

Elaboración y Evaluación de Placas Prefabricadas de Concreto Aligerado Con Arcilla Expandida Para Uso Como Coberturas de Estructuras Pecuarias

Development and Evaluation of Prefabricated Concrete Roof Slabs Made With Lightweight Expanded Clay Arid Applied to Covering Facilities for Animal Production

Ilda de Fátima Ferreira Tinôco¹; Jairo Alexander Osorio Saraz²; Ricardo André Fiorotti Peixoto³; Marcos Oliveira de Paula⁴ y Richard S. Gates⁵

Resumen. El objetivo fue evaluar el uso de la arcilla expandida en concretos livianos, dosificada y elaborada de manera que fuera viable el moldeo de placas con una geometría apropiada, capaz de atender las demandas de confort térmico y de las técnicas para estructuras pecuarias. Modelos de galpones de aves fueron construidos en escala 1:12, de acuerdo con Jentzsch (2002) y localizados en dirección este-oeste. Los techos fueron construidos con tres materiales diferentes: placas prefabricadas de concreto aligerado con arcilla expandida (LWC), tejas en fibrocemento (Fcim) y tejas cerámicas (Cer). Los parámetros evaluados al interior de los modelos reducidos fueron: humedad relativa (HR), índice de temperatura de globo negro y humedad (ITGU) y carga térmica radiante (CTR), durante el verano y el invierno. Los resultados mostraron que los parámetros HR, ITGU y CTR fueron estadísticamente diferentes para cada sistema evaluado. El mejor comportamiento se presentó con el modelo de placas prefabricadas de concreto aligerado con arcillas expandidas (LWC).

Palabras clave: Confort térmico, materiales de construcción, bienestar animal.

Abstract. This research aimed to evaluate the use of the expanded clay on the light concrete, dosed and executed in order to make possible to mold the roof tiles with appropriate geometry, according to the comfort and technique demands of the animals constructions. Models of poultry livestock facilities were build in scale of 1:12, Jentzsch (2002), and were positioned on the East-West direction. The roofs were made of three different materials each one: roofing tiles of light concrete using expanded clay (LWC), roofing tiles of asbestos-cement (Fcim) and ceramic roofing tiles (Cer). The parameters evaluated inside of the reduced models were: relative humidity (RH), and black globe temperature and humidity index (BGHI) and thermal load of radiation (TLR), during the summer and winter. The results showed that the parameters RH, BGHI and TLR were statistically different among the systems. The best performance happened on the model using tiles of light concrete using expanded clay (LWC).

Key words: Thermal comfort, building materials, animal welfare.

El hecho de que la mayoría de los animales domésticos son homeotermos, es decir, necesitan mantener la temperatura interna del cuerpo en niveles relativamente constantes, hace que éstos necesiten relevantes compensaciones fisiológicas. Así, cuando la temperatura ambiente se sitúa en valores diferentes de la zona de termoneutralidad propia de cada especie -la cual puede variar con el peso, edad, sexo, adaptabilidad, entre otros factores- inmediatamente entran en funcionamiento procesos fisiológicos que accionan el mecanismo termorregulador de cada animal, en función del grado de estrés por frío o calor.

Estos procesos son acompañados de perjuicios en el desempeño productivo y reproductivo del animal (Tinôco, 2004).

Aún, en relación con el confort térmico en el interior de una instalación, de acuerdo con Moraes *et al.* (1999), para condiciones brasileiras, el sombreado por las coberturas, reduce entre el 20 y el 40% de la carga térmica de radiación en el interior de las instalaciones para animales. Esas afirmaciones evidencian que la cantidad de carga térmica de radiación, que alcanza al animal, debido

¹ Profesora. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Campus UFV 36570-000 - Vicosá, MG, Brasil. <iftinoco@ufv.br>

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. Facultad de Ciencias Agropecuarias. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <aosorio@unal.edu.co>

³ Professor Adjunto. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais Departamento Engenharia Civil. Av. Amazonas 7675 - Nova Gameleira - Belo Horizonte - MG, Brasil. <fiorotti@civil.cefetmg.br>

⁴ Profesor. Universidade Federal do Espírito Santo. Av. Fernando Ferrari, 514, Goiabeiras, Vitória, Brazil. <modep@vicosá.com.br>

⁵ Professor. University of Illinois. Agricultural Engineering Sciences Building. 1304 W. Pennsylvania Avenue Urbana, IL 61801, USA. <rsgates@illinois.edu>

Recibido: Enero 30 de 2009; Aceptado: Septiembre 16 de 2010.

al material de cobertura y a la sombra, llega a ser más del 50% de la radiación total. Así, la principal protección contra la insolación directa, buscando mejorar una situación de incomodidad térmica ambiental, puede ser corregida con la utilización de coberturas adecuadas (Tinôco, 2004).

De esta manera, el material de cobertura se constituye en uno de los principales elementos en el confort térmico ambiental. Las coberturas convencionalmente utilizadas en el Brasil son compuestas por tejas cerámicas, de asbesto-cemento o metálicas, las cuales asociadas con otros elementos pueden ser más o menos eficientes cuando son analizadas desde el punto de vista térmico. En este sentido, trabajos como los hechos por Vieira *et al.* (2005), Kawabata (2003); Moraes *et al.* (1999); Sevegnani *et al.* (1994), entre otros, han buscado mejorar las características térmicas de las estructuras pecuarias, a partir del mejoramiento de los tejados, usando nuevos materiales, y modificando aspectos como los colores para disminuir los efectos de la radiación.

