

COMPARAÇÃO DE VÁRIOS MATERIAIS DE COBERTURA ATRAVÉS DE ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO

K.B. SEVEGNANI; H. GHELFI FILHO; I.J.O. DA SILVA

Departamento de Engenharia Rural - ESALQ/USP, C.P. 9 - CEP:13418-900 - Piracicaba, SP

RESUMO: O comportamento térmico de diferentes materiais de cobertura foi estudado através dos índices de conforto. Para as condições de verão, estudou-se o efeito do Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e da Carga Térmica Radiante (CTR) no interior de abrigos. As telhas de fibra transparente, alumínio e zinco foram os mais recentes materiais inseridos neste projeto. Além delas, foram estudados os comportamentos das telhas de barro, cimento amianto e térmica. Para a avaliação dos índices de conforto foram registrados: temperatura máxima e mínima, velocidade do vento, umidade relativa e temperatura de globo negro. Concluiu-se que: a telha de barro continuou sendo a mais eficiente e a telha de fibra transparente a de menor eficiência térmica e as demais apresentaram um comportamento intermediário.

Descritores: conforto térmico, materiais de cobertura.

COMPARISON OF VARIOUS ROOF COATING MATERIALS THROUGH THERMAL COMFORT INDEXES

ABSTRACT: The thermal behaviour of different roof coating materials was studied through the thermal comfort index. For summer conditions the effect of the Globe and Humidity Index (ITGU) and the Radiant Thermal Load (CTR) were used to study the interior of shelters. Fiberglass, aluminum and zinc tiles were more recently introduced in this project. Other tested materials were clay, asbestos, cement and thermal tiles. To evaluate the comfort index the following measurements were performed: maximum and minimum temperatures, wind velocity, relative humidity and "black globe" temperature. The conclusions were: clay tiles continue being the most efficient and fiberglass tiles the least thermal efficient, and other tiles had an intermediate behaviour.

Key Words: thermal comfort, coating materials.

INTRODUÇÃO

As condições ambientais existentes nos países situados nos trópicos, como é o caso do Brasil, causam problemas na criação de animais em geral, devido ao fato de apresentarem médias altas de temperatura durante o ano, causando o chamado stress térmico.

Um animal sofre stress térmico quando produz mais calor do que pode dissipar. Para se ajustar, ele é obrigado a reduzir o consumo de alimentos e sua produção necessariamente declina (BOND, 1954).

O abrigo animal tem por objetivo dar-lhe conforto, para que possa aumentar sua produção. Esse conforto não será medido da mesma forma com que essa sensação se faz ao ser humano mas sob a forma de produção ou produtividade.

As instalações recebem diretamente a ação do clima (insolação, temperatura, ventos, chu-

va, umidade do ar), devendo por isso ser construídas com a finalidade principal de diminuir estas influências que podem agir negativamente nos animais (o excesso de calor, por exemplo). Ao nível do edifício, os fatores que interferem na modificação destas condições são as paredes, altura do pé direito, piso e principalmente o material de cobertura, que recebe toda a radiação solar incidente e é o maior responsável pelo microclima gerado dentro do edifício (GHELFI FILHO, 1991).

HASSAB & TIMMONS (1989) dizem que nós devemos também voltar a atenção para a utilização dos materiais de cobertura reflectivos. Enquanto os novos materiais de cobertura (alumínio ou aço) são bons reflectores, metais ferrosos podem absorver mais a entrada de radiação solar.

O stress térmico dos animais, no período de verão, pode ser reduzido consideravelmente, protegendo o animal da radiação solar direta. Isso pode ser conseguido utilizando-se um

telhado com alto valor de isolamento térmico e com alto valor de reflexão da radiação.

O presente trabalho visou testar diferentes materiais de cobertura para as instalações, usando para isso o índice de temperatura de globo e umidade (ITGU) e a carga térmica radiante (CTR) do dia de maior entalpia dentro do período do experimento, sob cobertura de telhas de barro, telhas de cimento amianto, telhas térmicas, telhas de alumínio, telhas de zinco e telhas de fibra de vidro translúcidas.

