

SANDRA REGINA PIRES DE MORAES

**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS DE SEMICLIMATIZAÇÃO
DE AMBIENTE, EM GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE,
NO SUDOESTE DE GOIÁS**

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

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2002**

SANDRA REGINA PIRES DE MORAES

**CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS DE SEMICLIMATIZAÇÃO
DE AMBIENTE, EM GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE,
NO SUDOESTE DE GOIÁS**

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

APROVADA: 30 de agosto de 2002.

Prof.^a Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Conselheira)

Prof. Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá
(Conselheiro)

Prof. Paulo Roberto Cecon

Prof. Marcos Barcellos Café

Prof. Fernando da Costa Baêta
(Orientador)

“Voici mon secret. Il est très simple: on ne voit bien qu’avec le coeur. L’essentiel est invisible pour les yeux. C’est le temps que tu as perdu pour ta rose qui fait ta rose si importante. Tu deviens responsable pour toujours de ce que tu as apprivoisé. Tu es responsable de ta rose...”

(Antoine de Saint-Exupéry)

Aos meus amigos físicos e espirituais.

Aos meus pais e irmãos.

À André Luiz, meu eterno amor.

Com carinho, dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus, pelo dom da vida e pela oportunidade de aprendizado constante.

À Universidade Federal de Viçosa, por meio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade oferecida na realização deste curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo suporte financeiro durante parte do curso.

Em especial, ao prezado Professor Fernando da Costa Baêta, pela orientação, pelo exemplo, pelos ensinamentos, pelos conselhos e pela amizade.

À Professora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pelo incentivo, pelo auxílio imprescindível, pelos conselhos, pela confiança e pela amizade.

Ao Professor Paulo Roberto Cecon, pela orientação estatística, pela paciência, pela disponibilidade, pelos conselhos e pela amizade.

Ao Professor Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá, pelos ensinamentos, pela disponibilidade, pelos conselhos e pela amizade.

Ao Professor Marcos Barcellos Café, pelo incentivo, pelo auxílio em campo, pela disponibilidade, pela confiança e pela amizade.

Aos professores dos Departamentos de Engenharia Agrícola e de Zootecnia, da Universidade Federal de Viçosa, pelos ensinamentos partilhados.

À Frango Gale, na pessoa do Dr. Valberto Licks, pela oportunidade de trabalho em campo, aos granjeiros e proprietários dos galpões de frango, e em

especial, ao Dr. Weliton Pereira Carlos Cunha, pelo auxílio imprescindível nas coletas em campo.

Aos amigos Galinari, Fernanda, Marcos, José Mauro, Chiquinho, Edna, Jurandir, D. Maria e Fátima, pelo carinho e pela disposição em ajudar sempre.

Às caras amigas Ana Paula, Alexandra e Andressa, pela companhia agradável, pela alegria espontânea e pela amizade sincera.

Aos eternos amigos Daniela, Rui, André, Ludmila, Izabel, Joselma, Cíntia e Ricardo, pelo incentivo, pelas longas conversas e pela torcida.

Em especial, a Lívია, Ana Paula e Gomide, pelo apoio sincero, carinhoso e imprescindível na confecção desta tese.

Aos meus pais Paulo e Lourdes e meus irmãos Márcio e Fabiano, pela vida, pelo carinho e pelo apoio espiritual.

A André, meu marido, pela confiança, pelo incentivo, pela compreensão, pela paciência, pelo carinho e pelo amor dedicado.

A todos vocês que, de alguma forma, deram sua parcela de contribuição na realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

SANDRA REGINA PIRES DE MORAES, filha de Paulo Pires de Moraes e Lourdes Rocha de Moraes, nasceu em Goiânia, Goiás, em 20 de novembro de 1973.

Em novembro de 1995, foi contratada pela Frangoeste Alimentos Ltda., para exercer a função de encarregada de produção.

Em fevereiro de 1996, graduou-se em Medicina Veterinária pela Universidade Federal de Goiás, em Goiânia, Goiás.

Em outubro de 1996, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa.

Em 11 de dezembro de 1998, submeteu-se aos exames finais de defesa de dissertação.

Em março de 1999, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, na área de Construções Rurais e Ambiente, em nível de Doutorado, na Universidade Federal de Viçosa.

Em 30 de agosto de 2002, submeteu-se aos exames finais de defesa de tese.

ÍNDICE

RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	6
2.1. Características construtivas para conforto em instalações avícolas	6
2.1.1. Orientação	6
2.1.2. Pé-direito	7
2.1.3. Arredores	9
2.1.4. Inclinação do telhado	10
2.1.5. Lanternim	10
2.1.6. Beiral	12
2.1.7. Sombreamento	12
2.1.7.1. Materiais de cobertura	17
2.1.7.2. Estratégias para redução do fluxo de calor por meio da cobertura	19
2.2. Ventilação natural em instalações avícolas	25
2.2.1. Ventilação natural devido à ação do vento	29
2.2.2. Ventilação natural devido à diferença de temperatura	30
2.2.3. Ventilação natural pelo efeito do vento e da diferença de temperatura	32
2.2.4. Ventilação natural por exaustores eólicos	33
2.3. Ventilação artificial	34
2.3.1. Ventiladores	36
2.3.2. Ventilação com pressão positiva	36

2.3.2.1. Resfriamento evaporativo.....	36
2.3.2.2. Ventilação em túnel.....	42
2.3.2.3. Ventilação lateral.....	42
2.3.3. Ventilação com pressão negativa.....	45
2.3.3.1. Resfriamento evaporativo.....	46
2.3.3.2. Insuflação natural e exaustão mecânica.....	50
2.3.3.3. Insuflação e exaustão mecânica.....	51
CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE SEMICLIMATIZAÇÃO EM GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE COM VENTILAÇÃO DE PRESSÃO POSITIVA ASSOCIADA A NEBULIZAÇÃO COM BAIXA PRESSÃO E VENTILAÇÃO DE PRESSÃO NEGATIVA ASSOCIADA A NEBULIZAÇÃO DE ALTA PRESSÃO.....	55
1. INTRODUÇÃO.....	55
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	56
2.1. Características arquitetônicas dos galpões.....	56
2.2. Caracterização dos sistemas de semiclimatização de ambiente.....	57
2.3. Coleta de dados ambientais para caracterização termoigrométrica.....	58
2.4. Determinação dos índices térmicos ambientais.....	58
2.5. Delineamento experimental.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	60
3.1. Índices térmicos e ambientais.....	60
3.2. Temperatura do ar (TA).....	61
3.3. Umidade relativa do ar (UR).....	64
3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU).....	68
3.5. Carga térmica de radiação (CTR).....	71
4. CONCLUSÕES.....	76
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	76
6. APÊNDICE.....	78
CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS DE SEMICLIMATIZAÇÃO EM GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE: VENTILAÇÃO DE PRESSÃO POSITIVA COM NEBULIZAÇÃO INTERNA E VENTILAÇÃO DE PRESSÃO NEGATIVA COM PLACAS EVAPORATIVAS.....	84
1. INTRODUÇÃO.....	84
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	85
2.1. Características arquitetônicas dos galpões.....	85
2.2. Coleta de dados ambientais para caracterização termoigrométrica.....	87

2.3. Determinação dos índices de conforto térmico	88
2.4. Delineamento experimental.....	89
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	89
3.1. Índices térmicos ambientais	89
3.2. Temperatura do ar (TA).....	89
3.3. Umidade relativa do ar (UR).....	94
3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)	98
3.5. Carga térmica de radiação (CTR).....	99
4. CONCLUSÕES.....	102
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
6. APÊNDICE	105
EFEITO DO SISTEMA DE NEBULIZAÇÃO INTERNA, EM GALPÕES SEMICLIMATIZADOS, PARA FRANGOS DE CORTE, COM PRESSÃO NEGATIVA E PLACAS EVAPORATIVAS.....	111
1. INTRODUÇÃO	111
2. MATERIAL E MÉTODOS	112
2.1. Características arquitetônicas dos galpões	113
2.2. Caracterização dos sistemas de semiclimatização de ambiente	113
2.3. Coleta de dados ambientais para caracterização termoigrométrica	114
2.4. Determinação dos índices de conforto térmico	115
2.5. Delineamento experimental.....	116
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	116
3.1. Índices térmicos e ambientais.....	116
3.2. Temperatura do ar (TA).....	117
3.3. Umidade relativa do ar (UR).....	120
3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)	124
3.5. Carga térmica de radiação (CTR).....	129
4. CONCLUSÕES.....	132
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	133
6. APÊNDICE	134
3. CONCLUSÕES GERAIS	140
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	141

RESUMO

MORAES, Sandra Regina Pires, D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2002. **Caracterização de sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás.** Orientador: Fernando da Costa Baêta. Conselheiros: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco e Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá.

No desenvolvimento da produção avícola, as pesquisas na área de ambiência têm assumido papel primordial, introduzindo novos conceitos, como alta densidade de alojamento, sistemas de ventilação, sistemas de resfriamento evaporativo, controle automático de variáveis ambientais e equipamentos, bem como semiclimatização de galpões. No sudoeste de Goiás, com os resultados negativos de desempenho zootécnico e sanitário das aves nos galpões semiclimatizados, surgiram sérios problemas para o setor, como redução na remuneração dos integrados, aumento no tempo de retorno do investimento, inadimplência no pagamento das prestações do financiamento dos galpões, aumento no custo de produção do frango e insatisfação generalizada nos diversos segmentos da avicultura industrial da região. As pesquisas para determinação da eficiência dos sistemas de semiclimatização no Brasil ainda são incipientes em se tratando de galpões avícolas, pois a maioria das pesquisas sobre o assunto tem sido desenvolvida em regiões de clima temperado. As instalações onde a pesquisa foi desenvolvida foram escolhidas com base nas

diferenças dos projetos de semiclimatização implantados, visando a caracterização dos mais díspares sistemas. Os dados foram obtidos em sete galpões para frangos de corte, criados em sistema de alta densidade de alojamento, no sudoeste de Goiás. Considerando a importância do conforto térmico ambiental na criação de aves, este estudo teve por objetivo geral a caracterização dos diversos sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás. O trabalho foi realizado no município de Jataí, Goiás, em sete galpões para frangos de corte, de propriedade de três integrados da Frango Gale S/A, em escala comercial, com largura de 12,0 m, comprimento de 120,0 m, pé-direito de 3,0 m, cobertura em duas águas, beiral de 0,5 m, inclinação de 30° para coberturas com telhas de barro e 15° para coberturas com telhas de cimento-amianto e alumínio. Para caracterizar o ambiente térmico, foram registrados, durante o período experimental, valores de temperatura de globo negro, bulbo seco, bulbo úmido e velocidade do ar, a cada duas horas, durante o período das 0 às 24 horas, na altura das aves, em diversos pontos no interior dos galpões. Com base nesses resultados, foram obtidos os valores de umidade relativa (UR) e o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) de cada tratamento. Nas condições de realização deste trabalho, e pelos resultados obtidos, concluiu-se que: os frangos de corte, a partir de 21 dias de vida, e nos horários mais quentes do dia (12 às 16 horas), estiveram em condições de estresse por calor, determinado por valores de ITGU acima de 76, ao longo de todo o galpão; a UR, nos tratamentos testados, foram estatisticamente iguais entre 12 e 16 horas, apesar de apresentarem valores em torno de 50%, muito abaixo dos 80% esperados para galpões semiclimatizados com resfriamento evaporativo; e, de forma geral, os sistemas estudados foram ineficientes em promover melhorias térmicas ambientais, havendo ainda a possibilidade de redução da temperatura do ar em cerca de 7 °C, com o aumento da sua eficiência.