Jentzsch (2002), quien adelantó en su trabajo modelos de estructuras pecuarias a escala reducida, usando prototipos de 1:4, 1:8, y 1:12, concluyó que no difieren significativamente los resultados obtenidos entre los modelos a esas escalas; además, los valores registrados para el índice de temperatura de globo y humedad ITGU, en los modelos a escala reducida son adecuados para determinar el comportamiento térmico de las instalaciones.

El concreto pesado (con agregados constituidos de barita, magnetita –esta última hecha de material reciclado de fibro-cemento-, presenta una masa específica aparente mayor de $2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ y menor de $3800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$), y el concreto liviano (*light weight concrete*), presenta una masa específica menor de $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Los concretos livianos o aligerados con resistencias a la compresión inferiores a los $15 \text{ kgf}\cdot\text{cm}^{-2}$, debido a sus propiedades de aislantes térmicos, son empleados en elementos no estructurantes, como cubiertas de estructuras.

Las tejas de concreto aligerado con arcilla expandida son hechas a partir de la incorporación de agregados livianos de arcilla expandida en la fabricación de un concreto especial (Peixoto *et al.*, 2003). Entre las ventajas que presenta el concreto liviano o aligerado están la baja densidad y el buen aislamiento térmico, y como desventaja, la menor resistencia, y un costo

relativo más alto que el de las tejas hechas con concreto convencional. El dimensionamiento de las estructuras que fueron fabricadas en este estudio, fue basado en las indicaciones establecidas por el Reglamento CIRSOC 202 (1985).

Este trabajo tuvo por objetivo el desarrollar coberturas con placas prefabricadas de concreto aligerado, que tienen arcilla expandida Cinasita® como agregado liviano, para ser usadas en instalaciones de producción animal y evaluar las condiciones de confort térmico en condiciones de invierno y de verano, comparándolas con las coberturas con tejas de asbesto-cemento y cerámicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo fue realizado en el área experimental de Construcciones Rurales y Ambiente del Departamento de Ingeniería Agrícola y de Alimentos de la Universidad Federal de Viçosa Brasil.

Las placas prefabricadas de concreto aligerado fueron moldeadas a partir de dosificaciones hechas en el laboratorio de acuerdo con las normas ABCP y CIRSOC del Brasil, empleando aditivos químicos plastificantes y reductores de agua para concretos. Los agregados livianos utilizados fueron cedidos por la empresa CINEXPAN-Brasil. Los cuerpos de prueba fueron moldeados con agregados con franjas granulométricas 1506 y 2215. Para la dosificación del concreto aligerado empleado en la elaboración de las placas con arcilla expandida (LWC), fueron consideradas las características físicas del agregado, utilizando como granulometría la NBR 7181 (ABNT, 1984) y NBR 7217 (ABNT, 1987), para la densidad aparente y absorción la NBR 9937 (ABNT, 1987), para porcentajes de fracturas y masa unitaria la NBR 7251 (ABNT, 1983) y los análisis granulométricos de acuerdo con la NBR 7181 (ABNT, 1984).

Las fracciones granulométricas 0 y 2, clasificadas a través del ensayo de granulometría y utilizadas en los trazos experimentales del concreto aligerado fueron arcilla expandida 2215 (2) y 1506 (0). Las muestras de arcilla expandida utilizadas en las dosificaciones del concreto liviano fueron sometidas a los ensayos de absorción con inmersión por 24 y 48 horas. Todos los trazos dimensionados fueron implementados con aditivos químicos plastificantes de pega normal para concreto CONPLAST RX822N, fabricado por la empresa FOSROC del Brasil.

Para la dosificación teórica fueron utilizados los procedimientos de cálculo BOLOMEY y FAURY, sugeridos por Coutinho y Gonçalves (1994), basados en las fundamentaciones y prescripciones del ACI 211. El método de dosificación empleado fue subdividido en siete (7) fases:

1ª fase. Trabajabilidad: Para el moldeo de las placas se escogió un tronco de cono (SLUMP TEST), compatible con la trabajabilidad necesaria de las operaciones de pre-fabricación, donde el valor adoptado fue de 50 (intervalo válido para el método y tipo de elementos: $25 \leq \text{SLUMP} \leq 75$).

2ª fase. Determinación del diámetro del agregado máximo: Se empleó arcilla expandida tipo 2215 ($\Phi \leq 19$ mm) y para arcilla expandida tipo 1506 se utilizó ($\Phi \leq 9,5$ mm).

3ª fase. Estimación del consumo de agua: Para el intervalo de la validación del SLUMP adoptado ($25 \leq \text{SLUMP} \leq 75$) y de las granulometrías utilizadas, el método recomendó un consumo de agua de 187 a 202 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. El parámetro consumo de agua ofreció los datos para la determinación del factor agua-cemento.

4ª fase. Determinación del factor a/c (agua-cemento): Para la dosificación del diseño teórico se estimó el valor de f_{ck} 28 en 140 $\text{kgf} \cdot \text{cm}^{-2}$ (14 Mpa), llegando inicialmente al valor de un factor a/c=0,82, en función de los parámetros ofrecidos del método.