REVISÃO DE LITERATURA

Segundo NÄÄS (1986), pesquisas demonstram que a eficiência do desempenho animal é o resultado do funcionamento homeotérmico e disfunções desse sistema acarretam alterações significantes na eficácia. Há uma considerável evidência experimental que mostra estatisticamente relações entre temperatura do ar, de 8 a 10°C acima ou abaixo da região de conforto, umidade relativa acima de 75%, velocidade dos ventos acima de 16 km/h, frequência e modificações no desempenho animal, medido pela quantidade de alimentação ingerida, ganho de peso, produção de leite e eficiência reprodutiva.

Estruturas agropecuárias economicamente boas para o produtor e razoáveis para o animal devem ser desenvolvidas, levando-se em consideração fatores como: aptidão climática, materiais de construção, além de formas alternativas de construção, pois atualmente mais de 50% do investimento numa criação intensiva e semi-intensiva estão concentrados na construção dos abrigos dos animais. Estudos com relação aos materiais de construção utilizados, assim como a determinação do tipo de cobertura ideal para cada tipo de criação nas diferentes regiões do país, são de vital importância quando se deseja atingir altos níveis de produtividade. Os fatores externos que afetam o controle e balanço energético animal são muito importantes, a movimentação do ar e a radiação. Tanto em regiões de climas frios, como em regiões de climas quentes, o problema dominante na ambientação animal é o da troca de calor com o seu micro ambiente. Este deve ser tal que não afete as suas reações fisiológicas nem lhe iniba o apetite. (LEAL, 1981).

De acordo com ETERNIT (1981), a radiação solar, incidindo sobre a cobertura, gera um fluxo térmico que se transmite para o interior da instalação.

O forro constitui uma barreira que obstrui o fluxo térmico originado pela insolação da cobertura e, deste modo, protege um indivíduo no interior da instalação. O forro tende a uniformizar as condições de conforto térmico nos ambientes, independentemente de qual tipo de telha se tenha utilizado. (ETERNIT, 1981).

PARKER (1963) estudou o efeito de transmissão de calor em 14 combinações de materiais de cobertura expostos à radiação solar. Os resultados obtidos mostraram uma diferença significativa entre os efeitos obtidos pelos telhados com e sem forro, os últimos apresentando maiores índices de radiação sob os mesmos. Entre as telhas sem forro, os materiais que apresentaram maior conforto térmico, minimizando a intensidade da radiação solar no interior de abrigos foram: aço pintado de branco, folhas de alumínio cobertas com plástico branco e folhas novas de alumínio.

O uso de pintura branca nas telhas de cimento-amianto promove significativamente a reflexão da radiação solar e, com isto, acarreta uma redução na quantidade de calor de radiação gerado na cobertura. Se a quantidade de calor é menor, menor será o fluxo térmico e melhores serão as condições de conforto térmico. Executando-se "in loco" a pintura dos telhados de fibrocimento, com o emprego de tinta acrílica (Metalatex), pode-se constatar que as casas com telhas de cimento-amianto pintadas de branco apresentam temperaturas efetivas internas menores do que as registradas nas casas com telhas de barro na cor natural.

A solução através da pintura em cor branca na telha se revelou ótima em termos de melhoria do conforto, mas esta solução por si só não resolve o problema, devido ao caráter temporário da propriedade reflectiva à radiação solar. (ETERNIT, 1981).

QUERESHI (1990), em experimentos visando estudar a viabilidade de instalações de granjas avícolas no deserto da Arábia Saudita, usou coberturas feitas com uma camada de fibras de polietileno de baixa densidade, e sobre esta uma camada de fibra de vidro com 10cm de espessura e por fim uma nova camada de polietileno com maior densidade, sobrepondo as anteriores. A função de materiais como polietileno + fibra de vidro tem fornecido bons resultados como isolante, tanto no verão como no inverno, desde que se calcule sistemas de ventilação e refrigeração adequados ao tamanho da instalação, à densidade das aves e às condições climáticas do local.