ABSTRACT

MORAES, Sandra, Regina Pires de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, August 2002. **Characterization of environment semi-acclimatization systems in broiler shed, in the southeastern Goiás.** Adviser: Fernando da Costa Baêta. Committee Members: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco and Antônio Cleber Gonçalves Tibiriçá.

For poultry production improvement, the research in the field of environment is assuming an important role, by introducing new concepts like high lodging density, ventilation systems, evaporative cooling systems, automatic control equipments for atmospheric variables and also semi-acclimatization of sheds. In the southeastern Goiás, having poor husbandry and sanitary results of bird performance in the semi-acclimatized sheds, has given rise to serious problems in the sector, that include reduced income of the integrated farmers, increased time period for investment returns, default on installment payments of loans acquired for shed construction, increased cost of broiler production and a generalized dissatisfaction of various segments involved in poultry industry of the region. The research to determine efficiency of semi-acclimatization systems in Brazil is yet incipient for poultry sheds, and most research has been done in temperate climate regions. Considering characterization of diverse systems, selection was based on the differences of installed semi-acclimatization systems. The data were obtained from

seven broiler sheds of high lodging density, situated in south-eastern Goiás, Considering the importance of atmospheric thermal comfort for broiler raising, the general objective of this study was to characterize different atmosphere semi-acclimatization systems used in the broiler sheds in the south-eastern of Goiás. The study was done in the municipality of Jataí, in seven commercial broiler sheds, belonging to three integrators Frango Gale S/A, which were 12.0 m, 120,0 m long and 3.0 m high, with the tile roofing of two waters, and eaves of 0.5m, inclination of 30° for the roof of earthen tiles, and 15° for cement-asbestos- aluminum tiles. The black globe, dry and wet bulb temperatures and wind velocity, at the bird height were measured every two hours, from 00 to 24 h, at different points of the shed during the entire experimental period to characterize the thermal atmosphere. On the basis of these results relative humidity (rh) and the black globe temperature index and moisture (BGTIM) of each treatment were calculated. Under conditions of this work, and by the results obtained, it was concluded that: A) the 21-day old broilers, during the warmest hours of the day (12 to 16 h.) were under heat stress, as determined from the BGTIM value above 76 throughout the shed, 2) The rh of the treatments was statistically similar between 12 to 16 hours, despite showing values of about 50%, which is much below the expected 80% for semi-acclimatized sheds fitted with evaporative cooling; C) in general, the system studied were inefficient in improving atmospheric thermal comfort, because there was still the possibility of reducing air temperature by 7°C by the existing system, if the efficiency was improved.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frangos (ABEF, 2002) e a União Brasileira de Avicultura (UBA, 2003), a produção de carne de frango no Brasil no ano de 1970 foi de 217.000 toneladas, e o consumo per capita, de 2,3 kg; em 2001, a produção foi de aproximadamente 6,5 milhões de toneladas e o consumo per capita ficou em 29,4 kg. O Brasil é, hoje, o segundo maior produtor e exportador mundial de frangos, possuindo um mercado com alto potencial de desenvolvimento.

Para acompanhar a rápida ascensão da avicultura no País, o setor passou por algumas transformações, como a implantação de regras de biossegurança, a adequação das instalações e dos equipamentos e as constantes modificações das técnicas de manejo. Como resultado, o sistema de integração de frangos de corte, a avançada tecnologia implantada e a alta qualidade dos produtos derivados dessas aves fizeram com que esse segmento da agroindústria brasileira tivesse excelente participação no cenário mundial, com movimento econômico anual de bilhões de dólares e milhões de trabalhadores empregados.

No desenvolvimento da produção avícola, as pesquisas na área de ambiência têm assumido papel primordial, introduzindo novos conceitos, como alta densidade de alojamento, sistemas de ventilação, sistemas de resfriamento evaporativo, controle

automático de variáveis ambientais e equipamentos, bem como semiclimatização de galpões.

Os sistemas de ventilação em instalações animais podem ser caracterizados como naturais, mecânicos, ou uma combinação dos dois. Durante muitos anos, a avicultura brasileira se desenvolveu em instalações abertas, com sistema de ventilação natural. A ventilação mecânica é adotada sempre que a ventilação natural não for suficiente para atender à vazão, temperatura e umidade desejadas (MACINTYRE, 1990). O sistema de ventilação mecânica pode ser implantado com pressão positiva ou negativa (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990).

No sistema de ventilação mecânica com pressão positiva, os ventiladores forçam o ar através da construção, com aumento da pressão do ar. O gradiente de pressão do ar entre o interior e o exterior movimenta o ar para fora da construção (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990). Esse sistema normalmente utiliza ventiladores com vazão de $300 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$.

Na década de 80, surgiram diversas pesquisas utilizando o sistema de ventilação mecânica com pressão positiva e resfriamento evaporativo do ar ambiente, objetivando amenizar os efeitos negativos das altas temperaturas para as aves. Inicialmente, foram introduzidos isoladamente os ventiladores e, em seguida, várias empresas começaram a utilizar sistemas de ventilação lateral ou em túnel, de acordo com o posicionamento dos ventiladores, associados a sistemas de resfriamento evaporativo por meio de nebulização interna.

Para que a ave atinja seu máximo potencial genético, é necessário, entre outros fatores, que a temperatura ambiente esteja inserida na faixa de termoneutralidade ou conforto, entre 15 e 26°C para frangos de corte e galinhas de postura (MILLIGAN e WINN, 1964; O'NEIL e JACKSON, 1974; MISSON, 1976; VAN KAMPEN et al., 1979; CLARK, 1981; ISA BABCOCK, 1982; CURTIS, 1983; YOUSEF, 1985; REECE et al., 1986; TIMMONS e GATES, 1988; ZULOVICH e DESHAZER, 1990).

Em regiões tropicais e subtropicais, sob condições naturais, não ocorrem temperaturas ambientais dentro da faixa de conforto, nos horários mais quentes do dia e em condições de verão, de acordo com estudos desenvolvidos por

TEIXEIRA (1983), PIASENTIN (1984), TINÔCO (1988), FONSECA (1998), MATOS (1998) e ZANOLLA (1998).

O resfriamento evaporativo do ar tem se mostrado um importante artifício para propiciar melhores condições de temperatura ambiental para as aves, pois consiste em mudar o ponto de estado psicrométrico do ar para maior umidade relativa e menor temperatura de bulbo seco, mediante contato do ar com a superfície umedecida (placas evaporativas) ou líquida, ou com água pulverizada ou aspergida. Como a pressão de vapor do ar insaturado a ser resfriado é menor que a da água de contato, ocorre vaporização da água; o calor necessário para essa mudança de estado vem do calor sensível contido no ar e na água, resultando em decréscimo da temperatura de ambos e, conseqüentemente, do ar ambiente (WIERSMA e SHORT, 1983).

De acordo com WHITAKER (1979), a eficiência do resfriamento evaporativo depende da diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido (depressão psicrométrica), típica da região. Apesar do maior benefício em climas quentes e secos, observa-se que no ciclo diurno das regiões úmidas a maior temperatura do ar relaciona-se a uma menor umidade relativa, possibilitando a utilização desse sistema nas horas de maior estresse calórico para os animais, ou seja, naquelas com temperaturas mais altas.

Segundo WIERSMA e SHORT (1983) e McNEILL et al. (1983), em instalações agrícolas, o sistema de resfriamento evaporativo tem sido o método de acondicionamento térmico mais utilizado pelos produtores, em virtude de apresentar baixo custo inicial e operacional, além de ser facilmente implantado, sem a necessidade de fazer alterações substanciais na instalação. HAHN e OSBURN (1970) apontam como outra vantagem o baixo custo de manutenção, em comparação com outros sistemas.

No sistema de ventilação com pressão negativa ocorre a sucção do ar em uma das extremidades do galpão, criando um vácuo parcial ao longo deste. A diferença de pressão do ar entre o interior e o exterior do abrigo (pressão estática) succiona o ar externo para o interior da construção (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990). Este sistema de ventilação é mais comum quando se dispõe de controle de ambiente, no

caso de incubatórios avícolas ou galpões semiclimatizados. Normalmente utiliza exaustores com $600 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ de vazão e pode estar associado a placas evaporativas em extremidade oposta ou sistema de nebulização interna, constituindo galpões semiclimatizados. Nesse caso, geralmente, o sistema possui controle automático para ligar e desligar os exaustores, a água nas placas evaporativas e o sistema de nebulização interna, além da movimentação das cortinas.

Em meados dos anos 90, iniciou-se o processo de importação de projetos de galpões para frangos de corte, com pressão negativa, denominados “galpões climatizados”. O custo inicial de cada unidade era equivalente a dois galpões simples (alojamento de 10 a 12 aves/m², sem sistema de condicionamento de ambiente); as empresas responsáveis pelas vendas propunham a criação de 20 a 22 aves/m² para os novos projetos, ou seja, aumento de 100% na densidade de alojamento, conhecido como “sistema de criação em alta densidade”. Observou-se, no entanto, que no Brasil esses sistemas apresentaram baixa eficiência, possivelmente devido ao manejo impróprio do sistema e ao uso de materiais com propriedades térmicas inadequadas às condições climáticas encontradas nas regiões brasileiras onde foram implantados, principalmente em períodos de calor, considerada a necessidade de proporcionar conforto térmico para as aves.

O sistema de criação em alta densidade tem como objetivos básicos reduzir os custos fixos e variáveis maximizando o uso de edificações, equipamentos, mão-de-obra, assistência técnica, transporte, infra-estrutura de apoio e aumentar a produção. Atualmente, a produção de frango de corte em alta densidade de alojamento se caracteriza pela maior quantidade de peso vivo por unidade de área, com obtenção de 30 a 40 kg de carne/m² (SANTIN, 1997).

Vale ressaltar que o termo “galpão climatizado” se refere a um galpão que possua meios que permitam o controle total das variáveis que compõem o ambiente interno, como temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e fatores relacionados à qualidade do ar (poeiras, gases, odores). Essa nomenclatura é inadequada e, no contexto desta pesquisa, será utilizado o termo “galpão semiclimatizado”, que melhor descreve essas instalações, pois existem apenas dispositivos para ligar ou desligar o sistema.

No sudoeste de Goiás, com os resultados negativos de desempenho zootécnico e sanitário das aves nos galpões semiclimatizados, surgiram sérios problemas para o setor, como redução na remuneração dos integrados, aumento no tempo de retorno do investimento, inadimplência no pagamento das prestações do financiamento dos galpões, aumento no custo de produção do frango e insatisfação generalizada nos diversos segmentos da avicultura industrial da região.

Assim, as instalações semiclimatizadas implantadas na região carecem de estudos para sua adequação quanto às variáveis climáticas locais, aos materiais empregados nos fechamentos dos galpões e ao manejo adotado, com vistas a viabilizar a produção de frangos de corte e a permitir retorno financeiro para integrados e integradores. As pesquisas para determinação da eficiência desses sistemas, em condições brasileiras, ainda são incipientes para galpões avícolas, uma vez que a maioria das pesquisas sobre o assunto tem sido desenvolvida em regiões de clima temperado.

As instalações onde a pesquisa foi desenvolvida foram escolhidas com base nas diferenças dos projetos de semiclimatização implantados, visando a caracterização dos mais díspares sistemas. Os dados foram obtidos em sete galpões para frangos de corte, criados em sistema de alta densidade de alojamento, no sudoeste de Goiás. Essa região tem grande importância no cenário nacional, pois é produtora de milho e soja e recebeu, recentemente, incentivo para a implantação de duas grandes empresas da área de produção de aves e suínos e de processamento de produtos de origem vegetal.