5ª fase. Estimación del consumo de cemento: En función del parámetro adoptado para el consumo de agua (195 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) y relación a/c (0,82), se determinó de forma teórica, con ayuda del método aplicado, el consumo de cemento para el f_{ck} 28 indicado de 14 MPa, siendo $c=240 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

6ª fase. Estimación para el grado del agregado: Para las dosificaciones con arcillas expandidas de diámetro 19 mm y 9,5 mm, se determinó el consumo de agregados a partir de la relación $V_{\text{grado del agregado}} / V_{\text{concreto}}$. El valor encontrado fue de 0,62, para un concreto con densidad teórica inicial estimada en $\gamma=1350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, ABCP (1996); y una relación 0,62, siendo el consumo del grado de agregados de 837 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

7ª fase. Estimación para el agregado pequeño: Para un concreto con densidad teórica inicial estimada

en $\gamma=1350 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, ABCP (1996), un consumo de cemento de 237,2 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, consumo de agua de 195 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, se tuvo un consumo de agregados de 917,8 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Definiendo entonces el trazo se tuvo que: 237/237: 918,5/237:195/237, es decir, para un trazo dimensionado preliminarmente de la forma 1:m:(a/c), se tuvo 1:4:0,8. Aplicando el proporcionamiento de $a=50\%$, se tiene: $\alpha(\%) / 100 = (1+a)/(1+m)$. El valor de m fue equivalente a 4,0 y para $a=50\%$, así, el diseño teórico dimensionado tomó la siguiente forma inicial en volumen:

1 (cemento): 1,5 (arena): 2,5 (arcilla expandida): 0,8 (agua).

Después de los procedimientos de mezcla y cura de los cuerpos de prueba relativos a cada dosificación, fueron confeccionados cuerpos para cada edad de ruptura, para un total 176 CPs (cuerpos de prueba) para ensayos a compresión, 88 CPs para determinar la masa específica humedad y seca, y otros 88 CPs que fueron elaborados como testigos para cada trazo. En función de los resultados obtenidos a partir de los ensayos, se escogió el trazo que presentó mejor desempeño estructural para las edades de 7, 14, 21 y 28 días.

Las placas de concreto aligerado de arcilla expandida utilizadas como elementos de cobertura, fueron dimensionadas estructuralmente en función de los parámetros arquitectónicos sugeridos por Tinôco (2004), para instalaciones de producción animal. Así, las placas de concreto aligerado (LWC), fueron dimensionadas de 2 m x 0,5 m, con una longitud útil de 1,8 m, sometidas a los siguientes esfuerzos: 1) carga debida al viento 42 $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$, 2) carga accidental 50 $\text{kgf} \cdot \text{m}^{-2}$, 3) peso propio (estimado) 20 $\text{kgf} \cdot \text{m}^{-2}$.

En función de la teoría de elasticidad Sussekind (1980) y Souza (1994), para hacer compatibles las deformaciones, para una sección transversal con altura de 2 cm, se utilizó una armadura a tracción equivalente a 4 barras de 3,4 mm en acero CA60.

Los modelos fueron construidos en una escala reducida 1:12, para una sección transversal análoga a un galpón real para aves de acuerdo con Jentzsch (2002), obteniendo las dimensiones que se dan a conocer en las Figuras 1A, 1B, y 1C. Para las coberturas ensayadas fueron utilizadas tejas

cerámicas (Cer) tipo francesa con 1,5 cm de ancho, tejas de fibrocemento (Fcim) y placas de concreto

aligerado (LWC) con 2 cm de ancho, todas apoyadas sobre una estructura metálica.