Provavelmente, o meio mais econômico de ajudar um animal a manter o balanço de energia é controlar a entrada de radiação. A radiação do sol e do céu, somada à grande carga térmica é simples e substancialmente reduzida com telhados que minimizem a incidência da energia solar direta. Desde que um telhado permita pequenas alterações na temperatura do ar, umidade ou velocidade do vento, sua função primária é proteger o animal da intensa radiação solar. Um animal sob um telhado plano é exposto à radiação do céu, horizonte, sombra, irradiação do solo e do próprio material de cobertura (BOND et al., 1954).

O stress térmico dos animais, no período de verão, pode ser reduzido consideravelmente protegendo o animal da radiação solar direta. Isso pode ser conseguido, utilizando-se um telhado com alto valor de isolamento térmico e com alto valor de reflexão da radiação solar (BAETA et al., 1992).

De acordo com COSTA (1982), a variação da temperatura interna de uma habitação deve-se a inúmeros fatores:

- a insolação durante o dia, que contribui com uma parcela substancial do calor que penetra na habitação, sobretudo através das superfícies transparentes e da cobertura.
- o calor interno, gerado por animais e equipamentos.
- as trocas térmicas por transmissão de calor, tanto de fora para dentro (de dia), como de dentro para fora (de noite), através das superfícies que limitam o ambiente habitado.
- as trocas térmicas de aquecimento (de dia) ou esfriamento (de noite), propiciadas pelo ar de ventilação.

BOND et al. (1954) dizem que tamanho, orientação e pé-direito do telhado afetam a magnitude dos componentes da carga térmica radiante: radiação do solo, sombra, céu, horizonte e telhado, de acordo com o comportamento do próprio telhado, desde que esta parte da carga térmica radiante seja afetada por uma mudança nas características do material de cobertura.

Tem sido introduzido um método adicional de redução do ganho de calor, mediante o revestimento reflectivo do telhado. Tem-se demonstrado que refletindo a radiação solar se

reduz a temperatura do telhado em mais de 4,4°C. A pintura reflectiva pode ter um grande efeito na construção sem forro. Haveria provavelmente um decréscimo substancial na temperatura do ar e aproximadamente um decréscimo de 400% na carga térmica radiante (CZARICK, 1989).

Segundo BOTTCHER et al. (1990), testes de campo foram conduzidos para avaliar o isolamento reflectivo em um galpão de frangos e uma telha de cobertura reflectiva em um galpão de perus. O aquecimento foi significativamente menor no galpão com isolamento reflectivo, do que no galpão isolado com fibra de vidro. A cobertura reflectiva reduziu o ganho de calor, mas a temperatura de globo negro foi maior no galpão coberto, do que em um galpão descoberto, tendo um maior nível de isolamento.

Segundo CAMPOS (1986), os materiais que apresentam melhor desempenho para melhorar o conforto térmico são as telhas de barro, tipo francesa, com e sem forro e a telha de cimento-amianto com forro que apresentaram os menores valores de ITGU e CTR. Enquanto que o pior desempenho foi da telha de cimento-amianto sem forro, que obteve os maiores valores de ITGU e CTR.

GHELFI FILHO et al. (1991), MOURA et al. (1991), estudaram diferentes materiais de cobertura ao longo das várias estações do ano: telhas de barro, cimento amianto e térmicas, chegando à conclusão de que as telhas de barro apresentam os melhores índices de conforto, seguidas das telhas térmicas e de cimento amianto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no campo experimental do Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, tendo sido coletados os dados no período de 05 de janeiro a 12 de fevereiro (verão de 1993), às 8:00, 11:00, 14:00 e 17:00 horas.

