

VI CONGRESSO IBÉRICO de Agro-Engenharia

5 a 7 de Setembro | 2011
Universidade de Évora | Portugal



Avaliação da temperatura superficial de telhas por termografia

P.G. de Abreu¹, V.M.N. Abreu¹, A. Coldebella¹, L.S. Lopes¹, V. da Conceição², I.L. Tomazelli³

¹ Embrapa Suínos e Aves, BR 153, KM 110, CEP 89700-000 Concórdia, SC, Brasil. E-mail: pabreu@cnpso.embrapa.br

² Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade do Contestado (UnC), Coimórdia, SC. Bolsista CNPq. E-mail: vanessaaa03@hotmail.com

³ Graduanda em Ciências Biológicas, Universidade do Contestado – UnC, Concórdia, SC. E-mail: ina_lt@yahoo.com.br

Resumo

Objetivou-se realizar imagens termográficas da superfície de telhas, visando avaliar a temperatura superficial das mesmas. Os tratamentos avaliados constituíram-se de: T1 –Telha Coppo Venneto Ondulada Cinza; T2 - Telha Coppo Venneto Ondulada Marfim; T3 – Telha Plana Marfim; T4 - Telha Plana Cinza; T5 - Telha de Barro Colonial esmaltada; T6 – Telha Ondulada de Cimento Amianto e T7 – Telha de Barro Francesa. Cada unidade experimental foi composta por três telhas sobreposta uma sobre a outra, exceto no tratamento de telha ondulada de cimento amianto. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições. Os dados coletados em cada horário foram analisados por meio do modelo de medidas repetidas, utilizando o procedimento MIXED do SAS. As temperaturas da superfície inferior das telhas foram muito parecidas ao longo do dia. As telhas com coloração marfim obtiveram melhores valores de temperatura superior e inferior que as telhas com coloração cinza nas respectivas categorias. A telha de barro colonial obteve maior temperatura da superfície inferior que as demais telhas.

Palavras Chave: ambiência animal, conforto térmico, tipos de cobertura, telhado

Evaluation of tile surface temperature by thermography

Abstract

The target was to get thermographic images from the surface of roof tiles to evaluate their temperatures. The evaluated treatments were: T1 – grey Coppo Venneto wave tiles ; T2 -Ivory-colored Coppo Venneto wave tiles; T3 – Ivory- colored, plain tile; T4 – plain, grey roof tile; T5 - glazed clay colonial tile; T6 – Asbestos wave tile T7 – French Clay Tiles . Each treatment was made up of three tiles which were piled one top of the other, except for the asbestos tiles. The experimental outlining was in randomized blocks with three repetitions. The data which were collected in each set time were analyzed through the repetitive measure model, using the MIXED procedure - SAS. The temperatures of the inferior surface of the tiles were very similar throughout the day. The ivory colored tiles had better superior and inferior temperature than the grey-colored ones in their respective category. The glazed, clay colonial tile presented a larger temperature inferior surface temperature than the other tiles.

Key words: animal well-being, thermal comfort, types of roof coverage, roofs

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, país de clima tropical com temperaturas elevadas de verão e intensa radiação, os materiais a serem utilizados para a confecção das coberturas devem permitir bom isolamento térmico para que o ambiente interno das instalações seja menos influenciável pela variação climática (Abreu et al. 2001).

As limitações para obtenção de altos índices zootécnicos no Brasil decorrem do alojamento em ambientes com clima quente, de animais geneticamente desenvolvidos em climas mais amenos, em condições ou conceitos provenientes deste clima, daí a necessidade de se ter instalações adaptadas, com características construtivas que garantam o máximo possível de conforto, permitindo ao animal abrigado desenvolver todo o seu potencial genético (Fiorelli et al., 2009).

Para Turnpenny et al. (2000) em instalações de animais, o telhado tem um papel primário na determinação das trocas térmicas dos animais, principalmente em regiões com clima quente.