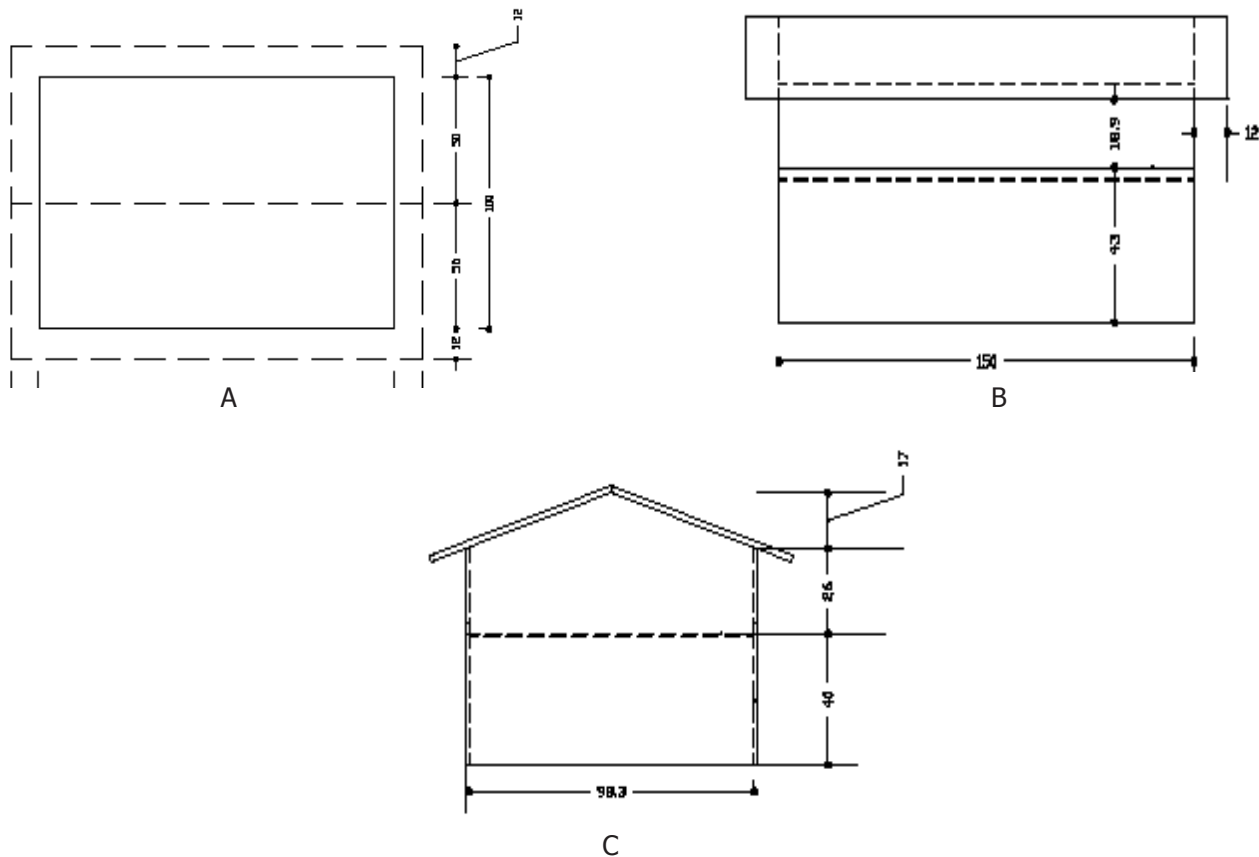


Figura 1. Dimensiones del modelo experimental utilizado para evaluar materiales empleados como cobertura de estructuras pecuarias A. Planta baja. B) Corte longitudinal. C) Corte transversal.

Para la toma de datos referentes a las temperaturas de bulbo seco y bulbo húmedo, se utilizaron sistemas digitales de adquisición y almacenamiento de datos (dataloggers), modelo HOBO, tipo 4 canales 0-5 Volt y de 4-20 mA. Para la toma de los datos referentes a la temperatura de globo negro, fueron utilizados sensores HOBO tipo 4 canales, localizados en el centro de un material esférico pintado de negro. Para los datos de humedad relativa (HR), fueron utilizados sensores modelo HOBO tipo RH-TEMP, con un rango de lectura que varía entre 0 y 100%. Para la adquisición de los datos externos a las instalaciones, se utilizó una estación climatológica digital OREGON. Todos los datos recogidos fueron almacenados en un PC, enviando la información a través de sensores remotos hacia el software VIRTUAL WEATHER STATION.

A partir de los datos recogidos, para cada intervalo de tiempo, en los periodos de verano e invierno, fueron determinados los parámetros de confort ITGU (Índice de Temperatura de Globo y Humedad), de acuerdo con Buffington *et al.* (1981), y de comportamiento térmico a través del parámetro de Carga Térmica Radiante (CTR), según Esmay y Dixon (1986), que son determinados en función de la temperatura radiante media (TRM), hallada por la ecuación de Stefan-Boltzman:

$$ITGU = 0,72(T_{gn} + T_{bu}) + 40,6 \quad (1)$$

$$CTR = \alpha(TRM)^4 \quad (2)$$

$$TRM = 100\sqrt[4]{2,5\sqrt{v}(T_{gn} - T_{bs} + T_{gn} / 100)^4} \quad (3)$$

Donde:

T_{gn} = temperatura de globo negro, en °C

T_{bu} = temperatura de bulbo húmedo, en °C

CTR = carga térmica radiante, W·m²

σ = constante de Stefan-Boltzmann, (5,67 x 10⁻⁸ W·m⁻²·K⁻⁴)

TRM = temperatura radiante media, en °K

v = velocidad del viento, en m·s⁻¹

T_{gn} = temperatura de globo negro, en °K

T_{bs} = temperatura de bulbo seco, en °K

Análisis experimental. El experimento fue realizado de acuerdo a lineamientos de bloques al azar, en un esquema de parcelas subdivididas. Como parcelas fueron tomadas los tipos de coberturas (tratamientos LWC, Fcim y Cer), en las subparcelas los horarios de observación (entre las 8 y las 18 horas) y como bloques las repeticiones, ó sea los días en que fueron tomados los datos (tres meses para invierno y tres meses para verano).

Fueron realizadas pruebas de Duncan para determinar las diferencias significativas entre el comportamiento de los tipos de materiales y entre las condiciones de invierno y de verano.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las placas con mayor masa específica indicaron la presencia de mayor cantidad de argamasa, induciendo el flujo de tensiones en la masa endurecida a través de la argamasa, lo que redujo la concentración de tensiones en los agregados livianos. Las placas de mejor desempeño a los 28 días fueron aquellas que utilizaron agregados livianos de granulometría menos gruesa, lo cual en este caso fue la arcilla expandida tipo 1506. Además de lo anterior, teniendo en cuenta que los cuerpos de prueba CPs, con arcilla expandida 1506, presentaron mejor resistencia a la compresión. En la

Tabla 1, se presentan los resultados de los ensayos para la determinación del desempeño estructural de las placas diseñadas a partir de la utilización de la arcilla expandida tipo CINEXPAN 1506, para el moldeado de las placas LWC utilizadas en la cobertura de la instalación evaluada.

Para las placas utilizadas como coberturas en el modelo, que tenían un espesor de 20 mm, fueron adoptados los agregados con diámetro de 9 mm (1506). En función de los resultados del análisis de desempeño estructural, y masa específica seca, se verificó cuál dosificación presentó mayor resistencia mecánica para las menores masas específicas. Así, después del análisis se determinó que el diseño N fue la dosificación que presentó mejor correlación de correspondencia con los parámetros del proyecto y dimensionamiento de las placas LWC. Esos parámetros fueron adoptados con R_{cc} = 10 MPa y γ_s = 1000 kg·m⁻³ (Tabla 1).

En la Figura 2A, se presentan las curvas relativas a los datos observados de las medias diarias para la HR, en los horarios predeterminados, para los tratamientos LWC, Fcim, Cer en relación con el ambiente externo en condiciones de verano. La prueba de medias, mostró no tener diferencia significativa para la HR, entre los tratamientos LWC, Fcim, Cer, en el horario de 12 h, y también mostró no haber diferencia significativa para la HR entre los tratamientos Fcim, Cer, externo (Ext), y en el horario de 13 h, se presentó una diferencia significativa apenas, entre esos tratamientos y el tratamiento LWC. Además de la prueba de medias, mostró no tener diferencias significativas para la HR, entre los tratamientos LWC, Fcim, Cer, Ext para los demás horarios de observación. Para condiciones de verano los tres materiales tuvieron comportamientos similares, presentando valores dentro de los recomendados por Tinôco (2004), que son HR entre 50 y 75%.