Características dos abrigos: Os abrigos foram instalados sobre o solo gramado, sendo a sua estrutura em madeira com fechamento lateral com tela de polietileno possuindo um telhado de duas águas, cujo comprimento maior foi orientado no sentido leste-oeste. Os abrigos somente foram diferenciados pelos materiais de cobertura, tendo as medidas de 2,00 x 1,00 m, com área total de 2,0 m e altura de 1,75 m. As coberturas foram:

abrigo 1: telha de barro tipo capa-canal, com declividade de 36%.

abrigo 2: telha ondulada de cimento-amianto de 6mm, com declividade de 26%.

abrigo 3: telha térmica em perfil trapezoidal, composta por duas chapas de alumínio com 0,5 mm de espessura e poliuretano rígido expandido entre elas, perfazendo uma espessura final de 30mm. Declividade de 10%

abrigo 4: telha de zinco ondulada de 0,7mm de espessura, com declividade de 26%.

abrigo 5: telha de alumínio ondulada de 0,6mm de espessura, com declividade de 26%.

abrigo 6: telha de fibra de vidro translúcida ondulada, de 1 mm de espessura, com declividade de 26%.

Instrumentação: Em cada um dos abrigos foram instalados equipamentos, a saber:

- termômetros de máxima e mínima, sendo realizados registros das temperaturas diariamente, para determinação das condições internas dos abrigos no decorrer do experimento.

- termômetro de globo negro: a temperatura do globo negro é obtida através deste termômetro, que também é utilizado para determinar a carga térmica radiante. Este termômetro consta de uma esfera de cobre enegrecida, em cujo interior se aloja um termopar, que fornece uma indicação dos efeitos combinados da radiação, da temperatura, da velocidade e da umidade do ar. A instalação do termômetro de globo foi a 0,85m do piso, correspondendo ao centro geométrico do abrigo.

- termômetro de bulbo seco e bulbo úmido (psicrômetro aspirado): através do programa computacional psicart (BIAGI & SILVA, 1990), das medidas deste termômetro, foram determinadas as propriedades psicrométricas do ar.

Para caracterizar o ambiente na região da instalação do experimento, foram utilizados dados climáticos do posto meteorológico do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ/USP: temperaturas máxima e mínima e umidade relativa.

Após a coleta de dados, a avaliação dos efeitos do tipo de cobertura nos protótipos estudados foi feita através dos seguintes índices:

a) Carga Térmica Radiante (CTR)

A Carga Térmica Radiante ($w \cdot m^{-2}$), calculada para cada material de cobertura nos protótipos estudados foi determinada pela equação (1), proposta por ESMAY (1979).

$$CTR = \sigma (TMR)^4 \dots\dots\dots (1)$$

sendo:

σ = constante de Stefan-Boltzman $5,67 \times 10^{-8}$ ($w \cdot m^{-2} \cdot k^{-4}$)

TMR = Temperatura Média Radiante (K)

b) Temperatura Média Radiante

$$TMR = 100 [2,51 * (Vv)^{0,5} * (Tgn-Ta) + (Tgn)^4/100]^{1/4} \dots\dots\dots (2)$$

onde:

Vv = velocidade do vento (m/s)

Ta = temperatura ambiente (K)

c) Índice de conforto térmico

Objetivando estabelecer níveis de conforto térmico em relação às condições ambientais, foi determinado o Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU), representado pela equação (3), proposto por BUFFINGTON et al. (1977).

$$ITGU = Tgn + 0,36 Tpo - 330,08 \dots\dots\dots (3)$$

sendo:

Tgn = Temperatura de Globo Negro, (K).

Tpo = Temperatura do ponto de orvalho (K).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A avaliação dos dados foi realizada usando como critério o "dia crítico" do período. Entende-se por dia crítico o dia que apresentou maior entalpia, por ser esta uma grandeza

psicrométrica que envolve umidade relativa do ar e temperatura ambiente. Na figura 1, apresentamos os valores de entalpia para o período estudado, onde verificamos que o dia crítico foi 08/02/93.