Assim, o telhado das instalações tem sido o elemento mais importante a ser considerado para se promover o conforto térmico dos animais em regiões de clima quente. Em algumas regiões do mundo tem sido utilizada como elemento para reduzir o ganho de calor total da telha e provendo um efeito refrescante para as instalações (Faghieh & Bahadori, 2009).

O telhado dispõe de condições para resfriar as instalações, mas se esse não executa bem essa função, pode apresentar problemas enormes às instalações. Esse é o elemento da instalação que é mais exposto ao céu e quase metade do calor ganho é através dele. Por outro lado, o telhado abre uma gama extensiva de possibilidades para dissipar o calor da instalação (Tang & Etzion, 2005).

Em regiões com clima quente, alta resistência térmica nas horas mais quente do dia pode reduzir o efeito da radiação solar, mas aumentando a resistência térmica poderá reduzir a transferência de calor do telhado no período noturno que é mais fresco (Liberati & Zappavigna, 2007).

Uma baixa temperatura superficial do telhado leva a uma baixa condução de calor para o interior da instalação (Akbari et al., 2005). A energia solar absorvida causa aumento da temperatura do telhado em comparação com a temperatura do ar ambiente (Faghieh & Bahadori, 2010)

A utilização de materiais refletivos à radiação solar traz benefícios econômicos por permitir a redução do ganho de calor pelos telhados pois uma cobertura exposta ao sol atua como um coletor de energia solar (Wray & Akbari, 2008).

O material ideal para a telha deve atender as recomendações onde, a superfície superior tenha alta refletividade solar e alta emissividade térmica e a superfície inferior tenha baixa refletividade solar e baixa emissividade térmica (Abreu et al., 2001).

D'Orazio et al. (2010) mostraram que o aumento da densidade de isolamento do telhado, reduz as estratégias tradicionais de resfriamento artificial no interior das instalações.

A cobertura mais utilizada nas instalações avícolas brasileiras é a de cimento-amianto, por apresentar facilidades de instalação, manutenção e limpeza, além do custo inferior, quando comparada com telhas de barro e alumínio (Moraes et al., 1999). Essas ainda podem ser associadas a outros métodos para diminuir a temperatura dentro da instalação, tais como pintura reflexiva e aspersão na face externa.

Melhorias adicionais no ambiente térmico interno de instalações podem ser conseguidas com associação das coberturas tradicionais com materiais isolantes, reflexivos e/ou de grande inércia térmica, uso de forros variados sob a cobertura e pintura com pigmentos isolantes e/ou reflexivos sobre e/ou sob as telhas (Moraes et al., 1999).

Pelo exposto, objetivou-se realizar imagens termográficas da superfície de telhas, visando avaliar a temperatura superficial das mesmas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Centro Nacional de Pesquisa em Suínos e Aves (CNPSA-EMBRAPA) – Concórdia, SC que se encontra na latitude de 27° 18' 51,92"S e longitude de 51° 59' 44,48"W e à 538 m de altitude.

Os tratamentos avaliados constituíram-se de sete tipos de telhas, a saber: T1 –Telha Coppo Venneto Ondulada Cinza; T2 - Telha Coppo Venneto Ondulada Marfim; T3 – Telha Plana Marfim; T4 - Telha Plana Cinza; T5 - Telha de Barro Colonial esmaltada; T6 – Telha Ondulada de Cimento Amianto – 0,006 m e T7 – Telha de Barro Francesa.

As telhas Coppo onduladas eram de concreto com tamanho médio de 0,42 m x 0,33 m e peso de 4,9 kg e as Planas eram do mesmo material e tamanho, com peso de 5,10 kg.

As telhas foram colocadas ao ar livre, em estrutura de madeira em uma água com inclinação de 7° e distante do piso a um metro, voltada para o sul e orientada no sentido leste-oeste.

Cada unidade experimental foi composta por três telhas sobreposta uma sobre a outra, exceto no tratamento de telha ondulada de cimento amianto. O delineamento experimental foi em blocos casualizados com três repetições (Fig. 1).

