



LUIZ FRANCISCO CARVALHO MEIRELLES

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM AVIÁRIOS
PROPORCIONADO POR DIFERENTES TIPOS DE
COBERTURAS**

LAVRAS – MG

2020

LUIZ FRANCISCO CARVALHO MEIRELLES

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM AVIÁRIOS PROPORCIONADO
POR DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS**

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 Mattioli
Coorientador

Dr. Allan Alves Fernandes
Coorientador

LAVRAS – MG

2020

LUIZ FRANCISCO CARVALHO MEIRELLES

**AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM AVIÁRIOS PROPORCIONADO
POR DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS**

THERMAL COMFORT ASSESSMENT IN DIFFERENT TYPES OF COVERINGS

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

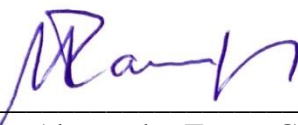
APROVADA em 18 de agosto de 2020.

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos, UFLA.

MS. Matheus Campos Mattioli, UFLA.

Dr. Allan Alves Fernandes, UFLA.

MS. Jacqueline Cardoso Ferreira, UFLA.



Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
Orientador

LAVRAS – MG

2020

RESUMO GERAL

As coberturas são fatores determinantes para o conforto térmico de uma instalação, absorvendo grande parte do calor irradiado pelo sol. A utilização de materiais e técnicas alternativas, ou seja, não convencionais, nessas estruturas, é uma maneira de integrar materiais acessíveis economicamente, e em alguns casos, ainda, mitigar problemas relacionados à disposição de resíduos no meio ambiente. Nesse sentido, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar as condições térmicas proporcionadas por diferentes materiais de cobertura e o efeito da aplicação de tinta branca reflexiva, por meio de índices do ambiente térmico. Para tanto, foram utilizados seis modelos em escala reduzida e distorcida, possuindo 1,25 m de pé direito, 1,20 m de largura e 1,50 m de comprimento, com coberturas em: telhas cerâmicas francesas (C1); telhas de alumínio (C2); telhas de aço galvanizado (C3); telhas onduladas de fibrocimento (C4); telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5) e telhas onduladas de fibrocimento pintadas de branco (C6). A coleta de dados foi realizada com o uso de sensores de temperatura e umidade acoplados a *Dataloggers* Hobo[®] modelo U12-013, programados para registros simultâneos em intervalos de 15 minutos. O experimento foi conduzido nas proximidades do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras com o auxílio do Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiência em Biosistemas (COAMBI/UFLA). As coletas dos parâmetros do ambiente térmico no interior dos modelos em escala reduzida foram realizadas das 9 às 16 horas, durante os dias de maior entalpia, sendo nove dias não consecutivos na estação de verão, de Janeiro a Fevereiro de 2019. Em posse dos dados, foram calculados o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), Índice de Temperatura e Umidade (ITU), a Entalpia (H) e a Efetividade (ϵ) de cada cobertura. A cobertura que utilizou telhas de fibrocimento pintadas na cor branca reflexiva apresentou os menores valores para os índices de conforto térmico. Por outro lado, as telhas de aço galvanizado pintadas na cor branca não promoveram melhora nos índices do ambiente térmico. Diante disso, chegou-se à conclusão de que a pintura reflexiva nas telhas de fibrocimento é uma opção viável economicamente para a melhoria do conforto térmico das edificações.

Palavras-chave: Índices Térmicos. Desconforto Térmico. Telhas. Aço Galvanizado. Pintura Reflexiva. Construções Rurais.

ABSTRACT

The housing roofing is a determining factor for the thermal comfort of an installation, absorbing much of the heat radiated by the sun. The use of unconventional alternative materials and techniques in these structures is a way to integrate economically accessible materials, and in some cases also mitigate problems related to the disposal of waste in the environment. In this sense, the objective of this study was to evaluate the thermal conditions provided by different roofing materials and the effect of the application of reflective white painting, through thermal environment indexes. For this purpose, six models were used in a small and distorted scale, with 1.25 m of right foot, 1.20 m wide and 1.50 m long, with roofs in: ceramic tiles (C1); aluminum tiles (C2); galvanized steel tiles (C3); corrugated fiber cement tiles (C4); galvanized steel tiles painted in reflective white (C5) and corrugated fiber cement tiles painted in reflective white (C6). Data collection was performed using temperature and humidity sensors coupled to Hobo Dataloggers® model U12-013, programmed for simultaneous recordings at 15-minute intervals. The experiment was conducted in the vicinity of the Engineering Department of the Federal University of Lavras with the help of the Research Group on Livestock Housing and Environment in Biosystems (COAMBI/UFLA). The thermal parameters were collected inside the small scaled models from 9 to 16 hours, during the days of greater enthalpy, with nine non-consecutive days in the summer season, from January to February 2019. In possession of the data, the Black Globe and Humidity Temperature (BGHI), Temperature and Humidity Index (THI), Enthalpy (H) and effectiveness (ϵ) of each coverage were calculated. The roof that used fiber cement tiles painted in reflective white color presented the lowest values for thermal comfort indexes. On the other hand, galvanized steel tiles painted in white color did not promote improvement in the contents of the thermal environment. In view of this, it was concluded that reflective painting on fiber cement tiles is an economically viable option for improving the thermal comfort of buildings.

Keywords: Thermal Indexes. Thermal Discomfort. Tiles. Galvanized steel. Reflective Painting. Livestock Housing.

SUMÁRIO

PRIMEIRA PARTE

1.	INTRODUÇÃO	5
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	6
2.1.	Ambiente térmico	6
2.2.	Bem-estar animal	6
2.3.	Protótipos em escala reduzida e distorcida	8
2.4.	Pinturas e materiais de cobertura	9
2.5.	Sensores de temperatura e umidade	10
2.6.	Variáveis relacionadas ao ambiente térmico.....	11
2.7.	Índices de avaliação do conforto térmico	12
2.7.1.	Índice de Temperatura e Umidade (ITU)	13
2.7.2.	Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU).....	13
2.7.3.	Entalpia externa (H).....	14
2.7.4.	Efetividade (ϵ)	15
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	15
4.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	18
	REFERÊNCIAS	19

SEGUNDA PARTE

ARTIGO

	INTRODUÇÃO	25
	MATERIAL E MÉTODOS	27
	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
	CONCLUSÕES.....	39
	REFERÊNCIAS	40

PRIMEIRA PARTE

1. INTRODUÇÃO

Em 2019, o Brasil exportou carne de frango para mais de 140 países no mundo, dos quais, apenas seis correspondem a quase 60% de todas as exportações, segundo relatório emitido pelo United States Department of Agriculture (USDA, 2020). Esses números colocam o país no topo do ranking mundial de exportação da carne de frango, totalizando, aproximadamente, 4 milhões de toneladas. Em termos da produção avícola, o país se encontra na terceira colocação, atrás apenas dos Estados Unidos e da China, totalizando uma produção em torno de 14 milhões de toneladas.

Devido ao grande dinamismo apresentado pela indústria de frangos no Brasil nos últimos anos, a avicultura de corte tem investido constantemente em inovações, permitindo novos conceitos em sistemas de criação de frangos de corte. Isso objetiva melhorar a produção industrial, pois o aumento na densidade de criação de frangos gera várias alterações dentro do ambiente, colocando em risco o desenvolvimento do animal e a eficiência da produção.

A alta densidade de aves dentro de um aviário, juntamente com a característica que o Brasil possui de apresentar elevadas temperaturas e intensa radiação solar durante a maior parte do ano, influenciam diretamente no conforto térmico dos frangos. A condição climática é um fator extremamente importante quando se trata do desempenho e produção do animal. Com isso, as instalações devem propiciar às aves um conforto térmico adequado, sendo que, se a temperatura interior do galpão se encontrar dentro da zona de conforto, o animal poderá expressar todo o seu potencial genético de produção.

Dentre os fatores de maior importância nas instalações, encontram-se os materiais utilizados nos telhados, pois, como a maioria dos galpões são orientados no sentido leste oeste, recebem radiação solar durante todo o dia. Nesse sentido, o material de cobertura desempenha considerável importância, à medida que o mesmo intercepta a maior parte da radiação solar incidente na instalação.

Diante disso, pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de amenizar o efeito da temperatura externa das coberturas sobre o ambiente interno. Portanto, o presente estudo visou avaliar a influência de diferentes tipos de materiais de cobertura, além do uso de tinta branca reflexiva, no o ambiente térmico no interior de aviários em escala reduzida.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Ambiente térmico

O ambiente pode ser definido como qualquer condição ou influência situada fora do organismo, grupo ou sistema em estudo. Também pode ser definido como sendo as condições sob as quais, qualquer ser vive ou se desenvolve, a soma total de influências que modificam ou determinam o desenvolvimento da vida ou do caráter (HOLZER, 1997).

Tendo o conhecimento do conceito de ambiente, pode-se buscar definições de conforto e desconforto térmico para melhor compreensão dos demais fatores envolvidos nessa temática. Logo, conforto térmico pode ser definido como uma condição mental, que expressa satisfação às condições térmicas do ambiente (ASHRAE, 2010). De forma mais sucinta, como a plena satisfação do animal com o ambiente térmico que o envolve. Em contrapartida, o desconforto térmico é a insatisfação do indivíduo com o ambiente térmico que o circunda (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2015).

Conforme ASHRAE (2010), o ambiente é avaliado de forma subjetiva, ou seja, mesmo estando dispostas em um mesmo ambiente, diferentes espécies podem experimentar sensações distintas, visto que o conforto não depende apenas da temperatura do ar. Ruas (1999a), por sua vez, esclarece que o bem-estar é resultado de uma combinação satisfatória, no ambiente, entre a temperatura radiante média, a umidade relativa, a temperatura do ar, a velocidade relativa do ar, dentre ~~muitos~~ outros fatores.

2.2. Bem-estar animal

É de extrema importância ter o discernimento sobre as influências das condições de bem-estar sobre os animais. Pensando de uma forma geral, cada espécie está sujeita a se adequar melhor a determinado ambiente. As condições climáticas de países tropicais, como é o caso do Brasil, estabelecem uma problemática quando se trata da criação de animais em geral, devido ao fato desses países apresentarem altas médias de temperatura durante o ano, causando aos animais o chamado estresse térmico (SEVEGNANI; GHELFI FILHO; DA SILVA, 1994).

O estresse térmico ocorre quando um animal produz mais calor do que é capaz de dissipar. Assim, para o animal se ajustar à temperatura, ele é obrigado a reduzir o consumo de alimentos e a sua produção, necessariamente, declina (SEVEGNANI et al., 1994). De acordo com os mesmos, o conforto do abrigo para o animal é necessário para que possa aumentar sua produção, portanto esse conforto não será medido da mesma forma como se faz ao ser humano, mas sob a forma de produção e produtividade.

De acordo com Tinôco (2001), no setor avícola, assim como em outras atividades, a ave exige condições ideais do ambiente onde habita, como a temperatura do ar, umidade relativa, pressão atmosférica, luminosidade e nível sonoro adequados para seu desenvolvimento. Os fatores térmicos são os que afetam mais diretamente as aves, pois comprometem a função de manter constante a temperatura interna corporal do animal.

Em situações onde a ave necessita controlar a sua temperatura corporal interna, seja devido ao excesso de calor, ou para compensar o frio do ambiente, o animal, ao invés de empregar os nutrientes para a síntese, os utilizam para produzir ou dissipar calor. Quando a ave se encontra na situação de pleno conforto térmico, não ocorre nenhum desperdício de energia pela mesma, conseqüentemente, seu organismo está no nível de máxima produtividade. Fora dessa situação, a ave tem um decréscimo de produção, reprodução e resistência, podendo levar a situações críticas e até letais (TINÔCO, 2001).