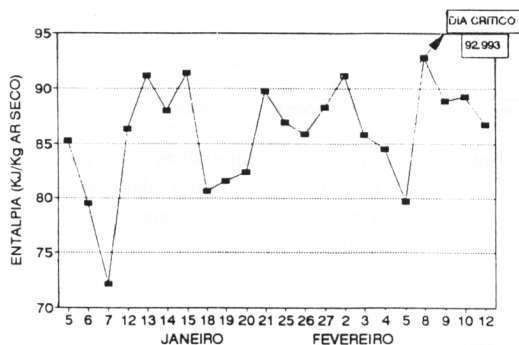


Figura 1 - Valores de entalpia para o período estudado.

materiais, tanto no que diz respeito ao ITGU e a CTR. Porém a telha de fibra, por ser translúcida apresentou uma menor eficiência térmica, ou seja, maiores valores de CTR e ITGU quando comparado com os demais.

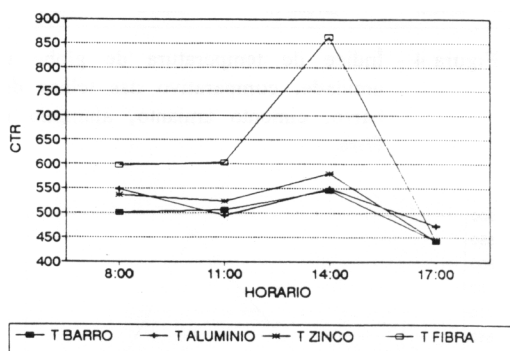


Figura 3 - Carga térmica radiante comparativa das telhas de barro, alumínio, zinco e fibra.

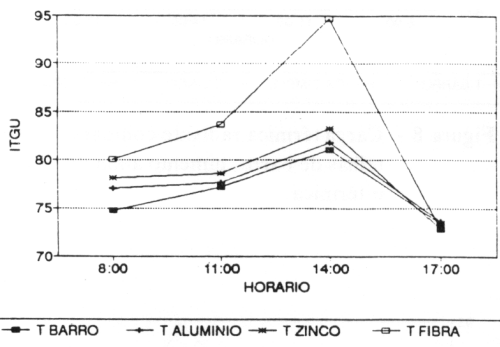


Figura 2 - Índice de temperatura de globo e umidade (08/02/1993).

Para a análise da eficiência das telhas, utilizamos o horário das 14:00h por apresentar maior incidência sobre os abrigos.

Através dos índices de conforto utilizados, ou seja, Índice de Temperatura de Globo e Umidade (ITGU) e Carga Térmica Radiante (CTR), observamos pelas figuras 2 e 3 que a telha de barro apresentou maior eficiência térmica quando comparado com os demais

Também nas figuras 2 e 3 observamos que o comportamento da telha de alumínio é bem próximo da telha de barro. Já a telha de zinco apresentou uma eficiência menor que a telha de alumínio, sendo superada pela telha de fibra nos dois índices estudados.

Isto deve-se ao fato de que as telhas de alumínio são mais reflectivas enquanto que as de zinco apresentam uma maior absorção da radiação solar. Esse comportamento vem de encontro com as pesquisas realizadas por HASSAB & TIMMONS (1989).

Comparando as telhas de cimento amianto e as de alumínio, verificamos pelas figuras 4 e 5 que a segunda é mais eficiente que a primeira, com relação aos índices estudados (ITGU e CTR). A maior absorção dos raios solares nas telhas de cimento amianto é a principal justificativa quando comparamos com as telhas de alumínio.

Nas figuras seguintes (6, 7, 8 e 9), observa-se que as telhas térmicas, de barro e de alumínio se aproximam muito, devido à capacidade reflectiva das duas primeiras e da porosidade da última.