Bloco 1							Bloco 2							Bloco 3						
T2	T3	T4	T1	T5	T6	T7	T5	T6	T7	T1	T4	T3	T2	T4	T6	T2	T7	T1	T5	T3

Figura 1. Esquema da distribuição dos tratamentos na unidade experimental

As imagens reais e termográficas das superfícies superior e inferior das telhas foram coletadas de três em três horas, de 0 a 24 horas por meio de um termovisor.

O termovisor (sensibilidade térmica < 0,1°C, emissividade térmica de 1 (globo negro ideal), espectro de -14µm) possuindo internamente câmara digital integrada, foi conectado a uma sonda de umidade e temperatura via rádio frequência RFID registrando os valores de temperatura ambiente.

O programa computacional Texto IRSoft, foi utilizado para traduzir o espectro de cores da medida da temperatura. A partir das imagens termográficas das telhas foram delineados os perímetros correspondentes e determinados os valores, máximo, mínimo e médio de temperatura da superfície inferior e superior (Fig. 2).

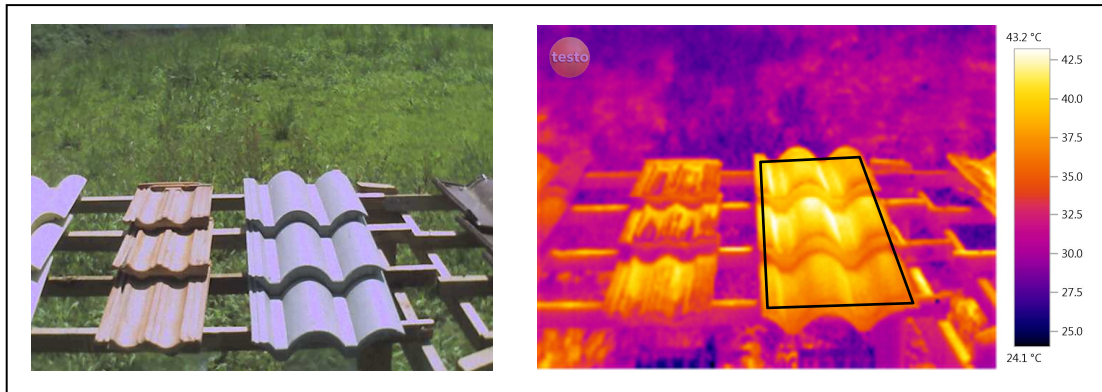


Figura 2. Imagem real e termográfica com o perímetro de medida das temperaturas

Os dados coletados em cada horário foram analisados por meio do modelo de medidas repetidas, utilizando o procedimento MIXED do SAS™, sendo testadas 15 estruturas de variância e covariância, escolhendo-se a que apresentou menor valor para o Critério de Informação de Akaike (AIC).

Foram testados os efeitos de bloco, tratamento (telhas), hora e a interação entre tratamento e hora. O desdobramento dos efeitos foi realizado por meio do teste t .

Para analisar os dados de temperaturas médias das telhas (superior e inferior) foi usada a análise harmônica, conforme Morettin & Tolo (2004), por meio do modelo (1):

$$y_t = \mu + R \cos(\omega t + \phi) + \varepsilon_t, \quad (1)$$

sendo: y_t o valor observado das variáveis no tempo t ; μ , a média; R , a amplitude; ϕ , o ângulo de fase; ω , a frequência, no caso fixa em $\pi/12$ e ε_t , a componente aleatória.

Para facilitar a estimação dos parâmetros do modelo (1), foi ajustado o modelo (2) equivalente a:

$$y_t = \mu + A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t) + \varepsilon_t, \quad (2)$$

sendo que:

$$R = \sqrt{A^2 + B^2} \text{ e } \phi = \arctg\left(-\frac{B}{A}\right) \quad (3)$$

No intuito de verificar o efeito dos tratamentos sobre os parâmetros μ , R e ϕ , as estimativas dos mesmos foram calculadas para cada unidade experimental. A partir dessas estimativas, foram avaliados os efeitos de bloco e tratamento sobre parâmetros μ , R e ϕ , utilizando-se a análise de variância, por meio do PROC GLM do SAS (2003). O desdobramento dos efeitos foi realizado por meio do teste t .

