

**RODRIGO COUTO SANTOS**

**CONFORTO TÉRMICO NO INVERNO EM MODELOS DE GALPÕES PARA  
PRODUÇÃO DE AVES E SUÍNOS EM FUNÇÃO DO PÉ-DIREITO E TIPO DE  
COBERTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2001**

**RODRIGO COUTO SANTOS**

**CONFORTO TÉRMICO NO INVERNO EM MODELOS DE GALPÕES PARA  
PRODUÇÃO DE AVES E SUÍNOS EM FUNÇÃO DO PÉ-DIREITO E TIPO DE  
COBERTURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “*Magister Scientiae*”.

APROVADA: 31 de maio de 2001.

Prof. Fernando da Costa Baêta  
(Conselheiro)

Prof. Paulo Roberto Cecon  
(Conselheiro)

Prof. Vítor Hugo Teixeira

Prof. Luiz Fernando Teixeira Albino

Prof<sup>a</sup> Ilda de Fátima Ferreira Tinôco  
(Orientadora)

A todos que me apoiaram e acreditaram em mim. Em especial aos meus Pais, com  
muito amor.

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, pela vida, saúde e inteligência.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade concedida.

Aos professores da UFV, principalmente aos do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos, críticas e orientações.

Em especial à Professora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pelos ensinamentos, críticas, amizade, paciência, compreensão, orientação, confiança e exemplo de vida.

Ao Professor Fernando da Costa Baêta, pelos ensinamentos, críticas, sugestões, aconselhamento e agradável convivência.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon, pela orientação estatística, paciência, críticas e sugestões.

Aos caros colegas de profissão, em especial Sidney Pereira, José Evaristo, Roberto Avelino, Carlos Henrique, Cristiano, Luiz, Paola, Eduardo, Ana Esméria e Klevison.

Aos colegas Marcos e Nelson, pela colaboração indispensável na montagem do experimento e na coleta de dados.

Aos colegas de pós-graduação Handrey, Eraldo, Tadayuki, Marcelo, Sandra, Alessandra, Ricardo, Rosana e Holf, principalmente pela recepção e boa convivência.

À todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

Aos verdadeiros amigos Nestor e família e Rosângela, pelos conselhos, paciência, compreensão e momentos de descontração.

À Jeane, pela amizade, confiança, carinho, amor e compreensão, nas horas que mais precisei.

Aos meus pais, Wilson e Nívia, pela vida, apoio, segurança, amizade e ajuda financeira.

Aos meus irmãos Flavia e Eduardo, pelo carinho, amizade e espírito de família.

Aos meus parentes, que sempre me deram apoio, em especial ao meu tio Sérgio e às tias Ivone, Joana, Isabel, Francisca e Olga.

À todos que passaram pela minha vida, e que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

RODRIGO COUTO SANTOS, filho de Wilson Reis Santos e Nívia Amélia do Couto, nasceu em São Paulo - SP, no dia 03 de maio de 1973.

Em 1991 formou-se Técnico em Administração pela Fundação Bradesco, em Campinas - SP.

Em março de 1999 graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa - MG.

Em abril de 1999 iniciou o curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente, em nível de mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em maio de 2001.

## ÍNDICE

|  |      |
|--|------|
| RESUMO.....  | viii |
| ABSTRACT.....  | x    |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 1    |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA.....  | 4    |
| 2.1. Clima e desempenho animal.....  | 4    |
| 2.2. Características térmicas em instalações para produção animal nos períodos frios.... | 5    |
| 2.3. A cobertura.....  | 6    |
| 2.3.1. Altura de telhados.....   | 7    |
| 2.3.2. Materiais de cobertura.....   | 8    |
| 2.3.2.1. Telhas de barro, cimento-amianto e metálicas.....                               | 9    |
| 2.3.3. O forro.....  | 10   |
| 2.3.4. Materiais isolantes.....  | 11   |
| 2.3.5. Utilização de pintura em coberturas.....  | 12   |
| 2.4. A orientação das instalações.....   | 13   |
| 2.5. Modelos e protótipos.....   | 14   |
| 2.6. Caracterização de um ambiente térmico.....  | 15   |
| 2.7. Índices de conforto térmico.....  | 15   |
| 2.7.1. Temperatura de Bulbo Seco (TBS).....  | 16   |
| 2.7.2. Temperatura de Globo Negro (TGN).....   | 17   |

|  |    |
|--|----|
| 2.7.3. O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU).....  | 18 |
| 2.7.4. Carga Térmica de Radiação (CTR).....                          | 20 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS.....   | 21 |
| 3.1. Características das construções.....                            | 21 |
| 3.1.1. Caracterização dos protótipos.....                            | 22 |
| 3.1.2. Características das coberturas utilizadas nos protótipos..... | 23 |
| 3.2. Instrumentos e medições.....                                    | 24 |
| 3.2.1. Medições realizadas no interior dos modelos reduzidos.....    | 24 |
| 3.2.1.1. Temperaturas de bulbo seco e molhado.....                   | 24 |
| 3.2.1.2. Temperatura de globo negro.....                             | 24 |
| 3.2.1.3. Velocidade do ar.....                                       | 25 |
| 3.2.2. Medições no exterior dos modelos reduzidos.....               | 25 |
| 3.3. Índices de conforto térmico.....                                | 25 |
| 3.3.1. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).....    | 25 |
| 3.3.2. Carga térmica de radiação (CTR).....                          | 26 |
| 3.4. Análise dos dados experimentais.....                            | 26 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                       | 27 |
| 4.1. Índices térmicos ambientais.....                                | 27 |
| 4.1.1. Índice de Temperatura de globo negro e umidade (ITGU).....    | 28 |
| 4.1.2. Carga térmica de radiação (CTR).....                          | 46 |
| 5. RESUMO E CONCLUSÕES.....  | 62 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....                                      | 65 |
| APÊNDICE.....  | 70 |

## RESUMO

SANTOS, Rodrigo Couto, M.S., Universidade Federal de Viçosa, maio de 2001.  
**Conforto térmico no inverno em modelos de galpões para produção de aves e suínos em função do pé-direito e tipo de cobertura.** Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Conselheiros: Fernando da Costa Baêta e Paulo Roberto Cecon.

Fatores ambientais são de grande interesse no processo de produção animal, pois acabam refletindo na qualidade e quantidade do produto final, principalmente quando toda a seqüência ocorre no interior de determinada instalação. Neste contexto, os materiais de cobertura merecem destaque, pois constituem um dos principais fatores no conforto térmico ambiental, influenciando na quantidade de calor que entra e sai da instalação. No entanto, a maioria das pesquisas relacionadas aos materiais de cobertura para as condições brasileiras, tem se pautado mais no que se refere ao arrefecimento térmico destes, uma vez que o País apresenta verões muito quentes. Contudo, os materiais de cobertura utilizados nas instalações animais, podem não ser simultaneamente eficientes para condições de verão e de inverno. Assim, visando a melhoria do conforto térmico de aves e suínos, em condições de inverno, esta pesquisa teve como objetivo: a) análise de diferentes tipos de materiais de cobertura convencionais (barro, alumínio e cimento-amianto) e suas diferentes associações (forro junto à telhas de barro, alumínio e cimento-amianto; lâmina reflexiva em associação às telhas de alumínio e cimento-amianto; poliuretano sobre telhas de alumínio; telhas de

alumínio sanduíche; e pintura branca sobre telhas de cimento-amianto) comumente utilizados em instalações avícolas e suínolas, para duas distintas alturas de pé-direito, avaliados pelo Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) e Carga Térmica de Radiação (CTR). O trabalho foi realizado em modelos reduzidos de galpões avícolas, em condições de inverno, no município de Viçosa-MG, na área experimental de Construções Rurais e Ambiência do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Para a execução desta pesquisa foram construídos 22 modelos reduzidos de galpões avícolas, na classe geometricamente similar com escala 1:10, baseados nas dimensões de um galpão convencional com pés-direitos de 3,2 m e 4,2 m, largura de 12,0 m, distância entre tesouras de 5,0 m, coberturas com inclinação de 30° para telhas de barro e 15° para telhas de alumínio e cimento-amianto. Os modelos foram montados em terreno plano, nivelado e gramado, livres de sombreamento, orientados no sentido leste-oeste e distanciados 4,0 m um do outro. O ambiente térmico foi caracterizado medindo-se as temperaturas de bulbo seco e molhado, temperatura de globo negro e velocidade do ar, através de instrumentos posicionados à altura correspondente ao centro de gravidade das aves. As leituras foram feitas a cada duas horas, no período de 24 horas, a partir das 00:00 horas, nos meses de agosto e setembro, de onde foram selecionados dez dias experimentais com condições climáticas semelhantes. Com base nestes resultados, foram obtidos os índices ITGU e CTR de cada tratamento. Baseados nas condições em que o trabalho foi realizado e através dos resultados obtidos concluiu-se que, de acordo com os valores de ITGU e CTR, a utilização de forros junto às telhas de barro e alumínio conferiu uma maior inércia térmica aos conjuntos, o que é desejável durante o inverno; as coberturas confeccionadas com telhas de cimento-amianto com pintura branca na face superior, não são interessantes do ponto de vista de conforto térmico de inverno; as coberturas que melhor atenderam as necessidades mínimas de conforto térmico foram as confeccionada com telhas de alumínio sanduíche, alumínio e barro; no que diz respeito ao pé-direito, sugere-se, em galpões avícolas, que a utilização de galpões com pé-direito de 3,2 m, em escala real, é melhor que galpões com pé-direito de 4,2 m, nas horas de extremos térmicos de inverno.

## ABSTRACT

SANTOS, Rodrigo Couto, M.S., Universidade Federal de Viçosa, May 2001. **Thermal comfort over winter by hangar models for production of birds and swine as a function of room height and covering type.** Adviser: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Committee members: Fernando da Costa Baêta and Paulo Roberto Cecon.

Environmental factors are very important on animal production, since they have influence upon quality and quantity of the final product, mainly when the whole process sequence happens within certain facilities. So, the covering materials deserve special attention because they represent one of the major factors to thermal comfort, as influencing the energy flow within and outside the facility. However, most of the researches related to the covering materials adequate to Brazilian conditions has been concerned about the thermal cooling of these materials, considering the occurrence of very high temperatures in this Country summers. However, the covering materials used in animal facilities may not be simultaneously efficient under summer and winter conditions. Therefore, searching for the improvement of thermal comfort to birds and swine under winter conditions, this study aimed at the following objectives: a) to analyze different types of conventional coverings (ceramic, aluminum and cement-amianthus) and their associations (covering together with ceramic tiles, covering together with ceramic tiles, covering together with ceramic tiles, and others) commonly used in poultry and swine facilities, for two room heights evaluated by the Black Globe

and Humidity Index (BGHI) and Thermal Load Radiation (TLR). The experiment was accomplished with prototypes of poultry hangars for winter conditions, in the Rural Constructions and Ambience experimental area of the Agricultural Engineering Department in Federal University of Viçosa, Viçosa-MG. To carried out this study, 22 poultry house prototypes were built at geometrically similar class (scale 1:10), based on dimensions of a conventional poultry house with 3.2m and 4.2m room heights, 12 m width, a distance between trusses of 5.0 m, covering at 30° slope for ceramic tiles and 15° for aluminum and cement-amianthus tiles. The prototypes were mounted on plane, leveled and grassed ground, shading-free, oriented towards east-western with a 4.0m distance between one another. The thermal environment was characterized, by measuring both temperatures of dry and wet bulbs, black globe temperature, and air speed through tools positioned at the height corresponding to gravity center of the birds. The readings were performed each two hours over a 24h period, starting from exactly 00:00 o'clock in August and September, when ten experimental days with similar climatic conditions were selected. Based on these results, the indexes BGHI and TLR were obtained from each treatment. Based on conditions under which the study was accomplished and considering the obtained results, it was concluded that according to the values of BGHI and TLR, the use of coverings together with the ceramic and aluminum tiles provided a higher thermal inertia to these sets, what is desirable over winter; the coverings made with cement-amianthus tiles with a white-painted superior face are not interesting under the thermal comfort viewpoint over winter. The coverings satisfying the minimum needs for thermal comfort were those made of sandwich aluminum tiles, and aluminum and ceramic tiles. Relatively to room height, the use of 3.2 m-high poultry house (real scale) is better than those 4.2m high at thermal extreme hours in winter.

## **1. INTRODUÇÃO**

Com a globalização da economia mundial, o setor agro-industrial passou a se modernizar ainda mais, objetivando atender as exigências, cada vez maiores, dos seus consumidores. Com a expansão das fronteiras mercadológicas, a competitividade tornou-se crescente, e os produtores que se sobressaíram tiveram que aumentar sua produção e produtividade para conseguirem atender a demanda de mercado.

Setores como a avicultura e suinocultura começaram a se destacar dentro do cenário nacional e internacional. Grandes investimentos foram feitos, principalmente nas áreas de melhoramento genético, nutrição, manejo e instalações, levando estas atividades para um estágio de alta tecnologia. Em consequência dessa modernização, atualmente o Brasil possui um dos menores custos de produção avícola do mundo, ocupando a segunda e quinta posição do planeta em termos de volume de produção de frangos de corte e galinhas poedeiras, respectivamente. Similarmente a suinocultura brasileira também se destaca, ocupando a oitava posição do mundo, em quantidade produzida.

Num mundo onde a concorrência é grande, fatores ambientais passam a ser de grande interesse durante o processo de produção animal, pois podem acabar refletindo na qualidade e produtividade do produto final. Um dos fatores externos que está intimamente ligado ao desempenho animal é a variação térmica ambiental. Para que um

animal esteja térmicamente confortável, é necessário que este dissipe calor numa taxa igual à resultante dos processos metabólicos mais a recebida pelo próprio ambiente.

Em regiões de climas tropicais e subtropicais as variáveis que mais influenciam o ambiente térmico são a temperatura e umidade relativa do ar, o vento e a radiação solar, dentre outras. Estes fatores são limitantes para o desenvolvimento, produção e reprodução animal. Assim, à medida que a temperatura ambiente se distancia da zona de conforto térmico animal, cresce em importância a necessidade do emprego de artifícios capazes de minimizar o efeito dessas condições adversas sobre o desempenho produtivo dos animais.

Uma forma de se influenciar o ambiente térmico das instalações é o condicionamento térmico natural, com ênfase à variação da concepção arquitetônica e do paisagismo circundante, como forma de se controlar térmicamente o ambiente, utilizando-se, ao máximo, os recursos da própria natureza e dos materiais de construção. Neste último aspecto, dentre os materiais de construção utilizados nas instalações animais, merece destaque os materiais das coberturas, os quais constituem um dos principais responsáveis pelo conforto térmico ambiental, influenciando diretamente o balanço térmico no interior das instalações (BAÊTA e SOUZA, 1997; MORAES, 1999).

A maioria das pesquisas relacionadas aos materiais de cobertura para as condições brasileiras tem se pautado mais no que se refere ao arrefecimento térmico destes, uma vez que o País apresenta verões muito quentes. Contudo, os materiais de cobertura utilizados nas instalações animais, podem não ser simultaneamente eficientes para condições de verão e de inverno. Por exemplo, instalações para maternidade e creche de suínos e instalações para aves na sua fase inicial de crescimento devem ser protegidas de baixas temperaturas ou mesmo de variações bruscas de temperatura interna. Isto passa a ser um grande problema, principalmente durante o período noturno e em condições de inverno, podendo gerar grandes prejuízos financeiros, uma vez que o animal jovem estressado por frio dificilmente compensará a perda de uniformidade e redução de seu desempenho produtivo potencial ao longo de sua vida. Desta maneira, fica evidenciado a importância de se atentar para a necessidade de mantê-lo sempre em condições de conforto térmico, tanto no inverno quanto no verão.

Posto isto, o conhecimento sobre o comportamento dos materiais de cobertura para cada situação térmica, é imprescindível no balizamento das decisões acerca dos mesmos, auxiliando nas medidas de redução do estresse animal causado pelo frio, o que justifica a presente investigação.

Diante do exposto, esta pesquisa teve como objetivo:

- analisar diferentes tipos de materiais de cobertura e suas diferentes associações, comumente utilizados em instalações de aves e suínos, para duas alturas distintas de pé-direito, em condições de inverno, em Viçosa- MG.

## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Clima e desempenho animal**

Os animais selvagens, possuem instinto responsável pela sua sobrevivência. Assim, a liberdade de locomoção, seleção do melhor ambiente e as adaptações fisiológicas sofridas, são os fatores responsáveis pelo equilíbrio existente entre os animais e a natureza. A partir do momento em que o homem passa a domesticar os animais, faz com que estes sejam criados num ambiente diferente de seu habitat natural, muitas vezes em regiões com climas desfavoráveis ao seu desenvolvimento, dificultando assim, suas condições de sobrevivência. Desta forma, o homem passa a ser o responsável por proporcionar as condições ambientais mínimas para a produção animal (CURTIS, 1983).

TURCO (1997) menciona que cada espécie animal possui uma faixa de conforto térmico, que varia consideravelmente em função da idade, tipo de cruzamento e estado nutricional, entre outros fatores, e é nessa faixa que se consegue o máximo de desempenho dos animais. A faixa de conforto térmico, também conhecida como zona de termoneutralidade é aquela onde o animal não necessita de qualquer atividade metabólica suplementar para aquecer ou resfriar o corpo (CURTIS, 1983; HAFEZ, 1968). Na espécie suína esta faixa de conforto térmico é muito estreita, assim estes animais são muito sensíveis à condições climáticas adversas, tanto ao frio quanto calor.

Quando recém nascido, a sensibilidade maior é ao frio, o que ocorre devido à falta de controle termorregulatório, principalmente pela pequena camada de gordura subcutânea e poucas reservas de glicogênio. E quando adulto, a sensibilidade maior é ao calor, pois à medida que o suíno adquire maior camada de gordura subcutânea, mais difícil se torna para dissipar calor (PHILLIPS e PIGGINS, 1992).

A zona de termoneutralidade é limitada pela temperatura crítica inferior e superior. Temperaturas ambientais abaixo do limite inferior causam a ativação dos mecanismos termorregulatórios dos animais, com a finalidade de produzir calor para aquecer o corpo e temperaturas acima do limite superior fazem com que o animal dissipe calor para o ambiente. Temperaturas extremas, muito distantes da zona de conforto térmico de um animal, podem ocasionar a sua morte por frio ou calor (CURTIS, 1983; HAFEZ, 1968).

## **2.2. Características térmicas em instalações para produção animal nos períodos frios**

A transmissão natural de calor é um mecanismo particularmente importante para a troca de energia e massa entre o ar interior de um galpão e o ar exterior (BOULARD, 1997). Assim, de acordo com MULLER (1997), o microclima dentro das instalações animais é influenciado por vários fatores, destacando-se o número de animais alojados por área, tipo de edificação e cobertura (em termos de materiais e forma arquitetônica), clima externo e componentes da circunvizinhança. Para condições de frio extremo, o acréscimo de calor gerado no interior de um galpão para produção animal passa a ser desejável ao conforto térmico dos animais, pois a perda de calor para o exterior aumenta, em decorrência da transmissão natural, o que se justifica pela maior diferença de temperatura entre o meio interno e externo.

Segundo PERDOMO et al. (1985) são quatro os principais modelos de instalações para a produção suinícola no Brasil: o unilateral fechado, que apresenta fechamentos (janelas, janelões, tampões ou outros) em uma das laterais e a outra é aberta; o bilateral fechado, em que ambas as laterais apresentam fechamentos; o aberto, em que ambas as laterais são abertas; e o misto, onde um só prédio é dividido em

seções, com fechamentos unilaterais ou bilaterais. No Brasil, a maioria das instalações de aves e suínos são abertas.

A ventilação adequada de uma instalação zootécnica é de extrema importância, pois é responsável pela manutenção da umidade, dispersão de gases nocivos, provenientes do metabolismo animal, e dispersão do excesso de calor. Se feita de maneira incorreta, esta ventilação pode causar um comprometimento do desempenho animal, levando-o ao estresse, podendo ocasionar até mesmo a sua morte (ALBRIGHT, 1990). Em períodos de inverno, quando se deseja manter o calor dentro das instalações, recomenda-se que os alojamentos para criação intensiva de animais devam atender às necessidades de ventilação mínima (higiênica) e de conforto térmico, garantindo proteção contra ventos frios e conseqüentemente reduções de temperaturas (RIVERO, 1986; BAÊTA e SOUZA, 1997).

Segundo NEUBAUER e CRAMER (1965) e BOND et al. (1976) o sombreamento pode reduzir a Carga Térmica de Radiação (CTR) incidente sobre um animal em 30% ou mais. SANTOS et al. (1993), TURCO et al. (1994), ABREU et al. (1995), TINOCO (1996), BAETA e SOUZA (1997) e ZANOLLA (1998) afirmam que, para condições brasileiras, esta redução da carga térmica fica entre 20 e 40%, redução esta que depende do material de cobertura utilizado para promover o sombreamento. Em épocas de frio extremo, esta redução não é desejável, podendo causar estresse térmico por frio aos animais. Assim, conforme mencionado por MULLER (1997), para o inverno o telhado deverá atender a função básica de proteção contra chuva e insolação direta, sendo preferencialmente composto de materiais que evitem mudanças bruscas de temperatura, conservando, assim, o calor dentro das instalações.

### **2.3. A cobertura**

A maior incidência de radiação solar sobre uma determinada área ocorre durante o dia; assim, a cobertura assume um papel de extrema importância no que tange o conforto térmico animal, pois, durante o dia reduz a carga térmica de radiação, substituindo uma área de solo aquecido por uma sombreada e, durante a noite, dificulta

a perda de calor para o céu distante, o que é essencial principalmente durante o inverno (ROSA, 1984).

Quando a radiação solar incide sobre uma cobertura, ela é refletida, absorvida ou transmitida, em quantidades que dependem das propriedades físicas dos materiais que a compõem (RIVERO, 1986). Assim, em condições de frio intenso, é desejável que os materiais de coberturas tenham baixa refletividade, alta absorvidade e transmissividade, ocasionando um maior aquecimento no interior dos galpões.

### **2.3.1. Altura de telhados**

Com o aumento do pé-direito de uma instalação, não se aumenta o tamanho da sombra causada pela cobertura, mas faz com que esta se mova mais rapidamente, diminuindo a temperatura do solo. Assim, a altura de um telhado exerce influência na produção avícola e suinícola. Além disso, estruturas mais altas reduzem a carga térmica de calor proporcionando um ambiente de temperaturas mais amenas. Isto ocorre pois abrigos mais altos fazem com que os animais fiquem expostos à uma maior porção de céu frio, possibilitando, assim, o aumento do efeito de arrefecimento térmico (KELLY et al., 1950). Desta forma, para condições de inverno, coberturas mais baixas são mais interessantes, do ponto de vista de conforto térmico.