Cravo et al. (2012), em sua revisão de literatura descrevem trabalhos onde se diagnosticaram que as enzimas digestivas das aves, sob temperaturas de 32 a 35 °C, têm seus desempenhos reduzidos. Assim, as mesmas apresentaram um retardo de quatro a onze dias para o abate, ao se comparado aos resultados com as aves que se encontravam em ambientes com temperatura por volta dos 25 °C.

Quando se busca maior eficiência na produção, a interação animal-ambiente, também deve ser levada em consideração, pois as diferentes respostas dos animais às peculiaridades climáticas de cada região são determinantes para o sucesso da atividade. Fatores climáticos que afetam diretamente as trocas térmicas e as perdas de calor para o ambiente, podem levar o animal ao estresse térmico. Isso ocorre devido à falta de equilíbrio térmico entre o animal e o ambiente, ocasionando graves problemas, tanto na produção, como na reprodução animal (NAVARINI et al., 2009).

2.3. Características construtivas e protótipos em escala reduzida e distorcida

Na avicultura moderna, onde os galpões são responsáveis pelo microclima interno nos aviários, o ambiente de criação é extremamente importante por se tratar de um dos principais responsáveis pela perda da produção animal em escala industrial. Assim, se faz necessário conhecer os principais pontos de risco ao conforto térmico e bem-estar do animal, permitindo oferecer suporte aos produtores, tornando-os mais eficientes e competitivos nessa atividade (SILVA et al., 2015).

Conforme estudado por diversos autores, os galpões avícolas devem seguir algumas recomendações tipológicas para propiciar conforto térmico adequado às aves de corte. A disposição da cumeeira dos galpões deve ser, na maioria das vezes, orientada na direção leste-oeste. Assim, a trajetória do sol na maior parte do ano passará à pino pelos galpões, evitando ao máximo a radiação no interior das instalações (TINÔCO, 1996; FURTADO et al., 2005; PAULA et al., 2012).

Ainda, segundo Nääs et al. (2001), Furtado et al. (2005), e também Paula et al. (2012), o telhado é um dos elementos construtivos mais importantes das instalações, devendo possuir materiais de cobertura com alta reflexividade e um bom amortecimento térmico. Os beirais dos galpões, localizados nas faces norte-sul, devem possuir dimensões entre 1,2 a 2,5 metros, pois os mesmos são responsáveis por evitar a penetração das chuvas, ventos e raios solares (TINÔCO, 1996).

O pé-direito deve variar de acordo com a ventilação natural e a quantidade de radiação solar incidente desejável dentro das instalações, o mesmo pode ser estabelecido, segundo Tinôco (1996), pela relação largura/altura igual a 2,9, porém o mínimo recomendado deve ser de 3 metros (FURTADO et al., 2005; PAULA et al., 2012). Cortinas nas laterais dos galpões são utilizadas com os objetivos de evitar a chuva e a penetração do sol no interior dos aviários, além de ser de fundamental importância para o controle da ventilação e para o desempenho produtivo das aves (ABREU et al., 2006).

O comprimento das instalações avícolas, muitas vezes, são superiores a 100 metros, visando tornar o manejo mais eficiente e aumentar a otimização de equipamentos (FURTADO et al., 2005). As larguras mais encontradas variam de 8 a 12 metros, sendo que essa dimensão tem grande influência no condicionamento térmico e no custo dos aviários (PAULA et al.,

2012). Furtado et al. (2005) consideravam que a tendência mundial era projetar galpões com larguras de 10 a 12 metros e comprimentos de 100 a 125 metros, para otimizar a utilização de equipamentos automáticos como bebedouros e comedouros.

Finalizando as recomendações tipológicas, os galpões devem possuir afastamentos entre si adequados, pois é de extrema importância que um não atue como uma barreira de ventilação natural para o outro, sendo assim, as distâncias utilizadas são de no mínimo 30 metros, onde o mais comum são afastamentos de 10 vezes a altura da construção (FURTADO et al., 2005; PAULA et al., 2012).

Para o desenvolvimento de pesquisas sobre materiais empregados em instalações avícolas muitas vezes é necessário adotar modelos de galpões em escala reduzida, para que a pesquisa se torne economicamente viável. Segundo Conceição et al. (2008), os modelos em escala reduzida e distorcida são adotados com uma grande discrepância entre as dimensões horizontais e verticais para reproduzir as instalações reais, com isso, as escalas utilizadas devem seguir a proporção de 1:2 na vertical e 1:10 na horizontal.

A teoria dos modelos em escala foi proposta por Murphy (1950), segundo o qual os modelos em escala reduzida e distorcida reproduzem um protótipo, onde escalas são utilizadas para representar o tamanho real das instalações. Ao longo dos anos, esses modelos em escala foram utilizados por diversos pesquisadores para simulação de instalações agrícolas (SEVEGNANI, 1997).

2.4. Pinturas e materiais de cobertura

Em um país com clima tropical, onde o verão possui elevadas temperaturas e intensa radiação solar, como é o caso do Brasil, os materiais a serem utilizados nas coberturas devem permitir um bom isolamento térmico, minimizando o impacto das variações climáticas no ambiente interno das instalações (ABREU; ABREU; COSTA, 2001). Abreu et al. (2011) destaca que aproximadamente metade do calor absorvido pela instalação provém da cobertura. Assim, o telhado é um elemento relevante quando se pretende obter conforto térmico para os animais em regiões de clima quente.

Sampaio et al. (2011), consideram o telhado como o elemento construtivo mais importante de uma edificação devido à grande área de interceptação de radiação. 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).

Quando se deseja atingir níveis de conforto térmico adequados, são de vital importância os estudos dos materiais de construção utilizados em residências e galpões agrícolas, assim como a determinação do tipo de cobertura ideal para essas construções. Uma ótima solução para melhoria do conforto térmico das coberturas é através da pintura em cor branca da telha (SEVEGNANI et al., 1994).

É possível que a cobertura absorva até 80% do calor irradiado nas instalações em telhados com as coberturas mais escuras, sendo que em alguns casos esse valor pode ser ainda maior tornando-se um agravante para a retenção de calor (PASSINI et al., 2013). Portanto, Sarmiento et al. (2005) destacam que a pintura branca nas faces externas das coberturas pode diminuir até 9 °C da temperatura das faces internas das telhas, sendo um artifício simples e eficiente para esse propósito.

Para Sevegnani et al. (1994), o uso de pintura na cor branca nas telhas de fibrocimento provoca uma redução na quantidade de calor por radiação gerado na cobertura, isso devido à propriedade de reflexão da radiação solar causada pela cor branca. Essa redução pode apresentar temperaturas efetivas internas menores que as registradas para as telhas cerâmicas na cor natural.

2.5. Sensores de temperatura e umidade

Segundo Valin Júnior et al. (2019), os trabalhos de campo que visam à obtenção de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, radiação, entre outros, que são utilizados para análises, devem ser obtidos por meio do uso de sensores e equipamentos específicos para garantir a qualidade e padronização desses dados.

Os sistemas automatizados para controle de ambiente térmico surgem como alternativa para suprir a necessidade de monitorar e supervisionar o funcionamento de sistemas físicos de forma segura, rápida e independente da presença humana (SEO et al., 2009). Para Barbosa et al. (2008), o surgimento dos *Dataloggers*, que se tratam de equipamentos termohigrométricos registradores e armazenadores de dados, facilitou os processos de medições em campo.

Silva e Choque (2017) consideram que os processos de automatização, utilizados para o controle e supervisão de sistemas, têm gerado avanços significativos, visto que é possível, por meio de sensores remotos, ter acesso às condições climáticas em tempo real de maneira precisa e, portanto, possibilitar ao produtor a tomada de decisões rapidamente.

O desenvolvimento desses sistemas de aquisição de dados permite receber informações geradas pela leitura de sensores e, a partir dessa, gerar comandos para atuadores ou transmitir dados via módulos de comunicação (TORRES et al., 2015).

2.6. Variáveis relacionadas ao ambiente térmico

Para a determinação do conforto térmico, é necessário entender não só os mecanismos de dissipação de calor do corpo, como também os quatro fatores ambientais que permitem a perda de calor: a temperatura do ar, a umidade relativa, a velocidade do ar e a temperatura radiante média do meio (LÓIS, 2001).

- Temperatura do ar

O corpo irá ceder calor para o ambiente quando a temperatura do ar for menor que a temperatura do indivíduo, ocorrendo, assim, resfriamento por convecção, radiação e condução. Caso a temperatura do ar seja maior que a temperatura corporal, o ar cederá calor para o corpo, necessitando da atuação do sistema termorregulador (CARVALHO; MICHALOSKI, 2018).

- Umidade relativa

À medida em que a baixa umidade relativa permite ao ar seco absorver a umidade da pele, há a remoção de calor do corpo de forma rápida. De maneira oposta, temperatura e umidade elevadas dificultam a evaporação do suor, não permitindo a perda de calor para o ambiente. Alta temperatura combinada à alta umidade relativa do ar promovem, assim, uma menor dissipação de calor pelo corpo (RUAS, 1999b; CARVALHO; MICHALOSKI, 2018).

- Velocidade do ar

É necessário conhecer a temperatura e a umidade relativa do ar, para se analisar a capacidade de contribuição da ventilação na remoção de calor. Para a condição de ar não saturado e com temperatura inferior à da pele, quando a ventilação aumenta, pode-se afirmar

que os processos de evaporação e convecção aumentam, porque a umidade do corpo é retirada mais rapidamente e a velocidade de troca do ar que rodeia o corpo também é maior (RUAS, 1999b).

- Temperatura radiante média do meio

A energia radiante é emitida de maneira contínua por todos os corpos que estão a uma temperatura superior ao zero absoluto. Isso quer dizer que se uma pessoa ou animal no ambiente está continuamente emitindo e recebendo energia radiante, a diferença entre as duas energias é o que define se o corpo está sendo aquecido ou resfriado por radiação. A radiação térmica não depende do ar ou de qualquer outro meio para se propagar, e a quantidade de energia radiante emitida por um corpo depende da sua temperatura superficial (RUAS, 1999b).

2.7. Índices de avaliação do conforto térmico

A necessidade de se conhecer as sensações térmicas experimentadas pelos indivíduos, quando expostos a determinadas combinações das variáveis ambientais, levou ao desenvolvimento dos índices de avaliação do conforto térmico. Os índices se tratam de um parâmetro que representa o efeito combinado das principais variáveis intervenientes. Através dele é possível avaliar a situação de conforto térmico de um ambiente, bem como, obter subsídios para melhor adequá-los às necessidades (RUAS, 1999a).

Diversos índices foram e ainda têm sido desenvolvidos com o intuito de determinar os níveis de conforto térmico nos ambientes, sendo eles dependentes da inter-relação de vários parâmetros, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação do ambiente (KAWABATA; CASTRO; SAVASTANO JÚNIOR, 2005). Quanto maior for a quantidade de parâmetros englobados em um determinado índice de conforto térmico, mais precisa será a avaliação do ambiente. Os mais comumente utilizados são:

- Temperatura de globo negro (Tgn): é encontrada pelo termômetro de globo negro, a qual indica os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar (GOMES et al., 2011). Representa muito bem a sensação térmica sentida pelos animais;
- Temperatura de ponto de orvalho (Tpo): ponto de orvalho designa a temperatura à qual o vapor de água presente no ar ambiente passa ao estado líquido na forma de pequenas gotas por via da condensação. O ponto de orvalho é, portanto, a temperatura para qual

a umidade relativa da massa de ar em consideração, atinge cem por cento (MARGARIDO, 2014);

- Temperatura de bulbo seco (Tbs): a temperatura de bulbo seco é a temperatura comum do ar, a qual deve ser medida utilizando-se termômetros comuns. Em higrômetros e psicrômetros, a temperatura de bulbo seco é medida por termômetros normais, enquanto a temperatura de bulbo úmido é medida por um termômetro recoberto por algum pedaço de tecido úmido. Conhecendo essas temperaturas é possível calcular a umidade e outras unidades psicrométricas de interesse (REYES CAC, 2005).