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A interação Tratamento×Hora foi significativa para todas as variáveis ($p < 0,05$).

A condição essencial para a transmissão de calor é que haja diferença de temperatura entre os meios, sendo denominado de gradiente de temperatura. O gradiente de temperatura indica o sentido do fluxo de calor. O sentido sempre vai ocorrer do maior para o menor valor. Se as

temperaturas dos meios forem iguais não há transferência de calor. Neste caso os meios estão em estado de equilíbrio.

Assim, na Fig. 3 o sentido do fluxo de calor foi negativo e ascendente, ou seja, da superfície inferior para a superior da telha, em todo o período, para todos os modelos de telha avaliados, exceto a telha de amianto no período de 15:00 e 18:00 horas. Isso significa que as telhas na superfície inferior aqueceram mais que na superfície superior.

No interior das telhas a transferência de calor ocorre por meio da condução realizada por contato entre as moléculas ou partículas das telhas. Para determinar a quantidade de calor transmitida é necessário conhecer coeficiente térmico de condução (K) e a espessura do material.

Às 15:00 horas a direção do fluxo de calor foi descendente para a telha de amianto. Esse fato é ruim para os sistemas de criação de aves e suínos uma vez que a energia térmica da superfície superior da telha é repassada para a superfície inferior da telha podendo elevar a temperatura interna da instalação nas horas de maior estresse de calor.

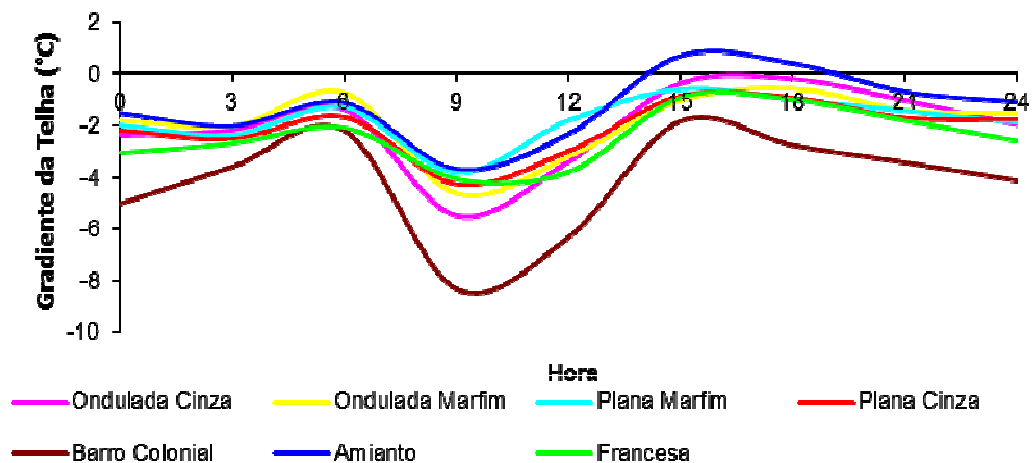


Figura 3. Gradiente de temperatura entre a superfície superior e inferior da telha ($G_t = T_s - T_i$). G_t = Gradiente da telha; T_s = Temperatura da superfície superior da telha; T_i = Temperatura da superfície inferior da telha

A transmissão do calor entre a telha e o ar ambiente tem efeito da movimentação do ar. O processo possui duas fases: na primeira o calor se transmite por contato ou por condução; na segunda, a alteração sofrida pela temperatura do ar modifica sua densidade fazendo com que tenha um movimento convectivo ascendente ou descendente.

O gradiente de temperatura médio superior entre o ar e a superfície superior da telha foi positivo em todos os modelos de telha entre nos horários de 00:00, 03:00, 06:00, 18:00 e 21:00 horas, mostrando que o sentido do fluxo de calor nesse período é do ar para a telha (Fig 4).