Nesse contexto, e considerando a importância do conforto térmico ambiental na criação de aves, este trabalho teve por objetivo geral a caracterização dos diversos sistemas de semiclimatização de ambiente, em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás. O presente estudo foi composto por introdução, revisão de literatura, três artigos científicos independentes, conclusão e referências bibliográficas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características construtivas para conforto em instalações avícolas

2.1.1. Orientação

A orientação das construções é um fator importante na definição das condições térmicas ambientais internas das instalações, pois permite determinar a máxima ou a mínima insolação interna em condições de inverno e, ou, verão (NEUBAUER, 1969).

Em regiões tropicais e subtropicais, as coberturas possuem, comumente, seu maior eixo na direção leste-oeste. Tanto a temperatura ambiente quanto à temperatura do solo sob uma cobertura com essa orientação é menor que outra sob orientação norte-sul, porque seu interior se encontra sombreado na maior parte do dia (KELLY et al., 1954; BOND et al., 1976).

A orientação leste-oeste também favorece o aquecimento interno das instalações no inverno, em razão do posicionamento mais baixo do sol no horizonte e, conseqüentemente, da maior área interna ensolarada.

Segundo NEUBAUER e CRAMER (1968) e NEUBAUER (1972b), a orientação leste-oeste é a que propicia menores temperaturas internas, sendo as empenas (faces leste e oeste) extremamente quentes, devido à insolação direta no início da manhã e no final da tarde. Neste caso, o uso de materiais com alta

resistência térmica ou mesmo o plantio de árvores nas faces leste e oeste auxiliam na redução da temperatura interna da instalação.

2.1.2. Pé-direito

KELLY et al. (1950) verificaram que, à medida que se aumenta o pé-direito de uma cobertura, não se altera o tamanho da sombra, mas diminui a temperatura do solo, porque a sombra se move mais rapidamente. Segundo esses autores, em locais onde a ocorrência de céu descoberto, altas temperaturas, baixa precipitação e baixa umidade são constantes, coberturas com pé-direito variando de 3,0 a 4,0 m são recomendadas, pois possibilitam maior exposição dos animais ao céu, que geralmente é mais frio que a superfície animal. Esses autores mostraram em seus estudos que, aumentando-se a altura do abrigo, os animais na sombra ficam expostos à maior porção do céu frio, possibilitando, assim, aumento do efeito de arrefecimento térmico ambiente. Verificaram que a carga de calor a 0,90 m do piso, debaixo de um abrigo de 4,90 m de largura por 7,30 m de comprimento, com 1,80 m de altura, foi de 618 W.m^{-2} , enquanto com altura de 3,60 m, foi de 577 W.m^{-2} , debaixo de outro abrigo com mesma largura e mesmo comprimento. Isso significa que, quanto maior for a proximidade do centro de massa do animal em relação ao piso sombreado e a distância da superfície inferior do material de cobertura, menor será a quantidade de energia radiante por unidade corporal.

GARRET et al. (1967) verificaram que os valores de carga térmica de radiação incidente sobre os animais foram menores em coberturas com 4,0 m de pé-direito que sob aquelas com 2,0 m. Nesses casos, o benefício, com relação ao animal, pode ser atribuído à redução da carga térmica de radiação e não ao aumento da perda de calor corporal por convecção.

Conforme GIVENS (1965), em locais onde o céu se apresenta total ou parcialmente encoberto e com alta umidade relativa, instalações com pé-direito alto não são recomendadas, pois expõe o animal à maior carga térmica de

radiação, e esse acréscimo se deve, provavelmente, à reflexão da radiação solar pelas nuvens. De acordo com KELLY et al. (1957) e BOND et al. (1967), pé-direito alto é recomendado para áreas com céu claro e baixa umidade relativa do ar.

BOND et al. (1954) afirmaram que, quanto mais alta uma cobertura, maior a importância da pintura negra na parte inferior dela, pois o ângulo de visão do material de cobertura, em relação ao solo aquecido, aumenta.

Segundo CURTIS (1983), animais pequenos, estando mais próximos do piso sombreado e mais distantes da superfície inferior do material de cobertura, receberão menor quantidade de energia radiante, por unidade de superfície do corpo, sob condições usuais de radiação diária. Quanto maior o pé-direito na instalação, menor é a carga térmica vinda do telhado sobre as aves, sendo aconselhável um pé-direito de no mínimo 3,2 m.

De acordo com TINÔCO (1995), o pé-direito pode ser estabelecido em função da largura adotada, de forma que os dois parâmetros em conjunto favoreçam a ventilação natural no interior do galpão. A recomendação feita por este autor, em condições de clima quente e seco, é de pé-direito com 4,2 m para instalações avícolas de 12,0 m de largura (Tabela 1).

Tabela 1 - Recomendação de pé-direito, em função da largura da instalação

Largura (m)	Pé direito em clima quente (m)
até 8,0	2,8
8,0 a 9,0	3,1
9,0 a 10,0	3,5
10,0 a 12,0	4,2
12,0 a 14,0	4,9

Fonte: TINÔCO (1995).

2.1.3. Arredores

KELLY e ITTNER (1948) fizeram importante consideração a respeito de fatores geométricos que interferem na troca de calor por radiação, evidenciando a importância da orientação e inclinação das superfícies receptora e emissora, como, por exemplo, as paredes e o teto dos abrigos, e influenciando suas temperaturas.

De acordo com observações de KELLY et al. (1954), a carga térmica de radiação (CTR) incidente sobre um animal pode ser reduzida por meio da redução da temperatura de qualquer um dos componentes da vizinhança, ou pela variação na proporção destes, de forma que o aumento de um elemento propicie a redução da temperatura dele ou de outro.

Segundo BOND et al. (1954), a cobertura do solo, isoladamente, pode afetar grandemente a CTR sobre um animal devido à diferença de temperatura e refletividade dos diferentes tipos de materiais. Em um experimento dos autores, um animal sob cobertura de alumínio recebeu $44,1 \text{ W.m}^{-2}$ a menos de CTR quando a cobertura esteve sobre um solo com pastagem verde que quando a mesma cobertura esteve sobre um solo descoberto. Em outro experimento, BOND et al. (1969) observaram que a existência de paredes, cercas ou qualquer outro tipo de construção próximos às coberturas aumenta a CTR incidente sobre os animais, devido à radiação solar refletida e emitida por esses materiais de construção.

O material utilizado na cobertura do solo pode afetar grandemente a CTR (carga térmica de radiação) sobre os animais devido à diferença de refletividade dos diferentes tipos de materiais e cores (CURTIS, 1983).

Diversos autores recomendam o plantio de grama em toda a área delimitada para os galpões de criação, no espaço de 100 m entre os galpões, e também, entre os mesmos e a cerca divisória, pois ela reduz a quantidade de luz refletida e o calor que penetra no mesmo. Esta grama deverá ser de crescimento rápido que feche bem o solo não permitindo a propagação de plantas invasoras. O gramado deverá ser constantemente aparado para evitar a proliferação de

insetos. A vegetação em geral, promovendo sombra natural sobre as coberturas ou criando regiões com microclima ameno pode reverter uma situação de desconforto térmico.

A possibilidade da existência de árvore na face leste e oeste de construções abertas é recomendável (como divisória de alto amortecimento térmico), objetivando evitar a incidência da radiação solar direta dentro das áreas das instalações.

O emprego de árvores altas pode produzir um microclima ameno nas instalações devendo ter atenção para evitar árvores (quebra ventos) que possam diminuir a ventilação no interior. As árvores, neste caso, preferencialmente de folhas caducas, devem ser mantidas desgalhadas na região do tronco frontal ao galpão, preservando-se a copa superior para sombreamento sobre a cobertura nos períodos quentes.

2.1.4. Inclinação do telhado

A inclinação do telhado afeta o condicionamento térmico ambiental no interior do galpão, principalmente, em dois pontos: mudando o coeficiente de forma correspondente às trocas de calor por radiação entre o animal e o telhado, e modificando a altura entre as aberturas de entrada e saída de ar (lanternim) que quanto maior a inclinação, maior será a ventilação natural devida ao termossifão. Inclinações entre 20 e 30° têm sido consideradas adequadas, atendendo condicionantes, estruturais e térmicas ambientais (BAÊTA e SOUZA, 1997).

2.1.5. Lanternim

De acordo com BAÊTA (1995), para galpões com larguras iguais ou superiores a 8,0 m, o uso do lanternim é imprescindível. Este deve permitir abertura mínima de 10% da largura do galpão, em todo o comprimento da

cobertura, com uma sobreposição de telhados com afastamento de 50% desta abertura ou, no mínimo 40 cm.

Nas regiões expostas a chuvas de vento ou com grandes amplitudes térmicas (noites e dias ou invernos e verões termicamente muito diferenciados), os lanternins deverão ser equipados com sistema que permita fácil fechamento das aberturas.

O lanternim tem a função de permitir a saída de ar quente, principalmente durante o período de calor. Resultados experimentais tem demonstrado que o fluxo de ar através do lanternim é diretamente proporcional à sua área de abertura, à diferença de altura entre as aberturas de entrada e saída de ar, à área das aberturas de entrada de ar à diferença entre as temperaturas internas e externas. Para que o lanternim desempenhe sua função no condicionamento térmico natural, torna-se necessário que a área de abertura horizontal seja igual à área de abertura vertical e que possua um dispositivo para fechamento em condições de frio.

A Tabela 2 apresenta o desempenho térmico de dois modelos de lanternins, em comparação com um modelo sem lanternim, no verão.

Tabela 2 - Comparação entre o desempenho térmico de três modelos de telhado

Horário	Média do índice de conforto térmico		
	Modelo sem lanternim	Modelo com lanternim duplo	Modelo com lanternim simples
08	75,18	72,21	73,60
11	83,39	79,00	80,33
14	85,55	81,00	82,13
17	77,43	74,44	75,25

Fonte: BAÊTA (1995).

HARDOIM (1989), estudou o efeito de lanternins de 0,0; 0,5; 1,0 e 1,5 m de abertura no arrefecimento de temperatura interna em galpões para frangos de corte com dimensões de 12 m de largura, 96m de comprimento e 3 m de pé direito. Os resultados mostraram que a 1,5 m do piso (centro geométrico do galpão) e a 4,3 m do piso (centro geométrico do ático) foram afetados significativamente pela temperatura externa, radiação solar, vento e lanternim, com as variações mais expressivas ao nível do ático. Observou-se que o lanternim, nestas alturas, foi importante na redução das referidas temperaturas, sendo estas reduções diretamente proporcionais às aberturas. Assim, para a instalação estudada, o lanternim com abertura de 1,5 m permitiu a renovação total do ar em aproximadamente metade do tempo que gastaria na ausência do mesmo.

2.1.6. Beiral

O beiral deve ser projetado de forma a evitar a penetração dos raios solares, ou de uma chuva de vento. Em regiões muito chuvosas aconselha-se inclinação de 45°.

2.1.7. Sombreamento

O tipo de sombra ideal, segundo KELLY et al. (1954), é o produzido por árvores, embora seus valores comparativos sejam de difícil mensuração. Esses autores realizaram um estudo na Califórnia e mostraram a intensidade de radiação de 435 W.m⁻² sob uma árvore e 536 W.m⁻² sob uma cobertura plana de alumínio. Segundo os autores, os valores observados mostram a vantagem do uso de árvores no sombreamento do solo ao redor da instalação. Ainda de acordo com esses autores, os fatores ambientais não são estáticos; assim, nenhuma cobertura é continuamente eficiente ao longo do dia, do ano e para diversas regiões do globo. Em função das condições ambientais de dada localidade, uma

cobertura deve ser projetada para determinada hora do dia ou para determinada época do ano, quando a irradiância solar global é alta, ou quando as temperaturas médias do ar são elevadas e os animais necessitam de maior proteção.