2.7.1. Índice de Temperatura e Umidade (ITU)

Apesar da existência de índices mais completos, o Índice de Temperatura e Umidade (ITU) é um dos mais utilizados, por considerar informações normalmente disponíveis em estações meteorológicas e em bancos de dados, concebidos a partir de imagens de satélite (OLIVEIRA et al., 2006). Segundo Kelly e Bond (1971), o ITU pode ser calculado com base nos valores de temperatura de bulbo seco (Tbs) e temperatura do ponto de orvalho (Tpo) de acordo com a Equação (1), a seguir:

$$ITU = Tbs + 0,36 \times Tpo - 330,08 \quad (1)$$

Em que:

ITU: Índice de Temperatura e Umidade (adimensional);

Tbs: temperatura de bulbo seco (K);

Tpo: temperatura de ponto de orvalho (K).

2.7.2. Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU)

Buffington et al. (1981), propuseram um índice que considera em um único valor os efeitos da temperatura de bulbo seco, da umidade do ar, do nível de radiação e, de forma

indireta, da movimentação do ar, ao qual seria o indicador mais preciso de conforto térmico e da produção animal (SAMPAIO et al., 2004).

O modelo matemático proposto por Buffington et al. (1981) se encontra na Equação (2):

$$ITGU = Tgn + 0,36 \times Tpo - 330,08 \quad (2)$$

Em que:

ITGU: Índice de Temperatura do Globo e Umidade (adimensional);

Tgn: temperatura do globo negro (K);

Tpo: temperatura do ponto de orvalho (K).

2.7.3. Entalpia externa (H)

A entalpia é uma grandeza psicrométrica que indica a quantidade de calor presente numa massa de ar seco, com isso ela pode ser utilizada para determinar as condições ambientais. Seu valor é determinado por meio 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 (CONCEIÇÃO et al., 2008).

A entalpia externa (H) pode ser calculada, segundo Conceição et al. (2008), através da Equação (3), que foi desenvolvida por Albright (1990):

$$H = 1,006 \times Tbs + W \times (2501 + 1,805 \times Tbs) \quad (3)$$

Em que:

H = Entalpia (kJ kg^{-1});

Tbs = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$);

W = razão da mistura ($\text{kg vapor d'água kg ar seco}^{-1}$).

A razão da mistura pode ser calculada pela Equação (4), abaixo:

$$W = \left(0,622 \times UR * 0,6108 \times e^{\frac{17,3 * Tbs}{237,3 + Tbs}} \times 100^{-1} \times Patm^{-1} \right) \quad (4)$$

Em que:

UR = umidade relativa (%);

e = constante de Euler;

Patm = pressão atmosférica (kPa).

2.7.4. Efetividade (ϵ)

A Efetividade (ϵ) 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 (ϵ), definida em relação à Carga Térmica de Radiação (CTR) ou ao ITGU, para classificar a diversidade de materiais utilizados nas coberturas (SANTOS et al., 2005).

Segundo Moraes (1999), o uso do ITGU no cálculo da Efetividade é mais indicado, por ser o índice mais utilizado na quantificação das condições de conforto térmico em instalações zootécnicas, assim, o modelo matemático especificado na Equação (5), a seguir, é o mais comumente utilizado:

$$\epsilon = \frac{ITGU(\text{ao sol}) - ITGU(\text{telha testada})}{ITGU(\text{ao sol}) - ITGU(\text{telha alumínio})} \quad (5)$$

Em que:

ϵ = Efetividade (adimensional);

ITGU = Índice de Temperatura do Globo e Umidade (adimensional).

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Lavras, Minas Gerais, Brasil, particularmente, nas dependências do setor de Construções e Ambiente do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Localizada na microrregião sul do estado, nas coordenadas geográficas de 21° 14' sul, de latitude, e de 45° 00' oeste, de longitude, situando-

se a 918 metros de altitude. Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima da região de Lavras é o Cwa, sendo temperado chuvoso (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, e subtropical, com inverno seco e temperatura do mês mais quente maior que 22 °C.

Foram utilizados seis protótipos em escala reduzida e distorcida, com proporção de 1:2 na vertical e 1:10 na horizontal, os quais foram construídos com pé-direito de 1,25 metros, largura e comprimento de 1,20 e 1,50 metros, respectivamente. Os mesmos foram cobertos por diferentes tipos de telhas, sendo elas: telhas cerâmicas francesa (C1), telhas de alumínio (C2), telhas de aço galvanizado (C3), telhas de fibrocimento (C4), telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5), telhas de fibrocimento pintadas de branco (C6).

Os modelos foram estruturados com perfis de aço, possuem 0,20 metros de beiral e as suas faces leste e oeste são totalmente fechadas com madeirite de 0,01 metros de espessura. As faces que se encontram na direção norte e sul, foram fechadas com lona impermeável para aviários de cor azul/cinza. A pintura das telhas C5 e C6, especificadas anteriormente, foi feita com tinta plástica impermeabilizante, resistente a raios ultravioleta, chuvas e baixas temperaturas, tipo manta líquida, própria para coberturas.

Os protótipos foram dispostos em um terreno plano, com suas cumeeiras orientadas na direção leste-oeste, livre de sombreamento e afastados entre si, por no mínimo, 2,00 metros de distância, para que não houvesse sombreamentos (Figura 1).

Figura 1 - Disposição dos protótipos em escala reduzida e distorcida.

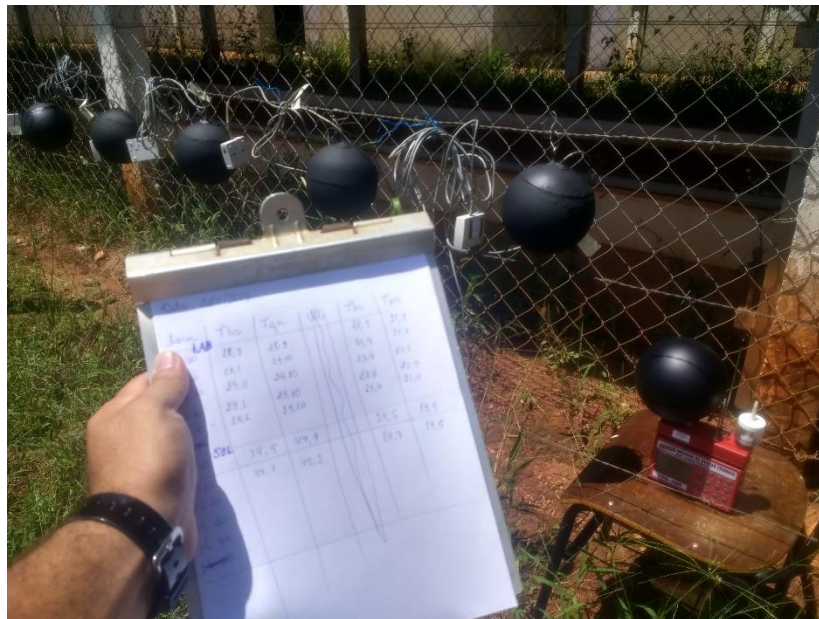


Fonte: Autor

Os dados foram coletados durante o mês de janeiro e fevereiro do ano de 2019, sendo das 9 às 16 horas, em intervalos de 15 minutos. Foram selecionados os dias de maior entalpia, totalizando nove dias não consecutivos. As coletas foram realizadas com o auxílio do Grupo de Pesquisa em Construções e Ambiente em Biosistemas (COAMBI/UFLA), sendo coletados dados de temperatura de globo negro (T_{gn}), temperatura de bulbo seco (T_{bs}), temperatura de ponto de orvalho (T_{po}) e umidade relativa do ar (UR), todos com a utilização de *Dataloggers* HOBO® modelo U12-013.

Sensores de temperatura do ar, água e solo, TMC20-HD, foram acoplados a globos negros (Figura 2), com 0,05 cm de espessura e pintados externamente de preto fosco. Foram instalados à altura de 0,625 metros, ou seja, no centro geométrico de cada modelo em escalada reduzida e distorcida.

Figura 2 - Dataloggers e Globos Negros utilizados em processo de calibração.



Fonte: Autor

A partir dos dados medidos nos horários predeterminados, foram calculados o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU), a Entalpia externa (H) e a Efetividade (ϵ) de acordo com as Equações 1, 2, 3 e 5, citadas anteriormente.

O experimento foi montado em DBC com 9 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 CORE TEAM, 2019) e SISVAR (FERREIRA, 2019).

4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nota-se que é de extrema importância o conforto térmico no interior das instalações, pois se trata de uma forma de melhorar a eficiência produtiva das granjas, fazendo com que as aves expressem todo o seu potencial genético de produção devido ao seu estado de pleno bem-estar. Os materiais de cobertura devem ser sempre observados, pois recebem a radiação solar durante a maior parte do dia, sendo grandes responsáveis pelo aquecimento interno do ambiente. Assim, procura-se materiais alternativos e viáveis economicamente para substituir as opções convencionais consideradas mais adequadas, pois estas possuem alto valor de mercado. Neste ponto, a pintura externa reflexiva na cor branca das telhas, se apresenta como uma forma alternativa acessível.

As instalações utilizadas na avicultura de corte são estruturas com grandes dimensões, o que muitas vezes inviabiliza que os pesquisadores aprofundem o conhecimento sobre a ambiência das criações, contudo, modelos em escala reduzida e distorcida têm aberto caminhos para estes estudos, reduzindo os custos e viabilizando essa área da ciência. O desenvolvimento de sensores e equipamentos remotos também têm gerado avanços significativos nas pesquisas, garantindo a qualidade e padronização dos dados coletados, possibilitando o acesso às condições climáticas em tempo real.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; COLDEBELLA, A.; LOPES, L. S.; CONCEIÇÃO, V.; TOMAZELLI, I. L. Análise termográfica da temperatura superficial de telhas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.15, p.1193-1198. 2011.
- ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; DALLA COSTA, O. A. Avaliação de coberturas de cabanas de maternidade em sistema intensivo de suínos criados ao ar livre (Siscal), no verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*. v.30, p.1728-1734. 2001.
- ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G.; COLDEBELLA, A.; PAIVA, D. P.; JAENISCH, F. R. F. **Influência da cortina e do programa de luz no desempenho produtivo de frangos de corte e no consumo de energia elétrica.** Embrapa Suínos e Aves. Concórdia – SC. 2006.
- ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants.** American Society of Agricultural Engineers Michigan, Michigan, 453p, 1990.
- ASHRAE. **Standard 55-2010:** Thermal environmental conditions for human occupancy. Atlanta, 2010.
- BARBOSA, M. J.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Uso de barreiras de radiação para minimizar o erro no registro das temperaturas do ar em edificações. **Ambiente Construído.** Porto Alegre –RS, v. 8, n. 4, p. 117 –136, 2008.
- BOND, T. E.; KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, St. Joseph, v.36, n.4, p.251-255, 1955.
- BUFFINGTON, D.E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.
- CARVALHO, M. T. S.; MICHALOSKI, A. O. **Fatores que influenciam no conforto térmico no ambiente de trabalho:** Uma revisão sistemática. Trabalho de conclusão de curso de especialização. Universidade tecnológica federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.
- CONCEIÇÃO, M. N.; ALVES, S. P.; TELATIN JÚNIOR, A.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S.; SAVASTANO JÚNIOR, 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**, Campina Grande, v.12, p.536-539, 2008.
- CRAVO, J. C. M.; POLYCARPO, G. V.; CRUZ, V. C.; SARTORI, D. C.; BALIEIRO, J. C. C.; FIORELLI, J. Caracterização tipológica de aviários em uma integradora do Estado de São Paulo. **Revista de Ciências Agrárias**, v.55, n.2, p.154-158, 2012.
- ESMAY, M. L. **Principles of animal environment.** 2nd. West Port: AVI, 325 p, 1974.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **USDA.gov - United States Department of Agriculture.** Atualização: 15 de maio, 2020.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: A computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, v.37, n.4, p.529-535, dez.2019. ISSN1983-0823. Data de acesso: 10 fev. 2020. <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FURTADO, D. A.; TINÔCO, I. F. F.; NASCIMENTO, J. W. B.; LEAL, A. F.; AZEVEDO, M. A. **Caracterização das instalações avícolas na mesorregião do agreste paraibano.** Engenharia Agrícola, v.25, n.3, p.831-840, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000300030>

GOMES, R. C. C.; YANAGI JÚNIOR, T.; LIMA, R. R.; YANAGI, S. N. M.; CARVALHO, V. F.; DAMASCENO, F. A. Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.41, n.9, p.1645-1651, 2011.