Tabla 1. Resistencia a la compresión y masa específica seca y húmeda de placas con agregado liviano tipo CINEXPAN 1506, utilizadas como cobertura de estructuras pecuarias.

Trazo	Rcc3 días (MPa)	Rcc7 días (MPa)	Rcc14 días (MPa)	Rcc 28 días (MPa)	Masa específica (kg·m ⁻³)	
					Seca	Húmeda
C 1506 (1;2,5;2,5;0,55)	11,11	16,92	18,12	18,64	1520,32	1575,25
E 1506 (1;3;2;0,55)	11,49	17,96	19,42	20,30	1578,22	1684,83
J 1506 (1;4;4;0,90)	2,86	5,72	7,40	10,79	1337,92	1495,53
N 1506 (1;4;6;0,85)	2,69	6,30	7,40	9,80	1195,26	1321,21

Estas diferencias no significativas estadísticamente, entre los tratamientos LWC, Fcim, Cer, se deben principalmente a que en las condiciones de verano, cuando las estructuras se encuentran abiertas, la humedad relativa en el ambiente interno de las estructuras poco varía en función del tipo de cobertura, ya que ésta depende principalmente de las condiciones atmosféricas, aspecto también encontrado por Kawabata (2003). Cuando se evalúan estos materiales de construcción a escala, trabajando a convección natural como fenómeno principal en la transferencia de calor, no es necesario tener en cuenta la difusión del agua, ya que las condensaciones que se presentan son pocas por la acción de la ventilación natural y la renovación del aire, lo cual explica más el comportamiento de la humedad relativa.

Para todo el intervalo de tiempo de las observaciones medias horarias en condiciones de invierno, el tratamiento LWC presentó una diferencia estadísticamente significativa, para el parámetro HR, en relación a los tratamientos Fcim y Cer de acuerdo con la prueba de medias aplicada, estando estos valores fuera de los recomendados como óptimos por Tinôco (2004) (Figura 2B).

En la Figura 3A, se presentan las curvas relativas a los datos de verano, para ITGU. Para todo el intervalo de tiempo de las observaciones medias horarias, el tratamiento LWC presentó una diferencia estadísticamente significativa, en relación a los tratamientos Fcim y Cer, y comparativamente con el medio externo Ext, de acuerdo a la prueba de