O pé-direito de uma instalação tem sua altura variando diretamente em função da ventilação natural desejável e quantidade de radiação solar incidente no interior da instalação, dentre outros. Em condições de calor, opta-se preferencialmente pela utilização de um pé-direito mais alto, enquanto que, para condições de frio, é mais interessante galpões com pé-direito mais baixo. Normalmente, relaciona-se o pé-direito de uma instalação com sua largura, conforme pode ser visto na Tabela 1:

Tabela 1- Variação do pé-direito em função da largura do galpão

| Largura (m)   | Pé-direito desejável em climas tropicais (m) |
|---------------|--|
| até 8,00      | 2,80   |
| 8,00 a 9,00   | 3,15   |
| 9,00 a 10,00  | 3,50   |
| 10,00 a 12,00 | 4,20   |
| 12,00 a 14,00 | 4,90   |

Fonte: TINÔCO (1995)

De acordo com CURTIS (1983), quanto maior o pé-direito de uma instalação, menor a carga térmica vinda do telhado incidente sobre os animais, o que é devido ao aumento da distância entre a superfície inferior do material de cobertura e os animais. Usualmente, tem sido recomendado para instalações avícolas, galpões com pé-direito de aproximadamente 3,2m, para 12m de vão.

### 2.3.2. Materiais de cobertura

Algumas propriedades dos materiais de cobertura afetam as características do ambiente interno de uma instalação. Segundo KELLY e BOND (1958) entre estas características destacam-se:

- 1- Maior ou menor transmissividade e refletividade térmica do material para todos os comprimentos de onda;
- 2- Absortividade e condutividade térmica;
- 3- Porcentagem de área exposta aos raios solares e área aberta sob a cobertura.

De acordo com RIVERO (1986), os materiais utilizados em uma cobertura se comportam seletivamente com relação à radiação incidente; isto significa que a quantidade de energia que refletem, absorvem e transmitem é diferente para cada comprimento de onda.

O material ideal para uma cobertura deve ser leve, impermeável, resistente à intempéries, ter baixa condutividade, elevada resistência mecânica, facilidade de manuseio e montagem e baixo custo. Nos galpões brasileiros, as principais telhas utilizadas são as de barro, cimento-amianto e metálicas.

### 2.3.2.1. Telhas de barro, cimento amianto e metálicas

As telhas de barro são feitas de argila levada à temperatura de aproximadamente 900<sup>0</sup>C, sendo comercialmente encontradas na forma plana e curva. Uma telha de barro de qualidade possui as seguintes características: bom cozimento, superfície lisa, impermeabilidade, superposição e encaixe perfeitos, uniformidade de dimensões, boa resistência mecânica e boa inércia térmica.

As telhas de cimento-amianto são obtidas da adição de fibras de amianto ao cimento, podendo ser encontradas no mercado principalmente na forma ondulada ou trapezoidal. Suas principais características são: boa resistência mecânica e durabilidade, baixo peso específico, grande estanqueidade, boa resistência aos ácidos comuns e alta refletividade, quando novas.

As telhas metálicas são feitas de alumínio, zinco ou aço galvanizado e, assim como as de cimento-amianto, são encontradas no mercado na forma ondulada ou trapezoidal. Tem como características principais boa aparência, trabalhabilidade, boa resistência à corrosão, baixo peso específico, quando novas elevado poder de reflexão térmica, alta condutividade térmica, baixa resistência mecânica e grande emissão de sons.

Em estudo feito por ROSA (1984) comparando a influência de três materiais de coberturas (barro, alumínio e cimento-amianto) sobre os índices de conforto térmico ambiente, em condições de verão, para Viçosa-MG, concluiu-se que para um dia típico de céu descoberto, a maior eficiência, em termos de redução de CTR e as melhores condições de conforto térmico, foram obtidas sob a cobertura de barro (francesa ou canal), seguida pela de alumínio e, por último, sob a de cimento-amianto. MORAES (1999), após estudo realizado para se determinar o conforto térmico proporcionado por diferentes coberturas e suas associações, em modelos reduzidos de galpões avícolas, em condições de verão, para Viçosa-MG, concluiu, com base no ITGU, que nos horários mais quentes do dia, as telhas de barro, cimento-amianto e alumínio são estatisticamente iguais, embora os valores absolutos mostrassem que a telha de barro proporcionou um melhor ambiente térmico, seguida pela de alumínio e por último a de cimento-amianto. Diante das características inerentes a cada material de cobertura, espera-se que para condições de inverno, esta ordem de colocação de cada material, em termos de redução

de carga térmica, não se altere. Mas pelo fato de se tratar de uma estação fria, é desejável que o ambiente térmico dentro de uma instalação se mantenha aquecido, invertendo-se assim a ordem de importância destes materiais.

BAËTA et. al. (1995), estudou o efeito termossifão em galpões para a produção de frangos de corte com telhas de barro e cimento-amianto. Para esta pesquisa foram construídos dois protótipos, um com telhas de barro e o outro com telhas de cimento-amianto; ambos com lanternim e aberturas laterais controladas por cortinas. Ao final do experimento concluiu-se que os maiores acréscimos de temperatura interna ocorreram nos protótipos cobertos com telhas de cimento-amianto, o que é desejável durante o inverno.

### **2.3.3. O forro**

COSTA (1982) afirma que a proteção mais econômica e permanente contra o calor advindo de uma cobertura é o uso do forro, o qual, sendo bem projetado, forma uma camada de ar móvel junto à cobertura, que age como isolante térmico. Conforme pesquisa realizada por este autor, um forro de duratex com 6mm, não ventilado, reduz 62% da carga térmica transferida ao interior do galpão e 90%, no caso de forro ventilado. Entretanto, o uso de forro é muito pouco utilizado em instalações para produção animal, devido principalmente à fatores econômicos e higiênicos (abrigo de pragas).

Segundo MORAES (1999) atualmente uma alternativa de forro que tem sido utilizada em algumas granjas avícolas e suinícolas do País é o de película de polietileno, sendo de prática instalação e baixo custo. Estas películas se apresentam em diferentes cores e espessuras, entre as quais 0,05, 0,1 e 0,15 mm. Estudos realizados por este autor, em protótipos de galpões avícolas, para condições de verão, em Viçosa-MG, demonstram que a utilização de forro, junto à coberturas confeccionadas com telhas de barro, cimento-amianto e alumínio, proporcionam uma contribuição média na melhoria do ambiente térmico em torno de 5,6%, em termos de eficiência, sendo que seu efeito ficou mais evidente, quando associado à telhas de cimento-amianto.

Após pesquisar a utilização de forro, em maternidades de suínos, em Concórdia-SC, PERDOMO et al. (1996) concluíram que, para condições de verão, o uso de forro não foi suficiente para permitir o acondicionamento térmico desejado, pois o ambiente interno das instalações manteve-se aquecido, causando desconforto térmico.

Diante do exposto, o fato do forro servir como barreira à passagem de carga térmica, faz com que este dificulte a entrada de calor no interior de uma instalação, da mesma forma que também atua como barreira dificultando a eliminação da carga radiante já existente no interior de uma instalação, para o seu exterior. Assim, a utilização de forro pode ou não ser vantajosa durante o inverno, dependendo da situação.

#### **2.3.4. Materiais isolantes**

Os isolamentos térmicos são constituídos por materiais de baixa condutividade térmica, ou seja, que possuam alto grau de resistência ao fluxo de calor. Atualmente, visando uma melhor vedação, comportamento térmico e acústico, os isolantes tem sido aplicados na forma fluída ou sólida, sendo que o mais utilizado é a cobertura por pulverização de espuma de poliuretano.

A energia térmica incidente em uma cobertura, que é transmitida por esta à parte interior de uma instalação, transforma-se em energia calorífica. Por este motivo, conforme menciona NÄÄS (1989), o isolamento térmico é um dos meios mais eficientes e econômicos para se atender as necessidades mínimas de conforto térmico no interior de edificações. No verão, este isolamento atua de forma a dificultar a entrada de calor na instalação, mantendo sua temperatura interna mais amena. Já durante o inverno, espera-se que o isolamento feito em um galpão aja de forma contrária, ou seja, que dificulte a eliminação do calor armazenado na instalação durante os períodos mais quentes, mantendo seu ambiente interno mais agradável nas horas de frio intenso.

De acordo com MUEHLING (1967) as exigências cada vez maiores de controle ambiental em instalações para produção animal fazem com que os isolantes sejam a alternativa mais utilizada pelos produtores para atingir estes objetivos. As três razões principais para sua utilização são o controle da perda de calor durante o inverno,

controle de ganho de calor durante o verão, e a prevenção de condensação. Durante o tempo frio, a perda de calor deve ser controlada, para se manter um ambiente agradável, com temperatura e ventilação ideais no interior de uma instalação. A utilização de isolantes pode auxiliar na manutenção da quantidade de calor requerida para estes propósitos. Ainda segundo este autor, existem vários tipos de isolantes, que devem ser selecionados de acordo com as necessidades do produtor.

MORAES (1999), em experimento realizado em condições de verão, concluiu, em termos de eficiência, que a contribuição relativa média dos materiais isolantes ao conforto térmico animal é de 6% para poliuretano entre duas telhas (sanduíche), 5,5% para poliuretano aplicado na face superior da telha e 1,0% para poliuretano aplicado na face inferior. A espessura das camadas de poliuretano foram de 2 cm, para cada um dos tratamentos. De acordo com este autor, embora o uso de isolantes dificulte a entrada de calor em uma instalação, parte da energia calorífica chega ao interior da mesma. Assim, espera-se que, para condições de inverno, o isolamento térmico sirva como barreira, mas de forma a dificultar a perda de calor interno para o ambiente externo, mantendo-o aquecido por mais tempo, nas horas de frio mais intenso.

### **2.3.5. Utilização de pintura em coberturas**

Segundo MORAES (1999) a pintura de um telhado com a cor branca em sua face superior normalmente produz efeito positivo na redução da temperatura do meio abaixo dela, já que esta cor possui baixo coeficiente de absorção da radiação solar.

NEWBAUER (1972) afirma que superfícies pintadas de preto são mais quentes, pois absorvem mais radiação, enquanto que superfícies pintadas de branco são mais frias, pois refletem mais. Assim, em condições de calor, a pintura branca é mais interessante para a superfície superior do material de cobertura, a qual recebe a radiação solar direta. Já a superfície negra, que possui alta absorvidade e emissividade, mas baixa refletividade, passa a ser o material ideal para compor a parte inferior de um telhado, reduzindo a energia calorífica do interior de uma instalação (KELLY e BOND, 1958).

BOND e KELLY (1955) utilizaram termômetros de globo negro para medir o efeito da pintura em materiais de cobertura, na alteração de suas características térmicas. Ao final da pesquisa concluíram que o alumínio e o aço galvanizado, quando pintados de branco em sua superfície superior e preto em sua parte inferior, melhoraram substancialmente suas características térmicas, no que concerne à produção de um ambiente animal mais confortável, em condições de calor. NEUBAUER e CRAMER (1965) conduziram um experimento semelhante, onde verificaram que a carga térmica de radiação incidente sobre um telhado, que é transmitida para a sua face inferior, é diminuída quando este telhado tem sua face superior pintada de branco, ou é de alumínio polido.

Assim, diante das características inerentes à cor branca e negra, durante o inverno, telhados com pintura branca na face superior e preto na face inferior, podem não ser interessantes do ponto de vista de conforto térmico, já que dificultam o aquecimento do interior de instalações.

#### **2.4. A orientação das instalações**

Nas regiões tropicais, para condições de calor existe alta intensidade de radiação solar incidente nas coberturas, associadas à altas temperaturas, ao contrário do que acontece em condições de frio. Estas situações acabam causando desconforto térmico no interior das instalações. Assim, a orientação de uma instalação deve ser cuidadosamente analisada com a intenção de se propiciar melhores condições de conforto térmico.

RODRIGUES e ARAUJO (1995) utilizaram um programa computacional para testar o desempenho térmico de um galpão convencional de produção avícola variando sua orientação. Estes autores fizeram dois tipos de simulação, onde, na primeira, o galpão estava desocupado; e na segunda consideraram que havia uma densidade de 10 aves/m<sup>2</sup>. Ao final do experimento, concluíram que, para ambos os casos, o melhor índice de conforto térmico ocorreu em instalações orientadas no sentido leste-oeste. KELLY et al. (1954) e BOND et al. (1976) afirmam, ainda, que sob coberturas com esta orientação, as temperaturas ambiente e do solo são menores do que seriam se a

cobertura estivesse posicionada no sentido norte-sul, pois seu interior se encontra sombreado a maior parte do dia. Assim, dependendo da sensibilidade térmica do animal que está sendo criado numa instalação, a sua orientação ideal para o inverno, pode não ser a leste-oeste, pois em condições de frio intenso, deseja-se que seu interior se mantenha mais aquecido.

Segundo GARCIA-VAQUERO (1981) uma instalação deve ser orientada levando-se em conta o clima local, principalmente em se tratando de galpões abertos, pois, durante o inverno devem receber a máxima insolação possível, além de proteger contra os ventos dominantes e frio. Para condições de inverno, a orientação leste-oeste das instalações pode ser vantajosa, dependendo da latitude local, pois, o fato do sol ter um posicionamento mais baixo no horizonte, faz com que seus raios atinjam diretamente o interior dos galpões, ocasionando um maior aquecimento interno.

## **2.5. Modelos e protótipos**

A Teoria da Similitude tem como principais objetivos, estabelecer as relações necessárias para que as observações em um protótipo se aproximem ao máximo das verificadas num modelo real e estabelecer relações entre as variáveis existentes em qualquer fenômeno físico, de forma a sistematizar com segurança os fenômenos envolvidos (MURPHY, 1950; KÖLTZSCH e WALDEN, 1990).

De acordo com MURPHY (1950), os modelos são divididos em três classes:

- Geometricamente similares – nesta classe, o modelo é uma reprodução em escala do objeto real;
- Distorcido – utiliza-se duas ou mais escalas nos modelos que reproduzem o objeto real;
- Dissimilar – onde não existe nenhuma semelhança direta entre o modelo e o objeto real.

SCHURING (s.d) disse que a utilização de modelos em experimentos é válida para situações em que , por algum motivo, o estudo na escala real é impossível de ser feito ou inviável. Segundo HAHN et al. (1961), os efeitos de modificações térmicas feitas nos ambientes animais podem ser verificadas através da análise de modelos reais

ou de protótipos. No caso de modelos que expressam situações reais, torna-se necessária a utilização de estruturas completas refletindo em altos custos. Já a análise através de protótipos, que reproduzam corretamente as características térmicas e respostas animais, podem reduzir os custos, os materiais e o tempo envolvido na análise. Ainda, segundo estes autores, as principais semelhanças se dão principalmente na temperatura de bulbo seco. Os valores de CTR medidos em modelos reduzidos são próximos aos medidos em modelos reais, desde que sejam utilizados termômetros de globo negro na mesma escala dos modelos.

MORAES (1999) pesquisou a influência de diferentes tipos de materiais de cobertura no conforto térmico do interior de galpões avícolas, para condições de verão de Viçosa-MG, utilizando para isto modelos reduzidos, geometricamente similares, na escala 1:10.

## **2.6. Caracterização de um ambiente térmico**

Para se caracterizar um ambiente térmico geralmente registra-se, durante um período experimental, temperaturas de bulbo seco, bulbo úmido e de globo negro e velocidade do ar, no interior de cada instalação e no ambiente externo. A partir desses resultados, são obtidos o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), a Carga Térmica Radiante (CTR) e a Umidade Relativa do Ar (UR).

## **2.7. Índices de conforto térmico**

Vários índices tem sido propostos e utilizados para se prever o conforto ou o desconforto animal, em relação às condições ambientais. Os mais utilizados são a TBS, TGN, ITGU e CTR.

### 2.7.1. Temperatura de Bulbo Seco (TBS)

Segundo MORAES (1999), entre os parâmetros indicadores das características térmicas de uma região, a temperatura absoluta do ar (TBS) destaca-se por sua simplicidade. Este índice pode ser medido diretamente com um termômetro de bulbo seco, o qual indica se a temperatura local está desejável à produção animal, ou fora de sua zona de termoneutralidade.

FABRÍCIO (1994), com base em literatura, propõe temperaturas ambientais ideais para a criação de frangos de corte, conforme pode ser visto na Tabela 2:

Tabela 2 – Temperaturas ambientais ideais para a criação de frangos de corte

| Manual Cobb de Frangos de corte |                  | Sadia-Concórdia S/A |                  |
|---------------------------------|------------------|---------------------|------------------|
| Idade (dias)                    | Temperatura (°C) | Idade (dias)        | Temperatura (°C) |
| 1 – 7                           | 35               | 1 – 3               | 31               |
| 8 – 14                          | 32               | 4 – 7               | 28               |
| 15 – 21                         | 29               | 8 – 14              | 26               |
| 22 – 28                         | 27               | 15 – 21             | 24               |
| 29 – 35                         | 24               | 22 – 30             | 23               |
| 36 - abate                      | 21               | 31 – abate          | 21               |

Fonte: FABRÍCIO (1994)

Ainda segundo CURTIS (1983) e FABRÍCIO (1994) para aves de postura, a zona de conforto térmico varia entre 15°C e 25°C, sendo que a temperatura ótima situa-se próxima aos 21°C.

Para suínos, as temperaturas ideais também variam de acordo com a fase da vida desses animais, conforme pode ser visto na Tabela 3:

Tabela 3 – Temperaturas ótimas e de estresse para suínos

| Fase da vida                 | Zona de conforto<br>(°C) | Temperaturas críticas<br>(°C) |          |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|----------|
|                              |                          | Inferior                      | Superior |
| Leitões até desmama          | 21-31                    | 21                            | 36       |
| Desmama a 25 kg              | 22-26                    | 17                            | 27       |
| 25 kg a 100 kg               | 18-21                    | 15                            | 26       |
| Reprodutoras vazias e machos | 17-21                    | 10                            | 25       |
| Reprodutoras gestantes       | 16-19                    | 10                            | 24       |
| Reprodutoras lactantes       | 12-16                    | 7                             | 23       |

Fonte: PERDOMO e OLIVEIRA (1986)

RIVERO (1986) afirma que o binômio temperatura média do ar e umidade relativa do ar, indica se o microclima local está próximo à zona de conforto térmico do animal produzido. HANNAS (1999), com base em literatura, menciona que uma leitoa dois dias após o parto, tem como limite crítico inferior de conforto térmico uma temperatura de 20°C, e uma temperatura crítica superior de 24°C, ambas com umidade relativa do ar de 60%.

### 2.7.2. Temperatura de Globo Negro (TGN)

Com exceção de radiação, todos os componentes de um ambiente térmico são mensuráveis com instrumentos comuns. Segundo BEDFORD e WARNER (1934) o termômetro de globo negro é um instrumento prático para se verificar a influência da radiação incidente sobre um corpo.

De acordo com BOND e KELLY (1955) o termômetro de globo negro indica os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do ar, servindo assim para indicar o nível de conforto térmico animal, podendo perfeitamente ser utilizado em substituição ao radiômetro. A simplicidade de construção e aplicação, fazem do termômetro de globo negro um instrumento ambiental que é adaptável a muitos problemas de pesquisa agrícola. Em investigações envolvendo ambiente animal,

o termômetro de globo negro deve ser instalado o mais próximo possível da altura do centro de gravidade dos animais estudados.

### 2.7.3. O Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU)

A sensibilidade de cada animal às variações climáticas depende principalmente de sua raça, sexo, idade e exposição climática prévia. Os principais fatores ambientais que causam variação térmica animal são: temperatura de bulbo seco, umidade, radiação e velocidade do ar, entre outros (BUFFINGTON et al., 1981). Assim, o fato do Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) incorporar estas quatro variáveis, faz com que este seja o índice mais preciso para se avaliar o conforto térmico animal em regiões tropicais (BUFFINGTON et al., 1977).

O ITGU pode ser calculado pela equação:

$$ITGU = Tgn + 0,36.Tpo - 330,08 \quad (1)$$

em que,

ITGU é adimensional;

Tgn = temperatura de globo negro, K;

Tpo = temperatura de ponto de orvalho, K.

Conforme citação feita por CAMPOS (1986), a temperatura do ponto de orvalho (Tpo), pode ser obtida através da equação de Clausius-Clapeyron, abaixo:

$$Tpo = \frac{1}{(0,0037 - \ln(\frac{e}{611})).0,000185} \quad (2)$$

em que,

$e$  = pressão de vapor d'água, Pa, calculada pela expressão:

$$e = e_{su} - A.P.(Tbs - Tbu) \quad (3)$$

onde,

$e_{su}$  = pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do bulbo molhado, Pa;

$A$  = constante psicrométrica =  $0,00067.K^{-1}$ ;

$P$  = pressão atmosférica, Pa;

$T_{bs}$  = Temperatura de bulbo seco, K;

$T_{bu}$  = temperatura de bulbo molhado, K.

A pressão de saturação do vapor d'água na temperatura do bulbo úmido pode ser obtida substituindo-se  $T_{bs}$  por  $T_{bu}$  na equação para o cálculo da pressão de vapor de saturação, abaixo:

$$e_s = 611.\exp(5420.(0,0037 - \frac{1}{T_{bs}})) \quad (4)$$

em que,

$e_s$  = pressão de vapor de saturação, Pa;

$T_{bs}$  = Temperatura de bulbo seco, K.

SILVA (1996), após obter os índices de conforto térmico calculados com diferentes termômetros de globo negro (alumínio, latão e plástico) e compará-los com os resultados advindos do globo-termômetro padrão (cobre), pode desenvolver uma equação de correção dos valores de ITGU calculados utilizando-se termômetros de globos de plástico (bola de pingue-pongue), como se segue:

$$ITGU_{corr} = 12,9651 + 0,80531 \times ITGU \quad (5)$$

em que

$ITGU_{corr}$  = índice de temperatura de globo e umidade corrigido;

$ITGU$  = índice de temperatura de globo e umidade, calculado com globo-termômetro de bola de pingue-pongue.

#### 2.7.4. Carga Térmica de Radiação (CTR)

De acordo com ESMAY (1969) a Carga Térmica de Radiação (CTR) é uma outra forma de se indicar o conforto térmico em uma instalação, a qual, em condições de regime permanente, expressa a radiação total recebida pelo globo negro de todos os espaços ou partes da vizinhança, podendo ser determinada pela equação de Stefan-Boltzmann à seguir:

$$CTR = \sigma \cdot (TRM)^4 \quad (6)$$

em que,

CTR = carga térmica de radiação,  $W \cdot m^{-2}$ ;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann =  $5,67 \times 10^{-8} W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ;

TRM = temperatura radiante média, K.

