modelos físicos em escalas reduzidas de galpões avícolas. **Revista Interciência**, Caracas, v. 36, n. 10, p. 1-5, oct. 2011.

KAWABATA, C. Y.; CASTRO, R. C.; SAVASTANO JUNIOR, H. Índices de conforto térmico e respostas fisiológicas de bezerros da raça holandesa em bezerreiros individuais com diferentes coberturas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 598-607, 2005.

KELLY, C. F.; BOND, T. E. Bioclimatic factors and their measurement. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. **A guide to environmental research on animals.** Washington, 1971. p. 71-92.

LEE, S. et al. An experimental study on airflow in the cavity of a ventilated roof. **Building and Environment**, Oxford, v. 44, n. 7, p. 1431-1439, 2009.

LIMA, J. A. K. et al. Avaliação do ambiente térmico interno em galpões de frangos de corte com diferentes materiais de cobertura na mesorregião metropolitana de Belém. **Revista de Ciências Agrárias**, Belém, v. 51, p. 37-50, jan. 2009.

LOPES, C. M. A. Blends of poly (ethylene terephthalate) and low density polyethylene containing aluminium: a material obtained from packaging recycling. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 106, n. 4, p. 2524-2535, 2007.

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

MEDEIROS, C. M. et al. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 4, p. 277-286, out./dez. 2005.

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**, Amsterdam, v. 40, n. 4, p. 445-451, 2008.

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

MORAES, S. R. P. et al. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 89-92, 1999.

MURPHY, G. **Similitude in engineering**. Wageningen: The Ronald, 1950. 302 p.

NÄÄS, I. A. Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e Betumem, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 121-126, 2001.

_____. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183 p.

NÄÄS, I. A.; MOURA, W.; LAGANA, C. A. Amplitude térmica e seu reflexo na produtividade de frangos de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 1., 1994, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Facta, 1994. p. 203-204.

NATIONAL WEATHER SERVICE CENTRAL REGION. Livestock hot weather stress. In: _____. **Regional operations manual letter**. Washington, 1976. p. 31-76.

NAZARENO, A. C. et al. Bem-estar na produção de frango de corte em diferentes sistemas de criação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 13-22, 2011.

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**, Santa Maria, v. 8, n. 8, p. 1734-1742, 2012.

OLIVEIRA, F. B.; OLIVEIRA, E. S. B.; RODRIGUES, E. F. Logística reversa e sustentabilidade: gargalos e a importância diante do cenário competitivo. **Revista Científica da Ajes**, Juína, v. 3, n. 6, 2012. Disponível em: <http://www.revista.ajes.edu.br/arquivos/artigo_20120212172554.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2013.

OLIVEIRA, J. E. et al. Efeito do isolamento térmico de telhado sobre o desempenho de frangos de alojados em diferentes densidades. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 29, n. 5, p. 1427-1434, 2000.

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

ROCHA, H. P. et al. Índices bioclimáticos e produtivos em diferentes galpões avícolas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1330-1336, 2010.

SADAUSKIENĖ, J. et al. The effect of vertical air gaps to thermal transmittance of horizontal thermal insulating layer. **Journal of Civil Engineering and Management**, London, v. 15, n. 3, p. 309-315, 2009.

SAMPAIO, C. A. P. et al. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 230-236, 2011.

SANTOS, P. A. et al. Ambiente térmico no interior de modelos de galpões avícolas em escala reduzida com ventilação natural e artificial dos telhados. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 575-584, 2005.

SANTOS, R. C. et al. Análise de coberturas com telhas de barro e alumínio, utilizadas em instalações animais para duas distintas alturas de pé-direito. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 142-146, 2002.

_____. 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**, Viçosa, MG, v. 12, n. 2, p. 145-153, 2004.

SARTOR, V. et al. Efeito de sistemas de resfriamento evaporativo em instalações para frangos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 20, n. 2, p. 87-97, 2000.

SEVEGNANI, K. B. **Avaliação de tinta cerâmica em telhados de modelos em escala reduzida, simulando galpões para frango de corte**. 1997. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1997.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 1-26, jan. 2001.

UNITED STATES OF THE AMERICA. Department of Energy. **Energy efficiency and renewable energy: radiant barrier attic fact sheet**. Oak Ridge, 1991. Disponível em: <http://www.ornl.gov/sci/roofs+walls/radiant/rb_01.html>. Acesso em: 10 jan. 2013.

VITTORINO, F.; SATO, N. M. N.; AKUTSU, M. Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 10., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba: ENCAC, 2003. p. 1277-1284.

XIE, M. et al. A comparative study on milk packaging using life cycle assessment: from PA-PE-Al laminate and polyethylene in China. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 19, n. 17/18, p. 2100-2106, 2011.

ZANOLLA, N. et al. Sistemas de ventilação em túnel e lateral na criação de frangos de corte em alta densidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 3, p. 361-366, 1999.

ZUBEN, F. V. **Embalagens cartonadas Tetra Pak**®. Disponível em:
<<http://www.tetrapak.com.br/negocios/embalagens/familias.asp>>. Acesso em: 10
jan. 2013.