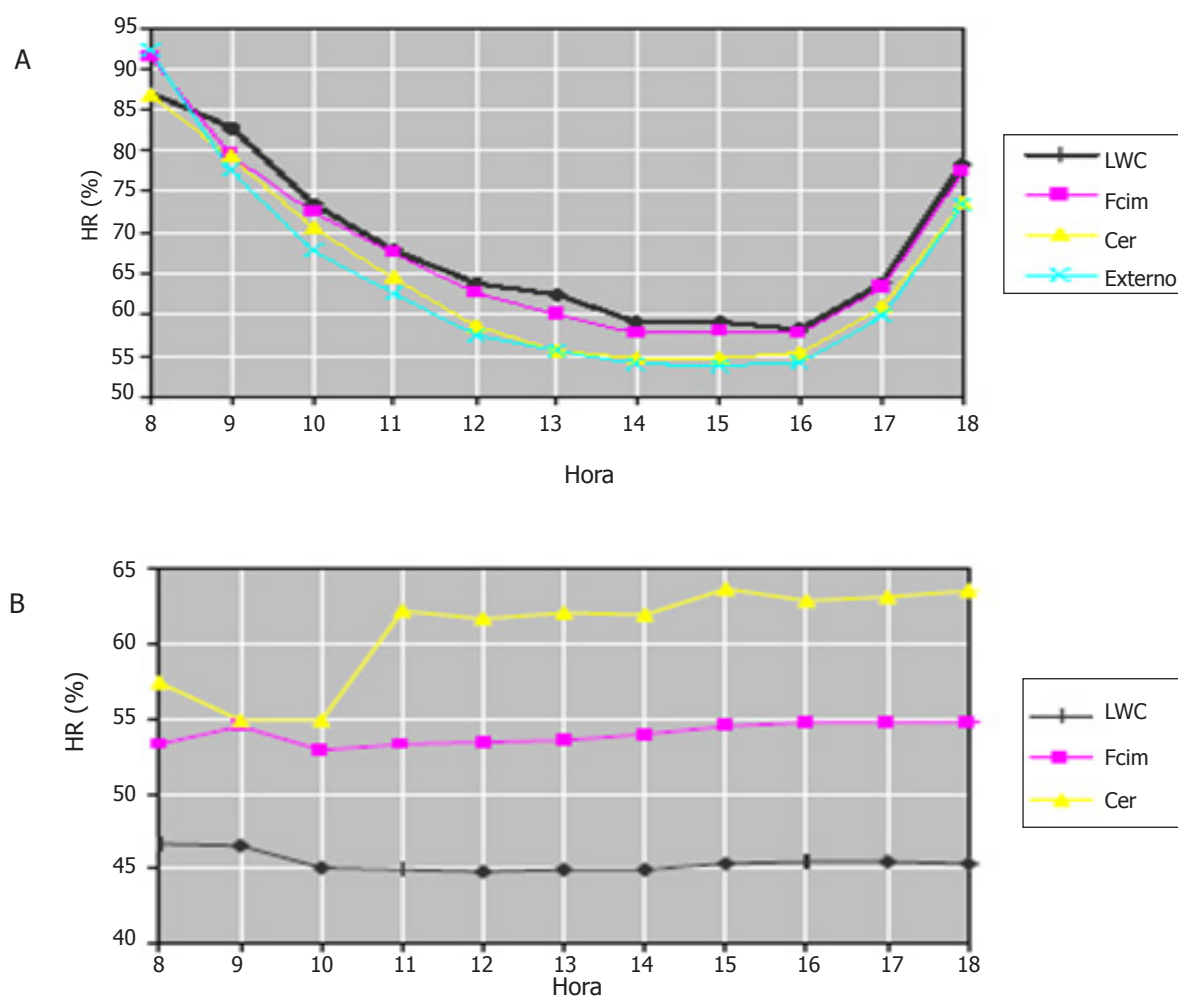


Figura 2. Valores de humedad relativa (HR) para los tipos de cobertura LWC, Fcim, Cer, Ext. empleados en estructuras pecuarias A) verano B) invierno.

medias aplicada. Para todo el intervalo de tiempo de las observaciones medias horarias, los tratamientos Fcim y Cer, no presentaron diferencias estadísticamente significativas, para el parámetro ITGU, cuando son comparados entre sí. Aún así, se presentaron diferencias estadísticamente significativas, cuando fueron comparados al medio externo Ext.

En las instalaciones cubiertas con las placas LWC, se observó un valor medio del 9,4% de ITGU inferior, en relación al ambiente externo, entre los horarios de 12 h a 15 h. Los resultados de la prueba de medias apuntan a que se tiene un mejor desempeño con las placas de LWC, en relación con aquellas con coberturas de fibrocemento (Fcim) y cerámicas (Cer). Ese hecho se explica en función de un mejor desempeño de la cobertura LWC para los parámetros Tbs y Tgn, resultados también

encontrados en otras investigaciones adelantadas por Sevegnani *et al.* (1994) e Kawabata (2003), usando materiales con altos contenidos de celulosa que mejoran la capacidad térmica de las tejas.

Para condiciones de invierno las tejas de cerámica Cer ($K \approx 0,90 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), presentaron un ITGU más bajo comparadas con las LWC y Fcim en todo el intervalo de, lo que se puede deber a que el material de LWC ($K \approx 0,95 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) y Fcim ($K \approx 0,98 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$) son materiales que presentan mayor capacidad térmica y pueden ayudar a conservar más el calor en tiempo de invierno (Figura 3B).

Se observó que para condiciones de invierno el ITGU para estructuras con tejas de LWC y Cer, estuvieron por debajo de la faja de confort térmico