A TRM é calculada pela expressão:

$$TRM = 100 \sqrt[4]{2,51 \cdot v^{0,5} \cdot (Tgn - Tbs) + (Tgn / 100)^4} \quad (7)$$

em que,

$v$  = velocidade do ar,  $m \cdot s^{-1}$ ;

Tgn = temperatura de globo negro, K.

Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

Segundo SILVA (1996), a utilização de globo negro de bola de pingue-pongue para a obtenção da temperatura de globo negro utilizada no cálculo da CTR, faz com que este índice também necessite de ajuste, dado pela expressão abaixo:

$$CTR_{corr} = 135,938 + 0,66462 \times CTR \quad (8)$$

em que,

$CTR_{corr}$  = carga térmica de radiação corrigida;

CTR = carga térmica de radiação calculada com globo-termômetro de bola de pingue-pongue.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Este experimento foi realizado nas dependências da Área de Construções Rurais e Ambiente do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, durante o inverno, nos meses de agosto e setembro de 2000. A cidade de Viçosa está localizada a uma latitude de 23° 45' 45" Sul, longitude 42° 52' 04" Oeste e uma altitude de 657 metros.

O clima local, segundo classificação de Köppen, é Cwa, ou seja, quente temperado chuvoso, caracterizado por verões quentes e invernos secos. Segundo classificação de Thornthwaite, é B<sub>2</sub> 'r' B<sub>3</sub> 'a', ou seja, clima úmido com pequena ou nenhuma deficiência d'água, mesotérmico e com evapotranspiração média mensal no verão menor que 48%.

No período de realização do experimento (agosto e setembro) a temperatura do ar mínima registrada em Viçosa foi de 4,2 °C, com umidade relativa média diária de 80,5% e a temperatura do ar máxima registrada foi de 31,3 °C, com umidade relativa média diária de 69,75%.

#### **3.1. Características das construções**

Para a execução deste experimento foram construídos modelos reduzidos de galpões, baseados nas dimensões de um galpão convencional, com pé-direito de 3,2 m

(padrão médio usual) e 4,2 m (desejável para condições brasileiras segundo TINÔCO (1995)), largura de 12,0 m, distância entre tesouras de 5,0 m, cobertura com inclinação de 30° para telhas de barro e 15° para telhas de alumínio e cimento-amianto.

Os modelos foram montados em terreno plano, nivelado e gramado, livres de sombreamento, orientados no sentido leste-oeste e distanciados 4,0 m um do outro, distância esta suficiente para que não houvesse obstrução da ventilação natural.

Na área experimental instalou-se um abrigo meteorológico para registro permanente das condições climáticas externas. A Figura 1 mostra a distribuição física dos protótipos.



Figura 1 – Vista aérea com visão parcial do experimento

### **3.1.1. Caracterização dos protótipos**

Os protótipos de galpões utilizados no experimento foram geometricamente similares, construídos na escala 1:10, determinada a partir da relação entre as dimensões reais e as reproduzidas na estação experimental.

Foram construídos 22 modelos reduzidos de galpões avícolas. Suas estruturas foram confeccionadas em madeira, possuindo um módulo de seção transversal com

comprimento de 1,0 m e suas faces leste e oeste com fechamento opaco (papelão com 0,3 cm de espessura). Suas dimensões foram 1,2 m de largura e beiral de 0,20 m, sendo 11 protótipos com altura de pé-direito de 0,32 m e 11 com pé-direito de 0,42 m. O piso interior dos modelos foram forrados com cama de maravalha de madeira.

### 3.1.2. Características das coberturas utilizadas nos protótipos

Foram construídos 11 modelos reduzidos de galpões para cada altura de pé-direito, dos quais dois receberam coberturas com telhas de barro; quatro com telhas de cimento-amianto; e cinco com telhas de alumínio, seguindo as especificações dos fabricantes, totalizando 22 protótipos.

As telhas de barro utilizadas foram do tipo canal; as de cimento-amianto onduladas, com passo de 0,075 m, altura de onda de 0,024 m e espessura de 0,004 m; e as de alumínio com passo e altura de onda semelhantes as de cimento-amianto, mas com espessura de 0,002 m. Utilizou-se neste experimento telhas de barro usadas e lavadas; telhas de cimento-amianto novas; e telhas de alumínio usadas.

Do exposto, no experimento foram testadas, para cada pé-direito, as seguintes coberturas:

- **B** - Barro tipo canal (testemunha);
- **Bf** - Barro com forro de polietileno preto na altura do pé-direito;
- **C** - Cimento-amianto ondulada (testemunha);
- **Cf** - Cimento-amianto com forro de polietileno preto na altura do pé-direito;
- **Clr** - Cimento-amianto associado à lâmina reflexiva colocada a 0,02 m abaixo da cobertura;
- **Cpb** - Cimento-amianto com pintura branca na face superior;
- **A** - Alumínio ondulada (testemunha);
- **Af** - Alumínio com forro de polietileno preto na altura do pé-direito;
- **Alr** - Alumínio associado à lâmina reflexiva colocada a 0,02 m abaixo da cobertura;
- **As** - Alumínio sanduíche (0,02 m de poliuretano entre duas lâminas de alumínio); e
- **Ap** - Alumínio com poliuretano na face superior (0,02 m).

## 3.2. Instrumentos e medições

### 3.2.1. Medições realizadas no interior dos modelos reduzidos

#### 3.2.1.1. Temperaturas de bulbo seco e molhado

Para as medições de temperatura de bulbo seco ( $T_{bs}$ ) e molhado ( $T_{bu}$ ) foram instalados higrômetros, posicionados à uma altura de 3 cm do piso (correspondente ao centro de gravidade das aves), conforme pode ser visto na Figura 2. As leituras foram feitas, a cada duas horas, a partir da 0 hora, no período de 24 horas, nos meses de agosto e setembro, de onde foram selecionados dez dias experimentais, com condições climáticas semelhantes, ou seja, céu com poucas nuvens, pouco vento e temperaturas parecidas entre os dias.

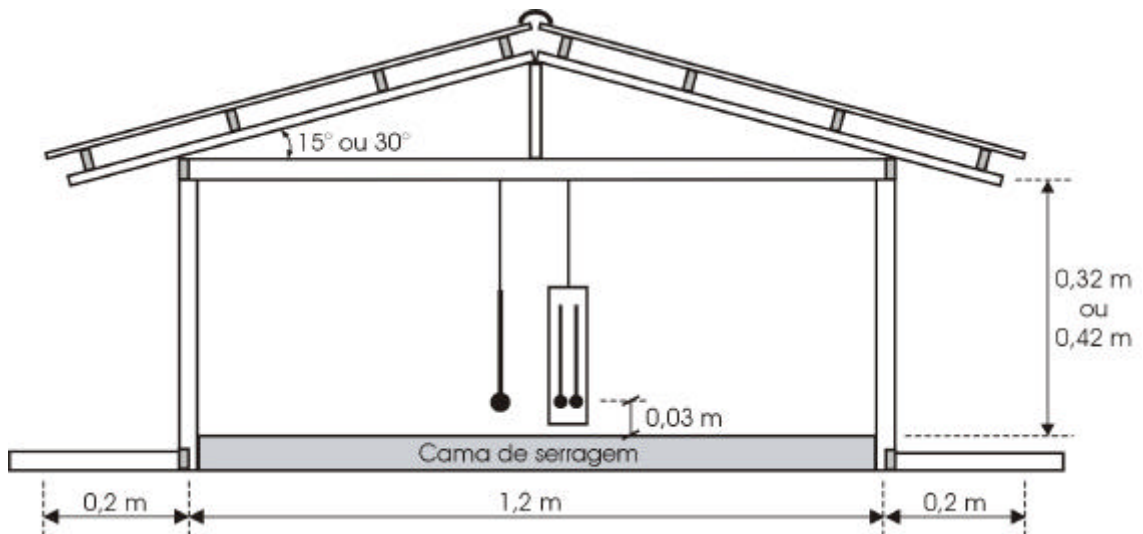


Figura 2 – Corte mostrando a disposição dos instrumentos de medição no interior dos protótipos.

#### 3.2.1.2. Temperatura de globo negro

Para obtenção dos valores de temperatura de globo negro ( $T_{gn}$ ), foram utilizados termômetros de globo negro, confeccionados com bolas de pingue-pongue

pintadas de preto, tendo como sensores termômetros de vidro com escala  $-90$  a  $110^{\circ}\text{C}$ , instalados próximos aos higrômetros. Os dados de  $T_{gn}$  foram obtidos nos mesmos dias e horários considerados para  $T_{bs}$  e  $T_{bu}$ .

#### 3.2.1.3. Velocidade do ar

A velocidade do ar foi obtida através de um anemômetro digital de hélices, sendo que as leituras foram feitas próximas aos higrômetros, nos mesmos dias e horários considerados.

### 3.2.2. Medições no exterior dos modelos reduzidos

Próximo ao centro da área experimental, foi instalado um abrigo meteorológico onde se mediu a temperatura de bulbo seco, bulbo molhado e de globo negro. Próximo ao abrigo foi instalado um higrômetro para medições externas da temperatura de bulbo seco e molhado e um termômetro de globo negro padrão (0,15 m de diâmetro) para a medição da temperatura de globo negro. Todas as leituras efetuadas no exterior dos protótipos também foram realizadas, seguindo os mesmos horários preestabelecidos para as leituras internas aos protótipos.

## 3.3. Índices de conforto térmico

### 3.3.1. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

Os valores do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) foram calculados utilizando-se a equação (1) e corrigidos através da equação (5), descritas no item 2.7.3.

### **3.3.2. Carga térmica de radiação (CTR)**

Os valores da carga térmica de radiação (CTR) foram obtidos utilizando-se a equação (6) e corrigidos através da equação (8), descritas no item 2.7.4.

### **3.4. Análise dos dados experimentais**

O experimento foi montado em parcelas subdivididas, tendo nas parcelas um esquema fatorial 11 x 2 (11 tipos de coberturas e 2 alturas de pé-direito) e nas subparcelas os horários de observação, no Delineamento em Blocos Casualizados (D.B.C.), com 10 repetições (dias experimentais).

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão. Independente da interação entre Tratamentos, Pés-direitos e Horários de observação ser ou não significativa, optou-se pelo seu desdobramento. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t ao nível de 1% de probabilidade, o coeficiente de determinação e o fenômeno em estudo.

## **4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores médios do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica de radiação (CTR), de cada tratamento (tipos de coberturas), nos horários de observação ao longo do dia, para cada altura de pé-direito e com os instrumentos localizados na altura correspondente ao centro de gravidade das aves, estão apresentados nos Quadros 1A a 4A do Anexo.

### **4.1. Índices térmicos ambientais**

O resumo da análise de variância correspondente aos efeitos dos tratamentos (tipos de telhas), altura de pé-direito (3,2 e 4,2 m), dias e horários de observação, em relação aos índices de conforto térmico, para medições feitas na altura correspondente ao centro de gravidade das aves (0,3 m), está apresentada na Tabela 4. Observa-se que, para o ITGU, houve diferença significativa entre tratamentos, pés-direitos, horários de observação e interação tratamento x pé-direito. Para a variável CTR houve diferença significativa entre os tratamentos, pés-direitos, horários de observação e interações tratamento x pé-direito e tratamento x horário.

Tabela 4 – Resumo das análises de variância referente aos efeitos dos tratamentos (tipos de telha), altura do pé-direito, dias e horários de observação, em relação ao índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica de radiação (CTR) obtidos na altura correspondente ao centro de gravidade das aves.

| FV                | GL   | Quadrados médios |               |
|-------------------|------|------------------|---------------|
|                   |      | ITGU             | CTR           |
| Dias (D)          | 9    | 715,8568         | 6922,2990     |
| Tratamentos (T)   | 10   | 63,2858**        | 7627,7000**   |
| Pés-direitos (PD) | 1    | 57,5306**        | 5557,1280**   |
| T x PD            | 10   | 39,4334**        | 1555,3990**   |
| Resíduo (a)       | 189  | 1,0892           | 122,2783      |
| Horas (H)         | 11   | 10222,6400**     | 158709,8000** |
| T x H             | 110  | 2,8749 n.s.      | 132,0882**    |
| PD x H            | 11   | 2,7286 n.s.      | 69,2082 n.s.  |
| T x PD x H        | 110  | 3,0979 n.s.      | 91,6554 n.s.  |
| Resíduo (b)       | 2178 | 3,2015           | 90,1661       |
| CV % Parcela      |      | 1,69             | 2,80          |
| CV % Subparcela   |      | 2,98             | 2,40          |

\*\* – F significativo a 1% de probabilidade

n.s. – F não-significativo a 5% de probabilidade

#### 4.1.1. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

De acordo com a análise de variância, não houve diferença significativa na interação tratamento x pé-direito x horário de observação, porém, optou-se pelo seu desdobramento, mediante sua importância à pesquisa.

Equações de regressão foram geradas de forma a se ter uma estimativa do comportamento de cada tratamento em cada diferente altura de pé-direito em função dos horários de observação, sendo que o modelo que melhor representou o perfil dos tratamentos foi o cúbico. As Tabelas 5 e 6 apresentam as equações de regressão ajustadas do ITGU em função dos horários de observação, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para cada tratamento e pé-direito.

A partir das equações de regressão das Tabelas 5 e 6, foram confeccionadas as Figuras 3 a 13, responsáveis pela representação gráfica destas equações, onde pode-se visualizar o perfil do ITGU de cada tratamento, nos dois pés-direitos, ao longo das horários de observação. Com base nestas Figuras é possível se verificar que o ITGU mínimo para todos os tratamentos, ocorreu entre 1 e 4 horas, enquanto que o máximo se deu entre 14 e 16 horas, conforme já encontrados em experimentos realizados por ROSA (1984) e MORAES (1999), onde também foram testados alguns tipos de coberturas e suas associações, durante o período diurno, para condições de Verão, em Viçosa-MG. Inere-se daí, que o intervalo do ponto de máxima das curvas de ITGU, não variou muito, independente da estação do ano.

Tabela 5 – Equações ajustadas de ITGU em função dos horários de observação (H), para os respectivos tratamentos (tipos de cobertura), com pés-direitos de 0,32 m, e os coeficientes de determinação.

| <b>Trat.</b>      | <b>EQ. AJUSTADAS</b>   | <b>R<sup>2</sup></b>   |
|-------------------|--|------------------------|
| B <sup>1</sup>    | $\hat{Y} = 55,4178 - 0,9222^{**}H + 0,3320^{**}H^2 - 0,0131^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,762 |
| A <sup>2</sup>    | $\hat{Y} = 55,8335 - 0,9766^{**}H + 0,3332^{**}H^2 - 0,0130^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,751 |
| Bf <sup>3</sup>   | $\hat{Y} = 54,8234 - 0,7331^{**}H + 0,2902^{**}H^2 - 0,0116^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,743 |
| Clr <sup>4</sup>  | $\hat{Y} = 54,3617 - 0,5650^{**}H + 0,2846^{**}H^2 - 0,0117^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,746 |
| Af <sup>5</sup>   | $\hat{Y} = 54,2814 - 0,5502^{**}H + 0,2736^{**}H^2 - 0,0112^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,750 |
| Alr <sup>6</sup>  | $\hat{Y} = 53,4712 - 0,3439^{**}H + 0,2649^{**}H^2 - 0,0112^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,712 |
| Ap <sup>7</sup>   | $\hat{Y} = 53,8580 - 0,4830^{**}H + 0,2710^{**}H^2 - 0,0112^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,735 |
| C <sup>8</sup>    | $\hat{Y} = 52,6706 - 0,1002^{**}H + 0,2347^{**}H^2 - 0,0103^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,722 |
| As <sup>9</sup>   | $\hat{Y} = 54,8574 - 0,2375^{**}H + 0,2248^{**}H^2 - 0,0096^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,688 |
| Cpb <sup>10</sup> | $\hat{Y} = 53,4231 - 0,2710^{**}H + 0,2395^{**}H^2 - 0,0102^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,725 |
| Cf <sup>11</sup>  | $\hat{Y} = 53,6846 - 0,2381^{**}H + 0,2311^{**}H^2 - 0,0099^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,710 |

\*\* - significativo à 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

<sup>1</sup> Barro testemunha; <sup>2</sup> Alumínio testemunha; <sup>3</sup> Barro com forro; <sup>4</sup> Cimento-amianto com lâmina reflexiva sob a cobertura; <sup>5</sup> Alumínio com forro; <sup>6</sup> Alumínio com lâmina reflexiva sob a cobertura; <sup>7</sup> Alumínio com poliuretano sobre a cobertura; <sup>8</sup> Cimento-amianto testemunha; <sup>9</sup> Alumínio sanduíche; <sup>10</sup> Cimento-amianto com pintura branca na face superior; <sup>11</sup> Cimento-amianto com forro.

Tabela 6 – Equações ajustadas de ITGU em função dos horários de observação (H), para os respectivos tratamentos (tipos de cobertura), com pés-direitos de 0,42 m, e os coeficientes de determinação.

| <b>Trat.</b> | <b>EQ. AJUSTADAS</b>   | <b>R<sup>2</sup></b>   |
|--------------|--|------------------------|
| B            | $\hat{Y} = 53,9418 - 0,3752^{**}H + 0,2515^{**}H^2 - 0,0105^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,711 |
| A            | $\hat{Y} = 53,8266 - 0,1622^{**}H + 0,2249^{**}H^2 - 0,0097^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,677 |
| Bf           | $\hat{Y} = 53,5965 - 0,4358^{**}H + 0,2616^{**}H^2 - 0,0109^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,727 |
| Clr          | $\hat{Y} = 54,0676 - 0,6218^{**}H + 0,3058^{**}H^2 - 0,0126^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,752 |
| Af           | $\hat{Y} = 53,7169 - 0,2445^{**}H + 0,2392^{**}H^2 - 0,0102^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,704 |
| Alr          | $\hat{Y} = 53,6212 - 0,3943^{**}H + 0,2722^{**}H^2 - 0,0115^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,730 |
| Ap           | $\hat{Y} = 53,2601 - 0,4507^{**}H + 0,2654^{**}H^2 - 0,0111^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,751 |
| C            | $\hat{Y} = 53,4182 - 0,0874^{**}H + 0,2217^{**}H^2 - 0,0098^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,700 |
| As           | $\hat{Y} = 55,1645 - 0,7566^{**}H + 0,3115^{**}H^2 - 0,0125^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,760 |
| Cpb          | $\hat{Y} = 53,5415 - 0,4880^{**}H + 0,2817^{**}H^2 - 0,0117^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,746 |
| Cf           | $\hat{Y} = 54,1028 - 0,4195^{**}H + 0,2593^{**}H^2 - 0,0108^{**}H^3$ | R <sup>2</sup> = 0,743 |

\*\* - significativo à 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

Observa-se pela Figura 3, que os valores de ITGU obtidos a uma altura correspondente ao centro de gravidade das aves, para protótipos com pés-direitos maior (0,42 m) foram sempre inferiores àqueles encontrados nos protótipos com pés-direitos menor (0,32 m), para todos os horários de observação. Estes resultados podem ser explicados pelo fato de que os protótipos com pés-direitos maior estão submetidos a uma maior fração de céu frio e área de ventilação natural, o que pode ter contribuído na redução dos valores de temperatura no interior dos mesmos e, conseqüentemente dos resultados de ITGU. Adicionalmente, nos pés-direitos mais baixos, a radiação solar que atravessou os telhados, devido à maior proximidade do piso, foi mais efetiva no aquecimento dos instrumentos, sensores de temperatura que geram os índices térmicos. Assumindo que o limite crítico inferior de ITGU, indicativo de que frangos de corte não estejam sofrendo estresse por frio, seja de 78,6, para pintos em sua fase inicial da vida (primeira semana), de 67,4 para pintos em sua segunda semana de vida e de 65,0 para aves entre a terceira e sexta semana de vida, valores estes propostos por TEIXEIRA (1983), entende-se que, para condições de frio, pés-direitos mais baixos para coberturas em telhas de barro

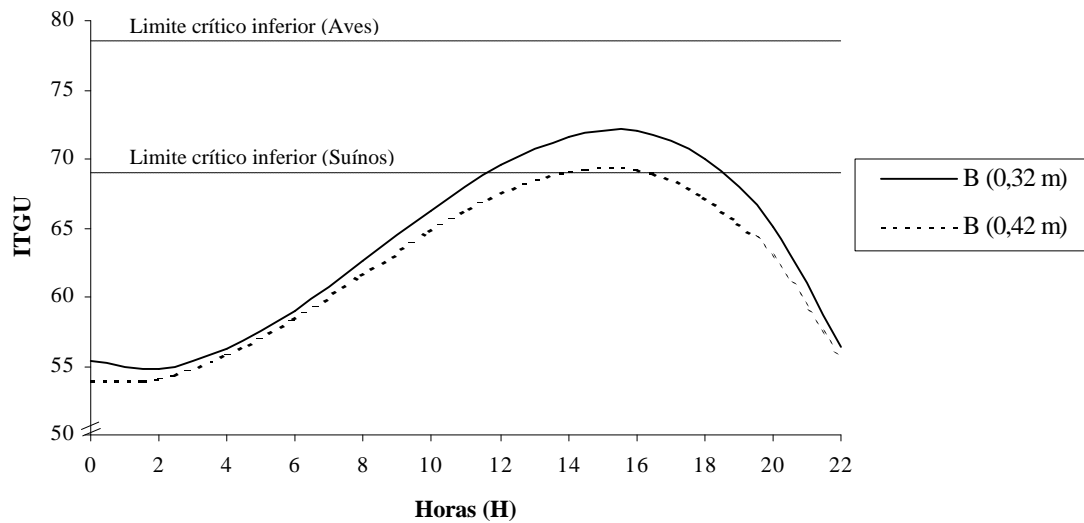


Figura 3 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de barro testemunha (B), com duas alturas de pé-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

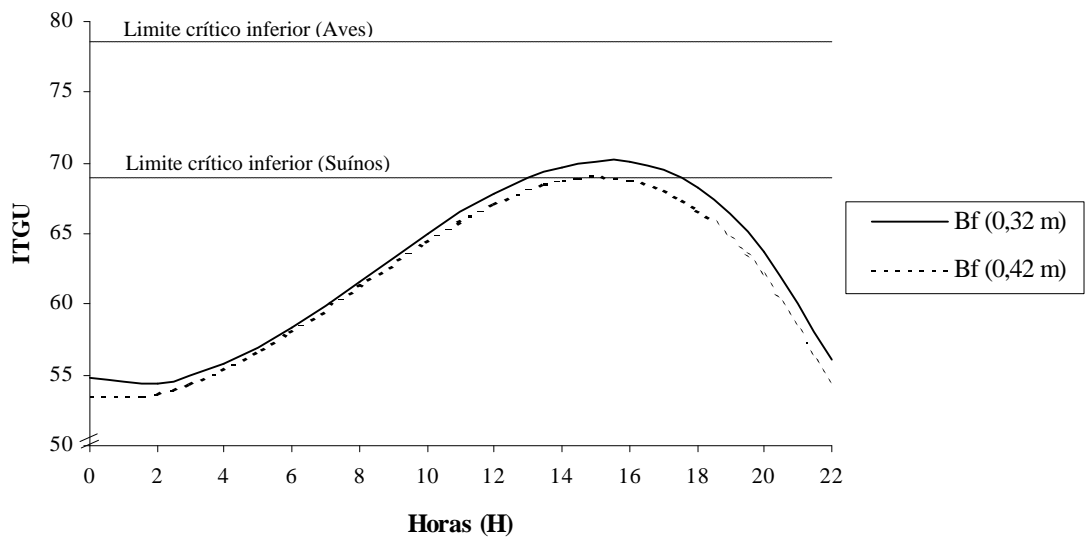


Figura 4 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de barro com forro (Bf), com duas alturas de pé-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

são os mais adequados ao conforto térmico destes animais. Da mesma forma, assumindo que o limite crítico inferior de ITGU em uma suinocultura, na maternidade, para leitões 2 dias após o parto, seja próximo a 69, calculado à partir dos valores de temperatura citados por HANNAS (1999) com uma temperatura de globo negro três graus acima da temperatura ambiente, em condições de frio, pés-direitos mais baixos para coberturas em telhas de barro também são os mais adequados ao conforto térmico destes animais.