O gradiente de temperatura às 12:00 horas foi negativo para todas as telhas. Nesse horário, sendo o valor do gradiente negativo significa que o sentido do fluxo de calor foi da telha para o ar (Fig. 4).

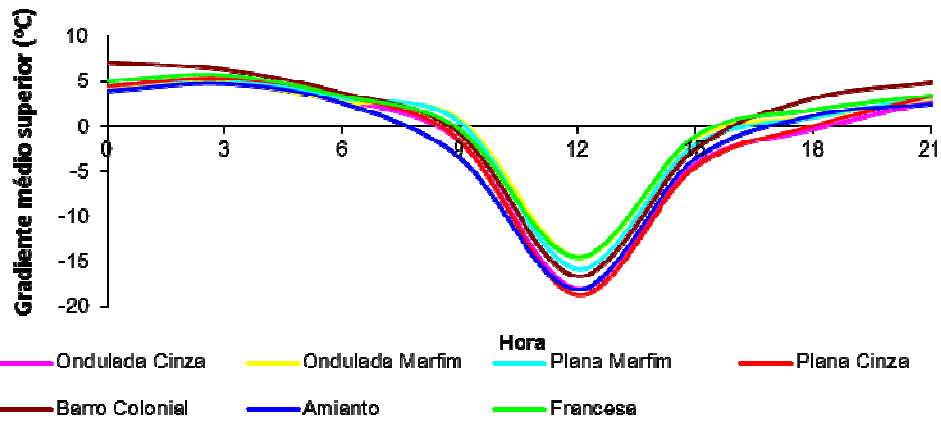


Figura 4. Gradiente médio da temperatura entre o ambiente e a temperatura média da superfície superior da telha. ($G_{meds} = T_a - T_s$). G_{meds} = gradiente médio superior; T_a = temperatura ambiente; T_s = temperatura da superfície superior da telha

Na superfície inferior das telhas os gradientes tiveram o mesmo comportamento cíclico sendo que às 12:00 horas apresentaram uma variação no valor (Fig. 5). Furtado et al. (2003) analisaram galpões cobertos com telha cerâmica e amianto e verificaram que os valores de carga térmica de radiação sob coberturas de telha de amianto são superiores aos de telha cerâmica.

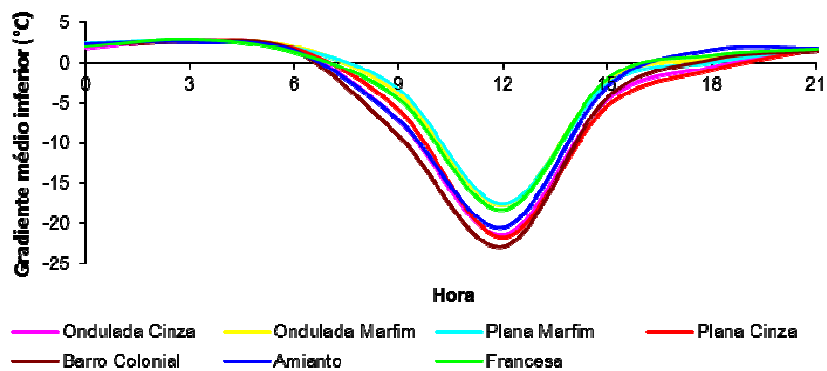


Figura 5. Gradiente médio da temperatura entre o ambiente e a temperatura média da superfície inferior da telha ($G_{medi} = T_a - T_i$). G_{medi} = gradiente médio inferior; T_a = temperatura ambiente; T_i = temperatura da superfície inferior da telha

Quando a energia radiante incide sobre um corpo ela é absorvida, refletida e transmitida (Fig. 6). A energia absorvida se transforma em energia térmica ou calor. No entanto, a radiação refletida e a transmitida não sofrem modificação alguma.