HOLZER, W. Uma discussão fenomenológica sobre os conceitos de paisagem e lugar, território e meio ambiente. **Revista Território**, ano II, nº 3, 1997.

OLIVIERA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. J. L.; BARROS, Z. X.; SARTORI, M. M. P.; FRANCO, L. V. Índice de desconforto e índice de temperatura efetiva: Uma implementação para smartphones e tablets. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 30, n.2, p.155-163, 2015.

KAWABATA, C. Y.; CASTRO, R. C.; SAVASTANO JÚNIOR, 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: IAS, 1971.

LÓIS, E. **Variáveis relacionadas ao conforto térmico em áreas de vegetação ciliar.** Campinas – SP, 2001.

MARGARIDO, G. N. **Avaliação de medição da umidade relativa do ar pelo método do ponto de orvalho usando materiais acessíveis e sistema de controle convencional.** Dissertação (Mestrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2014.

MORAES, S. R. P.; TINÔCO, I. F.; BAÊTA, F. C.; CECON, P. R. 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.** The Ronald Press Company. 1950.

NÄÄS, I.A. **Princípios de conforto térmico na produção animal.** Editora Ícone, São Paulo, p.183, 1989.

NÄÄS, I.A.; SEVEGNANI, K.B.; MARCHETO, F.G.; ESPELHO, J.C.C.; MENEGASSI, V.; SILVA, I.J.O. Avaliação térmica de telhas de composição de celulose e betume, pintadas de branco, em modelos de aviários com escala reduzida. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.21, n.2, p.121-6, 2001.

NAVARINI, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, v.29, p.508-517, 2009.

OLIVEIRA, L. M. F.; YANAGI JUNIOR, T.; FERREIRA, E.; CARVALHO, L. G.; SILVA, M. P. Zoneamento bioclimático da região sudeste do Brasil para o conforto térmico animal e humano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.26, n.3, p.823-831, 2006.

PASSINI, R.; ARAÚJO, M. A. G.; YASUDA, V. M.; ALMEIDA, E. A. Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto para aves de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, p.333-338, 2013.

PAULA, M. O.; CAETANO, S. P.; MOREIRA, G. R.; AMORIM, M. M.; DURAN, M. C. Identificação da tipologia construtiva de galpões avícolas no estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.14, p.641, 2012.

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

REYES CAC, F. E. **Análise metrológica do comportamento transiente de um psicrômetro do tipo bulbo úmido e bulbo seco**. Dissertação (Mestrado). PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2005.

RUAS, A. C. **Avaliação de conforto térmico**. Contribuição à aplicação prática das normas internacionais. Campinas – SP, 1999a.

RUAS, A. C. **Conforto térmico nos ambientes de trabalho**. FUNDACENTRO. Campinas – SP, 1999b.

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

SAMPAIO, C.A.P.; CRISTANI, J.; DUBIELA, J. A.; BOFF, C. E.; OLIVEIRA, M. A. Avaliação do ambiente térmico em instalação para crescimento e terminação de suínos utilizando os índices de conforto térmico nas condições tropicais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.3, p.785-790, 2004.

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**, Jaboticabal, v. 25, n.3, p.575-584, 2005.

SARMENTO, L. G. V.; DANTAS, R. T.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, J. H. V. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Agropecuária Técnica**, v.26, n.2, 2005.

SEO, I.H. et al. Improvement of the ventilation system of a naturally ventilated broiler house in the cold season using computational simulations. **Biosystems Engineering**, v.104, p.106-117, 2009.

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

SEVEGNANI, K. B.; GHELFI FILHO, H.; DA SILVA, I. J. O. **Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. Piracicaba, SP, 1994.

SILVA, T. P. N.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. L. P.; GOMES, N. F. Tipologia de instalações avícolas na região agreste de Pernambuco. **Revista Engenharia Agrícola**, v.35, n.4, p.789-799, 2015.

SILVA, W.L; CHOQUE, N.M.S. Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados usando a placa arduino uno e o software ni-labview. **Revista Desafios**, v.03, n. Especial, 2017.

TINÔCO, I. F. F. **Avicultura industrial**: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. Revista Brasileira de Ciência Avícola, v.3, n.1. Campinas, 2001. <https://doi.org/10.1590/S1516-635X2001000100001>

TINÔCO, I.F.F. **Efeito de diferentes sistemas de acondicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frangos de corte, e condições de verão e outono**. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1996.

THOM, E.C. The discomfort index. **Weatherwise**, Boston, v.12, n.1, p.57-60, 1959.

TORRES, J. D. et al. Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma arduino: construção de baixo custo e análise de dados. **Scientia Plena**, v. 11, n. 2, 2015.

VALIN JÚNIOR, M. O.; SANTOS, F. M. M.; MARQUES, J. B.; RIBEIRO, K. F. A. **Sensores termo higrométricos**: Procedimentos para montagem e calibração. **Cientific@ Multidisciplinary Journal**, v.6, n.1, p.134-146, 2019.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO PROPORCIONADO POR DIFERENTES TIPOS DE COBERTURAS EM MODELOS DE AVIÁRIOS

Luiz Francisco Carvalho Meirelles, Eng. Civil, DEG/UFLA

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos (Orientador)

MS. Matheus Campos Mattioli (Coorientador)

Dr. Allan Alves Fernandes (Coorientador)

RESUMO

As coberturas são elementos determinantes para o conforto térmico de uma instalação, absorvendo até 80% do calor irradiado nas edificações. A utilização de materiais e técnicas alternativas não convencionais nessas estruturas é uma maneira de integrar materiais acessíveis economicamente e, ainda, contribuir para a conservação do ambiente. Nesse sentido, objetivou-se, com o presente trabalho, comparar as condições térmicas proporcionadas por diferentes materiais de cobertura, bem como a aplicação de tinta reflexiva branca em modelos de construções em escala reduzida, por meio de índices térmicos. Para tanto, foram construídos seis modelos em escala reduzida e distorcida com coberturas em telhas cerâmicas francesas (C1); telhas de alumínio (C2); telhas de aço galvanizado (C3); telhas onduladas de fibrocimento (C4); telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5) e telhas onduladas de fibrocimento pintadas de branco (C6). O experimento foi conduzido nas proximidades do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras. Os dados foram coletados durante o mês de janeiro e fevereiro do ano de 2019, das 9 às 16 horas, em intervalos de 15 minutos. A partir dos cálculos, foram selecionados os dias em que ocorreram a maior entalpia, totalizando nove dias não consecutivos. A partir da seleção foram analisados o ITGU, ITU e a Efetividade de cada cobertura. A cobertura com telhas onduladas de fibrocimento pintadas na cor branca reflexiva apresentou os menores valores para os índices de conforto térmico. Por sua vez, as telhas de aço galvanizado com pintura na cor branca não promoveu uma melhora dos índices de conforto térmico.

Palavras-chave: Índices do ambiente térmico. Conforto térmico. Telhas. Material de cobertura. Construções rurais. Pintura reflexiva

ABSTRACT

The roofs are determining elements for the thermal comfort of an installation, absorbing up to 80% of the radiated heat in the buildings. The use of unconventional alternative materials and techniques in these structures is a way to integrate economically accessible materials and also contribute to the conservation of the environment. In this sense, the objective of this study was to compare the thermal conditions provided by different roofing materials, as well as the application of white reflective painting in small-scale poultry housing models, through thermal indices. To this end, six models were constructed in a small scale and distorted with covers on French ceramic tiles (C1); aluminum tiles (C2); galvanized steel tiles (C3); corrugated fiber cement tiles (C4); galvanized steel tiles painted white (C5) and corrugated fiber cement tiles painted white (C6). The experiment was conducted in the vicinity of the Engineering Department of the Federal University of Lavras. Data were collected during January and February 2019, from 9 am to 4 pm, at 15-minute intervals. From the calculations, the days in which the highest enthalpy occurred, totaling nine non-consecutive days. From the selection, the Black Globe and Humidity Index (BGHI), Temperature and Humidity Index (THI) and the Effectiveness (ϵ) of each coverage were analyzed. The roof with corrugated fiber cement tiles painted in reflective white color presented the lowest values for thermal comfort indexes. In turn, galvanized steel tiles with white paint did not promote an improvement in thermal comfort indexes.

Keywords: Comfort Indexes. Thermal Comfort. Tiles. Covering Material. Livestock Housing. Reflective painting.

INTRODUÇÃO

Em 2019 o Brasil exportou carne de frango para mais de 140 países no mundo, dos quais apenas seis países corresponderam a quase 60% de todas as exportações. Esses números colocam o país no topo do ranking mundial de exportação da carne de frango, totalizando aproximadamente 4 milhões de toneladas. Em termos da produção avícola, o país se encontra na terceira colocação, atrás apenas dos Estados Unidos e da China, totalizando uma produção em torno de 14 milhões de toneladas (USDA, 2020).

Devido ao grande dinamismo apresentado pela indústria de frangos no Brasil, nos últimos anos, a avicultura de corte tem sido bastante difundida, recebendo constantes investimentos em inovação e sendo alvo de estudos por pesquisadores, permitindo novos conceitos e sistemas de criação. Isso objetiva aprimorar a produção industrial, pois o aumento na densidade de criação proporciona alterações no ambiente no interior das instalações,

colocando em risco o desenvolvimento animal e a eficiência produtiva (AKAMINE; PASSINI, 2017).

A grande densidade de aves dentro de um mesmo aviário, juntamente com a característica que o Brasil possui em apresentar elevadas temperaturas e intensa radiação solar durante o verão, influenciam diretamente no conforto térmico dos frangos. Ausência de bem-estar animal é um fator extremamente importante quando se trata de desempenho e produção (OLIVEIRA JÚNIOR et al., 2015). Com isso, as instalações devem propiciar conforto térmico de acordo com cada uma das fases de vida das aves, estando a temperatura interior do galpão dentro da zona de conforto. Dessa forma, o animal expressará todo seu potencial genético de produção (STAUB et al., 2016).

Na avicultura moderna, onde a concepção dos galpões é responsável pelo microclima interno, o ambiente de criação é extremamente importante por se tratar de um dos principais responsáveis pela perda da produção animal em escala industrial, quando não se obtém o ambiente térmico adequado às aves. Assim, se faz necessário conhecer os principais pontos de risco ao conforto térmico e bem-estar animal, permitindo ofertar assistência aos produtores, tornando-os mais eficientes e competitivos na atividade (SILVA et al., 2015).

Dentre os fatores de maior importância nas instalações, encontram-se os materiais utilizados nas coberturas, pois, como a maioria dos galpões são orientados no sentido leste-oeste, recebem radiação solar durante todo o dia. Assim, há um aumento considerável da temperatura interna dos aviários, o que ocorre devido à transferência de calor da superfície externa aquecida do telhado para o ambiente interno, quando o material de cobertura não apresenta as características térmicas desejáveis (VALADARES et al., 2018). Segundo Passini et al. (2013), é possível que uma cobertura absorva até 80% do calor irradiado pelo sol. Em telhados com as coberturas mais escuras, esse valor pode ser ainda maior, tornando-se um agravante para retenção de calor. Uma das maneiras de diminuir a transferência do calor para o ambiente interno é com a utilização de pintura na cor branca das telhas, o que vem proporcionando melhora dos índices de conforto térmico devido à redução da absorção dos raios solares e do maior poder de reflexão da tinta branca.