Ao se comparar as Figuras 3 e 4, representativas das coberturas de barro testemunha e barro com forro, respectivamente, observa-se que ao se adicionar forro à cobertura com telhas de barro, houve uma redução geral nos valores de ITGU, bem como uma aproximação entre as curvas dos valores de ITGU dos tratamentos com pés-direitos de 0,32 m e 0,42 m, principalmente nas horas mais quentes do dia. Infere-se daí que a utilização de forro confere uma maior inércia térmica ao conjunto, o que é desejável para o inverno.

No caso das coberturas com telhas de cimento-amianto, a diferença entre o ITGU do tratamento com pé-direito de 0,32 m e 0,42 m foi mínima, o que ocorreu provavelmente pelo fato da quantidade de calor proveniente das telhas para o interior dos protótipos ser muito elevada, devido à baixa inércia térmica do material, minimizando a influência da ventilação e exposição ao céu frio, mantendo assim, próximos os valores de ITGU para ambos os tratamentos, independente do pé-direito. Já através das Figuras 6, 7 e 8, verifica-se que fazendo-se associações à cobertura com telhas de cimento-amianto (lâmina reflexiva, forro e pintura branca na face superior, respectivamente), a diferença entre o ITGU dos tratamentos com pé-direito maior (0,42 m) e menor (0,32 m) aumentou em relação ao tratamento testemunha (Figura 5), tornando-se mais visível nas horas mais quentes do dia, o que demonstra a influência das associações (lâminas reflexivas, forro e pintura branca) junto às telhas de cimento-amianto no arrefecimento térmico de galpões. No decorrer do dia, principalmente nos horários de calor mais intenso, os valores de ITGU para tratamentos com pé-direito de 0,42 m, foram maiores que os encontrados para tratamentos com pé-direito de 0,32 m. Este resultado foge ao esperado, pois não evidencia a influência da ventilação e exposição ao céu frio na variação térmica dos galpões. Contudo, pode-se inferir que, nas horas de calor mais intenso, o efeito da maior exposição ao céu distante e radiação

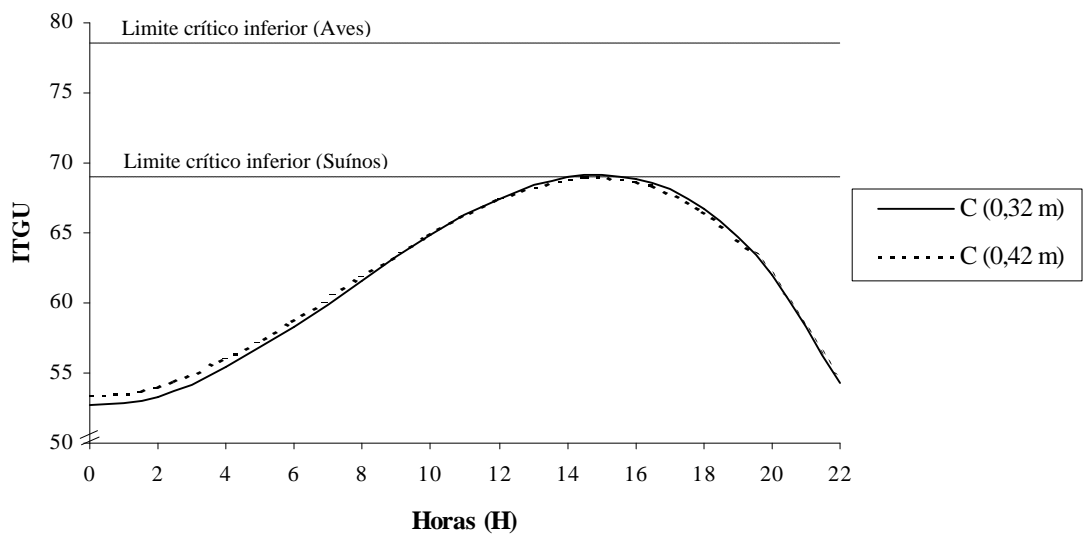


Figura 5 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de cimento-amianto testemunha (C), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

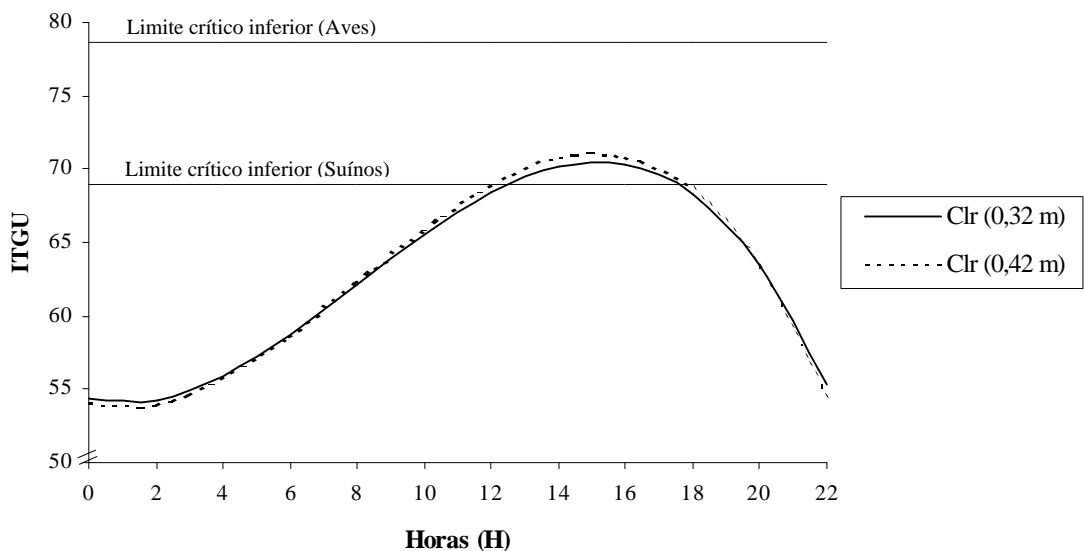


Figura 6 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de cimento-amianto com lâmina reflexiva (Clr), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

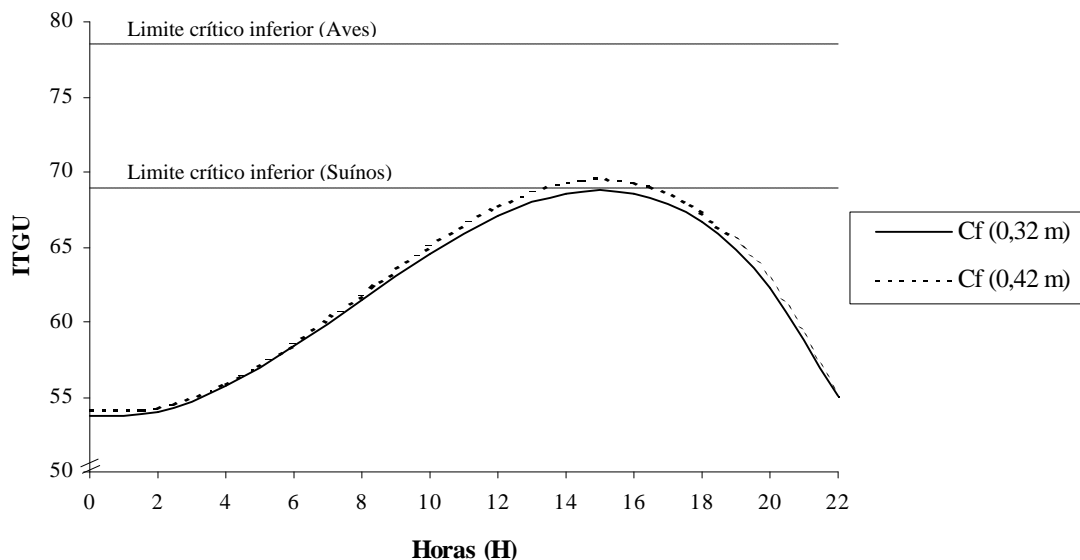


Figura 7 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de cimento-amianto com forro (Cf), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

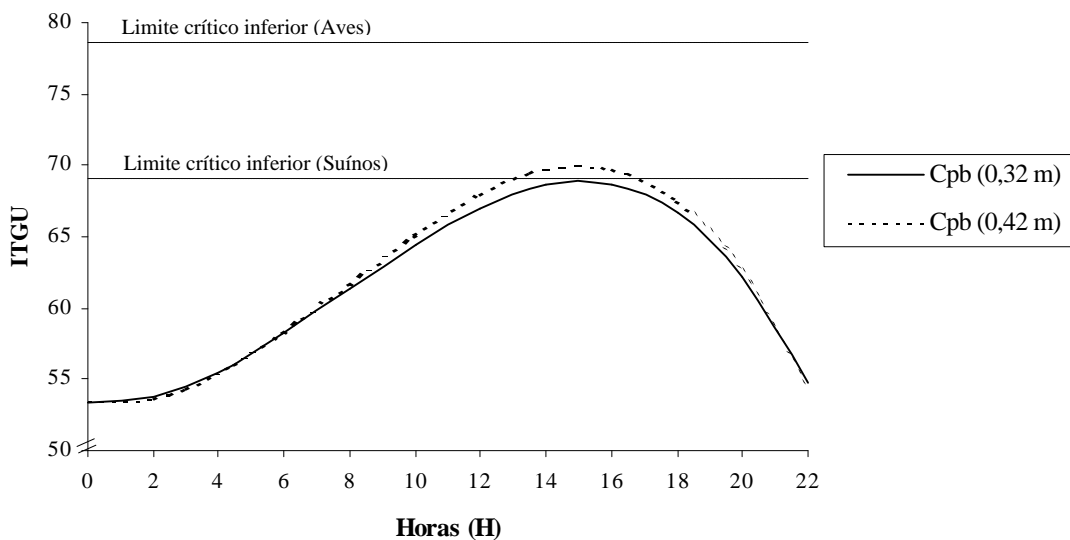


Figura 8 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de cimento-amianto com pintura branca na face superior (Cpb), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

refletida dos protótipos com pés-direitos mais elevados, pode ter influenciado na elevação dos valores de ITGU nestes horários. Adicionalmente, os valores de velocidade do vento foram menores nestes horários, não tendo contribuído, significativamente, na variação do ITGU.

Observa-se através da Figura 9, que para tratamentos com coberturas de telhas de alumínio testemunha, a elevação do pé-direito de 0,32 m para 0,42 m, acarretou numa variação de ITGU maior que as encontradas nos tratamentos com telhas de alumínio e suas associações. Comparando-se esta Figura com as Figuras 10, 11, 12 e 13, verifica-se que, a utilização de materiais associados às telhas de alumínio, proporcionaram maior inércia térmica às coberturas, bem como a redução geral nos valores de ITGU, fato este também verificado nas telhas de barro com forro. As telhas de alumínio associadas à lâmina reflexiva e alumínio sanduíche tiveram comportamento semelhantes aos das coberturas de cimento-amianto com associações, onde o ITGU para tratamentos com pé-direito de 0,42 m foi maior do que o encontrado em tratamentos de 0,32 m, principalmente nas horas mais quentes do dia.

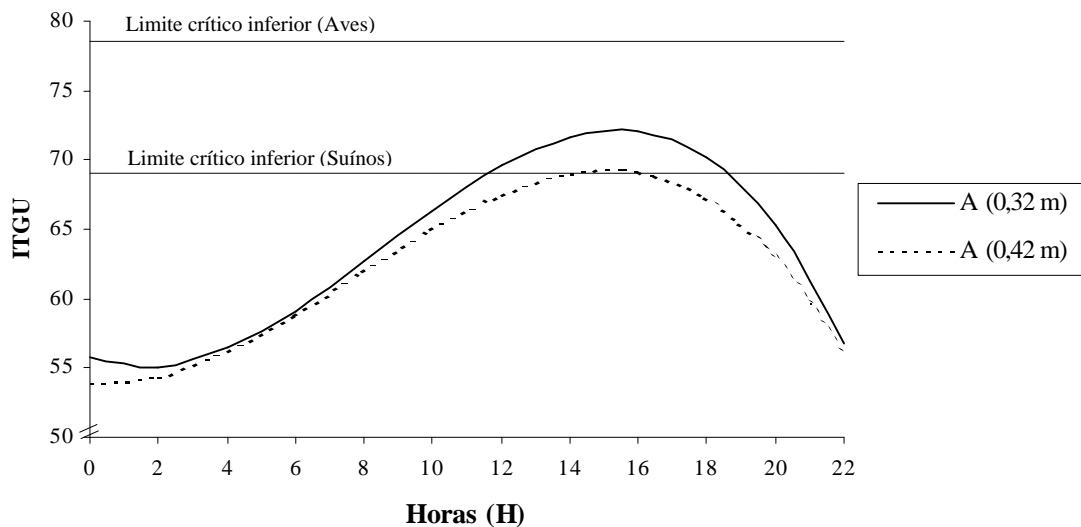


Figura 9 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de alumínio testemunha (A), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

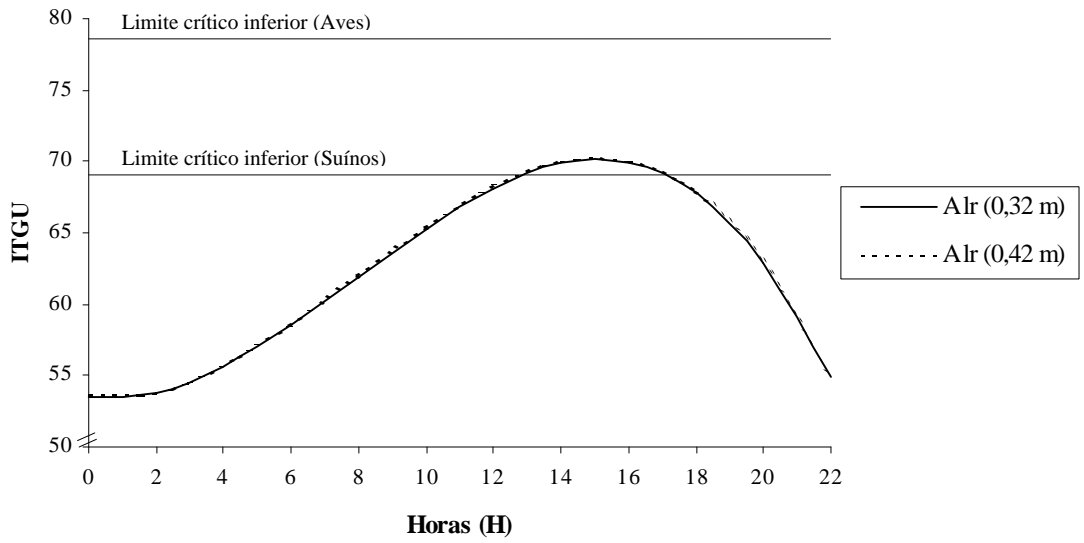


Figura 10 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de alumínio com lâmina reflexiva (Alr), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

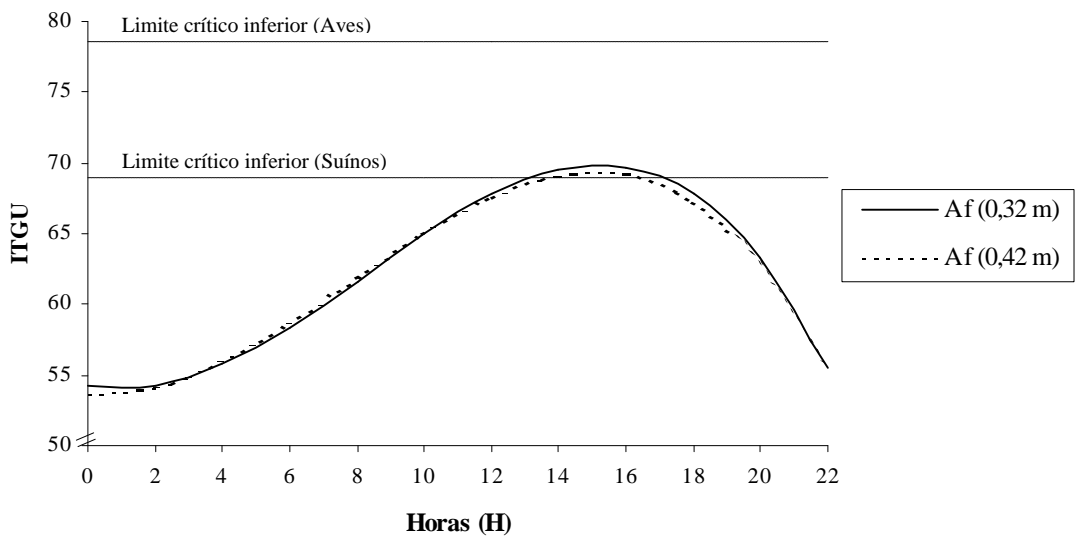


Figura 11 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de alumínio com forro (Af), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

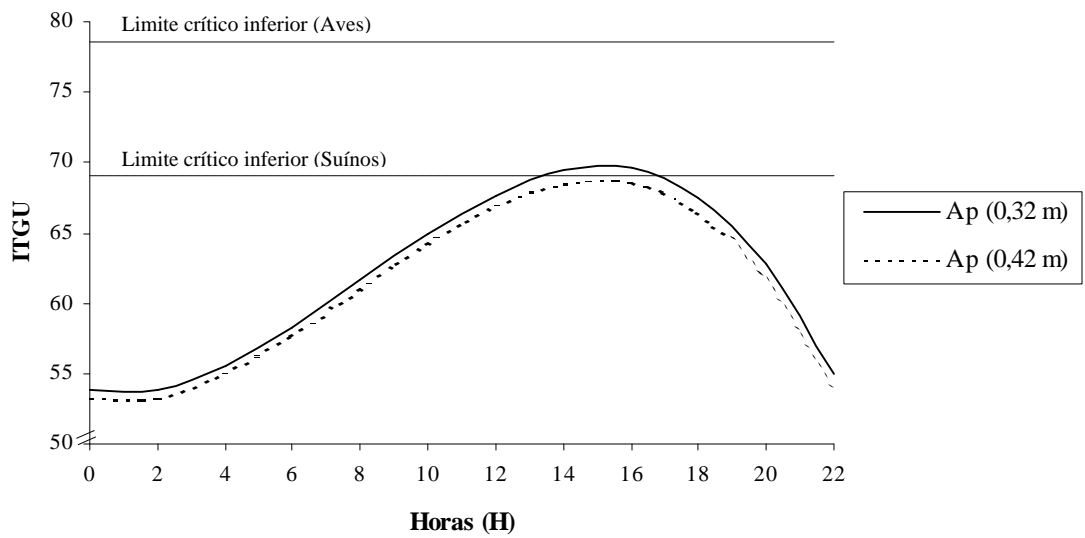


Figura 12 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de alumínio com poliuretano sobre (Ap), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

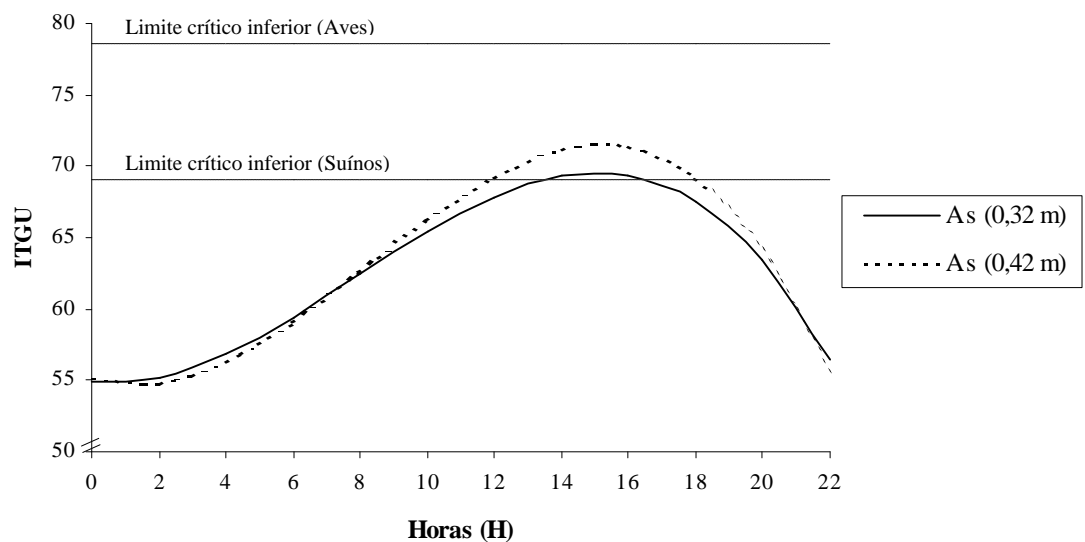


Figura 13 - Estimativa do índice de temperatura globo negro e umidade (ITGU) para os tratamentos com telhas de alumínio sanduíche (As), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

Afim de se ter uma visão geral da variação do ITGU para tratamentos com pés-direitos maior (0,42 m) e menor (0,32 m), calculou-se a média dos valores de ITGU entre todos os tratamentos com pé-direito de 0,32 m. O mesmo foi feito para os tratamentos com pé-direito de 0,42 m. A representação gráfica do ITGU do abrigo meteorológico, ao sol e ITGU médio do pé-direito de 0,32 m e 0,42 m, em função das horas, pode ser visto na Figura 14. Verifica-se, através desta Figura, que os valores de ITGU médio para o pé-direito de 0,32 m estão muito próximos do ITGU para o pé-direito de 0,42 m. Isto sugere que as dimensões dos protótipos estudados podem não ter sido adequadas de forma a se permitir verificar estas diferenças mais claramente.