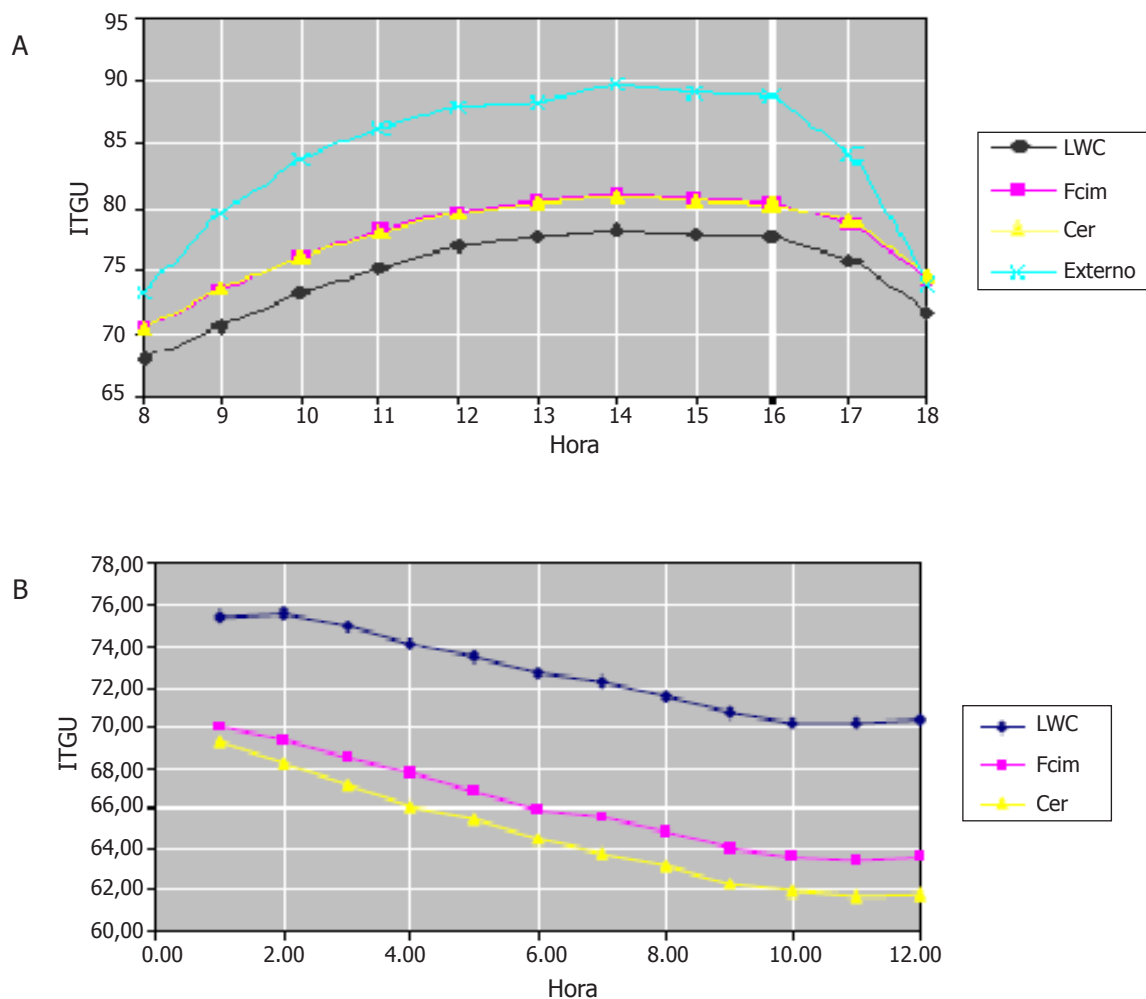


Figura 3. Valores del índice de temperatura de globo y humedad (ITGU) para los tipos de cobertura LWC, Fcim, Cer, Ext empleados en estructuras pecuarias. A) Verano, B) Invierno.

recomendada para instalaciones de pollos (ITGU 71-75) de acuerdo con Tinôco (2004). En condiciones de verano, el mejor comportamiento lo presentó la teja LWC, la cual en la mayor parte del día, especialmente en las horas menos calientes presentó un ITGU dentro de la faja de confort térmico recomendado.

En las Figuras 4A y 4B, se presentan curvas relativas a los datos de verano y de invierno para CTR. Para todo el intervalo de tiempo de las observaciones medias horarias en verano, las cubiertas LWC, Fcim y Cer no presentaron diferencias estadísticamente significativas, para el parámetro CTR, cuando son comparadas entre sí. Sin embargo, se presentan diferencias estadísticamente significativas, cuando son comparadas con el medio

externo Ext. No obstante, el comportamiento de la estructura con placa LWC, presenta valores medios de CTR ligeramente menores que los otros sistemas, presentando CTR menor a $450 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, según Tinôco (2004) y Moraes *et al.* (1999).

En condiciones de invierno en todo el intervalo de tiempo entre las cubiertas con las que mayores valores de CTR se alcanzaron, fueron las de Fcim, mientras que las tejas de LWC y Cer, tuvieron un comportamiento similar con valores de CTR en el rango de 420 y $460 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$, encontrados en estructuras con otros tipos de modificaciones de acondicionamiento térmico como los mencionados por Silva (2007), Santos *et al.* (2004), Kawabata (2003) y Moraes *et al.* (1999).

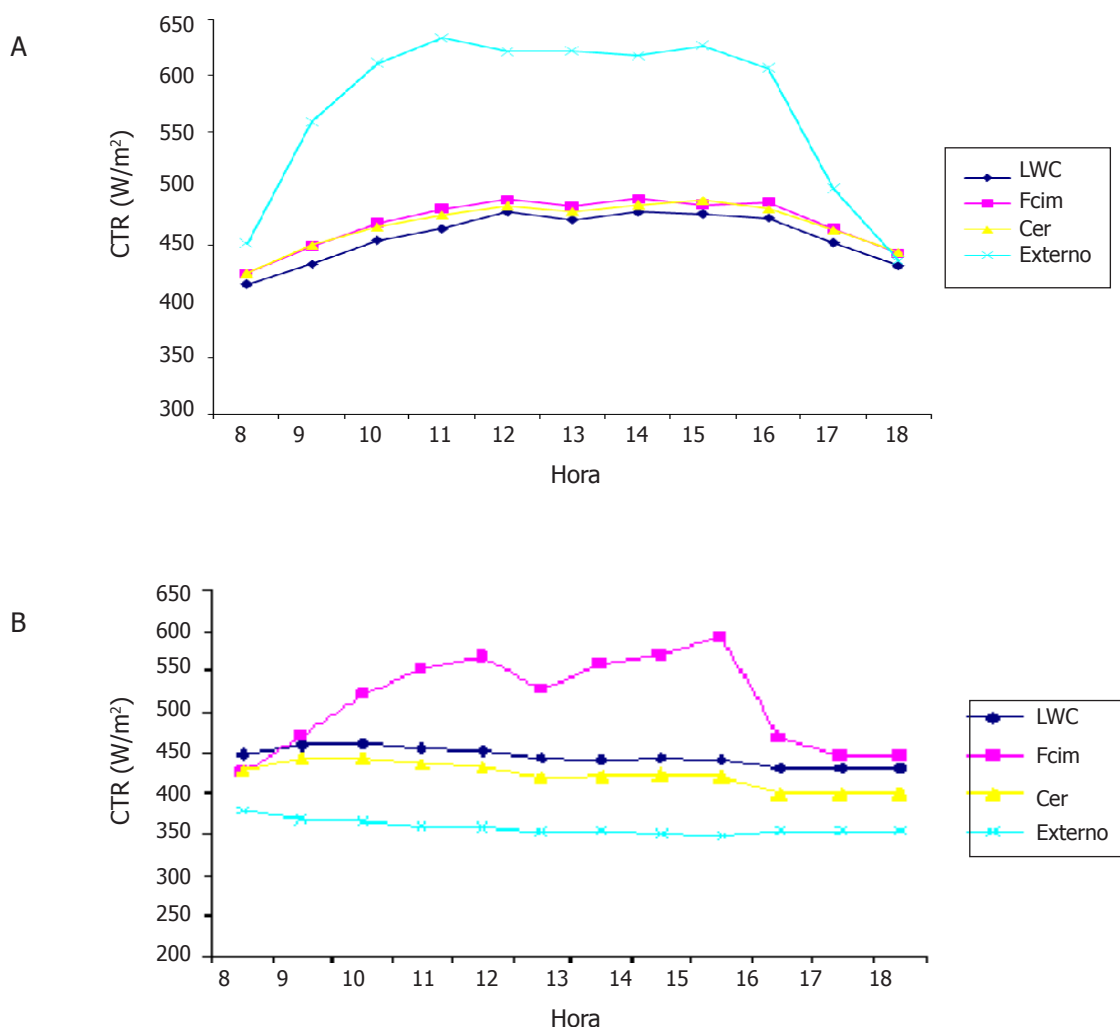


Figura 4. Valores de carga térmica radiante (CTR) para los tipos de cobertura LWC, Fcim, Cer, Exter. empleados en estructuras pecuarias. A) verano, B) invierno.