Com relação à coleta de dados, Valin Júnior et al. (2019) afirmam que, em trabalhos de campo, a obtenção de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação, radiação, entre outros, deve utilizar sensores e equipamentos específicos para garantir a qualidade e padronização desses dados. Pois, Silva e Choque (2017) consideram que os

processos de automatização utilizados para o controle e supervisão de sistemas têm gerado avanços significativos, visto que é possível, por meio de sensores remotos, ter acesso às condições climáticas em tempo real.

Diante do que foi exposto, pesquisas vêm sendo realizadas com o intuito de amenizar o efeito da temperatura externa das coberturas sobre o ambiente interno. Portanto, o presente trabalho buscou avaliar a influência de diferentes tipos de materiais de cobertura, além do uso de tinta branca reflexiva, sobre o ambiente térmico no interior de aviários em escala reduzida, por meio de índices do ambiente térmico.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada no município de Lavras, Minas Gerais, nas dependências do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). Localizada na microrregião sul do estado, nas coordenadas geográficas de 21° 14' sul, de latitude, e de 45° 00' oeste, de longitude, situando-se a 918 metros de altitude. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região se enquadra como Cwa, mesotérmico, com inverno seco, verão chuvoso e temperatura do mês mais quente maior que 22 °C.

Foram utilizados seis protótipos em escala reduzida e distorcida, com proporções de 1:2 na vertical e 1:10 na horizontal, os quais foram construídos com pé-direito de 1,25 metros, largura e comprimento de 1,20 e 1,50 metros, respectivamente. Os mesmos foram cobertos por diferentes tipos de telhas, sendo elas: telhas cerâmicas francesa (C1), telhas de alumínio (C2), telhas de aço galvanizado (C3), telhas de fibrocimento (C4), telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5), telhas de fibrocimento pintadas de branco (C6).

Os modelos foram estruturados com perfis de aço, possuem 0,20 metros de beiral e as suas faces leste e oeste são totalmente fechadas com madeirite de 0,01 metros de espessura. As faces que se encontram na direção norte e sul, foram fechadas com lona impermeável para aviários de cor azul/cinza. A pintura das telhas C5 e C6, especificadas anteriormente, foi feita com tinta plástica impermeabilizante, resistente a raios ultravioleta, chuvas e baixas temperaturas, tipo manta líquida, própria para coberturas.

Os protótipos foram dispostos em um terreno plano, com suas cumeeiras orientadas na direção leste-oeste, livre de sombreamento e afastados entre si, por no mínimo, 2,00 metros (Figura 1).

Figura 1 - Disposição dos protótipos em escala reduzida e distorcida.



Fonte: Autor

Os dados foram coletados durante o mês de janeiro e fevereiro do ano de 2019, das 9 às 16 horas, em intervalos de 15 minutos. A partir dos cálculos, foram selecionados os dias em que ocorreram a maior entalpia, totalizando nove dias não consecutivos.

A partir da seleção foram analisados o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) e a Efetividade (ϵ) assim como metodologia preconizada por diversos autores (DA SILVA et al., 2019; FOŘT et al., 2020; MAGALHÃES et al., 2020; MUSHORE et al., 2019).

O experimento foi montado em DBC com 9 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 CORE TEAM, 2019).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são representados, respectivamente, os valores médios horários de todos os dias de coletas para os ITGU, ITU e H, encontrados para os horários das 9:00 às 16:00 horas. A interação entre Coberturas e Horários foi significativa, a 5% de significância pelo teste F, para todos os índices avaliados, demonstrando dependência entre os dois fatores.

Observando os resultados apresentados na Tabela 1 pode-se notar que, os menores valores para o ITGU médio ocorreram, em todos os tratamentos, às 9:00 horas. Nota-se que o tratamento com telhas de alumínio (C2) e o tratamento com telhas de fibrocimento (C4) apresentaram resposta térmica semelhante, exceto no período das 16 horas. Para os tratamentos com telhas de aço galvanizado (C3) e aço galvanizado pintado de branco (C5), houve diferença estatística para a maior parte do período estudado, evidenciando a maior inércia térmica ao receber uma camada de tinta branca para coberturas.

Tabela 1 - Valores médios horários do Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) para todos os tratamentos. Cobertura com telhas cerâmicas – C1; Cobertura com telhas de alumínio – C2; Cobertura com telhas de aço galvanizado – C3; Cobertura com telhas de fibrocimento – C4; Cobertura com telhas de aço galvanizado pintadas de branco – C5; Cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco – C6.

Hora	Coberturas					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
09:00	76,91 cC	77,29 bC	77,76 aC	77,31 bC	77,61 aC	76,34 dC
10:00	79,67 bB	79,82 bB	80,39 aB	79,74 bB	80,30 aB	78,80 cB
11:00	81,73 bA	81,40 cA	81,98 bA	81,37 cA	82,41 aA	80,66 dA
12:00	82,82 bA	82,18 cA	82,73 bA	81,95 cA	83,24 aA	81,47 dA
13:00	83,16 bA	82,48 cA	83,00 bA	82,17 cA	83,63 aA	81,75 dA
14:00	83,55 bA	82,96 cA	83,37 bA	82,79 cA	84,27 aA	82,23 dA
15:00	83,43 bA	82,92 cA	83,09 cA	82,75 cA	84,07 aA	82,02 dA
16:00	81,73 bA	81,46 bA	81,50 bA	81,18 cA	82,24 aA	80,59 dA
Média	81,62	81,31	81,73	81,16	82,22	80,48

** 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.

Levando em consideração a Tabela 2, observa-se que os menores valores de ITU médio também ocorreram às 9:00 horas para todos os tratamentos. Porém, o tratamento com telhas cerâmicas (C1) e o tratamento com telhas de fibrocimento (C6) apresentaram valores estatisticamente menores que as demais coberturas.

Tabela 2 - Valores médios horários do Índice de Temperatura e Umidade (ITU) para todos os tratamentos. Cobertura com telhas cerâmicas – C1; Cobertura com telhas de alumínio – C2; Cobertura com telhas de aço galvanizado – C3; Cobertura com telhas de fibrocimento – C4; Cobertura com telhas de aço galvanizado pintadas de branco – C5; Cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco – C6.

Hora	Coberturas					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
09:00	76,70 bC	77,19 aC	77,44 aC	77,12 aC	77,33 aC	76,29 cC
10:00	79,28 bB	79,65 aB	79,92 aB	79,37 bB	79,87 aB	78,52 cB
11:00	81,22 cA	81,14 cA	81,50 bA	80,97 cA	81,93 aA	80,29 dA
12:00	82,20 bA	81,84 bA	82,20 bA	81,50 cA	82,69 aA	80,98 dA
13:00	82,50 bA	82,15 bA	82,47 bA	81,70 cA	83,02 aA	81,19 dA
14:00	82,85 bA	82,65 bA	82,76 bA	82,27 cA	83,60 aA	81,62 dA
15:00	82,76 bA	82,53 bA	82,58 bA	82,29 bA	83,45 aA	81,48 cA
16:00	81,20 bA	80,99 bA	81,25 bA	80,84 bA	81,71 aA	80,19 cA
Média	81,09	81,02	81,27	80,76	81,70	80,07

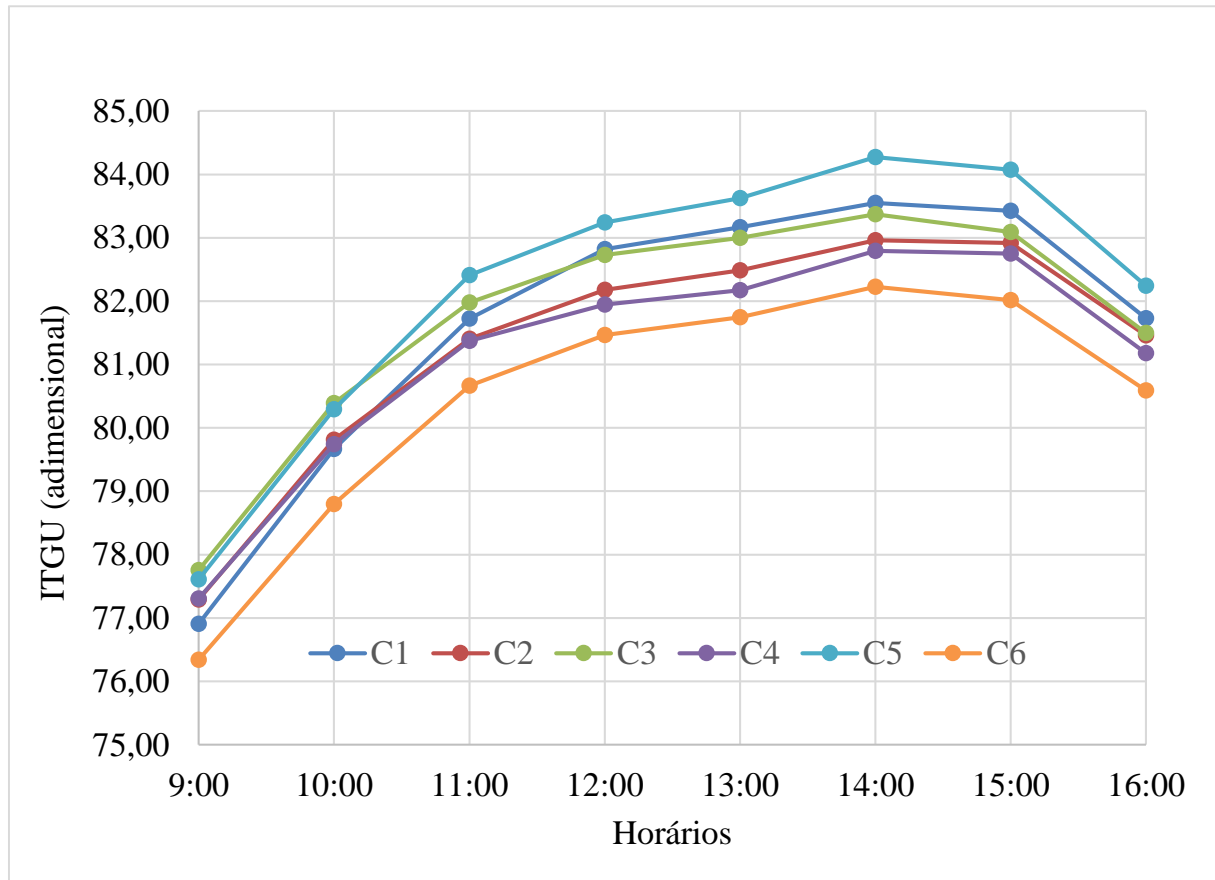
** As médias seguidas por mesma letra minúscula nas linhas e as médias seguidas por mesma letra maiúscula nas colunas não diferem entre si, ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste Scott-Knott.

De acordo com o que se observa na Figura 2, a cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco (C6) foi a que apresentou os menores valores para ITGU, independente do horário. Outra importante observação é que a cobertura C2 (telhas de alumínio) apresentou índices menores que a cobertura C1 (telhas cerâmicas), notadamente após às 10:30 horas, em média. O mesmo foi constatado por Silva et al. (2015), que obtiveram uma média para as telhas de alumínio de 78,44 e para telhas cerâmicas de 78,75, sendo favorável a utilização da telha de alumínio.

Observando as curvas da Figura 2 e os dados da Tabela 1, depreende-se que o tratamento com telhas cerâmicas (C1) apresentou valores de índices térmicos maiores que o tratamento com telhas onduladas de fibrocimento (C4), o que não foi relatado em outros estudos como por exemplo em Rocha et al. (2010), Sampaio et al. (2011) e Silva et al. (2015). Isso pode ter ocorrido devido a uma pré-higienização que foi realizada nas telhas utilizadas no tratamento C4. Todos os materiais utilizados neste estudo estavam em condições semelhantes de uso, porém, durante a limpeza das telhas de fibrocimento, observou-se alteração na textura e cor, tornando-as esbranquiçadas.