Ao se comparar a curva dos valores de ITGU ao sol com a dos protótipos, na Figura 14, nota-se que a utilização de galpões para a produção animal, independente do tipo de cobertura e altura do pé-direito amenizou as variações térmicas externas, favorecendo as condições de conforto, o que é interessante para a produção de aves e suínos.

Ainda na Figura 14, ao se comparar o comportamento da curva de ambos os pés-direitos com a curva de ITGU do abrigo meteorológico, nota-se que houve uma proximidade entre estas, principalmente nos horários de frio mais intenso. Considerando que o abrigo representa uma instalação ideal, ou seja, aquela em que a influência das condições climáticas externas são minimizadas, verifica-se que qualquer um dos tratamentos, independente do pé-direito ou tipo de cobertura, proporcionam melhorias no ambiente interno dos galpões, principalmente nas horas mais frias do dia, o que é desejável durante o inverno.

Para um estudo comparativo entre os tratamentos e pés-direitos nos horários de extremo térmico, confeccionou-se as Figuras 15 e 16. A Figura 15 representa graficamente a média dos valores de ITGU nas horas mais frias do dia, entre 2 e 6 horas, para cada tratamento e pé-direito, enquanto que a Figura 16, responsável pela representação gráfica do ITGU nas horas mais quentes do dia, mostra a média dos valores de ITGU entre 12 e 16 horas.

Analisando-se a Figura 15, verifica-se que, para o inverno, nos horários de frio mais intenso, as melhores condições de conforto térmico, representadas por maiores valores médios de ITGU em tratamentos com pé-direito de 0,32 m, tanto para aves como para suínos, foram obtidas no tratamento As (alumínio sanduíche), A (alumínio

testemunha) e B (barro testemunha). Em seguida estão os tratamentos Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva), Bf (barro com forro), Af (alumínio com forro), Cf (cimento-amianto com forro) e Alr (alumínio com lâmina reflexiva), dispostos em ordem decrescente de ITGU. As piores respostas, representadas por valores de ITGU mais baixos, se deram nos tratamentos, C (cimento-amianto testemunha), Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superior) e Ap (alumínio com poliuretano sobre a cobertura).

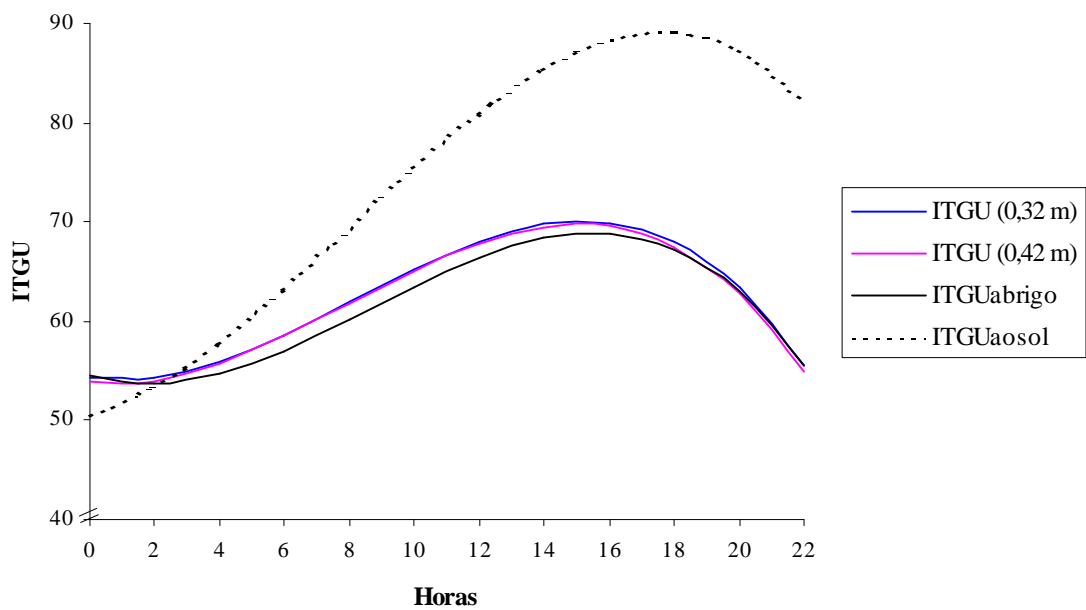


Figura 14 – Estimativa da variação do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), para a média dos tratamentos com pés-direitos de 0,32 m e 0,42 m, no abrigo meteorológico e ao sol, em função das horas.

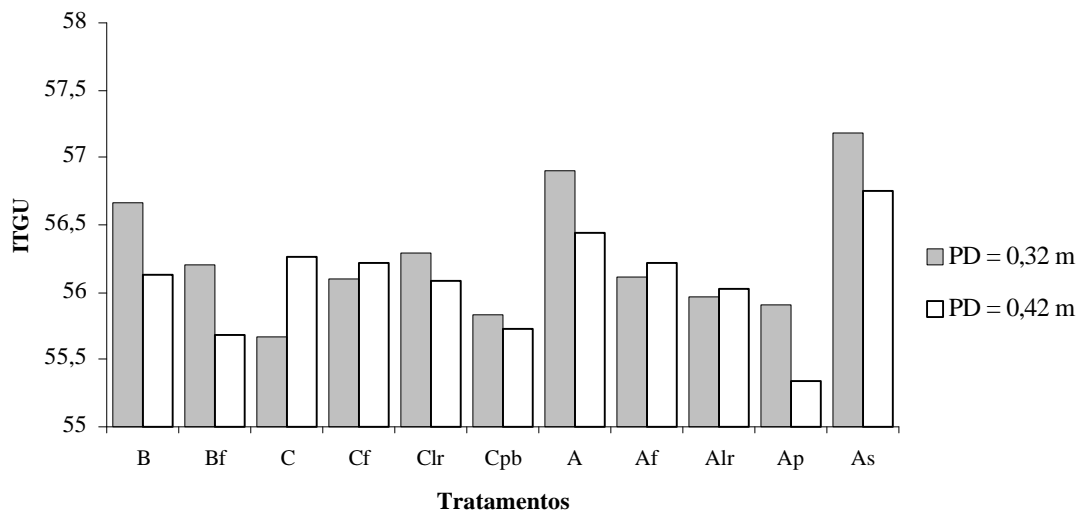


Figura 15 - Valores médios de ITGU para as horas mais frias do dia (2, 4 e 6 horas), em função do tipo de telha e pé-direito.

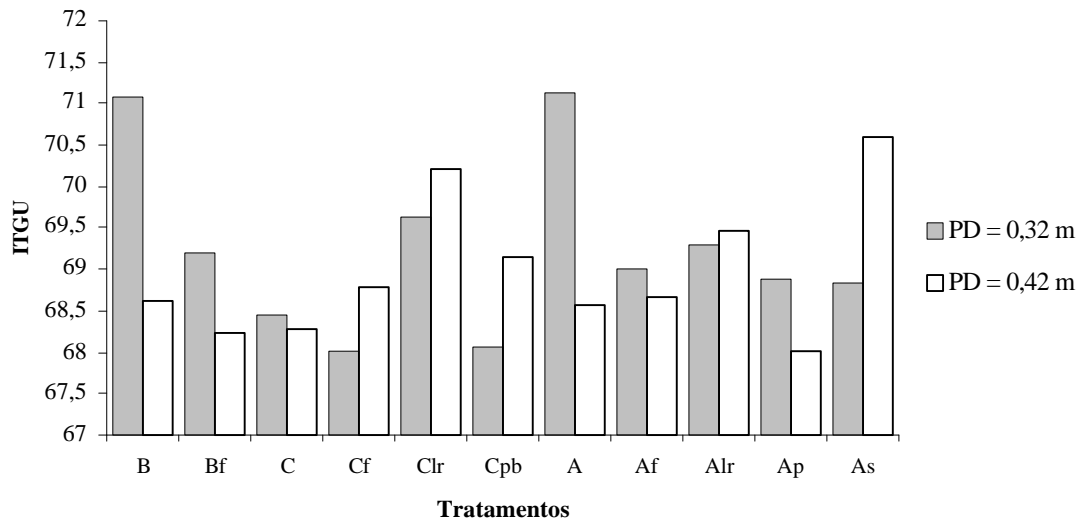


Figura 16 - Valores médios de ITGU para as horas mais quentes do dia (12, 14 e 16 horas), em função do tipo de telha e pé-direito.

Ainda na Figura 15, entre os tratamentos com pé-direito de 0,42 m, verifica-se que nos horários mais frios do dia, os melhores valores médios de ITGU no inverno representados por valores mais elevados, tanto para aves como para suínos, ocorreram nos tratamentos As (alumínio sanduíche), A (alumínio testemunha) e C (cimento-amianto testemunha). Depois vieram os tratamentos Af, Cf, B e Clr (alumínio com forro, cimento-amianto com forro, barro testemunha e cimento-amianto com lâmina reflexiva, respectivamente), em ordem decrescente de ITGU. Os valores de ITGU mais baixos e distantes da zona de conforto térmico dos animais de pequeno porte se deram nos tratamentos Ap (alumínio com poliuretano), seguido por Bf (barro com forro) e Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superior).

A partir da Figura 16, verifica-se que, para o inverno, nos horários mais quentes do dia, as melhores condições de conforto térmico para aves na fase inicial da vida, representados por maiores valores médios de ITGU, em tratamentos com pé-direito de 0,32 m, foram obtidas nos tratamentos A (alumínio testemunha), B (barro testemunha) e Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva). Em seguida vieram os tratamentos Alr, Bf, Af, Ap e As (alumínio com lâmina reflexiva, barro com forro, alumínio com forro, alumínio com poliuretano sobre a cobertura e alumínio sanduíche, respectivamente). As piores respostas, se deram nos tratamentos, Cf (cimento-amianto com forro), Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superior) e C (cimento-amianto testemunha).

Considerando uma maternidade de suínos, verifica-se na Figura 16, que nos horários mais quentes do dia, entre os tratamentos com pé-direito de 0,32 m, os únicos que estiveram acima da temperatura crítica inferior das porcas dois dias após o parto foram o A (alumínio testemunha), B (barro testemunha), Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva), Alr (alumínio com lâmina reflexiva) e Bf (barro com forro). Em seguida, já abaixo deste limite vieram os tratamentos Af, Ap e As (alumínio com forro e alumínio com poliuretano sobre a cobertura e alumínio sanduíche, respectivamente). As piores respostas, se deram nos tratamentos, Cf (cimento-amianto com forro), Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superior) e C (cimento-amianto testemunha).

Ainda analisando-se a Figura 16, entre os tratamentos com pé-direito de 0,42 m, verifica-se que as melhores condições de conforto térmico no inverno, para aves em sua

fase inicial da vida, representadas por maiores valores médios de ITGU ocorreram nos tratamentos As (alumínio sanduíche), Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva) e Alr (alumínio com lâmina reflexiva). Depois vieram os tratamentos Cpb, Cf, Af, B e A (cimento-amianto com pintura branca na face superior, cimento-amianto com forro, alumínio com forro, barro testemunha e alumínio testemunha, respectivamente), em ordem decrescente de ITGU. Os valores de ITGU mais baixos se deram nos tratamentos Ap (alumínio com poliuretano), seguido por Bf (barro com forro) e C (cimento-amianto testemunha).

Considerando uma maternidade de suínos, verifica-se na Figura 16, que nos horários mais quentes do dia, entre os tratamentos com pé-direito de 0,42 m, os únicos que estiveram acima da temperatura crítica inferior das porcas dois dias após o parto foram tratamentos As (alumínio sanduíche), Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva), Alr (alumínio com lâmina reflexiva) e Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superior). Em seguida, já abaixo deste limite, vieram os tratamentos Cf, Af, B e A (cimento-amianto com forro, alumínio com forro, barro testemunha e alumínio testemunha, respectivamente), em ordem decrescente de ITGU. Os valores de ITGU mais baixos se deram nos tratamentos Ap (alumínio com poliuretano), seguido por Bf (barro com forro) e C (cimento-amianto testemunha).

A partir dos resultados apresentados na Figura 15, é possível se verificar que a telha que propiciou melhores condições de conforto térmico, baseados nos valores médios absolutos de ITGU para os horários de frio mais intenso, foi a telha de alumínio sanduíche, o que aconteceu provavelmente devido ao fato dessa telha possuir maior espessura e capacidade de amortecimento térmico causado pelo material poliuretano, o que serviu de isolante térmico, dificultando a perda do calor interno do protótipo, mantendo-o aquecido por mais tempo, até mesmo nas horas mais frias do dia. A cobertura confeccionada com telhas de alumínio testemunha assumiu a segunda colocação, o que pode ser atribuído ao fato deste material ter uma absorvidade e transmissividade muito altas, o que acabou ocasionando um maior acúmulo de energia calorífica sob este material, principalmente durante o período diurno, que demorou a ser eliminado durante a noite, mantendo o ITGU mais elevado durante a noite.

Entre os tratamentos com pé-direito de 0,32 m, os que utilizaram forro (Bf, Af e Cf) não tiveram um desempenho muito eficiente nos horários mais frios do dia,

mantendo suas temperaturas distantes do mínimo exigido ao conforto térmico. Isto pode ter ocorrido pelo fato do poliuretano, utilizado como forro, servir como uma barreira física à radiação solar vinda da cobertura, resultando em menor incremento calórico no interior do protótipo, formando ainda um colchão de ar entre a telha e o forro, o qual manteve a temperatura no interior dos modelos reduzidos mais amenas durante o dia e, conseqüentemente menores também durante à noite. Ainda analisando-se tratamentos com pé-direito de 0,32 m, verifica-se que os tratamentos C e Cpb (cimento-amianto e cimento-amianto com pintura branca na face superior) não tiveram um desempenho satisfatório, pois seus ITGUs foram muito baixos e, comparando-se um tratamento com o outro, verifica-se que para condições noturnas de inverno a utilização de pintura branca sobre as telhas de cimento-amianto não é interessante do ponto de vista de conforto térmico.

Nos tratamentos com pé-direito de 0,42 m, para condições noturnas, foram observados menores valores de ITGU no tratamento Ap (alumínio com poliuretano em sua face superior) e o maior valor no tratamento As (alumínio sanduíche). A telha de alumínio sanduíche provavelmente obteve este desempenho devido ao fato de ter uma maior espessura, o que serviu de isolante térmico, dificultando a perda do calor interno, mantendo o interior do protótipo aquecido por mais tempo, dificultando seu resfriamento nas horas mais frias do dia. Já as telhas de alumínio com poliuretano na face superior, apresentaram o menor valor de ITGU, o que mostra a ineficiência deste material para se manter um ambiente no interior do protótipo térmicamente mais confortável em condições de inverno, fato este agravado pelas telhas serem instaladas numa altura de pé-direito mais elevada, o que proporcionou uma maior ventilação no interior do protótipo, favorecendo assim a perda de calor.

Ainda na Figura 15, em tratamentos com pé-direito de 0,42 m, ao se comparar os tratamentos Af, Cf e Bf (alumínio cimento-amianto e barro, ambos com forro) verifica-se que a utilização de forro junto às telhas de alumínio e cimento-amianto tornou praticamente nula a diferença entre estes dois tratamentos, que comparados à telhas de barro com forro, tiveram um desempenho superior, o que aconteceu provavelmente pelo fato dos tratamentos com telhas de alumínio e cimento-amianto terem sofrido um maior aquecimento durante o período diurno, em razão do próprio material de constituição.

Ao se comparar as duas alturas de pé-direito através da Figura 15, verifica-se que o tratamento As (alumínio sanduíche) é o que possui os maiores valores absolutos de ITGU independente da altura do pé-direito. Sendo os limites inferiores de ITGU propostos por TEIXEIRA (1983) de 78,6 e 67,4, para pintos em sua primeira e segunda semana de vida, respectivamente, ou de 69, calculado a partir dos valores de temperatura citados por HANNAS (1999), para leitoas dois dias após o parto, este material de cobertura é o que mais se aproxima da zona de conforto térmico durante o período de frio mais intenso, tanto para estas aves de corte quanto para estes suínos. Entretanto, vale ressaltar, que em condições reais, parte do incremento calórico no interior das instalações advém dos próprios animais, fato este ausente neste experimento. Assim, em condições de campo, galpões avícolas com outros materiais de coberturas, além do alumínio sanduíche, poderiam proporcionar valores de ITGUs mais elevados, de forma que estes se aproximem, ou até mesmo atinjam o limite inferior da zona de conforto térmico dos animais em questão. A telha de alumínio, provavelmente assumiu a segunda melhor colocação, devido ao seu alto poder de aquecimento, já que, por estar mais velha e opaca, durante o período diurno absorveu melhor a radiação solar e a transmitiu ao interior dos protótipos, mantendo-os aquecidos por mais tempo nas horas mais frias, elevando assim a média geral dos valores de ITGU.

A partir dos resultados apresentados na Figura 16, é possível verificar que a telha que apresentou maiores valores médios absolutos de ITGU para os horários de calor mais intenso, foi a telha de alumínio testemunha, devido as mesmas condições apresentadas anteriormente, o que ocasionou um maior aquecimento no interior do modelo reduzido nos horários citados. O tratamento com telhas de barro testemunha, apresentou valores de ITGU praticamente iguais ao do tratamento com telhas de alumínio testemunha, o que ocorreu provavelmente devido à maior quantidade de ar aquecido acumulado sob a cobertura, proporcionando a exposição dos instrumentos ao calor por mais tempo. O tratamento com telhas de alumínio sanduíche assumiu a segunda colocação o que aconteceu provavelmente devido ao fato dessa telha ter uma maior espessura, o que serviu de isolante térmico, dificultando a perda do calor interno do protótipo, mantendo-o aquecido.

Entre os tratamentos com pé-direito de 0,32 m, a utilização de forro (Bf, Af e Cf) causou a redução do ITGU nas horas de calor mais intenso. Isto ocorreu

provavelmente pela formação de um colchão de ar aquecido entre a telha e o forro, servindo como barreira à radiação solar vinda da cobertura, mantendo a temperatura no interior dos modelos reduzidos mais amenas durante o dia. Para condições de inverno, esta redução do ITGU fez com que estes ficassem abaixo do limite crítico inferior da zona de conforto térmico tanto das aves como suínos, com exceção do tratamento Bf (barro com forro), que atingiu este extremo, no caso dos suínos. Baixos valores de ITGU para tratamentos com forro também foram encontrados por COSTA (1982), CAMPOS (1986) e MORAES (1999), mas pelo fato destes autores estarem realizando seus experimentos no verão, as temperaturas mais amenas ocasionadas pela utilização do forro foram consideradas interessantes ao conforto térmico.

Ainda analisando-se tratamentos com pé-direito de 0,32 m na Figura 16, verifica-se que os tratamentos C, Cpb e Cf (cimento-amianto testemunha, cimento-amianto com pintura branca na face superior e cimento-amianto com forro) não tiveram um desempenho satisfatório, pois seus ITGUs foram muito baixos, e comparando-se Cpb e Cf com C, verifica-se que para condições de calor no inverno a utilização de pintura branca ou forro sobre as telhas de cimento-amianto distanciou ainda mais o ITGU no interior dos protótipos do limite crítico inferior da zona de conforto tanto para aves como para suínos. Ao se comparar os tratamentos C e A (cimento-amianto e alumínio, ambos testemunha), foram observados um baixo valor absoluto de ITGU no tratamento C e o maior valor no tratamento A. Estudos onde o ITGU em protótipos com telha de cimento-amianto é menor que em tratamentos com telhas de alumínio também foi encontrado por MORAES (1999). Estes resultados podem ter acontecido, provavelmente, pelo fato das telhas de cimento-amianto usadas neste experimento estarem novas, ocasionando uma boa refletividade. Um segundo ponto seria o fato das telhas de alumínio possuírem um retardo térmico menor que as de cimento-amianto, ou seja, um menor intervalo de tempo para que o calor incidente na sua face superior se manifeste em sua face inferior, o que pode ter causado uma elevação nos valores de seu ITGU.

Nos tratamentos com pé-direito de 0,42 m, para condições diurnas, foram observados menores valores de ITGU no tratamento Ap (alumínio com poliuretano em sua face superior) e o maior valor no tratamento As (alumínio sanduíche), resultado este também observado durante à noite. Ainda na Figura 16, em tratamentos com pé-direito

de 0,42 m, ao se comparar os tratamentos Af, Cf e Bf (alumínio cimento-amianto e barro, ambos com forro) verifica-se que a utilização de forro junto as telhas de alumínio e cimento-amianto manteve os valores de ITGU no interior destes protótipos mais elevado que o calculado no modelo com telhas de barro com forro, o que aconteceu provavelmente pelo fato dos tratamentos com telhas de alumínio e cimento-amianto terem sofrido um maior aquecimento durante o período diurno, em razão do próprio material constituinte.

#### **4.1.2. Carga térmica de radiação (CTR)**

Assim como para o ITGU, de acordo com o resumo da análise de variância apresentada na Tabela 4, não houve diferença significativa nos valores de CTR, na interação Tratamento x Pé-direito x Horário de observação, porém, optou-se pelo seu desdobramento, mediante sua importância à pesquisa.

Equações de regressão, foram geradas de forma a se ter uma estimativa do comportamento de cada tratamento em função dos horários de observação, sendo que o modelo que melhor representou a CTR dos tratamentos foi o cúbico-raíz. As Tabelas 7 e 8 apresentam as equações de regressão ajustadas da CTR em função dos horários de observação, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ), para cada tratamento e pé-direito.