As folhas, como qualquer corpo, absorvem, refletem e transmitem a energia incidente em forma seletiva; isto é, em quantidades diferentes segundo os comprimentos de onda da radiação. A absorção dos vegetais é alta: por volta de 90% das lumínicas e 60% das infravermelhas. Estes valores indicam a perfeita adequação do vegetal às suas necessidades, sendo que a energia solar que utilizará para suas funções vitais se encontra justamente na faixa das radiações visíveis (0,4 a 0,7 μm). Uma pequena quantidade se transmite por transparência através da folha e o restante é refletido. Da energia absorvida, uma parte considerável se transforma em energia química potencial por meio do processo de fotossíntese e outra, em calor latente, ao evaporar-se a água eliminada pela folha durante um processo denominado de evapotranspiração (RIVERO, 1986).

Em resumo, a temperatura superficial da folha não é elevada, apesar da quantidade de energia absorvida, mantendo-se sempre abaixo da temperatura dos corpos inertes vizinhos e a energia refletida é pequena, estando compreendida entre 15 e 30%. A Figura 1 mostra um corte esquemático de uma rua onde são fornecidas as temperaturas superficiais de algumas partes que as compõem (RIVERO, 1986).

Segundo BOND et al. (1954), os animais, para se protegerem dos raios solares diretos, acompanham o deslocamento da sombra da cobertura. Um animal, mesmo à sombra, ainda se encontra sujeito à radiação do céu, do horizonte, solo sombreado, solo aquecido, material de cobertura e dos equipamentos no interior do galpão (BOND et al., 1954; CURTIS, 1983).

De acordo com SANTOS et al. (1993), TURCO et al. (1994), ABREU et al. (1995), TINÔCO (1996), BAÊTA e SOUZA (1997) e ZANOLLA (1998), para condições brasileiras, o sombreamento através de coberturas reduz entre 20 e 40% da carga térmica de radiação no interior de instalações para animais. BOND et al. (1961) mediram a radiação térmica recebida de várias partes da

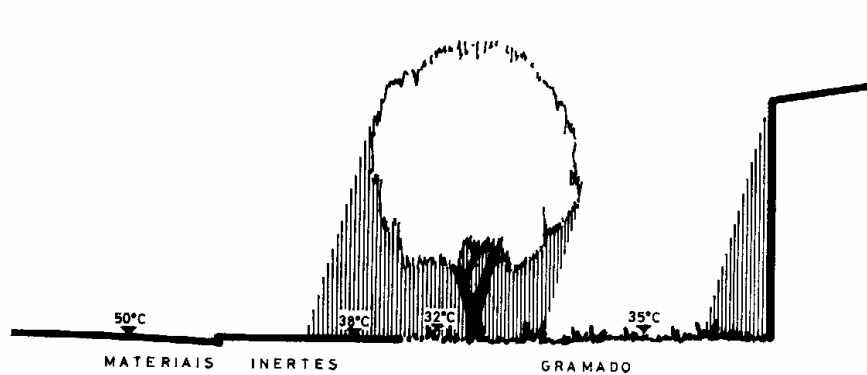


Figura 1 - Comportamento térmico no verão, dos vegetais e dos materiais inertes (RIVERO, 1986).

instalação, que envolviam um animal à sombra, e concluíram que 28% da carga térmica radiante provinha do céu; 21% do material de cobertura; 18% da área não-sombreada e 33% da área sombreada. Assim, conclui-se que a quantidade de carga térmica de radiação devido ao material de cobertura e sua sombra detém mais de 50% da radiação térmica total.

Embora HAHN e McQUIGG (1970) afirmem que as decisões que envolvem sombreamento em ambientes adversos, com finalidade de aumentar a produção, devam ser baseadas em retornos econômicos, deve-se levar em conta os resultados de ROMAN-PONCE et al. (1976) e BUFFINGTON et al. (1981), os quais constataram que animais em áreas providas de sombra apresentaram maior produção e desempenho reprodutivo e menor temperatura retal e taxa de respiração que animais não-sombreados, parâmetros normalmente não computados nas análises econômicas.

O uso de árvores é uma possibilidade disponível, principalmente quando se utiliza as espécies existentes na região, visando minimizar o lento crescimento ou mesmo dificuldades com espécies não adaptadas. É sempre uma excelente solução, além das demais, pela adaptabilidade das espécies de folha caduca às

exigências dos climas com períodos frios e quentes, como pelos microclimas favoráveis proporcionados por sua sombra nos espaços próximos às instalações.

Assim, o primeiro artifício objetivando propiciar conforto térmico animal em condições de calor é o sombreamento por parte da própria cobertura do galpão e por outros elementos exteriores, tais como a vegetação.

Os materiais de cobertura são, portanto, um dos principais fatores no conforto térmico ambiental, pois, em função de suas características, tem-se a quantidade de calor que entra e sai da construção. Melhorias adicionais em uma cobertura podem ser conseguidas com associação de aspersão de água sobre ela, uso de materiais isolantes ou reflexivos, ou, ainda, utilizando-se materiais com grande inércia térmica e forros sob a cobertura. Vários trabalhos científicos têm mostrado o efeito positivo do molhamento do telhado, e muitos materiais para associação com as coberturas têm sido comercializados, objetivando-se melhorias no ambiente térmico.

Deve-se dar atenção à cobertura, pois o telhado atua como um coletor solar, recebendo toda a radiação do sol e emitindo-a tanto para cima como para o interior do aviário. Nas regiões tropicais, a intensidade de radiação é alta em quase todo o ano, e é comum se verificar desconforto devido ao calor mesmo durante épocas mais frescas do ano devido a grande emissão de radiação dos telhados. A cobertura ideal para as condições brasileiras, deve apresentar grande capacidade para refletir a radiação solar, ter considerável capacidade de isolamento térmico e capacidade de retardo térmico em torno de 12 horas. Com essas características, a pequena quantidade de radiação solar absorvida pela telha terá dificuldade em atravessar o material e, ao fazê-lo, atingirá o interior com defasagem em torno de 12 horas, aquecendo o ambiente interior, quando a temperatura deste estiver mais baixa (BAÊTA, 1998).

De acordo com BAÊTA e SOUZA (1997), a cobertura ideal de instalações para animais, nas condições brasileiras, deve apresentar grande capacidade para refletir a radiação solar, ter considerável capacidade de isolamento térmico e capacidade de retardo térmico em torno de 12 horas. Com essas características, a pequena quantidade de radiação solar absorvida pela telha terá dificuldade em

atravessar o material e, ao fazê-lo, atingirá seu interior com defasagem em torno de 12 horas, aquecendo o ambiente interior quando a temperatura deste estiver mais baixa.

Quando a energia solar incide sobre a cobertura, ela é refletida, absorvida ou transmitida, em quantidades que dependem das propriedades físicas dos materiais que a compõem. Normalmente, as superfícies metálicas, como alumínio e chapas galvanizadas, apresentam alta refletividade e baixa absorvidade, fazendo com que a radiação solar seja refletida, com grande eficiência, no mesmo comprimento de onda (DALE e GIESE, 1953). A pintura do telhado com cores claras (branco) normalmente produz efeito positivo na redução da temperatura do meio abaixo dela, já que esta cor possui baixo coeficiente de absorção da radiação solar.

A energia radiante absorvida pelas coberturas transforma-se em energia térmica ou calor, e parte desta energia pode ser transmitida à superfície oposta através da condução; neste contexto, o isolamento térmico, segundo NÄÄS (1989), constitui um dos meios mais eficientes e econômicos de melhorar as condições ambientais de edificações em geral. A outra parte da energia absorvida pode ficar armazenada e, posteriormente, ser transferida para o meio, por processos de convecção e radiação.

O material ideal para cobertura deve ser leve, impermeável, resistente a intempéries, ter baixa condutibilidade térmica, elevada resistência mecânica, facilidade de manuseio na montagem, bom aspecto estético e baixo custo. As telhas podem ser de barro, de argamassa de cimento e areia, cimento-amianto, ardósia, metal (ferro, cobre ou alumínio), madeira ou plástico. Em galpões avícolas brasileiros, as principais telhas utilizadas são as de barro, cimento-amianto e alumínio. Cada tipo de telha possui vantagens e desvantagens diferenciadas em termos de custos, durabilidade, eficiência na redução da carga térmica de radiação e operacionalidade construtiva (MORAES, 1999).

2.1.7.1. Materiais de cobertura

As telhas de barro são produtos de argila queimados a, aproximadamente, 900°C e podem ser encontradas no mercado, principalmente, nas formas plana (francesa ou marselha - 37 kg.m⁻²) e curva (canal, colonial ou paulista - 42 kg.m⁻²). As características de uma boa telha de barro são: impermeáveis, superposição e encaixe perfeitos, uniformidade e boa resistência mecânica.

As telhas de cimento-amianto são obtidas a partir da adição de fibras de amianto ao cimento e podem ser encontradas no mercado, principalmente, nas formas onduladas e trapezoidais. Esse tipo de telha apresenta as seguintes características: boa resistência mecânica e durabilidade, baixo peso relativo (13,3 kg.m⁻²), grande estanqueidade, razoável poder isolante de calor, frio e som, tendo em vista a pequena espessura, e boa resistência aos ácidos comuns.

As telhas metálicas podem ser de chapas de alumínio, zinco ou aço galvanizado. As telhas de alumínio têm aparência, trabalhabilidade e resistência à corrosão superiores às de aço, embora com menor resistência mecânica, e podem ser encontradas no mercado nos tipos onduladas e trapezoidais. Essas telhas são de baixo peso relativo (1,8 kg.m⁻²), têm elevado poder de reflexão térmica, alta condutividade térmica e possuem grande emissão de sons devido a impactos, fácil manuseio, pequena resistência mecânica sem deformação e grande dilatação térmica.

A maior parte das telhas para instalações de bovinos e aves são fabricadas de aço galvanizado que propiciam normalmente temperaturas de 60 a 70°C, expostas à radiação solar direta. A temperatura do ático abaixo das telhas metálicas galvanizadas podem chegar a valores próximos a esses níveis. As telhas metálicas quando aquecidas ou quando tem baixo isolamento, podem transferir calor aos animais por radiação térmica (KELLY e ITTNER, 1948).

KRAVCHENKO e GONÇALVES (1980) conduziram um experimento para verificar a eficiência de materiais de cobertura para instalações animais, no verão, em Goiânia. Utilizaram cinco abrigos cobertos com diferentes materiais: a) cimento-amianto vermelho; b) cimento-amianto cinza; c) alumínio ondulado; d) telha de

barro (francesa); e e) capim-jaraguá (*Hiparrhenia rufa*). As condições mais favoráveis, em termos de conforto térmico, foram observadas nos ambientes cobertos com capim, telha de barro e alumínio, nesta ordem. As telhas de cimento-amianto vermelha e cinza foram menos eficientes.

Estudando o microclima gerado dentro de oito modelos reduzidos, sendo alguns com diferentes formas geométricas, coberturas de barro, cimento-amianto e alumínio, todos apresentando volume de um metro cúbico, LEAL (1981) concluiu que os modelos com formas geométricas paralelepipedoidais, telhado de duas-águas, telhas de barro e orientados no sentido leste-oeste foram os que possibilitaram melhores coeficientes de conforto térmico, em relação aos demais modelos reduzidos testados.

ROSA (1984), estudando a influência de três materiais de cobertura sobre o índice de conforto térmico, em condições de verão para Viçosa - MG, concluiu que para o dia típico de céu descoberto, com 12,3 horas de brilho solar, a maior eficiência na redução da CTR e as melhores condições de conforto térmico foram obtidas sob a cobertura de barro (francesa e canal), depois sob a de alumínio e, finalmente, sob a de cimento-amianto, com menor desempenho.