Sobre os tratamentos com as pinturas na cor branca, pode-se observar resultados distintos. Para a telha de aço galvanizado a pintura não foi favorável para a redução do ITGU, porém, para a telha ondulada de fibrocimento, verificou-se que a pintura proporcionou melhoria nas condições do ambiente, diminuindo o valor do ITGU.

Figura 2 - Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) médio para todos os dias de coleta em cada horário de observação.



Legenda: Cobertura com telhas cerâmicas (C1); Cobertura com telhas de alumínio (C2); Cobertura com telhas de aço galvanizado (C3); Cobertura com telhas de fibrocimento (C4); Cobertura com telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5); Cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco (C6).

De acordo com a Figura 2, nota-se que os resultados obtidos para o tratamento C5 (aço galvanizado pintadas de branco) forneceram maior desconforto que os do tratamento C3 (telhas de aço galvanizado), com maiores valores para os índices, exceto entre 9:00 e 10:00 horas. Sarmento et al. (2005), também constataram que a pintura externa não promoveu melhoria substancial na diminuição dos índices térmicos, apenas uma diminuição na temperatura da telha, o que isoladamente não influenciou nos índices.

Para o tratamento onde foi realizado a pintura das telhas onduladas de fibrocimento (C6), foi possível notar menores valores para os índices, havendo, assim, melhoria das condições ambientais internas, ao ser comparado com os demais tratamentos, porém estatisticamente igual a cobertura que contava apenas com as telhas de fibrocimento, sem a pintura na cor branca (C4). Resultado semelhante foi encontrado por Passini et al. (2013), que

observaram redução nos valores de ITGU de 78,0 para 77,5, quando realizada a pintura na cor branca das telhas de fibrocimento.

Ademais, pode se inferir, ainda, para as análises de ITGU (Tabela 1 e Figura 2), que apenas os tratamentos C1 e C6, no horário mais cedo de coleta, às 9:00 horas, se encontram dentro do limite de conforto térmico para aves entre 22 a 42 dias de idade. Conforme estabelecido por Medeiros et al. (2005), foi verificado que em um ITGU variando de 69 a 77, aves com idade entre 22 a 42 dias, se mostraram calmas, normalmente dispersas e altamente produtivas.

Porém, para as aves nas primeiras semanas de vida, Oliveira et al. (2006), consideram que o ideal para a produção de frangos é um ITGU variando na faixa de 77,0 a 81,3. Observando a Figura 2 e Tabela 1 é possível notar que às 10:00 horas, todas as coberturas se encontravam dentro da faixa de conforto térmico, entretanto, as coberturas C4 (telhas de fibrocimento) e C6 (telhas de fibrocimento pintadas de) foram os destaques, se mantendo mais vezes dentro da faixa de conforto (10:00, 11:00 e 16:00) para aves no início da vida.

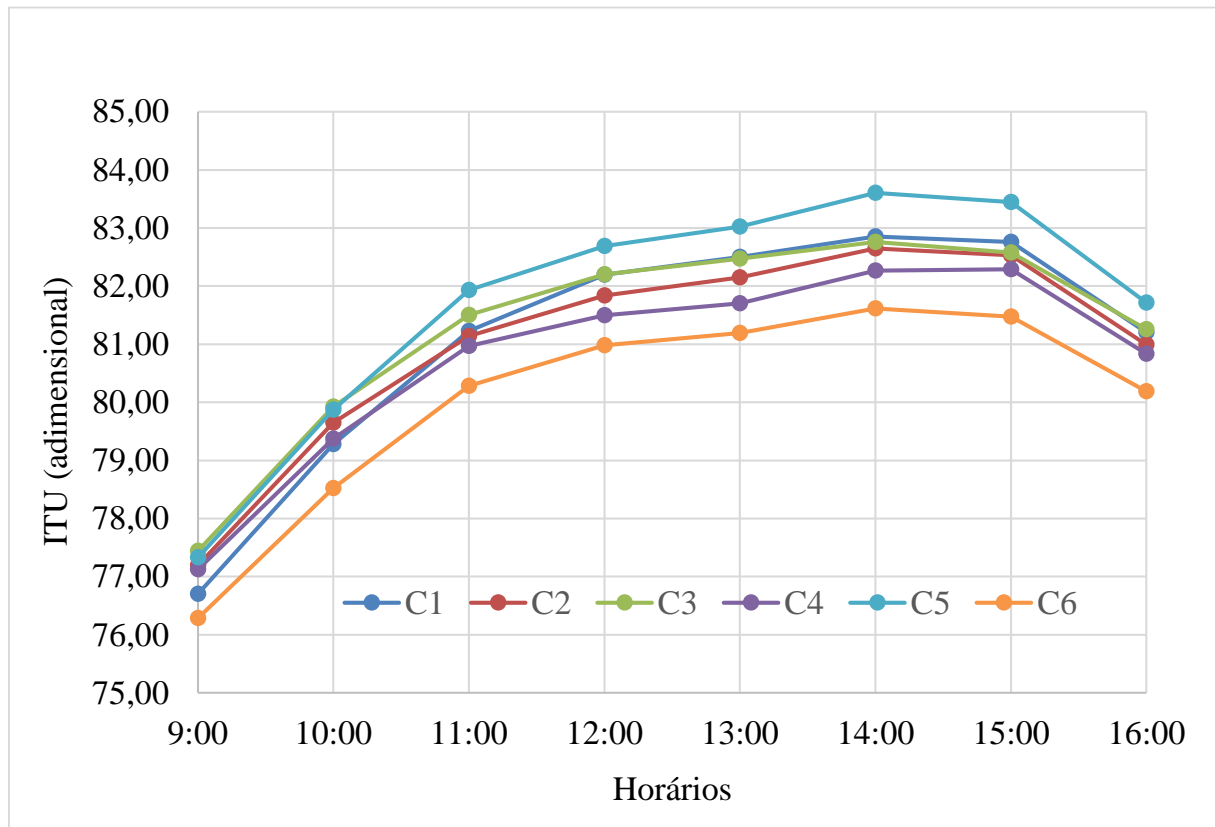
Observando novamente a Figura 2, ainda, nota-se que o ápice do ITGU em todos os tratamentos ocorreram às 14:00 horas, corroborado por outros autores, tais como Jácome et al. (2007), Rocha et al. (2010) e Passini et al. (2013). A Figura 2 demonstra que, a partir deste horário, o valor referente ao índice entra em declínio. Desta forma, depreende-se que o horário das 14:00 horas apresenta o maior nível de desconforto térmico, considerando-se instalações para aves.

Apesar do ITU se tratar de um índice que prediz com menor sensibilidade as condições de conforto térmico para o ambiente, ao comparado com o ITGU, fato constatado em outros estudos de ambiência animal (SANTOS et al., 2005; SAMPAIO et al., 2011), o índice de temperatura e umidade foi utilizado como meio de pesquisa pois a obtenção dos parâmetros embutidos em seu cálculo são mais fáceis de serem encontrados devido a utilização de equipamentos mais simples, viabilizando qualquer aviário a ter instrumento para cálculo desse índice.

Analisando a Tabela 2 e a Figura 3, nota-se que, a partir das 11:00 horas em diante, o tratamento com telhas de alumínio (C2) apresentou valores inferiores para os índices de temperatura e umidade, se comparado com o tratamento com telhas cerâmicas (C1), fato não constatado por Sampaio et al. (2011), que encontraram valores menores de ITU para as telhas

cerâmicas. Porém, Silva et al. (2015) mostram que o valor médio encontrado para telhas de alumínio foi de 77,49, enquanto que para telhas cerâmicas foi de 77,51, similar ao encontrado no presente trabalho, no qual as respectivas médias foram de 81,01 e 81,09, alumínio e cerâmica, respectivamente.

Figura 3 - Índice de Temperatura e Umidade (ITU) médio para todos os dias de coleta em cada horário de observação.



Legenda: Cobertura com telhas cerâmicas – C1; Cobertura com telhas de alumínio – C2; Cobertura com telhas de aço galvanizado – C3; Cobertura com telhas de fibrocimento – C4; Cobertura com telhas de aço galvanizado pintadas de branco – C5; Cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco – C6.

Outro ponto em destaque, na Figura 3, assim como visto para o Índice de Temperatura de Globo e Umidade, foram os menores os valores encontrados para o tratamento C4 (telhas onduladas de fibrocimento) em relação ao tratamento C1 (telhas cerâmicas), a partir das 10:30 horas. Em Sampaio et al. (2011) e Silva et al. (2015) foram encontrados resultados inversos, enquanto que, em Fiorelli et al. (2009) a média do ITU nos dias analisados foram menores para o tratamento que possuía telhado de fibrocimento, em contrapartida à cobertura de telhas cerâmicas, sendo compatíveis com o encontrado no presente estudo.

Comparando-se o ITU obtido nos modelos cobertos com telhas de fibrocimento pintadas de branco (C6) e aquele observado no interior do modelo coberto com telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5), nota-se que as alterações foram semelhantes às ocorridas para o ITGU, porém com valores diferentes, assim como esperado. Além disso, também se evidencia que a pintura da cobertura de fibrocimento proporcionou médias diárias menores, se comparado com aqueles cobertos com telhas cerâmicas, corroborando com os resultados de Conceição et al. (2008).

Utilizando os valores propostos por Abreu e Abreu (2001) para as faixas de conforto térmico em função da idade das aves de corte, constata-se que apenas no horário das 9 às 10:00 horas, para todos tratamentos, as aves na primeira semana de vida estariam em situação de conforto térmico. Segundo os autores, o ITU varia de 72,4 a 80,0. Nos demais horários, todos os tratamentos obtiveram valores superiores aos limites de conforto para aves em fase de crescimento (independentemente da idade), proporcionando a mesma situação de desconforto térmico e conseqüente diminuição da produtividade, podendo chegar a letalidade.

Na Tabela 3, por se tratar de um índice caracteristicamente distinto dos demais, pois engloba neste caso a UR%, os resultados encontrados se diferenciaram, não sendo um padrão a H média menor ocorrer às 9:00 horas. Apesar disso, não houve diferença significativa das coberturas neste horário, conforme observado.

Tabela 3 - Valores médios horários de Entalpia (H) para todos os tratamentos. Cobertura com telhas cerâmicas – C1; Cobertura com telhas de alumínio – C2; Cobertura com telhas de aço galvanizado – C3; Cobertura com telhas de fibrocimento – C4; Cobertura com telhas de aço galvanizado pintadas de branco – C5; Cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco – C6.

Hora	Coberturas					
	C1	C2	C3	C4	C5	C6
09:00	65,31 aC	65,09 aC	69,20 aA	66,81 aB	66,32 aB	66,54 aA
10:00	71,18 aB	71,51 aB	69,58 aA	72,64 aA	73,05 aA	68,81 aA
11:00	74,58 aA	74,26 aA	64,95 bB	75,29 aA	76,46 aA	66,62 bA
12:00	75,84 aA	75,22 aA	61,63 bB	75,58 aA	76,76 aA	63,88 bB
13:00	75,93 aA	75,17 aA	58,90 bC	75,23 aA	76,22 aA	61,32 bB
14:00	76,16 aA	75,48 aA	54,72 bD	75,35 aA	75,74 aA	56,63 bC
15:00	75,58 aA	74,57 aA	52,93 bD	74,24 aA	74,33 aA	53,54 bC
16:00	72,16 aB	70,57 aB	52,51 bD	69,96 aB	69,85 aB	52,62 bC
Média	73,34	72,73	60,55	73,14	73,59	61,25

** 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.

Na tabela acima são apresentados os resultados médios dos horários dentro de cada cobertura analisada para a entalpia (H). O tratamento C3, modelo coberto com telhas de aço galvanizado, apresentou a maior variação do valor de H, aproximadamente $17,06 \text{ kJ kg}^{-1}$. Segundo Guimarães et al. (2014), ambientes com amplitude térmica muito alta comprometem o desempenho das aves, pois as mesmas têm que se adaptar às variações em um curto espaço de tempo, comprometendo a manutenção dos seus índices fisiológicos. Analisando por esta questão, o tratamento C4, modelo coberto com telhas onduladas de fibrocimento, apresentou a menor variação de amplitude, por volta de $8,77 \text{ kJ kg}^{-1}$, sendo o tratamento que menos compromete o desempenho das aves.