Tabela 7 – Equações ajustadas de CTR em função dos horários de observação (H) para os respectivos tratamentos (tipos de cobertura), com pés-direitos de 0,32 m, e os coeficientes de determinação.

| Trat.             | EQ. AJUSTADAS  | R <sup>2</sup>         |
|-------------------|--|------------------------|
| B <sup>2</sup>    | $\hat{Y} = 377,7270 - 81,3151**H^{1/2} + 56,7655**H - 8,3551**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,666 |
| A <sup>2</sup>    | $\hat{Y} = 380,7820 - 82,2012**H^{1/2} + 55,2289**H - 8,0022**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,656 |
| Bf <sup>3</sup>   | $\hat{Y} = 382,0560 - 79,5917**H^{1/2} + 54,1714**H - 7,8893**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,653 |
| Clr <sup>4</sup>  | $\hat{Y} = 372,1300 - 88,3048**H^{1/2} + 61,3138**H - 9,0387**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,698 |
| Af <sup>5</sup>   | $\hat{Y} = 376,5880 - 79,9816**H^{1/2} + 54,9584**H - 8,0579**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,704 |
| Alr <sup>6</sup>  | $\hat{Y} = 371,8970 - 81,9692**H^{1/2} + 57,9855**H - 8,6223**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,666 |
| Ap <sup>7</sup>   | $\hat{Y} = 363,6930 - 80,6120**H^{1/2} + 55,8075**H - 8,2497**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,741 |
| C <sup>8</sup>    | $\hat{Y} = 368,1360 - 77,8642**H^{1/2} + 56,2139**H - 8,4140**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,729 |
| As <sup>9</sup>   | $\hat{Y} = 390,5510 - 67,6741**H^{1/2} + 45,8284**H - 6,6613**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,558 |
| Cpb <sup>10</sup> | $\hat{Y} = 368,1970 - 78,2493**H^{1/2} + 54,6471**H - 8,0937**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,726 |
| Cf <sup>11</sup>  | $\hat{Y} = 374,8000 - 76,1291**H^{1/2} + 51,9219**H - 7,6075**H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,722 |

\*\* - significativo à 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

<sup>2</sup> Barro testemunha; <sup>2</sup> Alumínio testemunha; <sup>3</sup> Barro com forro; <sup>4</sup> Cimento-amianto com lâmina reflexiva sob a cobertura; <sup>5</sup> Alumínio com forro; <sup>6</sup> Alumínio com lâmina reflexiva sob a cobertura; <sup>7</sup> Alumínio com poliuretano sobre a cobertura; <sup>8</sup> Cimento-amianto testemunha; <sup>9</sup> Alumínio sanduíche; <sup>10</sup> Cimento-amianto com pintura branca na face superior; <sup>11</sup> Cimento-amianto com forro.

Tabela 8 – Equações ajustadas de CTR em função dos horários de observação (H) para os respectivos tratamentos (tipos de cobertura), com pés-direitos de 0,42 m, e os coeficientes de determinação.

| Trat. | EQ. AJUSTADAS   | R <sup>2</sup>         |
|-------|---|------------------------|
| B     | $\hat{Y} = 373,6620 - 72,5076^{**}H^{1/2} + 51,5072^{**}H - 7,6332^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,645 |
| A     | $\hat{Y} = 374,3500 - 69,5264^{**}H^{1/2} + 48,7012^{**}H - 7,1703^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,616 |
| Bf    | $\hat{Y} = 368,2980 - 78,6243^{**}H^{1/2} + 54,3628^{**}H - 8,0130^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,727 |
| Clr   | $\hat{Y} = 365,5450 - 84,5553^{**}H^{1/2} + 58,7935^{**}H - 8,7041^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,744 |
| Af    | $\hat{Y} = 377,2130 - 75,8965^{**}H^{1/2} + 52,7764^{**}H - 7,7706^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,692 |
| Alr   | $\hat{Y} = 366,0020 - 76,7538^{**}H^{1/2} + 55,5377^{**}H - 8,3182^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,661 |
| Ap    | $\hat{Y} = 366,8730 - 78,3203^{**}H^{1/2} + 54,5000^{**}H - 8,0574^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,710 |
| C     | $\hat{Y} = 374,1640 - 78,7156^{**}H^{1/2} + 55,6725^{**}H - 8,3122^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,696 |
| As    | $\hat{Y} = 385,0690 - 85,5601^{**}H^{1/2} + 59,0968^{**}H - 8,7229^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,700 |
| Cpb   | $\hat{Y} = 368,3490 - 89,1664^{**}H^{1/2} + 61,0078^{**}H - 8,9779^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,720 |
| Cf    | $\hat{Y} = 372,2730 - 74,7923^{**}H^{1/2} + 51,7483^{**}H - 7,6371^{**}H^{3/2}$ | R <sup>2</sup> = 0,739 |

\*\* - significativo à 1% de probabilidade, pelo teste “t”.

A partir das equações de regressão das Tabelas 7 e 8, foram confeccionadas as Figuras 17 a 27, responsáveis pela representação gráfica destas equações, onde pode-se visualizar o perfil da CTR de cada tratamento, nos dois pés-direitos, ao longo dos horários de observação. Com base nestas Figuras é possível se verificar que a CTR mínima para todos os tratamentos, ocorreu entre 1 e 3 horas, enquanto que a máxima se deu entre 12 e 14 horas. Para o período diurno, foi encontrado um resultado semelhante, nos experimentos realizados por ROSA (1984) e MORAES (1999), onde também foram testados alguns tipos de coberturas e suas associações, para condições de Verão, em Viçosa-MG. Isto demonstra que o intervalo do ponto de máxima das curvas de CTR, não variou muito, independente da estação do ano.

Observa-se pela Figura 17, que os valores de CTR, em W/m<sup>2</sup>, obtidos a uma altura correspondente ao nível das aves, para protótipos com pés-direitos maior (0,42 m na escala real) foram inferiores àqueles encontrados nos protótipos com pés-direitos menor (0,32 m na escala real), o que pode ser explicado, assim como para o ITGU, pela maior proximidade entre os instrumentos e a cobertura, menor fração de céu frio no

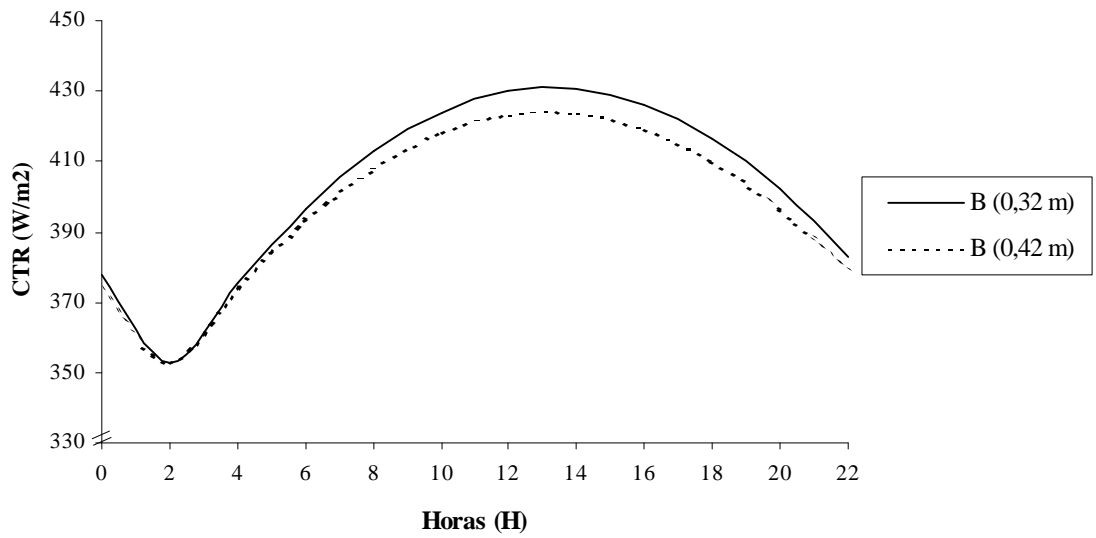


Figura 17 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de barro testemunha (B), com duas alturas de pé-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

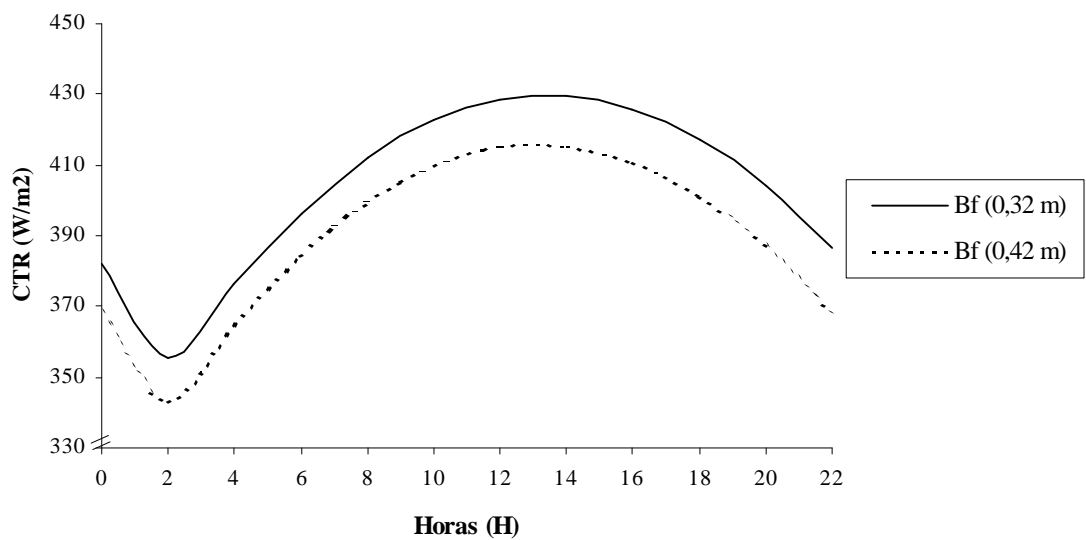


Figura 18 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de barro com forro (Bf), com duas alturas de pé-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

interior do protótipo com pé-direito menor e maior favorecimento à ventilação no protótipo com pé-direito maior.

Ao se comparar as Figuras 17 e 18, representativas das coberturas de barro testemunha e barro com forro, respectivamente, observa-se que ao se adicionar forro à cobertura com telhas de barro, houve uma redução geral nos valores de CTR e um distanciamento entre as curvas de CTR dos tratamentos com pés-direitos de 0,32 m e 0,42 m. Infere-se daí, baseados na análise da CTR, que a utilização de forro confere uma maior inércia térmica ao conjunto, ao mesmo tempo que diminui a variação de CTR entre as duas curvas durante o período de medição. Esta homogeneidade entre a diferença de CTR das duas curvas, sugere que métodos de controle térmico utilizados em galpões com um dos pés-direitos também possam ser aplicados com sucesso ao outro, desde que submetidos a um fator de correção.

No caso das coberturas com telhas de cimento-amianto, de acordo com a Figura 19, a diferença entre a CTR do tratamento com pé-direito de 0,32 m e 0,42 m foi mínima, o que ocorreu provavelmente pelo fato da quantidade de calor proveniente das telhas para o interior dos protótipos ser muito elevada, minimizando a influência da ventilação e exposição ao céu frio, mantendo assim, próximos os valores de CTR para ambos os pés-direitos. Conforme pode ser observado através das Figuras 21 e 22, o mesmo aconteceu aos tratamentos com coberturas de cimento-amianto com forro e cimento-amianto com pintura branca na face superior. Já o tratamento com telhas de cimento-amianto com lâmina reflexiva sob a cobertura explicitou uma maior diferença entre os valores de CTR com a variação do pé-direito, demonstrando a influência da utilização de lâmina reflexiva associada à esta cobertura.

Os tratamentos com coberturas de cimento-amianto testemunha e cimento-amianto com pintura branca na face superior, com pé-direito de 0,42 m, tiveram CTR maior que os encontrados para tratamentos com pé-direito de 0,32 m. Assim como para o ITGU, este resultado foge ao que se era esperado, pois não evidencia a influência da ventilação e exposição ao céu frio, o que pode ter ocorrido, devido ao efeito da maior exposição ao céu distante e radiação refletida, dos protótipos com pés-direitos mais elevados, nas horas de calor mais intenso. Adicionalmente, os valores de velocidade do vento foram menores nestes horários, não tendo contribuído, significativamente, na variação da CTR.

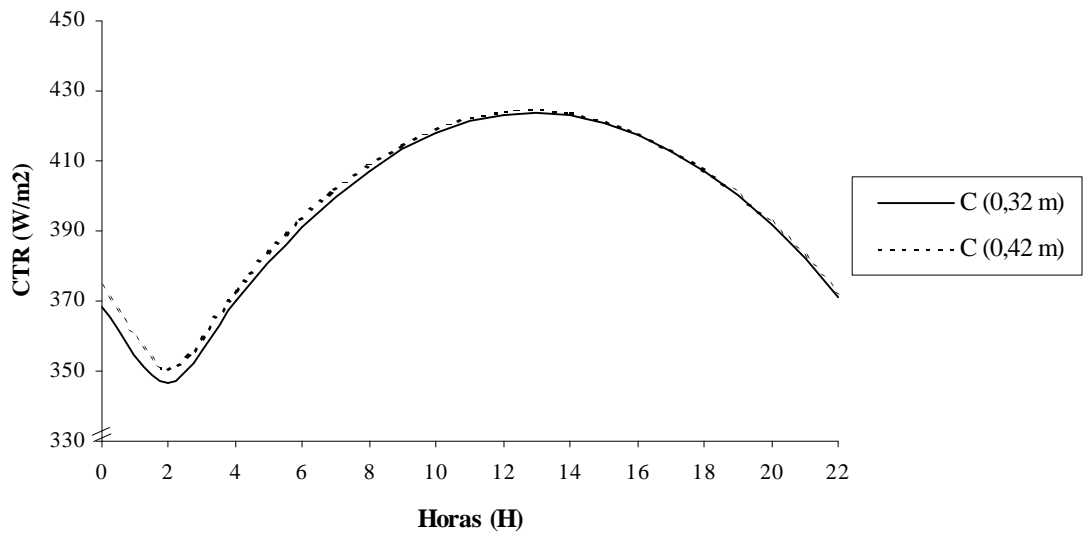


Figura 19 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de cimento-amianto testemunha (C), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

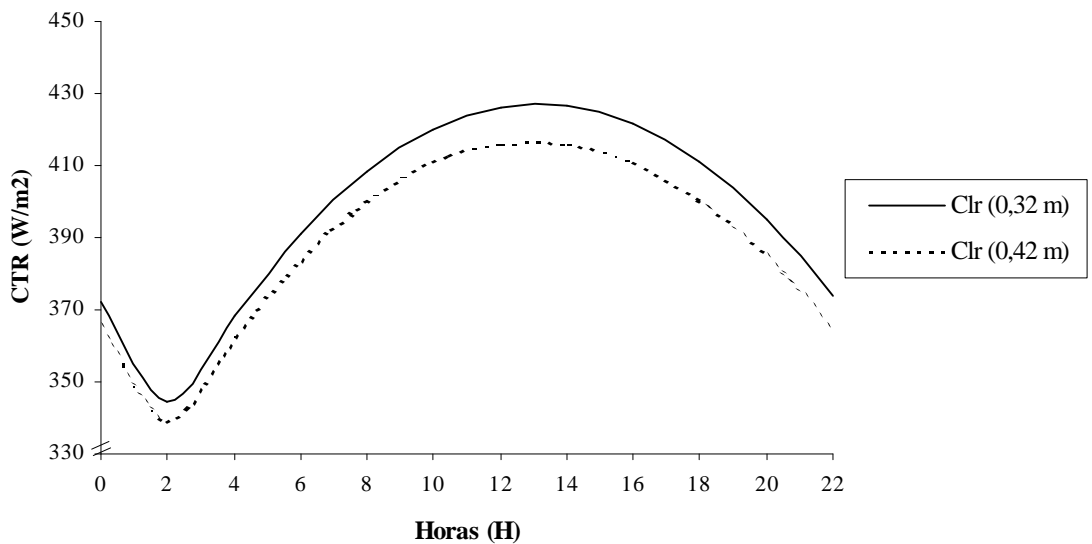


Figura 20 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de cimento-amianto com lâmina reflexiva (Clr), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

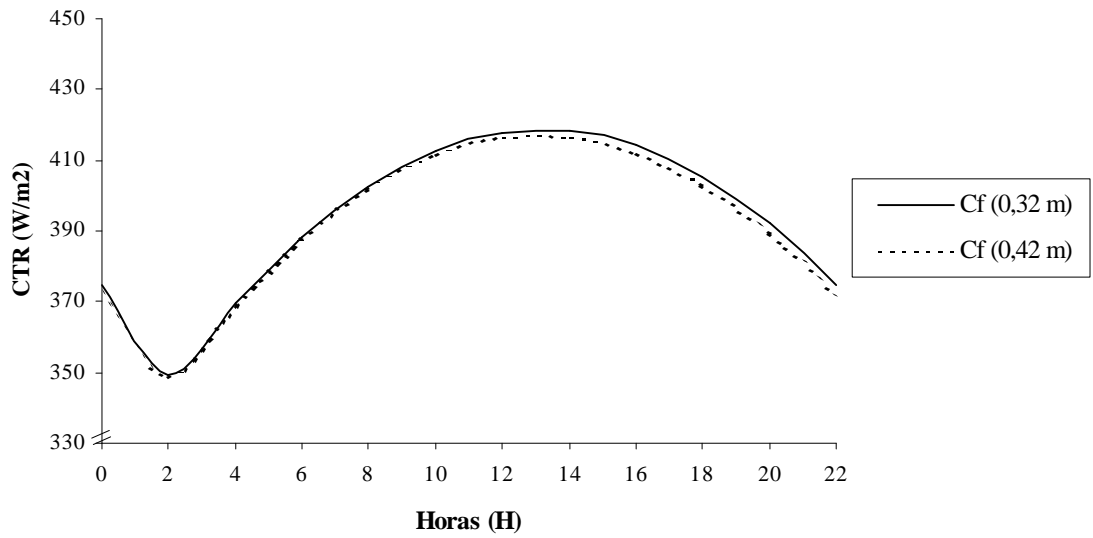


Figura 21 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de cimento-amianto com forro (Cf), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

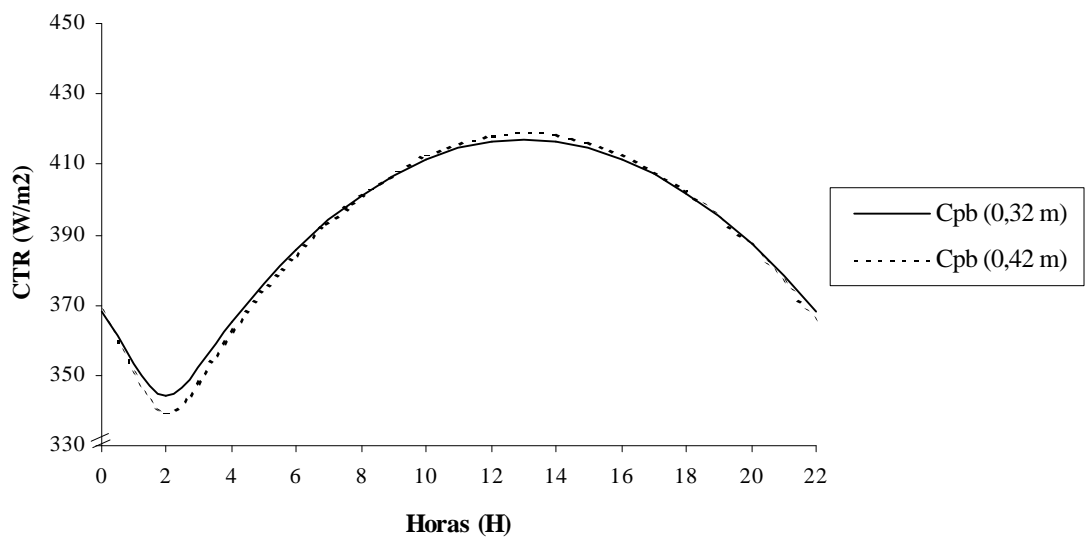


Figura 22 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de cimento-amianto com pintura branca na face superior (Cpb), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

Observa-se através da Figura 23, que para tratamentos com coberturas de telhas de alumínio, a elevação do pé-direito de 0,32 m para 0,42 m, causou uma diminuição da CTR, o que se explica pela variação da quantidade de céu frio sob a cobertura e aumento da ventilação sob a mesma. Um comportamento semelhante aconteceu quando se associou lâminas reflexivas sob as telhas de alumínio, como pode ser verificado na Figura 24.

Através das Figuras 25, 26 e 27 verifica-se que a utilização de forro, poliuretano sobre as telhas e alumínio sanduíche, respectivamente, ocasionaram maiores valores de CTR para tratamentos com pé-direito de 0,42 m. Este resultado foge ao que se era esperado, pois não evidencia a influência da ventilação e exposição ao céu frio, o que pode ter ocorrido, devido ao efeito da maior exposição ao céu distante e radiação refletida, dos protótipos com pés-direitos mais elevados, nas horas de calor mais intenso. Adicionalmente, os valores de velocidade do vento foram menores nestes horários, não tendo contribuído, significativamente, na variação da CTR.