ESMAY e DIXON (1986) relatam que a chapa de ferro galvanizado, quando nova, é tão efetiva na reflexão da radiação solar direta quanto a chapa de alumínio; entretanto, com o uso, sua superfície externa sofre processos corrosivos e perde a efetividade.

SILVA et al. (1990) estudaram, em abrigos, o efeito da carga térmica de radiação (CTR) e do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) sob três coberturas: telha de barro (canal), cimento-amianto (ondulada) e dupla cobertura de cimento-amianto, formando um colchão de ar com 5 cm de espessura. Os autores concluíram que a utilização da camada de ar entre as telhas de cimento-amianto possibilitou bons resultados nos horários mais quentes.

2.1.7.2. Estratégias para redução do fluxo de calor por meio da cobertura

A efetiva proteção contra insolação direta em climas quentes, segundo COSTA (1982), pode ser feita com uso de materiais que apresentam alto poder reflexivo, bom isolamento térmico, grande inércia térmica e, simultaneamente, adequados ângulos de inclinação, em adição a forros e outras associações que contribuam para o melhor comportamento térmico do conjunto.

De acordo com NEUBAUER e CRAMER (1966), alguns artifícios são importantes para a redução da temperatura interna de abrigos, como uso de pintura branca, sombreamento adequado, dupla telha, orientação correta e isolamento. Segundo esses autores, com a correta combinação desses artifícios, pode-se reduzir de 7 a 10°C na temperatura ambiente abaixo das telhas, em condições de verão.

Forro

COSTA (1982) realizou um estudo sobre o uso de forro, comparando a redução da quantidade de calor advinda da insolação máxima sobre a cobertura, em três situações: a) cobertura de cimento-amianto (6 mm), enegrecida pelo tempo e sem forro; b) cobertura idêntica, com forro de duratex (6 mm); e c) cobertura e forro idênticos, com vazão de ventilação da ordem de $30 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ (forro ventilado). Os resultados obtidos demonstraram redução da ordem de 62% e 90% do calor que atravessa a cobertura, em relação a uma instalação sem forro, quando comparada com o uso de forro simples e forro ventilado, respectivamente. Segundo esse autor, o forro constitui uma proteção econômica e permanente, contribuindo para a redução da transferência de calor para o interior da instalação.

CAMPOS (1986) pesquisou galpões abertos com coberturas de cimento-amianto e barro (tipo francesa), com presença e ausência de forro de taquara, concluindo que o uso do forro contribuiu, significativamente, para reduzir o ITGU no interior do galpão coberto com telhas de cimento-amianto. No caso dos galpões cobertos com telhas de barro, o uso de forro não reduziu

significativamente a CTR e o ITGU. Os galpões que apresentaram melhores condições de conforto térmico foram aqueles cobertos com telhas cerâmicas, com e sem forro, e os galpões com telhas de cimento-amianto, com forro.

Atualmente, uma alternativa de forro que tem sido utilizada em algumas granjas avícolas e suinícolas do país é a película de polietileno (polímero tipo termoplástico flexível), constituindo, assim, em solução prática e de baixo custo. Estas películas são fabricadas em diferentes cores e em várias espessuras, entre as quais as de 50 μm , 100 μm e 150 μm .

Aspersão de água sobre a cobertura

A utilização de aspersão sobre a cobertura produz redução da temperatura da telha simultaneamente por evaporação da água em contato com a telha, evaporação da água da lâmina sobre a telha, transferência de calor da telha para a lâmina de água e remoção de calor por convecção sobre a cobertura por meio do ar resfriado evaporativamente. Todo esse processo leva à redução do gradiente térmico que chega à superfície inferior da telha, favorecendo as condições térmicas das instalações em períodos de calor. Em propriedades com deficiência de água, o uso de calhas nos beirais constitui-se solução adequada e eficiente, reutilizando a água através do seu bombeamento, além de evitar aumento da umidade relativa ao redor do galpão.

A evaporação da água pressupõe mudança da fase líquida para a gasosa, sem adição externa de calor. Esse processo requer em torno de 585 cal para evaporação de 1 g de água. Essa energia térmica é retirada do local onde ocorre a evaporação. Dessa forma, tem-se simultânea transformação do calor sensível em calor latente. Conseqüentemente, tem-se redução da temperatura da telha na superfície superior e menor quantidade de calor que a atravessa por condução.

Pintura

De acordo com KELLY e BOND (1958), a combinação de cores que propicia melhores resultados, para coberturas de instalações zootécnicas, em climas quentes, é a branca na superfície superior do material e negra na superfície

inferior. Os autores explicam os resultados obtidos tendo como base o fato de que a superfície branca possui alta refletividade, o que proporciona menor temperatura para a superfície do material, sendo, portanto, desejável para a superfície superior do material de cobertura, que recebe a radiação solar direta. Embora a superfície negra possua efeitos indesejáveis, como maior temperatura da superfície, maior emissividade e absorvidade, tem a vantagem de possuir baixa refletividade. Assim, a CTR sob uma cobertura de alumínio, pintada de branco em cima e preto em baixo, é menor que sob uma cobertura de alumínio não-pintada, pois os efeitos indesejáveis da emissão de energia são menos prejudiciais que os efeitos da energia refletida pelo material de cobertura para os animais.

Segundo alguns fabricantes de telhas de cimento-amianto, o uso de pintura branca promove a reflexão da radiação solar, acarretando redução na quantidade de calor de radiação gerado na cobertura. Casas com telhas de cimento-amianto pintadas de branco apresentavam médias diárias de temperaturas efetivas internas menores que as registradas em casas com telhas de barro na cor natural (ETERNIT, 1981).

NEUBAUER (1972a), estudando vários modelos reduzidos de instalações, verificou que o índice de conforto foi melhorado quando esses modelos foram pintados de branco na superfície exterior.

Pode-se melhorar as condições de conforto com emprego de uma pintura sobre o telhado (principalmente fibro-cimento) para aumentar a refletividade da radiação solar. Esta pintura pode ser feita com uma calda de cal branca e cola branca para ajudar na fixação da pintura e aumentar a sua durabilidade. Com esta técnica é possível reduzir a temperatura no interior das instalações.

Vários autores aconselham que antes da pintura, deve ser feita lavagem do telhado com sulfato de cobre, visando a retirada de limo ou crostas que estiverem aderidos a telha e facilitando assim a fixação da tinta.

Pintura reflexiva

A pintura reflexiva pode reduzir o ganho de calor por radiação advindo das telhas metálicas (ANDERSON, 1989). Essas pinturas têm sido usadas para reduzir o ganho de calor por radiação em construções residenciais e comerciais.

KELLY et al. (1950) demonstraram o potencial da pintura reflexiva em reduzir a carga térmica de radiação na cobertura de instalações animais. Os autores testaram um grande número de materiais e concluíram que o mais efetivo foi a telha coberta com feno (sapé), seguido da telha pintada de branco por cima. Recentemente, inúmeros tipos de pinturas reflexivas em coberturas têm sido avaliadas. Essas pinturas são formuladas para refletir grande porção da radiação solar (ondas curtas), enquanto, ao mesmo tempo, emite grande quantidade de radiação térmica de ondas longas.

A pintura reflexiva foi demonstrada por Van WICKLEN et al. (1985) capaz de reduzir as temperaturas em 2 a 3°C em instalações para frangos de corte sem ventilação artificial. Contudo, resultados similares não foram encontrados em estudos realizados por BOTTCHEER et al. (1990), CZARICK e TYSON (1990) e BRAY et al. (1991), em instalações bem ventiladas para frangos de corte e gado de leite. Esses autores concluíram que o uso de pintura reflexiva não se justifica economicamente para instalações abertas ou bem ventiladas. Reduções na temperatura das telhas ocorreram nos estudos em instalações bem ventiladas, mas similar redução não ocorreu no seu interior, com relação às temperaturas de globo negro e bulbo seco ao nível do animal, não produzindo efeitos benéficos bem fundamentados.

As pinturas reflexivas podem ser eficientes em melhorar as condições ambientais no verão. Elas consistem em reduzir a temperatura das telhas de aço galvanizadas e as temperaturas do ático. Entretanto, essas pinturas levam à um gasto excessivo para propiciar um sombreamento através da estrutura e sua efetividade diminui rapidamente com o tempo. Elas são mais benéficas em estruturas mal ventiladas, sendo que para estruturas bem ventiladas, elas não oferecem grandes benefícios. A recomendação prática para uma construção com telhas metálicas é simplesmente pintar a superfície de branco e a adição de

pintura reflexiva pode, raramente, ser economicamente justificada para estruturas bem ventiladas.

Sombreamento da cobertura

Uma solução que pode ser utilizada consiste em colocar lâminas ou chapas separadas do material do telhado, que cumprem a importante função de deter a radiação solar. No verão deve-se procurar uma ampla ventilação do espaço, pois a temperatura do ar na câmara será sempre superior à do exterior. Este recurso construtivo é semelhante à colocação de sombrite sobre a cobertura.

Materiais isolantes e reflexivos

O termo “materiais isolantes” refere-se a materiais que possuem alto grau de resistência ao fluxo de calor e são usados principalmente para este fim. Os isolantes podem ser formados a partir de materiais fibrosos ou granulares e contêm pequenas bolsas ou células de ar. Geralmente, quanto maior o volume destas bolsas de ar, maior o poder de isolamento do material (YOUSEF, 1985).

Assim, os materiais isolantes são materiais porosos cuja elevada resistência térmica se baseia na baixa condutividade térmica do ar contido em seus vazios (k). Assim, depende-se que, quanto menor a densidade do material e maior o número de poros, menor sua condutividade térmica e conseqüentemente, maior o poder de isolamento (COSTA, 1982; RIVERO, 1986; BAËTA e SOUZA, 1997).

A principal finalidade do isolamento é reduzir a transferência térmica do exterior para o interior, e manter a temperatura do ambiente a níveis adequados. De acordo com BAUER (1985), um bom isolante deve apresentar as seguintes características:

- ter baixa condutibilidade térmica;
- resistir bem à temperatura em que é aplicado;
- ter boa resistência mecânica;
- ser imputrescível e inatacável por pragas;

- não ser inflamável;
- não ser higroscópico; e se for possível,
- possuir baixa porosidade à penetração do vapor d'água.

Os isolantes podem ser formados a partir de materiais fibrosos ou granulares e contém pequenas bolsas ou células de ar. Geralmente, quanto maior o volume destas bolsas de ar, maior o poder de isolamento do material (YOUSEF, 1985). Os isolamentos térmicos são constituídos por materiais de condutividade térmica baixa, combinados a fim de se ter condutividades térmicas baixas para os sistemas. Nos isolamentos térmicos constituídos por fibras, por pós ou por escamas, o material sólido está finamente disperso num espaço cheio de ar. Estes sistemas caracterizam-se por uma condutividade térmica efetiva, que depende da condutividade térmica e das propriedades radiativas da superfície do material sólido, e também da natureza e da fração volumar do ar ou do espaço vazio. Um parâmetro especial do sistema é a densidade mássica (massa do sólido/volume total), que depende da maneira pela qual o material sólido está ligado.

Quando se formam pequenos espaços vazios, ou ocos, mediante a adesão ou a fusão de parte do material sólido, constitui-se uma matriz rígida. Quando estes espaços estão isolados uns dos outros, o sistema é denominado isolamento celular. Exemplos desses isolamentos rígidos são os isolamentos de espumas, especialmente os constituídos por materiais plásticos ou vítreos, poliuretano, eucatex e lã de vidro.

À medida que se aumenta a espessura de isolamento, as perdas térmicas diminuem, mas o custo do isolamento aumenta. O investimento mais econômico será, pois, aquele para o qual a soma do custo anual das perdas térmicas e do custo anual de amortização do material isolante seja mínimo.