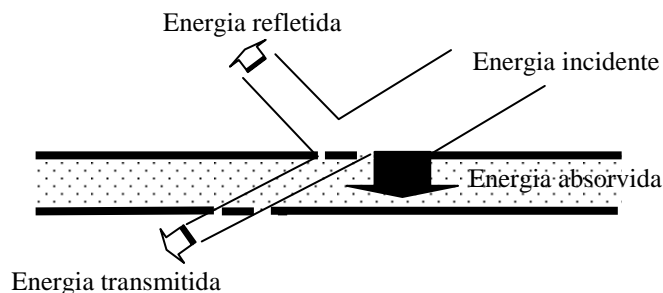


Figura 6. Transferência de calor em uma superfície

Na Tabela 1 verifica-se que houve efeito de tratamento para os três parâmetros, nas duas variáveis analisadas ($p < 0,05$).

Tabela 1. Níveis descritivos de probabilidade do teste F da análise da variância para os parâmetros μ , R e ϕ das temperaturas médias inferior e superior

Causa de Variação	Pr > F					
	Temperatura média inferior			Temperatura média superior		
	μ	R	ϕ	μ	R	ϕ
Bloco	0,6205	0,0003	0,0064	0,0145	<0,0001	0,0823
Tratamento	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

As telhas com coloração marfim obtiveram melhores valores de temperatura superior e inferior que as telhas com coloração cinza nas respectivas categorias. (Tabela 2).

Sarmento et al. (2005) avaliaram a influência da pintura externa do telhado sobre a temperatura da superfície interna da telha, o acondicionamento térmico do galpão e o desempenho produtivo de frangos de corte, em galpões cobertos com telha de fibrocimento e ventilação artificial, sendo um com as telhas pintadas de branco e o segundo na forma natural. Eles concluíram que as telhas pintadas de branco foram mais eficientes na redução da temperatura da superfície interna da cobertura.

A forma ondula ou plana não influenciou nos valores de temperatura das telhas.

A telha de barro colonial e a plana cinza obtiveram maiores amplitudes e a telha de barro a maior temperatura da superfície inferior que as demais telhas. As temperaturas médias da superfície superior das telhas ondulada cinza, plana cinza e amianto foram maiores que as demais telhas não havendo diferença significativa entre as mesmas.

Santos et al. (2002) analisaram coberturas com telhas de barro e alumínio, comumente utilizadas em instalações animais, para duas distintas alturas de pé-direito, em condições e concluíram que nas horas de frio mais intenso todas as coberturas causaram desconforto térmico e todos os protótipos tiveram Umidade Relativa acima do máximo tolerável para o conforto animal de inverno no Brasil.

As temperaturas da superfície inferior das telhas foram muito parecidas ao longo do dia (Fig. 7). Fiorelli et al. (2009) observaram aumento no valor da carga térmica de radiação ao longo do dia para todas as coberturas com telha de cerâmica, cerâmica pintada de branco, reciclada e fibrocimento, atingindo valor máximo às 14 h. Nos horários de 09:00, 12:00 e 15:00 horas todas as telhas apresentaram a temperatura média da superfície inferior maior que a temperatura ambiente. A partir das 15:00 horas a temperatura da superfície inferior das telhas diminuiu em relação a temperatura ambiente até às 06:00 horas.

Tabela 2. Médias e erros-padrão por tratamento e parâmetro para a temperatura média inferior e superior da telha