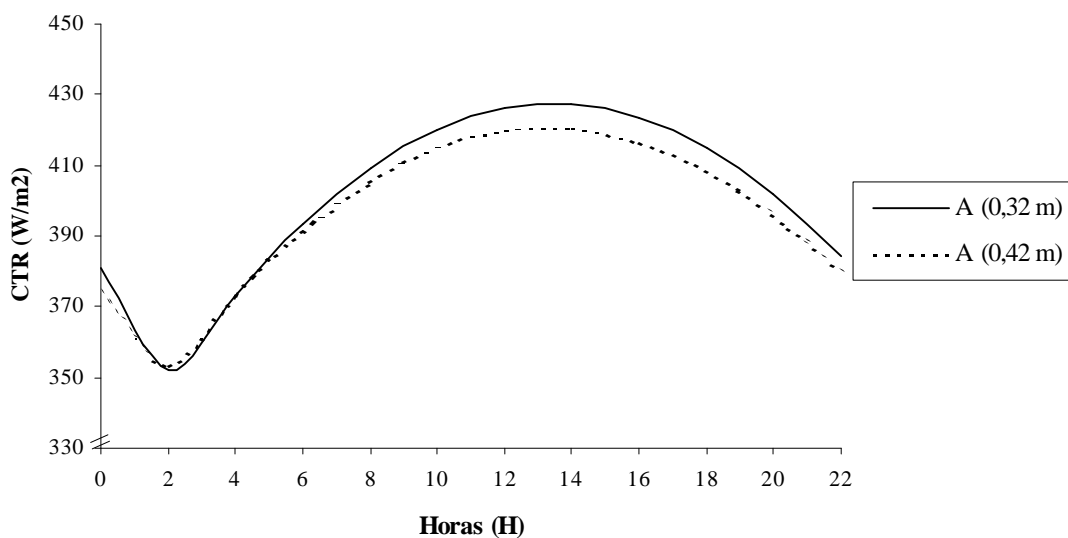


Figura 23 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de alumínio testemunha (A), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

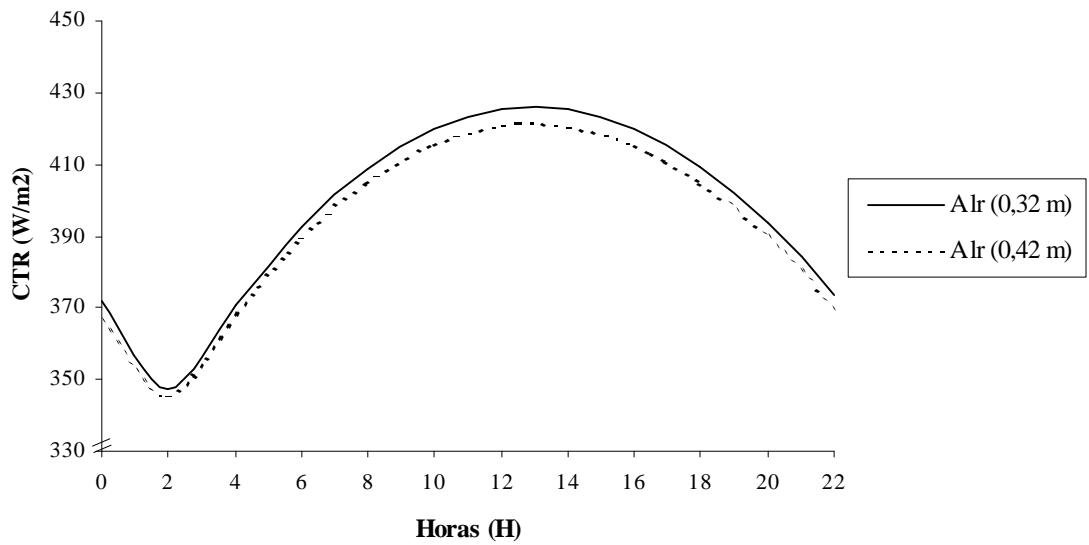


Figura 24 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de alumínio com lâmina reflexiva (Alr), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

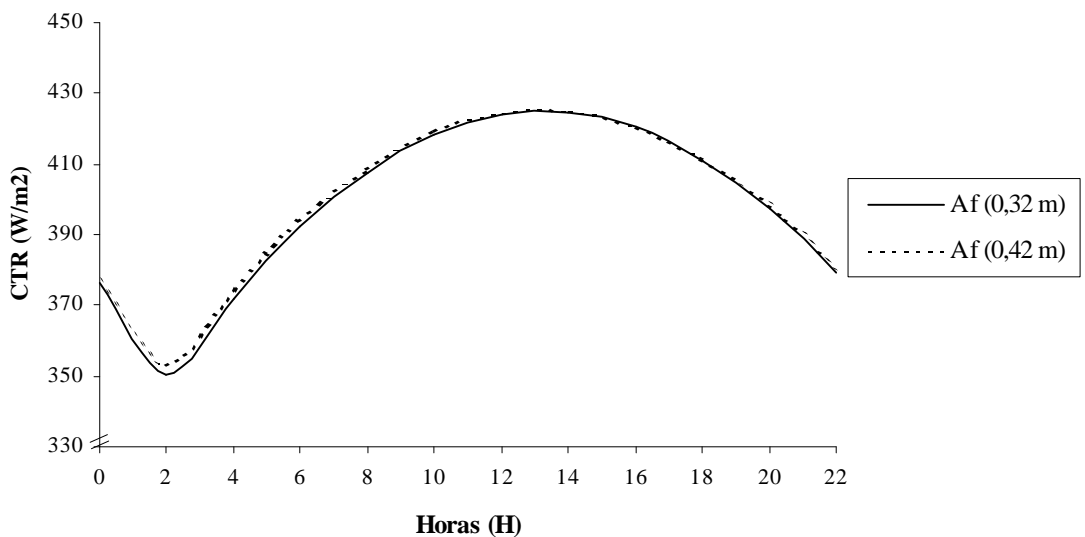


Figura 25 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de alumínio com forro (Af), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

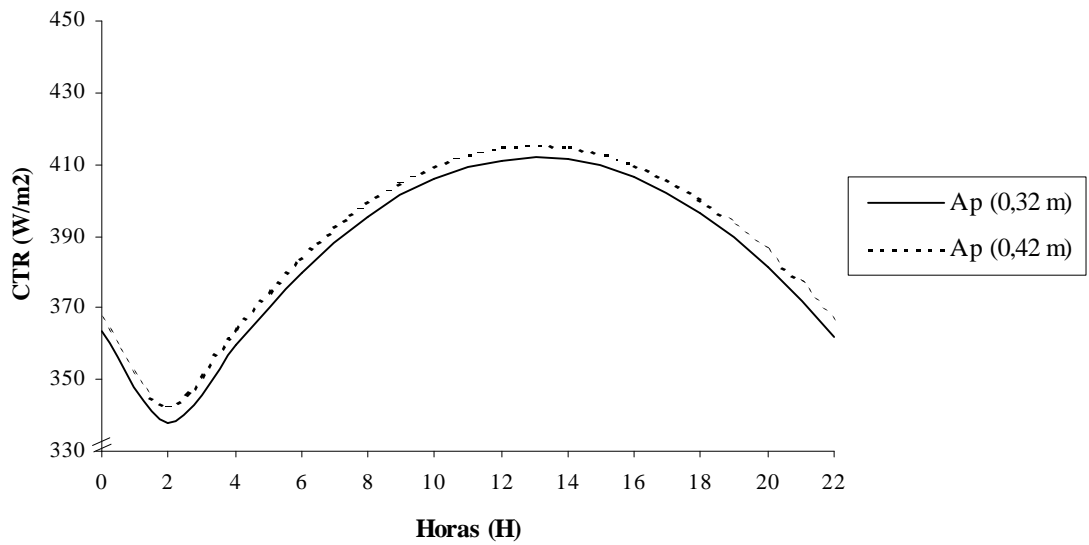


Figura 26 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de alumínio com poliuretano sobre (Ap), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

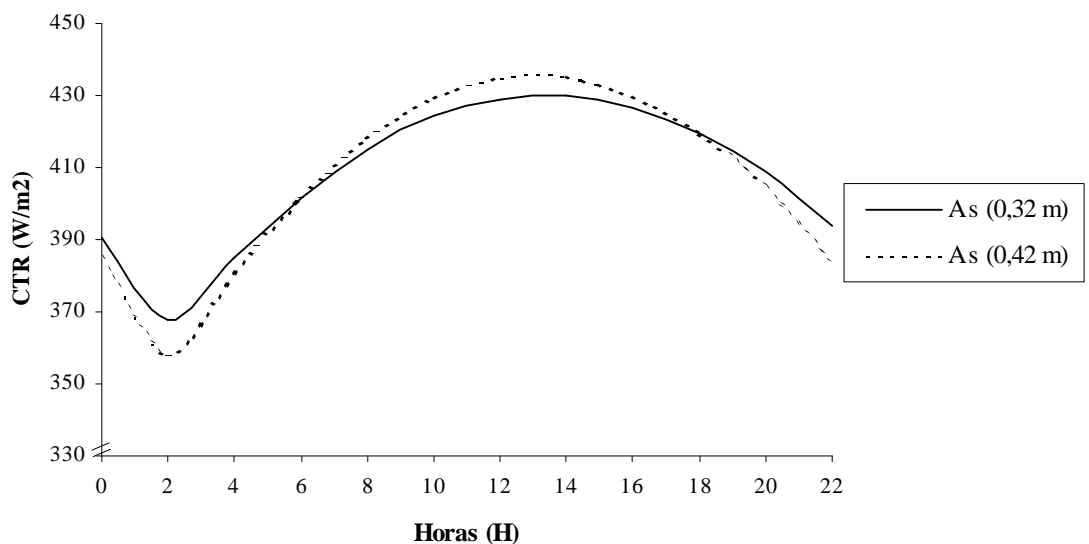


Figura 27 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para os tratamentos com telhas de alumínio sanduíche (As), com duas alturas de pés-direitos (0,32 m e 0,42 m), em função das horas.

Afim de se ter uma visão geral da variação da CTR, para tratamentos com pés-direitos maior (0,42 m) e menor (0,32 m), calculou-se a média dos valores de CTR entre todos os tratamentos com pés-direitos de 0,32 m. O mesmo foi feito para os tratamentos com pé-direito de 0,42 m. A representação gráfica dos valores de CTR, em  $W/m^2$ , do abrigo meteorológico, ao sol e CTR média para ambos os pés-direitos, em função das horas, pode ser vista na Figura 28. Verifica-se, através desta Figura, que os valores médios de CTR para o pé-direito de 0,32 m são superiores aos valores de CTR para o pé-direito de 0,42 m, o que é justificado pelo fato do tratamento com pé-direito maior estar mais exposto ao céu frio e possuir maior facilidade de ventilação, resultando na redução da CTR.

Ao se comparar a curva dos valores da CTR ao sol com a dos protótipos, na Figura 28, nota-se que a utilização de galpões para a produção animal, independente do tipo de cobertura e altura do pé-direito amenizou as variações térmicas externas, o que é desejável à produção de aves e suínos. Em estudo realizado por TURCO (1993), onde foram testadas modificações nas condições ambientais em maternidade de suínos, em condições de verão, também concluiu-se, baseado nos valores de CTR, que a utilização de galpões, reduziram drasticamente o estresse que seria imposto aos animais, caso estes estivessem ao ar livre.

Ainda na Figura 28, ao se comparar o comportamento da curva de ambos os pés-direitos com a curva da CTR do abrigo meteorológico, nota-se que houve uma proximidade entre estas, principalmente nos horários de frio mais intenso. Considerando que o abrigo representa uma instalação ideal, ou seja, aquela em que a influência das condições climáticas externas são minimizadas, verifica-se que qualquer um dos tratamentos, independente do pé-direito ou tipo de cobertura, proporcionam melhorias no ambiente interno dos galpões, principalmente nas horas mais frias do dia, o que é desejável durante o inverno.

Para um estudo comparativo entre os tratamentos e pés-direitos nos horários de extremo térmico, confeccionou-se as Figuras 29 e 30. A Figura 29 representa graficamente a média dos valores de CTR, em  $W/m^2$ , nas horas mais frias do dia, entre 2 e 6 horas, para cada tratamento e pé-direito, enquanto que a Figura 30, responsável pela representação gráfica da CTR, em  $W/m^2$ , nas horas mais quentes do dia, mostra a média deste índice entre 12 e 16 horas.

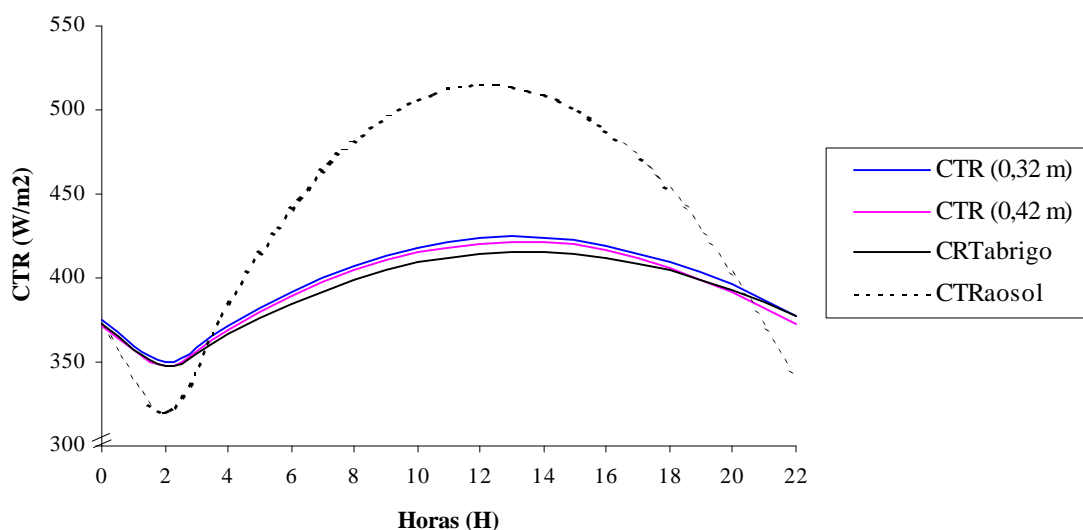


Figura 28 – Estimativa da variação da carga térmica de radiação (CTR), em  $W/m^2$ , para a média dos tratamentos com pés-direitos de 0,32 m e 0,42 m, no abrigo meteorológico e ao sol, em função das horas.

Analisando-se a Figura 29, verifica-se que, para o inverno, nos horários de frio mais intenso, as melhores condições de conforto térmico, representadas por maiores valores médios de CTR em tratamentos com pés-direitos de 0,32 m, tanto para aves na fase inicial da sua vida quanto para suínos, no caso leitoas dois dias após o parto, foram obtidas no tratamento As (alumínio sanduíche), Bf (barro com forro) e B (barro testemunha). Em seguida estão os tratamentos A (alumínio testemunha), Af (alumínio com forro), Alr (alumínio com lâmina reflexiva), C (cimento-amianto testemunha) e Cf (cimento-amianto com forro) dispostos em ordem decrescente de CTR. As piores respostas, representadas por valores de CTR muito baixos, se deram nos tratamentos Ap (alumínio com poliuretano sobre), Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superior) e Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva).

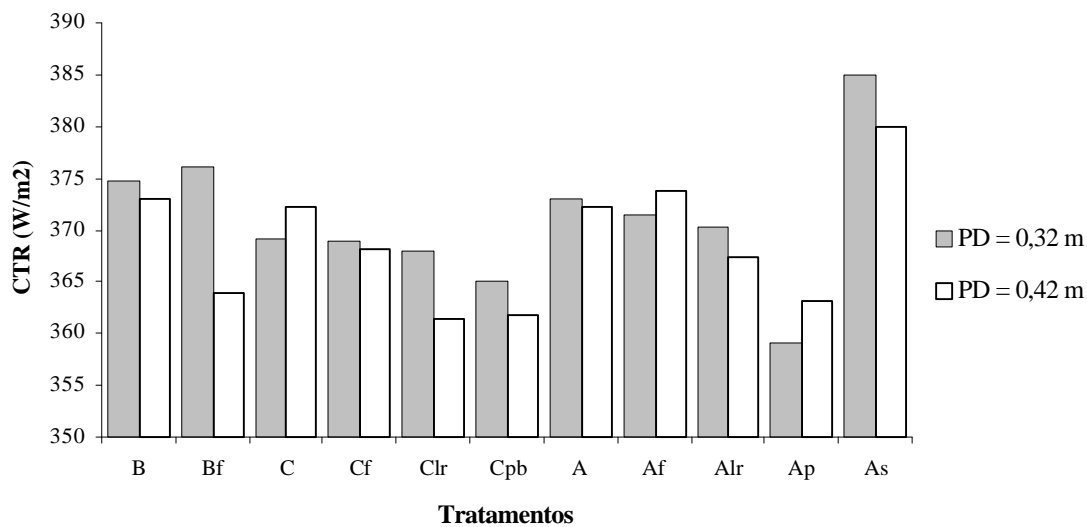


Figura 29 - Valores médios de CTR, em  $W/m^2$ , para as horas mais frias do dia (2, 4 e 6 horas), em função do tipo de telha e pé-direito.

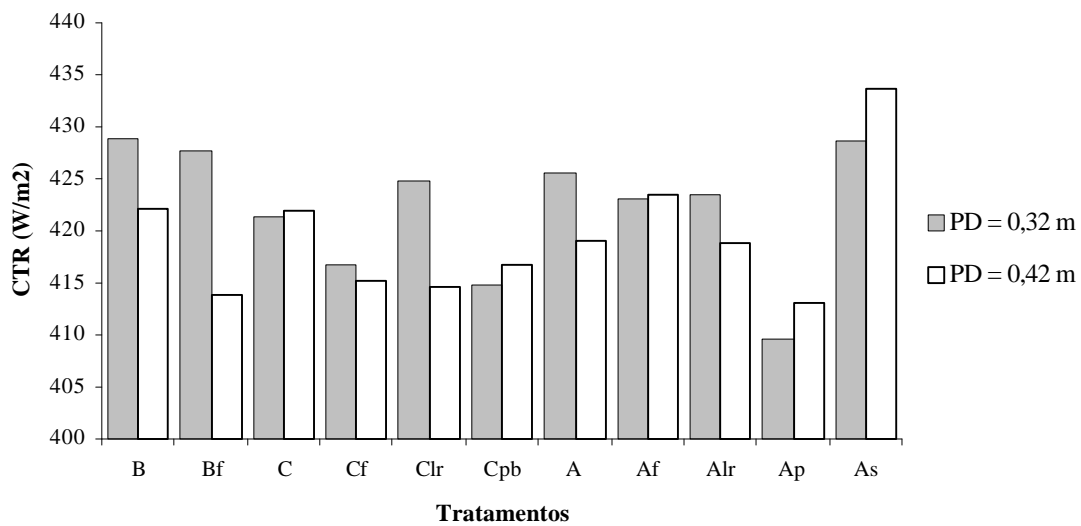


Figura 30 - Valores médios de CTR, em  $W/m^2$ , para as horas mais quentes do dia (12, 14 e 16 horas), em função do tipo de telha e pé-direito.

Ainda na Figura 29, entre os tratamentos com pés- direitos de 0,42 m, verifica-se que os maiores valores médios de CTR ocorreram nos tratamentos As (alumínio sanduíche), Af (alumínio com forro) e B (barro testemunha). Depois vieram os tratamentos C, A, Cf, Alr e Bf (cimento-amianto testemunha, alumínio testemunha, cimento-amianto com forro, alumínio com lâmina reflexiva e barro com forro, respectivamente), em ordem decrescente de CTR. Os valores de CTR mais baixos e distantes do limite crítico inferior da zona de conforto térmico de aves em sua fase inicial da vida e dos suínos, no caso leitões dois dias após o parto, se deram nos tratamentos Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva), Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superior) e Ap (alumínio com poliuretano).

A partir dos resultados apresentados na Figura 29, é possível se verificar que, assim como no caso do ITGU, a telha que propiciou melhores condições de conforto térmico, baseados nos valores médios absolutos de CTR para os horários de frio mais intenso, foi a telha de alumínio sanduíche, o que aconteceu provavelmente pelo fato deste material ter uma baixa porosidade das lâminas de alumínio e espessura maior que as demais telhas, servindo de isolante térmico, dificultando a perda do calor interno do protótipo, mantendo-o aquecido por mais tempo, até mesmo nas horas mais frias do dia, ocasionando assim uma elevação da média da CTR sob este material.

Entre os tratamentos com pé-direito de 0,32 m, nos horários mais frios do dia, dos que utilizaram forro (Bf, Af e Cf), o único que se destacou positivamente foi o Bf (barro com forro), pois os outros não tiveram um desempenho muito eficiente, mantendo suas CTRs distantes do mínimo exigido para se evitar estresse causado pelo frio. Isto pode ter ocorrido pelo fato das telhas de barro terem um amortecimento térmico maior que o dos demais materiais, o que proporcionou maior manutenção de calor no interior dos modelos reduzidos, nas horas mais frias do dia.

Nos tratamentos com pé-direito de 0,32 m, para condições de frio intenso, foram observados menores valores de CTR no tratamento Ap (alumínio com poliuretano sobre) e o maior valor no tratamento As (alumínio sanduíche). A telha de alumínio sanduíche provavelmente obteve este desempenho devido a sua maior espessura, o que serviu de isolante térmico, dificultando a perda do calor interno, mantendo o interior do protótipo aquecido por mais tempo, dificultando seu resfriamento nas horas mais frias do dia.

Ainda na Figura 29, ao se comparar os tratamentos C e Cf (cimento-amianto e cimento-amianto com forro), verifica-se que a utilização de forro praticamente não alterou as características térmicas no interior dos protótipos, pois estes tiveram comportamentos muito semelhantes.

Nos tratamentos com pé-direito de 0,42 m, foram observados menores valores de CTR no tratamento Clr (cimento-amianto com lâmina reflexiva) e o maior valor no tratamento As (alumínio sanduíche) para os períodos de frio mais intenso. A telha de alumínio sanduíche provavelmente obteve este desempenho devido ao fato de ter uma maior espessura, o que serviu de isolante térmico, dificultando a perda do calor interno do protótipo, mantendo-o aquecido por mais tempo, até mesmo nas horas de frio mais intenso. Já as telhas de cimento-amianto com lâmina reflexiva, apresentaram o menor valor de CTR, mostrando, para condições de inverno, a ineficiência deste material em se manter o ambiente no interior do protótipo mais aquecido, fato este agravado pelas telhas serem instaladas numa altura de pé-direito mais elevada, o que proporcionou uma maior ventilação no interior do protótipo, favorecendo assim a perda de calor.

Ainda na Figura 29, ao se comparar os tratamentos Ap (alumínio com poliuretano sobre) com A (alumínio testemunha), Bf (barro com forro) com B (barro testemunha) e Cpb (cimento-amianto com pintura branca na face superiora) com C (cimento-amianto testemunha), verifica-se que a utilização de poliuretano nas telhas de alumínio, forro nas telhas de barro e pintura branca nas telhas de cimento-amianto causaram a redução dos valores da CTR, no interior dos modelos reduzidos, tendo se mostrado não interessantes para condições de inverno.

Ao se comparar as duas alturas de pé-direito através da Figura 29, verifica-se que o tratamento As (alumínio sanduíche) é o que possui os maiores valores absolutos de CTR independente da altura do pé-direito, proporcionando melhores condições de conforto térmico no período noturno, fato este também encontrado durante a análise do ITGU.

A partir dos resultados apresentados na Figura 30, é possível verificar que a telha que apresentou maiores valores médios absolutos de CTR para os horários de calor mais intenso, foi a telha de alumínio sanduíche, independente do pé-direito, o que aconteceu provavelmente devido ao isolamento térmico causado por este material,

dificultando a perda do calor interno do protótipo, mantendo-o aquecido por mais tempo.

Entre os tratamentos com pé-direito de 0,32 m, a utilização de forro (Bf, Af e Cf) foi mais eficiente na redução das CTR nos tratamentos com telhas de alumínio com forro (Af) e cimento-amianto com forro (Cf) nas horas de calor mais intenso. Baixos valores de CTR para tratamentos com telhas de alumínio com forro (Af) e cimento-amianto com forro (Cf) também foram encontrados por COSTA (1982), CAMPOS (1986) e MORAES (1999), que embora não sejam satisfatórios para o inverno, foram considerados interessantes ao conforto térmico, por estes autores, por se tratar de condições de verão.