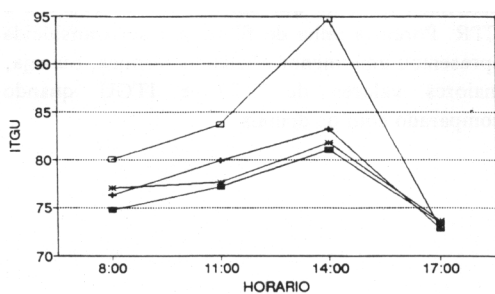


Figura 4 - Índice de temperatura de globo e umidade, comparativo das telhas de barro, cimento amianto, alumínio e fibra.

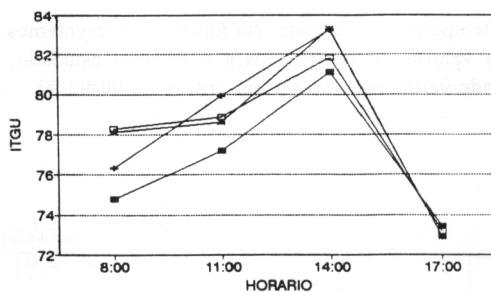


Figura 7 - Índice de temperatura de globo e umidade comparativo das telhas de barro, cimento amianto, zinco e térmica.

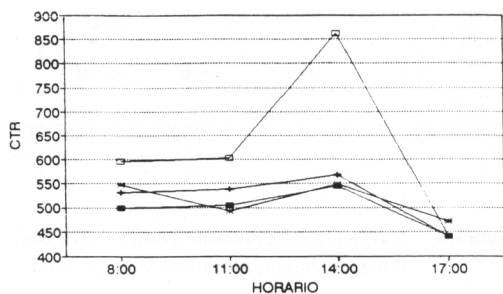


Figura 5 - Carga térmica radiante comparativa das telhas de barro, cimento amianto, alumínio e fibra.

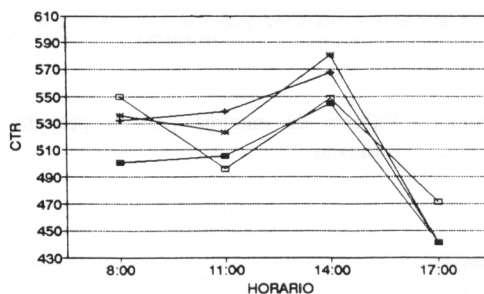


Figura 8 - Carga térmica radiante comparativa das telhas de barro, cimento amianto, zinco e térmica.

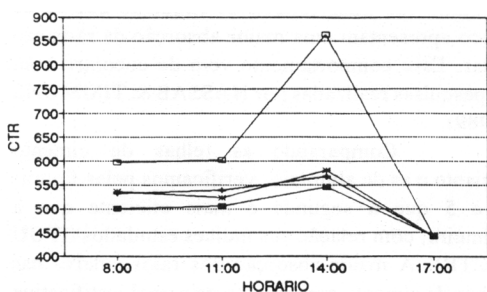


Figura 6 - Carga térmica radiante comparativa das telhas de barro, cimento amianto, zinco e fibra.

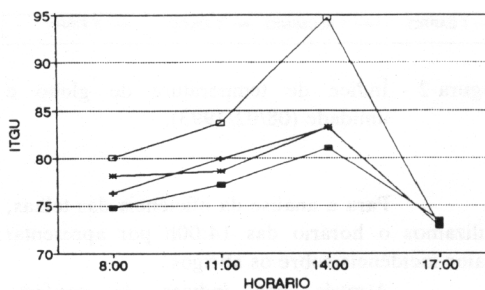


Figura 9 - Índice de temperatura de globo e umidade, comparativo às telhas de barro, cimento amianto, zinco e fibra.

CONCLUSÕES

As telhas de barro são as que oferecem maior conforto térmico, seguidas pelas telhas de alumínio e térmicas. Em terceiro lugar, vêm as telhas de cimento amianto simples, depois as de zinco e, por último, as telhas de fibra de vidro.