Os maiores valores de H ocorreram em horários distintos para cada tratamento. Nos modelos cobertos com telhas cerâmicas (C1) e telhas de alumínio (C2) o maior valor de entalpia ocorreu às 14:00 horas, são considerados estatisticamente iguais entre as 11 e 15:00 horas. Enquanto para as coberturas telhas de fibrocimento (C4) e de aço galvanizado pintadas de branco (C5) o maior valor foi encontrado às 12:00 horas. Para os modelos cobertos com telhas de aço galvanizado (C3) e de fibrocimento pintadas de branco (C6) os maiores valores foram observados pontualmente às 10:00 horas, apesar de serem estatisticamente iguais entre 10 e 15:00 horas.

A maior entalpia média foi encontrada para o tratamento com telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5), seguida pelo tratamento com telhas cerâmicas (C1), telhas onduladas de fibrocimento (C4) e telhas de alumínio (C2). O tratamento que apresentou menor entalpia média diária foi o de telhas de aço galvanizado (C3), seguido pelo de telhas onduladas de fibrocimento pintadas de branco (C6). Conseqüentemente, os modelos com essas coberturas apresentaram, pontualmente, picos de valores às 10:00 horas.

Barbosa Filho et al. (2007) desenvolveram tabelas de Entalpia baseadas nas semanas de vida das aves para auxiliar no monitoramento do ambiente interno de galpões de criação de frangos de corte. Seguindo as faixas de conforto desenvolvidas pelos pesquisadores, pode-se observar que em nenhum dos horários coletados a H se encaixa na faixa de conforto para aves na primeira semana de vida, que varia de $77,0$ à $88,3 \text{ kJ kg}^{-1}$. Para a segunda semana de vida a faixa de conforto varia de $66,9$ a $77,0 \text{ kJ kg}^{-1}$, estando os tratamentos C1 (cerâmicas), C2 (alumínio), C4 (fibrocimento) e C5 (aço galvanizado pintadas de branco) em conforto térmico das 10:00 às 16:00 horas.

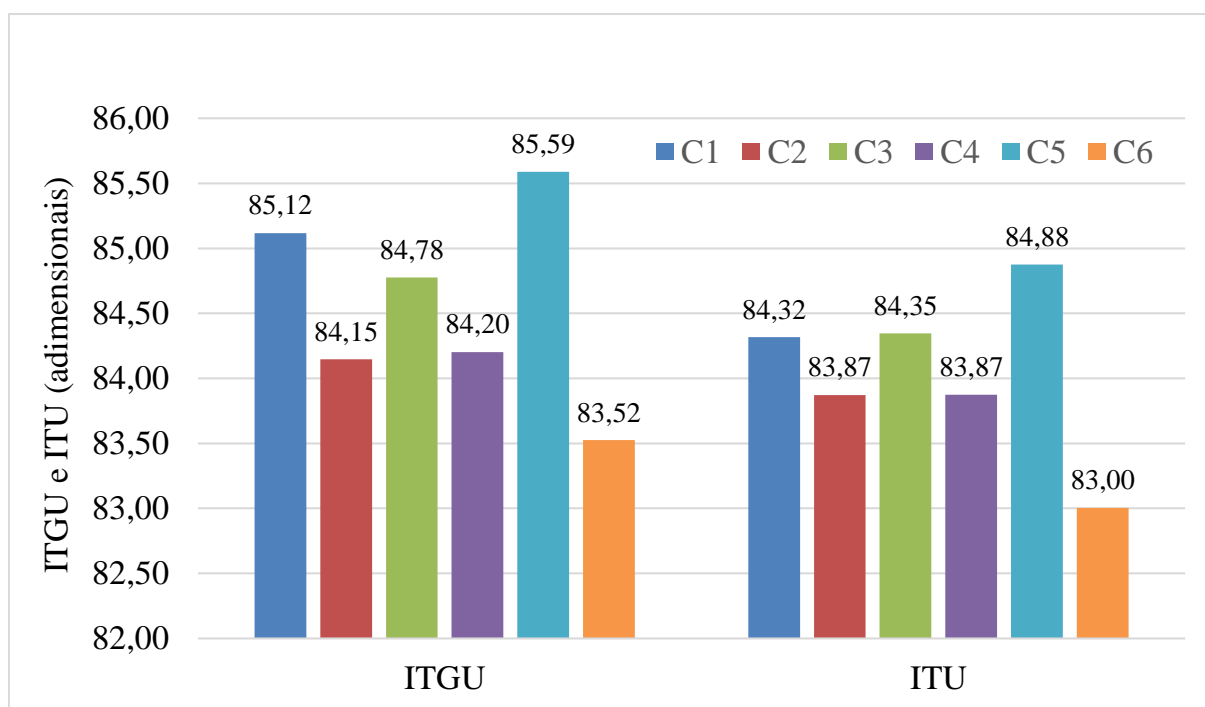
De acordo com os resultados, o tratamento C3 (aço galvanizado) apresentou situação de conforto térmico entre 09 e 10:00 horas e o tratamento C6 (fibrocimento pintadas de branco) apenas às 10:00 horas. Na terceira semana de vida a faixa de conforto varia de 57,7 a 66,9 kJ kg⁻¹, estando as coberturas de telhas cerâmica, alumínio, fibrocimento e aço galvanizado pintadas de branco dentro da faixa de conforto apenas às 09:00 horas. As coberturas de aço galvanizado e fibrocimento pintadas de branco em situação de conforto térmico das 11 às 13:00 horas. Nos horários das 14 às 16:00 horas, os tratamentos C3 e C6 permaneciam na faixa de conforto térmico para frangos na quarta semana de vida, que varia de 49,5 a 57,7 kJ kg⁻¹, os demais tratamentos não apresentaram situação de conforto para essa idade. Frangos nas duas últimas semanas de vida não se encontrariam em conforto térmico nas instalações analisadas.

Em se tratando da média diária também presente na Tabela 3, verificou-se que os tratamentos C1, C2, C4 e C5 se encontraram dentro da faixa de conforto térmico para Entalpia para as aves com duas semanas de vida. O mesmo foi observado por Akamine e Passini (2017) analisando protótipos com telhas de alumínio, cuja média de entalpia foi de 67,11 kJ kg⁻¹. Para os tratamentos C3 e C6, a média da entalpia apresentou situação de conforto térmico apenas para aves com idade de três semanas, assim como constatado por Fonseca et al. (2011), utilizando protótipo com telhas de aço galvanizado, que obtiveram uma média de 66,90 kJ kg⁻¹.

A Figura 4 foi desenvolvida utilizando o dia de maior entalpia entre os nove dias coletados, no qual a média foi de 74,72 kJ kg⁻¹, o que segundo as tabelas de Entalpia, de Barbosa Filho et al. (2007), é considerado um ambiente desconfortável para a maioria das idades dos frangos de corte, exceto os que possuem duas semanas de vida. Os índices do ambiente térmico foram observados para o dia de maior entalpia, pois é neste dia que ocorrem as maiores temperaturas, sendo o dia mais crítico em se tratando do ambiente térmico.

Comparando o ITGU e o ITU para o dia de maior entalpia (Figura 4) com o ITGU médio (Tabela 1 e Figura 2) e ITU médio (Tabela 2 e Figura 3) é notável que os valores obtidos para todas as coberturas foram superiores no dia de maior entalpia e a variação na média dos índices apresentou um aumento mínimo de 2,83 no tratamento C2 (telhas de alumínio) para o ITGU. Os demais tratamentos obtiveram variações ainda maiores, em ambos os índices, confirmando que o dia de maior entalpia está relacionado com o de maior desconforto térmico.

Figura 4 - ITGU (Índice de Temperatura de Globo e Umidade - adimensional) e ITU (Índice de Temperatura e Umidade - adimensional) médios de todos os tratamentos para o dia de maior entalpia (H).



Legenda: Cobertura com telhas cerâmicas (C1); Cobertura com telhas de alumínio (C2); Cobertura com telhas de aço galvanizado (C3); Cobertura com telhas de fibrocimento (C4); Cobertura com telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5); Cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco (C6).

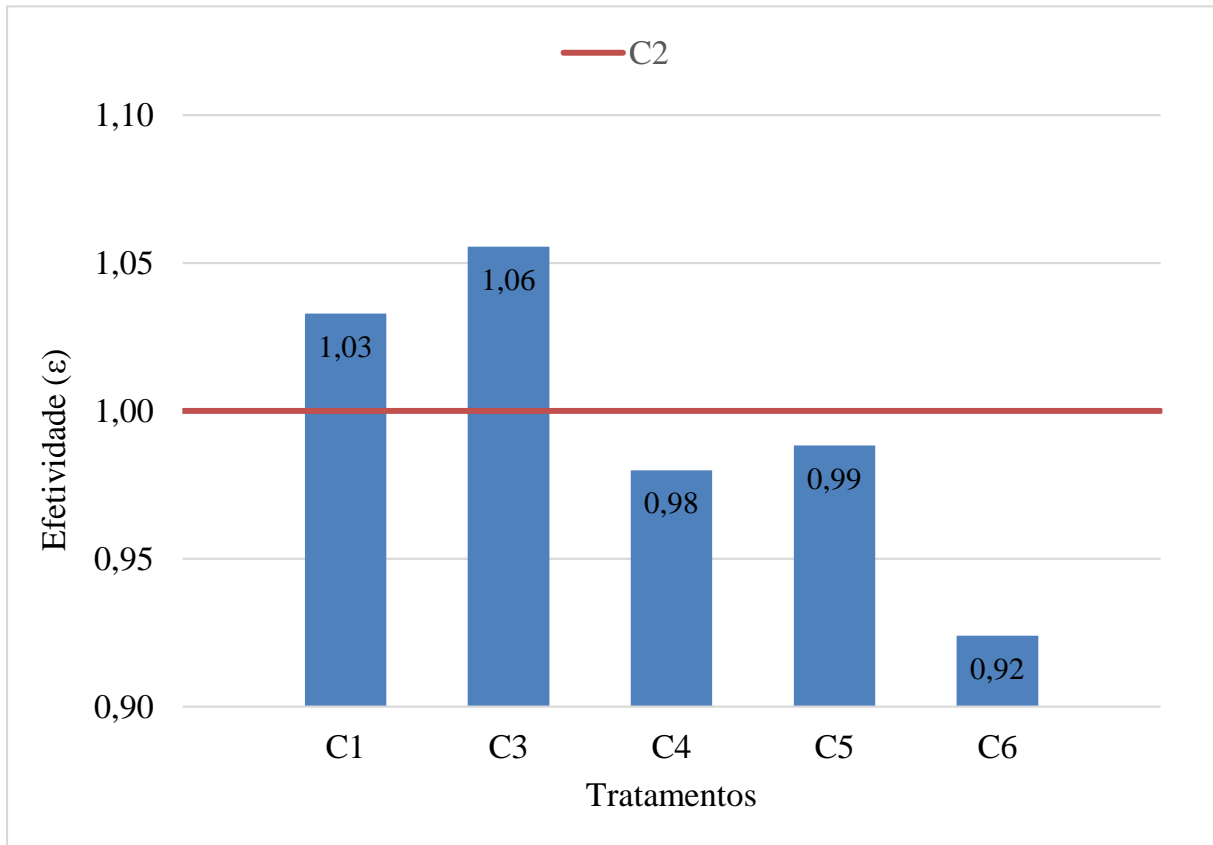
Destaca-se ainda na Figura 4, que o tratamento mais eficiente, no que se refere ao conforto térmico, continuou sendo o protótipo coberto por telhas onduladas de fibrocimento pintadas de branco (C6) e o mais desconfortável o que possuía telhas de aço galvanizado pintadas de branco (C5), para ambos os índices.