Nos últimos anos, tem-se usado, cada vez mais, alguns plásticos e borrachas sintéticas, aplicadas em forma fluida ou em capas, para formar membranas de cobertura, objetivando melhorar sua vedação, seu comportamento térmico e acústico e, conseqüentemente, seu poder isolante. A mais desenvolvida

dessas novas membranas é a cobertura obtida por pulverização de espuma de poliuretano. A recomendação é pulverizar o poliuretano (massa específica de 32 kg.m^{-3}), com espessura de, no mínimo, 25 mm. Se houver necessidade de uma barreira ao vapor, deve ser aplicada sobre a estrutura, antes do poliuretano, uma camada de *primer*, de borracha líquida. A superfície da espuma precisa ser protegida da radiação ultravioleta e os revestimentos protetores, como hypalon (polietileno clorossulfonado) e elastron (borracha butílica), cumprem essa função, além de protegerem a espuma macia da abrasão (BAUER, 1985).

Materiais reflexivos, recentemente lançados no mercado brasileiro, são constituídos por uma película de polietileno entre duas lâminas de alumínio, com 0,2 mm de espessura total. Os fabricantes recomendam sua montagem 2 cm abaixo da cobertura e esse material reflete a radiação proveniente tanto da cobertura quanto do solo aquecido e sombreado, do horizonte e do céu distante.

MUEHLING (1967) ressalta algumas desvantagens advindas da utilização de isolantes, entre elas: a falta de conhecimento adequado sobre os diferentes materiais isolantes, suas características físicas e os locais de utilização, os problemas com barreiras ao vapor, roedores, áreas de alta condutividade (estruturas metálicas) e, principalmente, o fator econômico.

2.2. Ventilação natural em instalações avícolas

A ventilação natural é definida com sendo o movimento do ar através de construções especialmente abertas pelo uso de forças naturais produzidas pelo vento e, ou, por diferenças de temperaturas, a qual permite alterações e controle da pureza do ar, provendo o galpão de oxigênio, eliminando amônia, gás carbônico e outros gases nocivos, excesso de umidade e odores, possibilitando, dentro de certos limites, controlar a temperatura e a umidade do ar nos ambientes habitados, de tal forma que o ar expelido, quente e úmido, seja substituído, aumentando a transferência de calor através da convecção.

Segundo CURTIS (1983), nas regiões caracterizadas por terem um período frio e outro quente muito bem definido, a arquitetura do projeto deve adaptar-se a diferentes necessidades, originando a “ventilação de inverno”, onde a única preocupação seria a renovação higiênica do ar, e a “ventilação de verão”, que deve satisfazer tanto razões higiênicas quanto térmicas.

De acordo com RIVERO (1986), nas regiões nas quais a temperatura se mantém quase sempre acima da requerida pelo conforto, deve prevalecer uma ventilação baseada em razões térmicas, e o projeto deverá estar orientado para esta necessidade, ou seja, o de extrair o calor liberado pelas aves para que a temperatura no interior do galpão não aumente (Figura 2). Nas regiões frias, com baixas temperaturas, a ventilação se deve a razões higiênicas (ligadas a renovação e qualidade do ar interior), exclusivamente (Figura 3). Para regiões temperadas, no entanto, que possuem um período frio e outro quente muito bem definidos e discrepantes, a arquitetura do projeto deve adaptar-se as diferentes necessidades, originando o que chamamos de “ventilação de inverno” onde a principal preocupação é a exigência higiênica e a “ventilação de verão”, que deverá satisfazer tanto razões higiênicas quanto térmicas.

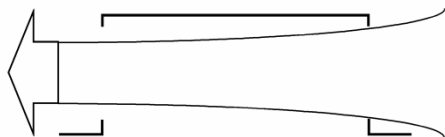


Figura 2 - Ventilação para verão.

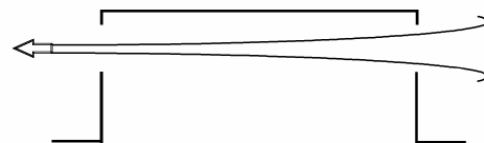


Figura 3 - Ventilação para inverno.

A dupla condição de ventilação de verão, necessária a instalação avícola do clima tropical brasileiro (que deve atender exigências térmicas e higiênicas),

vai se refletir na localização da construção, área e forma de abrir dos dispositivos (janelas ou aberturas e posição das cortinas protetoras dos galpões), de maneira que nas regiões com invernos rigorosos, o fluxo se desloque naturalmente pela zona superior da construção, para evitar o efeito direto sobre os animais, enquanto que no verão a massa de ar se movimentará por todo o espaço inferior e superior, exercendo influência direta sobre o conforto e simultaneamente eliminando parte do calor acumulado em paredes laterais, piso, teto e equipamentos. A quantidade de ar a ser renovado durante o inverno, por razões higiênicas, é pequena, sendo necessárias apenas superfícies reduzidas de entrada e saída. O mais importante, neste caso, é que o fluxo de ar não incida diretamente sobre as aves. (Figura 4).

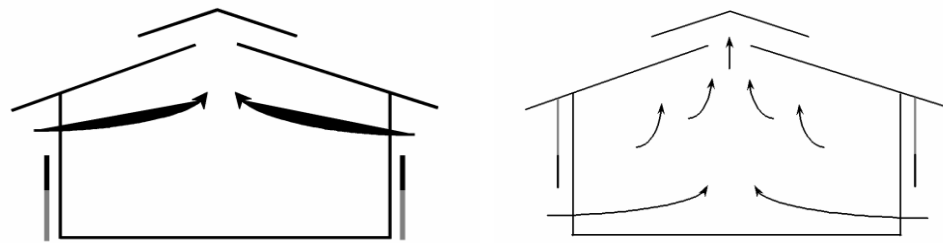


Figura 4 - Ventilação diferenciada para condições de inverno (esquerda) e condições de verão (efeito chaminé, à direita) (RIVERO, 1986).

O fluxo de ar que entra ou sai de uma construção depende da diferença de pressão entre os ambientes interno e externo, da resistência ao fluxo de ar oferecida pelas aberturas, das obstruções internas e de uma série de implicações relativas à forma do prédio. O dimensionamento de um sistema de ventilação natural é complexo, especialmente porque a quantidade, intensidade e direção dos ventos modificam-se continuamente.

Outro aspecto relevante é que o efeito da incidência de ventos fica muito reduzido quando o pavilhão situa-se longitudinalmente em relação à principal direção do vento. No caso do Brasil, em que predomina maior parte dos ventos vindos do sul, o eixo de instalação (tomado na cumeeira) deverá ter direção leste-oeste, para que os benefícios dos ventos sejam maiores.

Quando o telhado é dotado de grande declividade, motiva maior velocidade do ar sobre a cumeeira e, como consequência, ocorre uma pressão negativa mais acentuada, sendo o ar mais rapidamente succionado para fora da dependência, propiciando maior número de renovações de ar.

Portanto, a ventilação natural não é uma ciência exata. Aberturas de entrada e saída de ar devem ser calculadas por métodos indicativos e observações. No entanto, como a ventilação natural é dependente de forças naturais, as quais são muito variáveis, torna-se necessário, algumas vezes, lançar mão da ventilação artificial.

A ventilação natural consiste em proporcionar a entrada e saída do ar de um ambiente sob uma forma controlada e intencional graças a aberturas existentes para esse fim, como é o caso de janelas, portas e lanternins.

Algumas considerações devem ser feitas antes da realização do projeto, tais como:

a. O fluxo de ar que entra ou sai pelas aberturas de um prédio, por ventilação natural, depende:

- da diferença entre as pressões existentes no exterior e no interior do prédio/recinto
- da resistência oferecida à passagem do ar pelas aberturas

b. A diferença de pressão é uma consequência da ação direta do vento sobre as paredes e coberturas e da diferença entre as densidades do ar no exterior e no interior do prédio (efeito chaminé).

Pode-se dividir o estudo da ventilação natural em três partes:

- ventilação devido a ação do vento
- ventilação devido a diferença de temperatura
- ventilação pela ação combinada do vento e da diferença de temperatura

2.2.1. Ventilação natural devido à ação do vento

Com o objetivo de permitir melhor aproveitamento da ação do vento, deve-se projetar as aberturas de entrada do vento voltadas para o lado dos ventos predominantes (zona de pressão positiva). As saídas de ar devem ser colocadas em regiões de baixa pressão exterior, como por exemplo, paredes laterais e opostas à fachada que recebe a ação dos ventos. As saídas podem consistir em lanternins ou clarabóias ventiladas, colocadas em locais dos telhados e coberturas onde a pressão é mais baixa, por ser maior a velocidade do vento.

As chaminés representam a solução para a saída de gases ou ar em temperatura tal que sua densidade menor permita sua elevação até a atmosfera exterior. Na Figura 5 são apresentadas algumas aberturas na cumeeira de uma instalação.

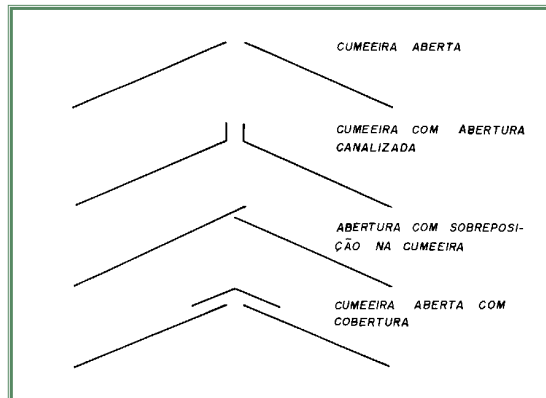


Figura 5 - Aberturas na cumeeira do telhado, em instalações com ventilação natural (BAÊTA e SOUZA, 1997).

As condições de vento não são constantes, variando em intensidade e direção ao longo do ano e mesmo no decurso de 24 horas diárias. Por isso, a ventilação natural pela ação do vento não oferece garantia de uniformidade, o

que não invalida sua adoção em muitos casos, desde que o ar interno não contenha poluentes. Conhecendo-se a velocidade média sazonal dos ventos locais e adotando-se 50% de seu valor como base para cálculo, pode-se determinar a vazão Q de ar ($m^3.s^{-1}$ ou $pés^3.min^{-1}$) que entra em um recinto através das aberturas de área total A (metros quadrados ou pés quadrados), quando a velocidade do vento for igual a v ($m.s^{-1}$ ou $pés.min^{-1}$). Para o cálculo de Q, pode-se utilizar a equação apresentada a seguir.

$$Q = \varphi \cdot A \cdot v$$

Onde $\varphi = 0,50$ a $0,60$ no caso de ventos perpendiculares à parede com aberturas;
 $\varphi = 0,25$ a $0,35$ quando os ventos forem diagonais em relação à empena; e
 $\varphi = 0,35$ para instalações agrícolas (BAÊTA e SOUZA, 1997).

2.2.2. Ventilação natural devido à diferença de temperatura

A menor densidade do ar quente faz com que o mesmo se eleve e tenda a escapar por aberturas colocadas nas partes elevadas, como por exemplo, em lanternins. Esse escoamento se realiza pelo chamado “efeito chaminé”, descrito por HELLICKSON e WALKER (1983), e proporciona uma vazão obtida pela equação:

$$Q_c = 9,4 \cdot A \cdot \sqrt{h (T_i - T_e)}$$

Onde Q_c = vazão de ar ($pés^3.min^{-1}$);

9,4 = constante de proporcionalidade;

A = área livre das entradas ou saídas de mesma dimensão ($pé^2$);

h = distância vertical entre as aberturas de entrada e saída (pé);

T_i = temperatura média do ar interior ($^{\circ}F$); e

T_e = temperatura do ar exterior ($^{\circ}F$).