CONCLUSIONES

Para las condiciones de verano e invierno, las instalaciones cubiertas con placas prefabricadas de concreto aligerado con arcilla expandida (LWC), en función de los resultados obtenidos, son térmicamente más confortables en comparación con las tejas cerámicas (Cer) y de fibrocemento (Fcim), de acuerdo con los parámetros evaluados (ITGU y CTR), presentándose así una alternativa en la reducción de calor en el interior de las estructuras, ya que estas se acercan más a la faja de confort térmico que para ITGU esta entre 71 y 75, para CTR menor a $450 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Cuando se evaluó el comportamiento del material en función de la humedad relativa, se obtuvo que solamente en condiciones de verano, los tres materiales presentaron buen comportamiento, estando en la faja óptima (50 - 75%), ya que en invierno el LWC no tuvo buen comportamiento comparado con el Fcim y el Cer. Pese a este resultado, en una instalación pecuaria al obtener un ITGU y una CTR óptimos, son mejores indicativos de que la instalación está generando mejores condiciones para el confort térmico de las aves.

Se deben adelantar otras investigaciones, buscando obtener una mejor relación de costos beneficios, en la elaboración de las tejas para llegar a una escala industrial.

BIBLIOGRAFÍA

Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP. 1996. <http://www.abcp.org.br/>

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1994. Ensaio de compressão de corpos de-prova cilíndricos de concreto. NBR-5739. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1987. Composição granulométrica do agregado graúdo. NBR-7217, NBR-9937. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1984. Análise granulométrica, por peneiramento. NBR-7181. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. 1983. Massa unitária em estado solto do agregado graúdo. NBR-7251. Rio de Janeiro.

Buffington, D.E., A. Collazo Arocho, G.H. Canton, D. Pitt, W.W. Thatcher and R.J. Collier. 1981. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. Transactions of the ASAE 24:(3): 711-714.

Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para Obras Civiles - CIRSOC-1985. Hormigón liviano de estructura compacta, dimensionamiento, elaboración y control. SIREA – Sistema Reglamentario Argentino para las Obras Civiles. Reglamento CIRSOC 202, Argentina.

Coutinho, A.S. e A. Gonçalves. 1994. Fabrico e propriedades do betão. LNEC, Lisboa. 368 p.

Esmay, M.L. and J.E. Dixon. 1986. Environmental control for agricultural buildings. AVI Publishing Company, Westport, Conn. 284 p.

Jentzsch, R. 2002. Estudo de modelos reduzidos destinados à predição de parâmetros térmicos ambientais em instalações agrícolas. Tese Doutorado em Construções Rurais e Ambiente. Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal de Viçosa. 103 p.

Kawabata, C.Y. 2003. Desempenho térmico de diferentes tipos de telhado em bezerreiros individuais. Tese Mestrado em Zootecnia. Faculdade de Zootecnia. Universidade de São Paulo. 108 p.

Moraes, S.R., I.F. Ferreira, F. da Costa e P.R. Cecon. 1999. Conforto térmico em galpões avícolas, sob coberturas de cimento-amianto e suas diferentes associações. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 3(1): 89-92.

Peixoto, R.A. F, I.F.F Tinôco, R.S. Gates, S.A.L. Moura e C.F. Souza. 2003. Performance of different types of applied materials to coverings of facilities for animal production—simulation. In: ASAE International Meeting, Las Vegas, NV, USA.

Santos, RC., I de F.F. Tinôco, J.N. da Silva, M.B. Cordeiro, M.O. de Paula e R.S. Gates. 2004. Influência das coberturas de barro, cimento-amianto e alumínio, com duas alturas de pé-direito, no conforto térmico de galpões para produção de aves e suínos, em condições de inverno. Engenharia na Agricultura, Viçosa 12 (2):145-153.

Sevegnani, K.B, H. Ghelfi Filho e I.J.O. da Silva. 1994. Comparação de vários materiais de cobertura a través

de índices de conforto térmico. Scientai Agrícola, Piracicaba 51(1): 1-7.

Silva, M.N. 2007. Arrefecimento térmico de coberturas de aviários por aspersão, com vista ao uso de água chuva no centro-oeste brasileiro. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. 124 p.

Souza, V.C.M. 1994. Lajes em concreto armado e protendido. Ed. DA Universidade Federal Fluminense – UFF-RJ. Niterói, Rio de Janeiro. 584 p.

Sussekund, J.C. 1980. Curso de concreto armado. Volume 1, Issue 2. Ed. Globo, Porto Alegre, RS.

Tinôco, I.F.F. 2004. A Granja de Frangos de Corte. Em: Mendes, A.A., I. de Alencar, M. Macari. (Org.). Produção de Frangos de Corte. Primeira Edição. Fundação APINCO de Ciência e tecnologia Avícola, Campinas, SP. 345 p.

Vieira, S.L.G., R.D. Targino, D.F. Araújo, J.W. Barbosa e J.H. Vilar. 2005. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. Agropecuária Técnica 26(2): 117-122.