Parâmetro	Tratamentos						
	Ondulada Cinza	Ondulada Marfim	Plana Marfim	Plana Cinza	Barro Colonial	Amianto	Francesa
Temperatura média inferior							
μ	26,16±0,05 B	24,71±0,04 E	24,71±0,03 E	26,10±0,03 B	26,48±0,03 A	25,53±0,07 C	24,91±0,02 D
R	11,62±0,20 B	10,22±0,16 DE	10,35±0,10 D	11,95±0,11 A	11,96±0,09 A	10,87±0,09 C	10,11±0,07 E
ϕ	2,643±0,001 B	2,563±0,018 D	2,548±0,007 D	2,610±0,013 BC	2,715±0,015 A	2,698±0,026 A	2,603±0,015 C
Temperatura média superior							
μ	24,04±0,13 A	22,74±0,05 BC	22,90±0,17 B	23,95±0,12 A	22,21±0,37 D	24,23±0,19 A	22,44±0,14 CD
R	11,86±0,20 B	10,13±0,20 F	10,80±0,11 D	12,15±0,23 A	11,80±0,14 B	11,34±0,22 C	10,50±0,10 E
ϕ	2,513±0,009 C	2,460±0,007 D	2,485±0,009 CD	2,529±0,013 BC	2,610±0,030 A	2,577±0,029 AB	2,513±0,023 C

Médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si pelo teste *t* ($p < 0,05$).

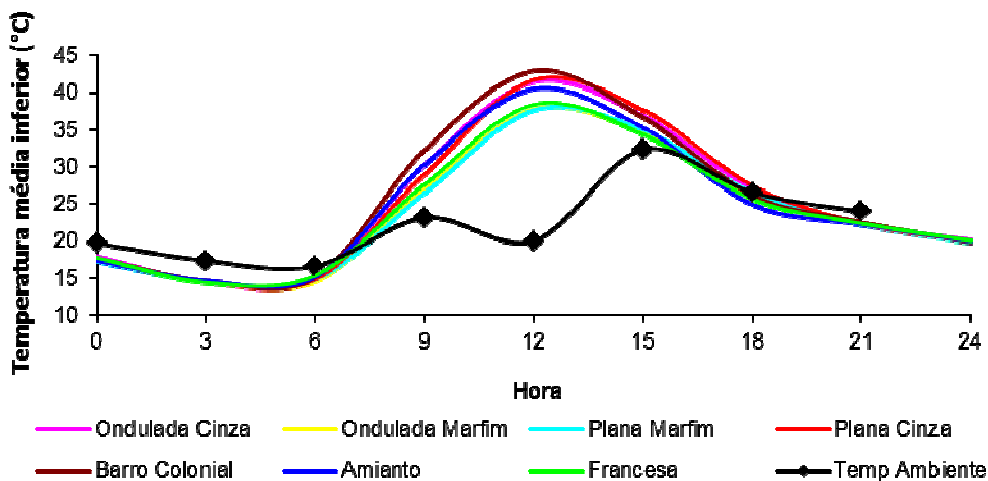


Figura 7. Temperatura média da superfície inferior da telha em função do horário

As temperaturas médias da superfície superior das telhas tiveram o mesmo comportamento cíclico da temperatura média da superfície inferior das telhas (Fig. 8).