De acordo com HELLICKSON e WALKER (1983), a taxa de ventilação pode ser determinada pela equação:

$$Q_{ch} = 0,128 \cdot A \cdot h (T_i - T_e)$$

Onde Q_{ch} = fluxo de ar causado pelo efeito chaminé ($m^3 \cdot s^{-1}$);

A = área de entrada ou saída (m^2);

h = medida a partir da metade da altura da abertura de entrada até metade da altura da abertura de saída do ar (m);

T_i = temperatura média do ar interior ($^{\circ}C$); e

T_e = temperatura do ar exterior ($^{\circ}C$).

Aberturas desiguais

Quando as áreas de entrada e saída não forem iguais, deve ser feita uma correção. Faz-se o cálculo considerando a menor das áreas de passagem do ar e acrescenta-se um aumento de vazão, que pode ser obtido com consulta ao gráfico apresentado na Figura 6.

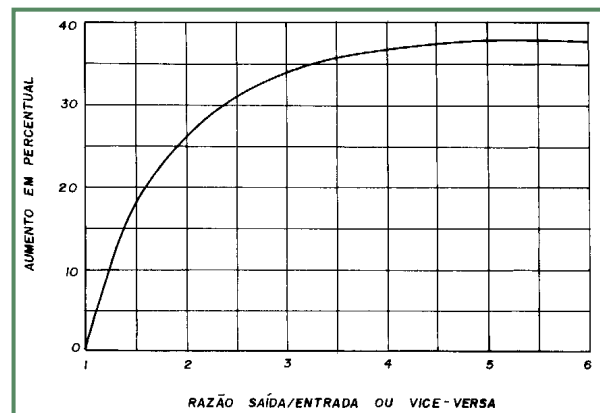


Figura 6 - Correção para o caso de aberturas de entrada e saída desiguais.

Assim, por exemplo, se a relação entre as áreas for 2, o acréscimo de vazão será de 27%, considerando-se a área de menor dimensão.

2.2.3. Ventilação natural pelo efeito do vento e da diferença de temperatura

No caso dos efeitos combinados do vento e temperatura, calculam-se suas respectivas vazões (Q_v = vazão devido ao efeito do vento; Q_t = vazão devido ao efeito da temperatura), e obtém-se Q_T pelo somatório das duas expressões:

$$Q_T = Q_v + Q_t$$

Assim, obtém-se a relação entre Q_t (vazão produzida pela diferença de temperatura) e Q_T (vazão total). Com o valor da relação, utiliza-se o gráfico apresentado na Figura 7, aplicável à correção de efeitos combinados e encontra-se o fator pelo qual se deve multiplicar a vazão devido a temperatura para se obter a vazão real dos dois efeitos combinados.

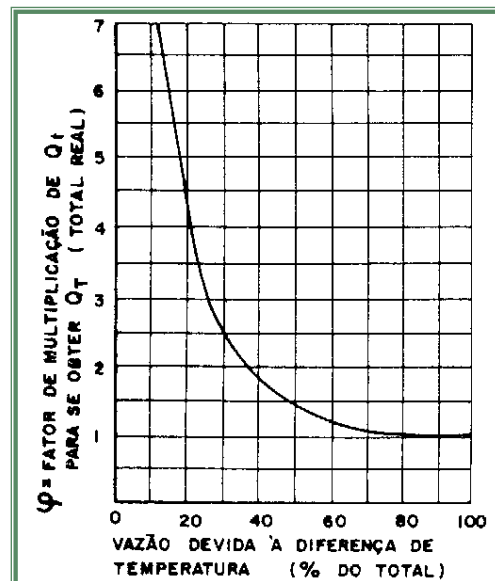


Figura 7 - Correção dos efeitos combinados do vento e da diferença de temperatura.

A Figura 8 apresenta alguns casos típicos de ventilação natural em instalações animais.

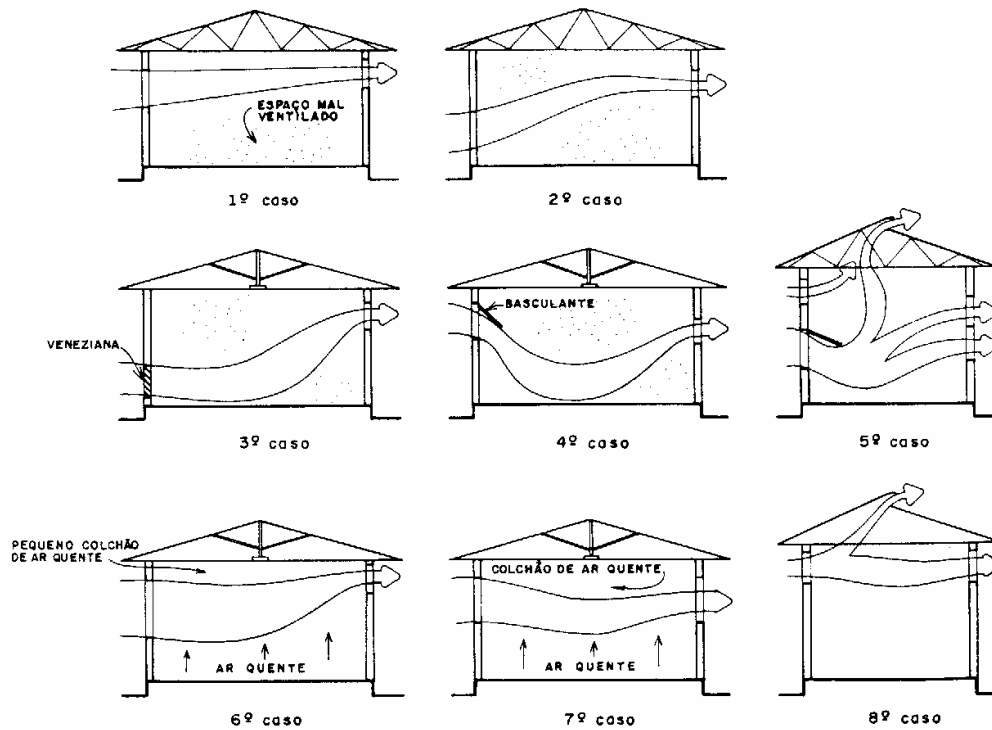


Figura 8 - Casos típicos de ventilação natural em galpões (MACINTYRE, 1990)

2.2.4. Ventilação natural por exaustores eólicos

Segundo os fabricantes, os sistemas de exaustão eólica são sistemas compostos por cúpulas móveis, apoiadas sobre estrutura leve montada sobre a cumeeira do telhado (Figura 9). Estas cúpulas possuem aerodinâmica de forma a possibilitar seu movimento giratório com a incidência dos ventos, e em consequência, permitir a sucção do ar interno ao galpão. Este sistema tem sido amplamente usado em armazéns e outras estruturas fechadas e, embora estejam



Figura 9 - Exaustores eólicos na cumeeira de uma instalação

sendo sugeridos para galpões abertos, sua eficiência ainda não foi investigada para estes casos (TINÓCO, 1996).

2.3. Ventilação artificial

RIVERO (1986) afirma que a ventilação artificial é imprescindível em todos os casos em que a natural não é possível, insuficiente ou não oferece garantia de efetividade. Segundo CURTIS (1983), o número de ventiladores a ser usado numa instalação avícola vai depender da sua vazão, volume de ar do galpão, época do ano e idade das aves. DONALD (1996) cita que uma temperatura do ar de 32,2°C e velocidade de 1,0 m.s⁻¹ é capaz de gerar uma sensação térmica na ave em torno de 26°C, enquanto que numa velocidade de 2,0 m.s⁻¹ a sensação térmica da ave passa a ser de 24°C, muito desejável em condições de verão, para frangos acima de 21 dias.

A ventilação artificial é adotada sempre que os meios naturais não proporcionam o índice de renovação de ar adequado, apresentando a vantagem de ser independente das condições atmosféricas e de possibilitar o tratamento do ar (filtração, umidificação, resfriamento, secagem, despoluição, etc.), além da melhor distribuição.

Dentro da instalação avícola é necessária uma adequada ventilação, a fim de se eliminar o excesso de umidade do ambiente e da cama, proveniente da água liberada pela respiração das aves e através das excretas; para permitir a renovação do ar viciado, favorecendo a entrada de ar puro (com menor concentração de CO₂); para eliminar a amônia que se desprende das excretas e por fim para reduzir o excesso de calor existente.

Os ventiladores devem ser posicionados na altura correspondente a metade do pé-direito da construção, onde o ar é mais fresco, com o jato de ar direcionado levemente para baixo, sem, entretanto, incidir diretamente sobre a cabeça das aves, com o intuito de conseguir-se a retirada do ar quente e umedecido próximo a zona de ocupação das aves.

De maneira geral, a velocidade máxima recomendada, para movimentação de ar perto das aves adultas, é de 0,2 m.s⁻¹ no inverno e 0,5 m.s⁻¹ no verão. Quando as aves são jovens este limite é menor. Acima dos valores recomendados, pode ocorrer incidência de doenças pulmonares (VAQUERO, 1981; CURTIS, 1983; LLOBET e GONDOLBEU, 1986).

O número de ventiladores a ser usado num galpão vai depender de sua vazão, do volume do galpão, da época do ano e da idade das aves. Aconselha-se que cada ave, em cada idade tenha garantida uma taxa mínima de renovação de ar (em torno de seis renovações por hora, para aves adultas) e seja molestada com velocidade máxima do ar de 0,5 m.s⁻¹ (CURTIS, 1983).

BOND et al. (1961), ao estudarem os efeitos de velocidades do ar de 0,18 a 1,52 m.s⁻¹ e de temperaturas de 10,0 a 38,7 °C, verificaram que a dissipação de calor pelos animais aumentou com o aumento da velocidade do ar, em consequência do aumento na dissipação de calor por convecção e evaporação, embora tenha havido redução na dissipação de calor por radiação.

2.3.1. Ventiladores

A função básica de um ventilador é mover uma dada quantidade de ar por um sistema de ventilação a ele conectado. Assim, o ventilador deve gerar uma pressão estática suficiente para vencer as perdas do sistema e uma pressão cinética para manter o ar em movimento. Quando em repouso, o ventilador centrífugo comporta-se como um vaso volumétrico contendo um dado volume de ar. Ao entrar em movimento, o ar nele contido é centrifugado, recebendo um incremento de energia, sendo o vazão criado no ventilador preenchido com novo ar, pela ação da pressão atmosférica, a uma velocidade suficiente para repor a quantidade que foi descarregada. Quando em movimento a uma dada rotação constante, o volume específico do ventilador é induzido e descarregado continuamente, sendo evidente que o volume total depende apenas da rotação do ventilador. Uma vez que a energia cinética é função da velocidade ao quadrado, a pressão gerada pelo ventilador varia com o quadrado da rotação. Sendo a potência função de ambos, vazão e pressão, esta varia com o cubo da rotação.

2.3.2. Ventilação com pressão positiva

No sistema de ventilação mecânica com pressão positiva, os ventiladores forçam o ar externo para dentro da construção, com aumento da pressão do ar (Figura 10). O gradiente de pressão do ar entre o interior e o exterior movimenta o ar para fora da construção (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990). Esse sistema normalmente utiliza ventiladores com vazão de $300 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 11).

2.3.2.1. Resfriamento evaporativo

Uma das formas de resfriamento do ar é o resfriamento evaporativo, o qual possibilita, em alguns casos, redução da temperatura do ar de até 11°C , dependendo das condições psicrométricas locais (WHITAKER, 1979).