Nos tratamentos com pé-direito de 0,42 m, para condições diurnas, foram observados menores valores de CTR no tratamento Ap (alumínio com poliuretano em sua face superior) e o maior valor no tratamento As (alumínio sanduíche), situação esta repetida durante a análise do ITGU. Ainda na Figura 30, em tratamentos com pé-direito de 0,42 m, ao se comparar os tratamentos Af, Cf e Bf (alumínio cimento-amianto e barro, ambos com forro) verifica-se que a utilização de forro junto as telhas de cimento-amianto manteve os valores de CTR no interior do protótipo mais elevados que os calculados nos modelos com telhas de alumínio com forro e barro com forro, o que aconteceu provavelmente pelo fato dos tratamentos com telhas de cimento-amianto com forro terem sofrido alto aquecimento e baixa perda de calor por ventilação, durante o período diurno.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

A maioria das pesquisas relacionadas aos materiais de cobertura para as condições brasileiras, tem se pautado mais no que se refere ao arrefecimento térmico destes, uma vez que o País apresenta verões muito quentes. Contudo, os materiais de cobertura utilizados nas instalações animais podem não ser simultaneamente eficientes para condições de verão e de inverno. Isto passa a ser um grande problema, principalmente durante o período noturno e em condições de inverno, podendo gerar grandes prejuízos financeiros, uma vez que o animal jovem estressado por frio dificilmente compensará a perda de uniformidade e redução de seu desempenho produtivo potencial ao longo de sua vida. Desta maneira, fica evidenciado a importância de se atentar para a necessidade de mantê-lo sempre em condições de conforto térmico, tanto no inverno quanto no verão.

Do exposto, esta pesquisa teve como objetivo a análise de diferentes tipos de materiais de cobertura e suas diferentes associações, comumente utilizados em instalações avícolas e suínícolas, para duas distintas alturas de pé-direito, em condições de inverno em Viçosa-MG, baseadas nos índices de conforto térmico ITGU e CTR.

O experimento foi realizado nas dependências da Área de Construções Rurais e Ambiente do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV), durante o inverno. Para a execução desta pesquisa foram construídos modelos reduzidos de galpões avícolas, na classe geometricamente similar com escala 1:10, baseados nas dimensões de um galpão convencional com pé-direito de 3,2 m e 4,2

m, largura de 12,0 m, coberturas com inclinação de 30° para telhas de barro e 15° para telhas de alumínio e cimento-amianto. Os modelos foram montados em terreno plano, nivelado e gramado, livres de sombreamento, orientados no sentido leste-oeste e distanciados 4,0 m um do outro.

O ambiente térmico foi caracterizado medindo-se as temperaturas de bulbo seco e molhado, temperatura de globo negro e velocidade do ar, empregando-se instrumentos posicionados à 3 cm do piso, altura esta correspondente ao centro de gravidade das aves. As leituras foram feitas a cada duas horas, no período de 24 horas, nos meses de agosto e setembro, de onde foram selecionados dez dias experimentais. Com base nestes resultados, foram obtidos os índices ITGU e CTR de cada tratamento.

Os dados foram analisados por meio de análise de variância e regressão. Independente da interação entre Tratamentos, Pés-direitos e Horários de observação ser ou não significativa, optou-se pelo seu desdobramento. Os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t ao nível de 1% de probabilidade, o coeficiente de determinação e o fenômeno em estudo.

De acordo com as condições em que o trabalho foi realizado e pelos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- Baseado nos valores dos índices ITGU e CTR, similarmente ao que ocorre no verão, a utilização de forros junto às telhas de barro e alumínio conferiu maior inércia térmica aos conjuntos, o que é desejável durante o inverno;
- Baseado nos valores dos índices ITGU e CTR, para condições noturnas de inverno, coberturas confeccionadas com telhas de cimento-amianto com pintura branca na face superior, não são interessantes do ponto de vista de conforto térmico, tanto para aves quanto para suínos;
- Com base na análise dos valores de ITGU e CTR, conclui-se que as coberturas que melhor atenderam as necessidades mínimas de conforto térmico para condições de inverno, foram as confeccionadas com telhas de alumínio sanduíche, alumínio e barro, tanto para aves quanto para suínos;

- No que diz respeito ao pé-direito, baseado nos valores de ITGU e CTR, de forma antagônica ao que ocorre no verão, sugere-se que a utilização de galpões com pé-direito de 3,2 m em escala real, é melhor que galpões com pé-direito de 4,2 m, nas horas de extremos térmicos de inverno.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P. G., BAÊTA, F. C., SOARES, A. R., ABREU, V. M. N., MACIEL, N. F. Utilização de piso aquecido eletricamente na criação de aves. **Engenharia na Agricultura**, v. 4, n. 12, p. 1-19, 1995.
- ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. Michigan: ASAE, n.4, 1990, 453p.
- BAÊTA, F. C. **Resistência dos materiais e dimensionamento de estruturas para construções rurais**. Viçosa: UFV, 1990. 63p.
- BAÊTA, F. C., DANTAS, F. F., CECON, P. R., PASSOS, E. F. Estudo do termossifão em galpões para frangos de corte com cobertura de telhas cerâmicas e de cimento-amianto. In; Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa-MG, 1995, p.130.
- BAÊTA, F. C., SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais – conforto térmico animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246p.
- BEDFORD, T., WARNER, C. G. The globe thermometer in studies of heating and ventilation. **The Journal of Higiene**, v. 34, n. 4, p. 544-549, 1934.
- BOND, T. E., KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, v. 36, n. 4, p.251-255, 1955.
- BOND, T. E., NEUBAUER, L. W., GIVENS, R. L. The influence of slop and orientation on effectiveness of livestock shades. **Transactions of the ASAE**, v.19, n. 11, p. 134-136, 1976.

- BOULARD, T., LAMRANI, M. A, ROY, J. C., JAFFRIN, A., BOUIRDEN, L. Natural ventilation by thermal effect in a one-half scale model mono-span greenhouse. **Transactions of the ASAE**, v. 41, n. 3, p. 773-781, 1997.
- BUFFINGTON, E. D., COLLAZO- AROCHO, A., CANTON, G.H. et al., Black globe humidity comfort index for dairy cows. **American Society Agricultural Engineers**, St. Joseph, 1977. 19p. paper 77- 4517.
- BUFFINGTON, D. E., COLLAZO- AROCHO, A., CANTON, G.H., PITT, D., Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.
- CAMPOS, A. T. **Determinação dos índices de conforto e da carga térmica de radiação em quatro tipos de galpões em condições de verão para Viçosa-MG.** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 66p. 1986. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambientação). Departamento de Engenharia Agrícola, 1986.
- COSTA, E. C. **Arquitetura ecológica:** condicionamento térmico natural. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 264p.
- CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture.** Ames: The Iowa State University Press, 1983. 409p.
- ESMAY, M. L., **Principles of animal environment.** 2<sup>o</sup> Edgard Blücher. Westport: CT Abi, 1969. 325p.
- FABRÍCIO, J. R. Influência do estresse calórico no rendimento da criação de frango de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AVÍCOLA, 1994, São Paulo. **Anais da Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícola.** São Paulo: Apinco, 1994, p. 129-133.
- GARCIA-VAQUERO, E. **Projeto e construção de alojamento para animais.** 2.ed. Lisboa: Litexa Portugal, 1981. 237p.
- HAFEZ, E. S. E. **Adaptation of Domestic Animals.** Washington: Lea & Febiger. Philadelphia, 1968. 415p.
- HAHN, LeROY, BOND, T. E., KELLY, C. F. Use of models in thermal studies of livestock housing. **Transactions of the ASAE**, v. 4, n. 1, p. 45-47, 1961.
- HANNAS, M.I. Aspectos fisiológicos e a produção de suínos em clima quente. In: SILVA, I.J.O. **Ambiência e qualidade na produção industrial de suínos.** Piracicaba, SP: FEALQ, 1999. p.1-33

- KELLY, C. F., BOND, T. E., ITTNER, N. R. Thermal design of livestock shades. **Agricultural Engineering**, v.31, n. 12, p. 601-606, 1950.
- KELLY, C. F., BOND, T. E., ITTNER, N. R. Design of livestock shades. **California Agriculture**, v. 8, n. 8, p.3-4, 1954.
- KELLY, C. F., BOND, T. E. Effectiveness of artificial shade materials. **Agriculture Engineering**, v. 39, n. 12, p. 758, 759 e 764, 1958.
- KÖLTZSCH, P., WADEN, F. **Ähnlichkeitstheorie und modelltechnik**. Heft 1. Freiberg: TU Bergakademie Freiberg, 1990.
- MORAES, S. R. P. **Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas, para diferentes coberturas, durante o Verão**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 73p. 1999. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente). Departamento de Engenharia Agrícola, 1999.
- MUEHLING, A. J. Farm building insulation - application and problems. **Transactions of the ASAE**, v. 10, n. 1, p. 45-47, 1967.
- MULLER, C.J.C., BOTHA, J. A. Roof height in roofed free-stall structures in relation to the microclimate and production performance of lactating Friesian cows during summer in a mediterranean climate. **Transactions of the ASAE**, v. 40, n. 2, p. 445-450, 1997.
- MURPHY, G. C. E. **Similitude in engineering**. New York: Ronald Press, 1950.
- NÃÃS, I. A. **Princípios do conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone Editora, 1989. 183 p.
- NEUBAUER, L. W., CRAMER, R. D. Shading devices to limit solar heat gain but increase cold sky radiation. **Transactions of the ASAE**, v. 8, n. 4, p. 470-472 e 475, 1965.
- NEUBAUER, L. W. Shapes and orientation of houses for natural coling. **Transactions of the ASAE**, v. 15, n. 1, p. 126-128, 1972.
- PERDOMO, C. C., KONZEN, E. A., SILVA, A. P. **Curso de atualização sobre a produção de suínos, 4**. Concórdia: CNPSA-EMBRAPA, 1985.
- PERDOMO, C. C., OLIVEIRA, P. A. Fatores climáticos no planejamento das edificações para suínos. **Rev. Suin. Ind.**, n. 88, p. 6-11, 1986.

- PERDOMO, C. C., FERNANDES, L. C. O., GUIDONE, A. L. et al. Efeitos da estação do ano sobre o acondicionamento e desempenho de porcas alojadas em maternidades com sistemas de ventilação natural e mecânica com resfriamento evaporativo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Bauru, SP, **Anais...** Bauru: SBEA, 1996. p. 645-647.
- PHILLIPS, C., PIGGINS, P. **Farm animals and the environment**. Wallingford: CAB-International, 1992. 430 p.
- RIVERO, R. O. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. 2. Ed. Porto Alegre: D. C. Luzzato, 1986. 240p.
- RODRIGUES, E. H. V., ARAÚJO, R. C. L. Influência da orientação sobre o conforto ambiental em instalações destinadas à criação de frangos de corte. In; Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola (CONBEA), 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa-MG, 1995, p.126.
- ROSA, Y. B. C. J. **Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico, em condições de verão para Viçosa-MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1984. 77p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente). Departamento de Engenharia Agrícola, 1984.
- SANTOS, A. C., BAÊTA, F. C., CECON, P. R., CARDOSO, R. M. Análise de diferentes bezerreiros individuais móveis, para região de Viçosa. **Engenharia na Agricultura**, v. 2, n. 7, p. 1-8, 1993.
- SCHURING, D. J. **Scale models in engineering – fundamentals and applications**. New York: Calspan Corporation, s.d..
- SILVA, R. S. **Correção dos valores dos índices térmicos ambientais calculados com dados coletados com globo termômetros de alumínio, latão e plástico de diferentes tamanhos, com relação ao globo termômetro de cobre (padrão)**. Viçosa, UFV, 1996. v. 2. (Seminário de conclusão do curso de Engenharia Agrícola).
- TEIXEIRA, V. H. **Estudo dos índices de conforto em duas instalações de frango de corte para as regiões de Viçosa e Visconde do Rio Branco-MG**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1983. 62p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente). Departamento de Engenharia Agrícola, 1983.

- TINÔCO, I. F. F. Planejamento de instalações avícolas face as variações de temperatura – reprodutoras. In: Simpósio internacional SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÃO NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, Campinas. **Livro de textos**, Campinas: FACTA, 1995. p. 113-122.
- TINÔCO, I. F. F. **Efeito de diferentes sistemas de condicionamento de ambiente e níveis de energia metabolizável na dieta sobre o desempenho de matrizes de frango de corte, em condições de verão e outono**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), 1996. 173p. Dissertação (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais , 1996.
- TURCO, S. H. N. **Modificações das condições ambientais de verão, em maternidades de suínos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1993. 59p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente). Departamento de Engenharia Agrícola, 1993.
- TURCO, S. H. N., BAÊTA, F. C., COSTA, P. M. A., CARDOSO, R. M., CECON, P. R. Modificações das condições ambientais de verão em maternidades de suínos. **Engenharia na Agricultura**, v. 3, n. 11, p. 1-12, 1994.
- TURCO, S. H. N. **Análise de sistemas de condicionamento térmico em maternidades para suínos**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa (UFV), 1997. 93p. Dissertação (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente). Departamento de Engenharia Agrícola, 1997.
- ZANOLLA, N. **Sistema de ventilação em túnel e sistema de ventilação lateral na criação de frangos de corte em alta densidade**. Viçosa: UFV, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

## **APÊNDICE**

Quadro 1A – Valores médios de ITGU dos tratamentos dentro de cada horário de observação, para pé-direito de 0,32 m.

| Trat. | Horas |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 0     | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    |
| B     | 56,51 | 55,61 | 54,81 | 54,04 | 62,92 | 70,05 | 72,04 | 72,92 | 71,85 | 66,88 | 61,48 | 59,88 |
| A     | 57,07 | 55,74 | 54,99 | 54,21 | 62,99 | 69,79 | 72,54 | 73,32 | 71,61 | 66,81 | 61,66 | 60,44 |
| Bf    | 55,99 | 55,05 | 54,22 | 53,67 | 62,68 | 68,23 | 69,97 | 71,00 | 69,70 | 65,17 | 60,91 | 59,15 |
| Clr   | 55,86 | 54,74 | 53,96 | 53,67 | 63,16 | 69,10 | 71,22 | 71,40 | 69,89 | 64,90 | 59,96 | 58,91 |
| Af    | 55,63 | 54,70 | 53,91 | 53,40 | 63,47 | 67,95 | 69,93 | 71,15 | 69,14 | 64,69 | 60,20 | 58,83 |
| Alr   | 55,19 | 54,13 | 53,23 | 52,81 | 64,82 | 68,32 | 70,90 | 70,97 | 69,38 | 64,31 | 59,71 | 58,41 |
| Ap    | 55,51 | 54,21 | 53,36 | 53,18 | 63,18 | 68,33 | 70,66 | 70,64 | 69,01 | 63,88 | 59,62 | 58,48 |
| C     | 54,50 | 53,46 | 53,02 | 52,76 | 64,32 | 68,11 | 69,82 | 70,50 | 68,15 | 63,03 | 59,21 | 57,67 |
| As    | 56,51 | 55,35 | 54,47 | 53,97 | 64,61 | 68,84 | 70,16 | 70,85 | 68,13 | 63,66 | 60,91 | 59,53 |
| Cpb   | 55,19 | 53,94 | 53,17 | 53,15 | 63,26 | 68,01 | 69,64 | 69,95 | 67,75 | 62,97 | 59,44 | 58,09 |
| Cf    | 55,53 | 54,18 | 53,37 | 53,23 | 63,52 | 68,20 | 69,70 | 69,93 | 67,37 | 63,05 | 59,44 | 58,38 |

Quadro 2A – Valores médios de ITGU dos tratamentos dentro de cada horário de observação, para pé-direito de 0,42 m.

| Trat. | Horas |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 0     | 2     | 4     | 6     | 8     | 10    | 12    | 14    | 16    | 18    | 20    | 22    |
| B     | 55,27 | 54,71 | 53,95 | 53,31 | 63,46 | 68,03 | 69,51 | 70,55 | 69,00 | 63,97 | 59,72 | 58,68 |
| A     | 55,69 | 54,57 | 53,75 | 53,33 | 63,50 | 69,19 | 70,77 | 70,16 | 68,13 | 63,36 | 60,01 | 59,55 |
| Bf    | 55,02 | 54,16 | 53,36 | 52,72 | 63,61 | 67,67 | 69,20 | 69,83 | 68,43 | 63,35 | 59,47 | 57,20 |
| Clr   | 55,71 | 54,39 | 53,56 | 53,38 | 63,11 | 69,70 | 72,09 | 72,48 | 70,49 | 64,31 | 60,05 | 58,40 |
| Af    | 55,47 | 54,51 | 53,54 | 53,06 | 63,51 | 69,02 | 70,52 | 70,74 | 68,19 | 63,10 | 60,21 | 58,91 |
| Alr   | 55,16 | 54,37 | 53,63 | 53,06 | 63,65 | 69,05 | 70,91 | 71,49 | 69,83 | 64,16 | 59,40 | 58,48 |
| Ap    | 54,69 | 53,45 | 53,85 | 52,68 | 61,77 | 67,62 | 69,40 | 70,17 | 68,10 | 63,07 | 58,43 | 57,15 |
| C     | 55,46 | 53,96 | 53,58 | 53,16 | 64,28 | 68,63 | 70,20 | 70,28 | 67,68 | 62,54 | 59,29 | 58,11 |
| As    | 56,55 | 55,42 | 54,42 | 54,13 | 63,47 | 69,97 | 71,96 | 72,36 | 71,21 | 65,57 | 61,00 | 59,14 |
| Cpb   | 55,23 | 53,85 | 53,17 | 53,23 | 63,16 | 68,54 | 70,67 | 71,16 | 69,41 | 63,86 | 59,13 | 57,86 |
| Cf    | 55,68 | 54,47 | 53,66 | 54,23 | 62,94 | 68,32 | 70,40 | 70,36 | 69,02 | 63,97 | 59,68 | 58,35 |

Quadro 3A – Valores médios de CTR, em  $W/m^2$ , dos tratamentos dentro de cada horário de observação, para pé-direito de 0,32 m.

| Trat. | Horas  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | 0      | 2      | 4      | 6      | 8      | 10     | 12     | 14     | 16     | 18     | 20     | 22     |
| B     | 374,28 | 373,68 | 371,21 | 368,01 | 404,02 | 436,48 | 440,14 | 437,14 | 433,91 | 409,67 | 392,17 | 386,12 |
| A     | 377,55 | 371,55 | 370,40 | 367,04 | 405,16 | 419,11 | 440,20 | 438,35 | 432,08 | 406,03 | 391,10 | 388,57 |
| Bf    | 378,85 | 375,14 | 371,84 | 370,70 | 406,89 | 429,32 | 436,46 | 438,45 | 434,82 | 407,88 | 396,11 | 388,77 |
| Clr   | 368,68 | 365,79 | 363,20 | 363,30 | 400,21 | 429,30 | 439,74 | 433,89 | 430,38 | 403,04 | 381,06 | 380,18 |
| Af    | 373,37 | 369,76 | 368,69 | 365,79 | 404,67 | 422,01 | 430,00 | 437,07 | 430,38 | 402,69 | 387,50 | 381,89 |
| Alr   | 369,26 | 366,18 | 363,19 | 363,18 | 418,34 | 422,12 | 436,41 | 431,12 | 426,30 | 398,59 | 383,40 | 380,56 |
| Ap    | 360,95 | 356,07 | 354,13 | 354,31 | 394,01 | 412,14 | 422,73 | 420,98 | 409,61 | 386,24 | 371,29 | 368,57 |
| C     | 365,50 | 363,68 | 365,59 | 364,07 | 411,53 | 420,62 | 431,12 | 432,57 | 423,03 | 398,30 | 382,67 | 376,22 |
| As    | 387,83 | 384,88 | 381,45 | 377,87 | 407,99 | 434,65 | 438,68 | 441,48 | 428,18 | 408,22 | 403,97 | 397,56 |
| Cpb   | 365,59 | 361,57 | 359,44 | 359,75 | 402,14 | 417,41 | 426,78 | 426,04 | 413,59 | 391,59 | 379,14 | 374,05 |
| Cf    | 372,17 | 366,69 | 364,51 | 363,32 | 400,25 | 420,81 | 427,52 | 427,59 | 417,30 | 396,40 | 382,96 | 380,81 |

Quadro 4A – Valores médios de CTR, em  $W/m^2$ , dos tratamentos dentro de cada horário de observação, para pé-direito de 0,42 m.

| Trat. | Horas  |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|       | 0      | 2      | 4      | 6      | 8      | 10     | 12     | 14     | 16     | 18     | 20     | 22     |
| B     | 367,78 | 366,18 | 363,94 | 361,45 | 401,36 | 430,89 | 434,37 | 441,75 | 437,92 | 410,12 | 384,64 | 380,61 |
| A     | 367,28 | 363,79 | 362,55 | 361,39 | 397,69 | 420,77 | 437,74 | 441,54 | 425,83 | 392,44 | 383,15 | 378,90 |
| Bf    | 366,29 | 363,11 | 360,29 | 358,15 | 391,82 | 419,89 | 413,55 | 427,76 | 429,06 | 408,01 | 380,12 | 376,48 |
| Clr   | 371,16 | 368,23 | 365,78 | 365,99 | 407,52 | 428,25 | 435,82 | 435,34 | 426,96 | 402,16 | 385,50 | 381,91 |
| Af    | 367,30 | 364,09 | 361,19 | 360,92 | 403,61 | 424,15 | 430,45 | 432,37 | 428,18 | 402,27 | 383,23 | 376,62 |
| Alr   | 371,51 | 367,67 | 364,62 | 364,05 | 403,27 | 424,88 | 435,72 | 435,75 | 418,51 | 401,56 | 384,48 | 381,24 |
| Ap    | 370,81 | 367,01 | 362,87 | 363,83 | 402,58 | 421,94 | 431,36 | 435,21 | 425,20 | 401,85 | 383,90 | 379,53 |
| C     | 371,60 | 366,28 | 364,15 | 364,87 | 406,55 | 428,02 | 437,06 | 440,22 | 427,68 | 400,89 | 384,98 | 380,21 |
| As    | 367,94 | 365,83 | 364,62 | 364,59 | 404,56 | 426,08 | 435,08 | 439,21 | 426,51 | 399,67 | 385,61 | 381,64 |
| Cpb   | 368,78 | 364,69 | 363,43 | 362,77 | 401,85 | 424,70 | 436,09 | 435,15 | 423,48 | 396,47 | 383,21 | 378,46 |
| Cf    | 381,21 | 375,14 | 373,19 | 372,40 | 415,80 | 435,28 | 443,64 | 444,76 | 432,79 | 403,55 | 396,22 | 392,14 |