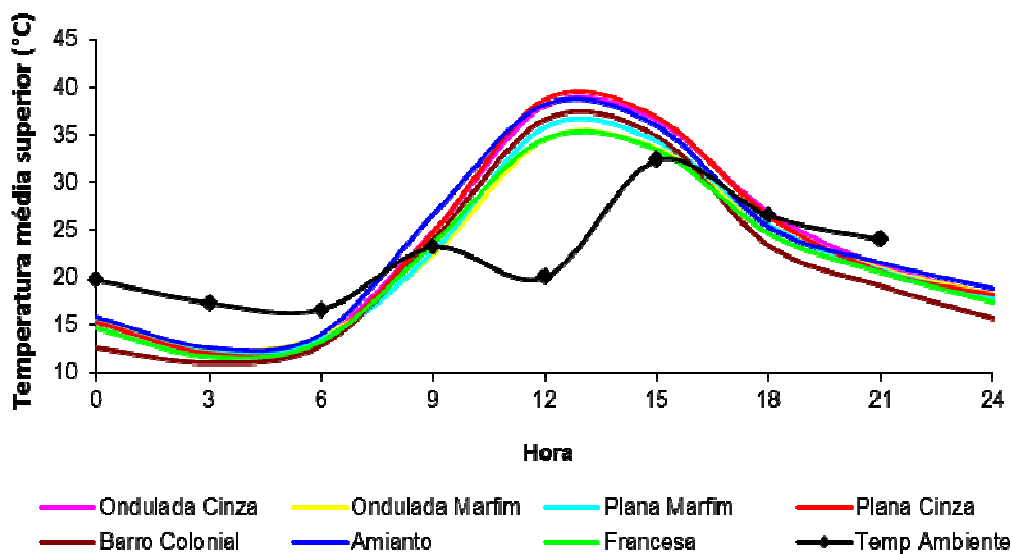


Figura 8. Temperatura média da superfície superior da telha em função do horário

4. CONCLUSÕES

As telhas com coloração marfim se apresentaram melhores que as telhas com coloração cinza nas respectivas categorias. A temperatura das telhas não foi alterada pela forma ondulada ou plana. A telha de barro colonial obteve maior temperatura da superfície inferior. As telhas ondulada cinza, plana cinza e amianto apresentaram maiores temperaturas médias na superfície superior. Os menores valores de temperatura das superfícies das telhas não significam necessariamente conforto térmico dos animais, sendo que essa condição deve ser confirmada medindo-se a carga térmica de radiação recebida pelos animais sob essas coberturas.

5. BIBLIOGRAFIA

- Abreu, P.G.; Abreu, V.M.N; Dalla Costa, O.A. (2001). Avaliação de Coberturas de Cabanas de Maternidade em Sistema Intensivo de Suínos Criados ao Ar Livre (Siscal), no Verão. Rev. Bras. Zootec. v.30, n.6, p. 1728-1734.
- Akbari, H.; Levinson, R.; Rainer, L. (2005) Monitoring the energy-use effects of cool roofs on California commercial buildings. *Energy and Buildings*, v.37, p.1007–1016.
- D’Orazio, M.; DI Pernab, C.; DI Giuseppa, E. (2010). The effects of roof covering on the thermal performance of highly insulated roofs in Mediterranean climates. *Energy and Buildings*, v.42, p.1619–1627.
- Faghih, A.K.; Bahadori, M.N. (2009). Solar radiation on domed roofs. *Energy and Buildings*. v.41, p.1238-1245.
- Faghih, A.K; Bahadori, M.N. (2010). Three dimensional numerical investigation of air flow over domed roofs. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* (98) 161–168.
- Fiorelli, J.; Morceli, J.A.B.; Vaz, R.I.; Dias, A.A. (2009). Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. v.13, n.2, p.204–209.
- Liberati, P.; Zappavigna, P. (2007). A dynamic computer model for optimization of the internal climate in swine housing design. *Transactions of the ASABE*, v.50, n.6, p.2179-2188.
- Moraes, S.R.P.; Tinôco, I.F.F.; Baeta, F.C.; Cecon, P.R. (1999). Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.3, n.1, p.89-92.
- Morettin, P.A.; Toloi, C.M.C. (2004). *Análise de séries temporais*. São Paulo: Edgar Blücher, 535p.
- Santos, R.C.; Tinoco, I.F.F.; Paulo, M.O. de; Cordeiro, M.B.; Silva, J.N. (2002). 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*, v.6, n.1, p.142-146.
- Sarmento, L.G.V.; Dantas, R.T.; Furtado, D.A.; Nascimento, J.W.B.; Silva, J.H.V. (2005). Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. *Agropecuária Técnica*. v.26, n.2.
- Tanga, R.; Etzionb, Y. (2005). Cooling performance of roof ponds with gunny bags floating on water surface as compared with a movable insulation. *Renewable Energy*, v.30, p.1373-1385.
- Turnpenny, J.R.; Wathes, C.M.; Clark, J.A.; McArthur, A.J. (2000). Thermal balance of livestock. 2. Applications of a parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.101, p.29-52.
- Wray, C.; Akbari, H. (2008). The effects of roof reflectance on air temperatures surrounding a rooftop condensing unit. *Energy and Buildings*, v.40, p.11–28.