Na Figura 5 observa-se os valores médios da efetividade térmica para todos os tratamentos, determinada com base nos resultados do Índice de Temperatura do Globo e Umidade. Diferentemente do que foi encontrado para os índices discutidos anteriormente, a interação entre os fatores cobertura e horário realizada para a Efetividade (ϵ) não foi significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste “F”, constatando assim que os mesmos são independentes. Porém, analisando os efeitos principais, observou-se que não houve diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade, entre as efetividades médias descritas na Figura 5 considerando os horários mais quentes (12 às 15:00 horas).

Como preconizado na equação de efetividade, o tratamento C2 (telha de alumínio) foi utilizado como padrão, o qual possui efetividade térmica média igual a 1,00. Os tratamentos

que obtiveram valores maiores que 1,00 apresentaram melhor desempenho e os que obtiveram valores menores que 1,00 significaram pior desempenho, em relação ao tratamento coberto por telhas de alumínio (CARDOSO et al., 2011).

Figura 5 - Efetividade (adimensional) média das coberturas para os horários mais quentes (12 às 15:00 horas).



Legenda: Cobertura com telhas cerâmicas – C1; Cobertura com telhas de alumínio – C2; Cobertura com telhas de aço galvanizado – C3; Cobertura com telhas de fibrocimento – C4; Cobertura com telhas de aço galvanizado pintadas de branco – C5; Cobertura com telhas de fibrocimento pintadas de branco – C6.

Seguindo esse raciocínio, de acordo com a Figura 5, observa-se que os tratamentos com telhas cerâmicas e telhas de aço galvanizado apresentaram os melhores desempenhos, sendo a primeira 3% mais efetiva do que as telhas de alumínio e a segunda 6% mais efetiva. Assim, também, se verifica que as coberturas C5, C4 e C6 apresentam, respectivamente, 1%, 2% e 8% menos efetividade em inércia térmica ao se comparar com C2. Em se tratando do resultado da pintura externa das telhas, foi possível constatar que os dois tratamentos submetidos a essa mudança apresentaram pioras no desempenho efetivo.

Silva et al. (2015) também pesquisaram sobre a efetividade térmica de diferentes materiais de cobertura. Em seus resultados foram constatados que as telhas onduladas de

fibrocimento apresentaram resultados semelhantes ao estudo em questão, sendo a cobertura que apresentou pior desempenho em se tratando da efetividade térmica. Porém, as telhas cerâmicas apresentaram características diferentes, obtendo resultados inferiores aos encontrados para as telhas de alumínio.

No estudo realizado por Ferreira Júnior et al. (2009), as telhas onduladas de fibrocimento apresentaram resultados divergentes aos encontrados neste estudo, sendo mais efetivas que as telhas de alumínio. Confrontando os resultados obtidos para as telhas cerâmicas, Santos et al. (2005) encontram valores semelhantes a esta pesquisa, sendo a variação do tratamento cerâmico de 2 a 8% mais efetivo que o tratamento testemunha.

CONCLUSÕES

Ao se avaliar o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) e o Índice de Temperatura e Umidade (ITU), conclui-se que a pintura reflexiva na cor branca das telhas onduladas de fibrocimento apresentou um efeito satisfatório na redução dos índices do ambiente térmico no interior dos modelos, quando comparado ao protótipo que possuía as telhas onduladas de fibrocimento sem a pintura. O mesmo não pode ser concluído para as telhas de aço galvanizado, que não apresentaram melhorias das condições térmicas após a pintura.

Em relação às faixas de conforto térmico, conclui-se que por serem dependentes da idade das aves, existe uma variação das melhores opções para cobertura, porém, o tratamento que se encaixou mais vezes nas faixas de conforto dos índices térmicos foi o que possuía telhas onduladas de fibrocimento pintadas de branco, o que confirma também a melhora proporcionada pela pintura reflexiva.

Levando em consideração a entalpia, pode-se concluir que a cobertura com telhas de aço galvanizado proporciona maior amplitude térmica, o que compromete o desempenho das aves.

Por fim, ao se tratar da efetividade, os tratamentos que obtiveram a maior eficiência térmica foram os que possuíam telhas cerâmicas e aço galvanizado, as quais para os demais índices foram taxadas com desempenhos inferiores. Conclui-se também que os tratamentos submetidos à pintura tiveram suas efetividades reduzidas.

REFERÊNCIAS

- ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. Diagnóstico bioclimático para a produção de aves no Oeste paranaense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: UNIOESTE/SBEA, 2001. 1 CD-ROM.
- AKAMINE, L. A.; PASSINI, R. Índices de conforto térmico para aves em modelos reduzidos com diferentes coberturas. **Revista Espacios**, v.38, p.7, 2017.
- ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. American Society of Agricultural Engineers Michigan, Michigan, 453p, 1990.
- BARBOSA FILHO, J.A.D.; VIEIRA, F.M.C.; GARCIA, D.B.; SILVA, M.A.N.; SILVA, I.J.O. **Mudanças e uso das Tabelas de Entalpia**. Piracicaba, 2007. Disponível em: <<http://www.nupea.esalq.usp.br/pagina/frangos-de-corte/11>>. Acesso em: 09 jul. 2020.
- BUFFINGTON, D.E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.3, p.711-714, 1981.
- CARDOSO, A. S.; BAETA, F. C.; TINÔCO, I. F. F.; CARDOSO, V. A. S. Coberturas com materiais alternativos de instalações de produção animal com vistas ao conforto térmico. **Engenharia na Agricultura**, v.19, p.404-421, 2011.
- CONCEIÇÃO, M. N.; ALVES, S. P.; TELATIN JÚNIOR, A.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S.; SAVASTANO JÚNIOR, 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**, Campina Grande, v.12, p.536-539, 2008.
- DA SILVA, T. G. F.; SANTOS, G. C. L.; DUARTE, A. M. C.; TURCO, S. H. N.; CRUZ NETO, J. F. D.; JARDIM, A. M. D. R. F.; DOS SANTOS, T. S. Black globe temperature from meteorological data and a bioclimatic analysis of the Brazilian Northeast for Saanen goats. **Journal of Thermal Biology**, v. 85, n. 102408, 2019.
- ESTADOS UNIDOS. Department of Agriculture. **USDA.gov - United States Department of Agriculture**. Atualização: 15 de maio, 2020.
- FERREIRA JÚNIOR, L. G.; YANAGI JÚNIOR, T.; DAMASCENO, F. A.; SILVA, E.; SILVA, G. C. A. Ambiente térmico no interior de modelos físicos de galpões avícolas equipados com câmaras de ventilação natural e artificial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.17, n. ????, 2009. DOI: 10.13083/1414-3984.v17n03a01
- FIORELLI, J. I.; MORCELI1, J. A. B.; VAZ, R. I.; DIAS, A. A. Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Jaboticabal, v.13, p.204-209, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662009000200015>
- 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, p.1044-1051, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162011000600002>

FOŘT, J.; ŠÁL, J.; KOČÍ, J.; ČERNÝ, R. Energy efficiency of novel interior surface layer with improved thermal characteristics and its effect on hygrothermal performance of contemporary building envelopes. **Energies**, v.13, n.8, 2020.

GUIMARÃES, M.C.C.; FURTADO, D.A.; NASCIMENTO, J.W.B.; TOTA, L.C.A.; SILVA, C.M.; LOPES, K.B.P. Efeito da estação do ano sobre o desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.18, n.2, p.231-237, 2014.

JÁCOME, I. M. T. D.; FURTADO, D. A.; LEAL, A. F.; SILVA, J. H. V.; MOURA, J. F. P. 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. ????? p.527-531, 2007. [http:// dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000500013](http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000500013)

OLIVEIRA JÚNIOR, A. J.; SOUZA, S. J. L.; BARROS, Z. X.; SARTORI, M. M. P.; FRANCO, L. V. Índice de desconforto e índice de temperatura efetiva: Uma implementação para smartphones e tablets. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.30, n.2, p.155-163, 2015.

KELLY, C. F., BOND, T. E. **Bioclimatic factors and their measurement**. In: National Academy of Sciences. A guide to environmental research on animals. Washington: IAS, 1971.

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.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v.13. n.4, 277-286, Out/Dez., 2005.

MORAES, S. R. P.; TINÔCO, I. F.; BAÊTA, F. C.; CECON, P. R. 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.

MUSHORE, T. D. et al. 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, p. 138–148, 2019.

OLIVEIRA, R. F. M. de; DONZELE, J. L.; ABREU, M. L. T. de; FERREIRA, R. A.; VAZ, R. G. M. V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 797-803, 2006.

PASSINI, R.; ARAÚJO, M. A. G.; YASUDA, V. M.; ALMEIDA, E. A. Intervenção ambiental na cobertura e ventilação artificial sobre índices de conforto para aves de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, p.333-338, 2013.

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

ROCHA, H. P.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B. DO; SILVA, J. H. V. Índices bioclimáticos e produtivos em diferentes galpões avícolas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.????, p.1330-1336, 2010.

SAMPAIO, C.A.P.; CARDOSO, C.O.; SOUZA, G.P.; GEOVANI P. **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.; 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**, Jaboticabal, v.25, n.3, p.575 -584, 2005.

SARMENTO, L. G. V.; DANTAS, R. T.; FURTADO, D. A.; NASCIMENTO, J. W. B.; SILVA, J. H. V. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. **Revista Agropecuária Técnica**, v.26, n.2, p.152-159, 2005.

SILVA, K. C. P.; CAMPOS, A. T.; YANAGI JÚNIOR, T.; CECCHIN, D.; LOURENÇONI, D.; FERREIRA, J. C. Reaproveitamento de resíduos de embalagens Tetra Pak em coberturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.1, p.58-63, 2015.

SILVA, T. P. N.; PANDORFI, H.; GUISELINI, C.; ALMEIDA, G. L. P.; GOMES, N. F. Tipologia de instalações avícolas na região agreste de Pernambuco. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.35, n.4, p.789-799, 2015.

SILVA, W.L; CHOQUE, N.M.S. Desenvolvimento de sistema de aquisição de dados usando a placa arduino uno e o software ni-labview. **Revista Desafios**, v.03, n. Especial, 2017.

STAUB, L.; MOARES, M. D. G.; SANTOS, M. G.; KOMIYAMA, C. M.; GONÇALVES, N. S.; FERNANDES JÚNIOR, R. B.; TON, A. P. S.; ROQUE, F. A. Ambiência interna e externa em galpão de frangos de corte nas diferentes épocas do ano e fases de criação. **Nativa**, Sinop, v.4, n.3, p.128-133, 2016.

VALADARES, L. R.; MOREIRA, J.; DALÓLIO, F. S.; GUIMARÃES, M. C. C.; TINÔCO, I. F. F.; VAZ, D. P.; LIMA, H. J. A.; ALBINO, L. F. T. Effect of roof painting of aviaries on thermal comfort, productive performance and physiological variables of broilers chickens. **Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.**, Salvador, v.19, n.3, p.336-346, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/S1519-99402018000300010>

VALIN JÚNIOR, M. O.; SANTOS, F. M. M.; MARQUES, J. B.; RIBEIRO, K. F. A. Sensores termo higrométricos: Procedimentos para montagem e calibração. **Cientific@ Multidisciplinary Journal**, v.6, n.1, p.134-146, 2019.