As telhas de barro continuam sendo o melhor material a ser utilizado na cobertura de abrigos para animais, porém, devido ao seu alto custo (telhas e madeiramento), as telhas de alumínio ou as térmicas são uma boa opção, já que apresentam comportamento semelhante. A escolha deve ser feita com base na economicidade de cada uma.

A telha de cimento amianto e a de zinco não são recomendadas por serem desconfortantes, sendo que a última também causa stress devido ao barulho das chapas de zinco. Em último caso, podem ser usadas com pé direito alto, acima de 4 metros.

A telha de fibra de vidro não deve ser usada sob hipótese alguma, por ser extremamente desconfortante. Feita de material translúcido, ela deixa passar muita radiação solar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAETA, F.C.; PELOSO, E.J.M.; CAMPOS, A.T.; OLIVEIRA, J.L.; Efeito do forro nas condições ambientais de galpões com cobertura de barro e de cimento-amianto. *Engenharia na Agricultura. Série Construções Rurais e Ambiente*, Viçosa, v.1, n.2, p.12, maio 1992.
- BIAGI, J.D.; SILVA, I.J.O. da. Software para determinar as propriedades psicrométricas do ar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., 1990, Piracicaba. *Anais... Jaboticabal: SBEA, 1990. p.72-84.*
- BOND, T.E.; KELLY, C.F.; ITTNER, N.R. Radiation studies of pointed shade materials. *Agricultural Engineering*, St. Joseph, v.35, n.6, p.389-392, 1954.
- BOTTCHER, R.W.; DRIGGERS, L.B.; BAUGHMAN, G.R.; BISESI, P. Field tests of reflective insulation and roof coating. St. Joseph, ASAE, 1990. 16p (ASAE Paper, 90-45150).
- BUFFINGTON, E.D.; AROCHO, A.C.; CATON, G.N.; PITY, D.; TATCHER, E.E.; COLLIDER, R.T. Black globe humidity comfort index for dairy cows. St. Joseph, ASAE, 1977. 19p. (ASAE Paper, 77-4517).
- CAMPOS, A.T. de. Determinação dos índices de conforto e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões, em condições de verão para Viçosa-MG. Viçosa, 1986. 66p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
- COSTA, E.C. da. *Arquitetura ecológica; condicionamento térmico natural*. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 264p.
- CZARICK, M. Reflective roof coatings. *Poultry International*, Neetherlands, v.23, n.8, p.26-32, 1989.
- ESMAY, M.L. *Principles of animal environment*. West Port: AVI Publishing, 1979. 325p.
- ETERNIT. *Conforto térmico*. São Paulo: ETERNIT. 1981. 12p. (Boletim, 110).
- GHELFI FILHO; SILVA; I.J.O.; MOURA, D.J; CONSIGLIERO, F.R. Índice de conforto térmico e da CTR para diferentes materiais de cobertura em três estações do ano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina, *Anais... Londrina: SBEA, 1992. p.94-110.*
- HASSAB, P.; TIMMONS, M. Climate control principles for open type housing. *Figs*, Netherlands, v.5, n.4, p.20-23, 1989.
- LEAL, P.A.M. Determinação do microclima gerado dentro de uma estrutura a partir de dados ambientais. Campinas, 1981. 79p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Campinas.
- MOURA, D.J; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O.; CONSIGLIERO, F.R. Materiais de construção: desempenho das telhas térmicas nos índices de conforto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20., 1991, Londrina, *Anais... Londrina: SBEA, 1992. p.114-131.*
- NÄÄS, I.A. Efeitos do ambiente na eficiência da produção de pequenos ruminantes. *Ecosystema*, Espírito Santo do Pinhal, v.11, p.5-13, outubro 1986.
- PARKER, B.F. Heat transmission characteristics of sloped roofs exposed to solar radiation. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.8, n.1, p.1-5, 1963.
- QUERESHI, A.A. Low-cost controlled environment house. *Poultry International*, Neetherlands, v.29, n.11, p.110, 1990.

Enviado para publicação em 13.07.93

Aceito para publicação em 27.09.93