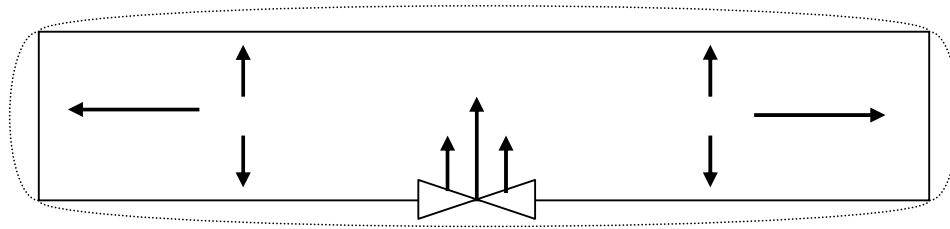


Figura 10 - Esquema de uma instalação com pressão positiva.



Figura 11 - Modelo de ventilador comercial usado em galpões avícolas com pressão positiva.

Os sistemas de resfriamento evaporativo consistem em mudar o estado psicrométrico do ar para maior umidade e menor temperatura, mediante o contato do ar com uma superfície umedecida ou líquida, ou com água pulverizada ou aspergida. Como a pressão de vapor do ar instaurado a ser resfriado é menor que a da água de contato, ocorre vaporização da água; o calor necessário para esta mudança de estado vem do calor sensível contido no ar e na água, resultado em decréscimo da temperatura de ambos e, conseqüentemente, do ambiente (WIERSMA e SHORT, 1983). Ao passar do estado líquido para o gasoso, a água retira do ambiente cerca de 586 kcal para cada kg de água evaporada, dependendo da temperatura ambiente (LEE e SEARS, 1976).

Em condições de temperaturas extremamente elevadas, a temperatura mínima que se consegue obter no interior do galpão é exatamente aquela do ar externo usado na ventilação que muitas vezes assume valores acima do desejável.

Assim, o possível favorecimento da ventilação na dissipação de calor corporal, na forma sensível, se anula quando a temperatura do ar se equipara a temperatura corporal da ave, sendo prejudicial para temperaturas do ar mais elevadas. Nestes casos, torna-se necessário promover o pré-resfriamento do ar que entra nas instalações (TINÔCO, 1988).

O resfriamento evaporativo do ar tem se mostrado um importante artifício para propiciar melhores condições de temperatura ambiental para as aves, pois consiste em mudar o ponto de estado psicrométrico do ar para maior umidade relativa e menor temperatura de bulbo seco, mediante contato do ar com a superfície umedecida (placas evaporativas) ou líquida, ou com água pulverizada ou aspergida. Como a pressão de vapor do ar insaturado a ser resfriado é menor que a da água de contato, ocorre vaporização da água; o calor necessário para esta mudança de estado vem do calor sensível contido no ar e na água, resultando em decréscimo da temperatura de ambos e, conseqüentemente, do ambiente (WIERSMA e SHORT, 1983).

De acordo com WHITAKER (1979), a eficiência do resfriamento evaporativo depende da diferença entre as temperaturas de bulbo seco e molhado (depressão psicrométrica), típica da região. Apesar do maior benefício em climas quentes e secos, observa-se que no ciclo diurno das regiões úmidas a maior temperatura do ar relaciona-se a uma menor umidade relativa, possibilitando a utilização desse sistema nas horas de maior estresse calórico para os animais, ou seja, naquelas com temperaturas mais altas.

Segundo WIERSMA e SHORT (1983) e McNEILL et al. (1983), em instalações agrícolas, o sistema de resfriamento evaporativo tem sido o método de condicionamento térmico mais utilizado pelos produtores, em virtude de apresentar baixo custo inicial e operacional, além de ser facilmente implantado, sem a necessidade de fazer alterações substanciais na instalação. HAHN e OSBURN (1970) apontam como outra vantagem o baixo custo de manutenção, em comparação com outros sistemas.

O resfriamento evaporativo associado à ventilação com pressão positiva pode ser constituído por linhas de nebulização de água distribuídas no interior do galpão,

ventilador associado a material poroso umedecido ou ventilador acoplado com aspersor de água.

Nebulização

O sistema de nebulização consiste na formação de gotículas, extremamente pequenas, que aumentam muito a superfície de uma gota d'água exposta ao ar, o que assegura evaporação mais rápida. A nebulização associada ao movimento do ar ocasionado pelo ventilador acelera a evaporação e evita que a pulverização ocorra em um só local e venha a molhar a cama. Um nebulizador bem calibrado, com água limpa, é capaz de dividir uma gota d'água em cerca de 611 gotículas com diâmetro de 0,05 mm e área total cerca de 850 vezes maior (MARQUES, 1994).

Trabalhos conduzidos no Brasil detectaram redução média de até 6°C com cinco minutos de uso dos nebulizadores. A eficiência do sistema de nebulização depende ainda do número de bicos, manutenção do sistema, vazão e disposição dos bicos em relação aos ventiladores.

Os sistemas de nebulização estão disponíveis no mercado com baixa, média e alta pressão, de acordo com a pressão de saída da água e conseqüentemente, do tamanho da gota nebulizada ou pulverizada pelos bicos. A vazão média de cada bico nebulizador é de 5 a 6 L.min⁻¹. A Figura 12 mostra um bico nebulizador comercialmente utilizado em instalações avícolas.

Ventilador associado ao material poroso

Este processo de resfriamento, em uma de suas formas mais comuns para instalações abertas, consiste em forçar a passagem do ar por uma parede de material poroso umedecido através de um gotejador de água, utilizando-se para isto um ventilador. Com este processo, o ar externo é resfriado antes de ser conduzido, por ventilação, ao interior do galpão, o que poderá se dar com a utilização de tubos perfurados para melhor distribuição da vazão. Assim, o sistema de material poroso é capaz de tornar o sistema de ventilação mais efetivo, desde

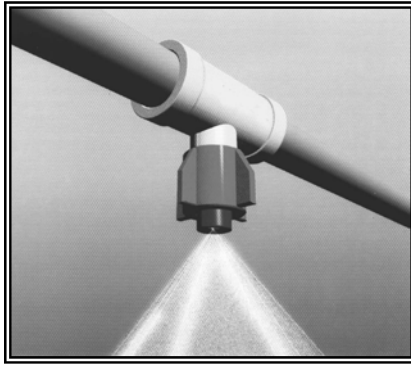


Figura 12 - Modelo de linha de nebulização para instalações avícolas.

que os ventiladores fiquem posicionados de forma a introduzir ar externo ao ambiente, ou seja, no sentido da largura do galpão, no sentido dos ventos dominantes e protegidos da radiação solar direta (TINÔCO, 1996).

O resfriamento adiabático (evaporativo) com utilização de material poroso, consiste em forçar a passagem do ar por uma parede deste material continuamente umedecido. Este processo, segundo WIERSMA e SHORT (1983), pode ser descrito da seguinte forma: o ar não saturado, em contato com a superfície líquida proporciona a troca simultânea de calor e massa. Como a pressão de vapor da água da superfície é maior que a do ar insaturado, ocorre vaporização desta. O calor necessário para essa mudança de estado vem do calor sensível, contido no ar e na água, resultando em um decréscimo da temperatura de ambos. Como a temperatura da vizinhança imediata da superfície de contato diminui, criando um diferencial de temperatura da mistura vapor ar, ocorre transferência de calor. Uma mudança no meio ambiente resulta, portanto, na mudança de estado da água e na mudança de temperatura da mistura vapor e ar. A Figura 13 apresenta o ventilador acoplado ao material poroso.

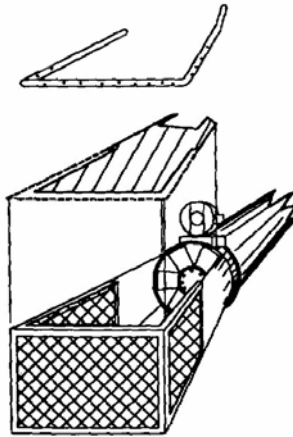


Figura 13 - Vista em perspectiva do ventilador acoplado ao material poroso (TINÔCO, 1996).

Ventilador acoplado ao aspersor de água

Existe no mercado um modelo de ventilador acoplado a um sistema de umidificação por aspersão de água, com vazão de ar em torno de $350 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ e consumo de água variando de 0,6 a $1,4 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. O acionamento é independente, podendo funcionar o ventilador ou o ventilador e o aspersor. A Figura 14 apresenta o aspersor em funcionamento em conjunto com o ventilador.



Figura 14 - Ventilador acoplado ao aspersor de água.

2.3.2.2. Ventilação em túnel

As instalações com ventilação em túnel com pressão positiva são definidas quando se promove o fechamento das cortinas laterais do galpão e os ventiladores ficam distribuídos ao longo do comprimento do galpão e em toda sua extensão, permitindo que a massa de ar percorra de modo mais uniforme seu interior (Figura 15). O número de ventiladores deverá ser suficiente para promover a renovação do ar a cada 1 a 2 minutos e a uma velocidade de 2 m.s^{-1} (CUNNINGHAM, 1995; DONALD, 1996).

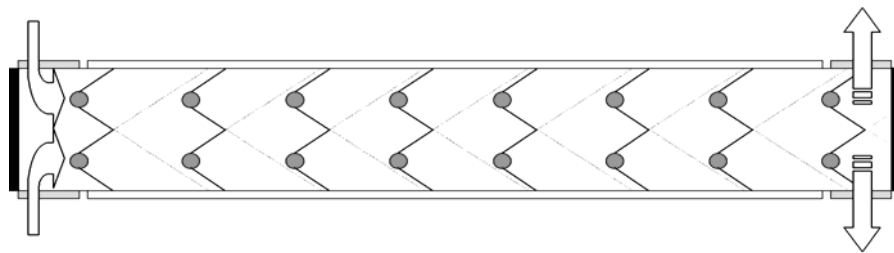


Figura 15 - Esquema de ventilação em túnel com pressão positiva.

Adicionando-se ao sistema de ventilação em túnel um sistema de nebulização, a redução adicional da temperatura do ar pode ser da ordem de 6°C para boa parte das regiões brasileiras facilitando ainda mais a obtenção do conforto térmico nos dias quentes (TINÔCO, 1996).

2.3.2.3. Ventilação lateral

Outra forma de ventilação tecnicamente recomendável para instalações avícolas é denominada de ventilação lateral, que consiste em posicionar os ventiladores em uma das laterais do galpão, com o fluxo voltado no sentido da

largura e a favor do vento dominante local (Figura 16). De forma similar, o número de ventiladores deverá ser dimensionado para possibilitar a renovação do ar a cada minuto. Nas regiões mais quentes e secas o sistema deve ser associado ao sistema de nebulização com vistas ao incremento da redução da temperatura do ar.

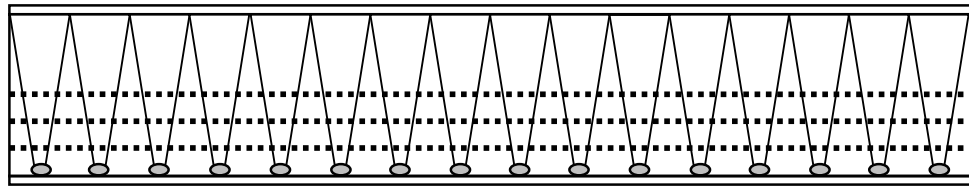


Figura 16 - Esquema de ventilação lateral com pressão positiva e nebulização interna.

ZANOLLA (1998), em experimento realizado com produção de frangos de corte em alta densidade, em condução de verão em empresa situada no Vale do Rio Doce, Minas Gerais, avaliou dois sistemas de ventilação positiva (túnel associado a nebulização e lateral associado a nebulização) e concluiu que ambos os sistemas permitiram a elevação da densidade das aves em 40%, além de propiciarem melhores resultados de desempenho produtivo do lote. Os resultados de desempenho são apresentados na Tabela 3.

FONSECA (1998) estudou os efeitos da densidade de alojamento no desempenho de frangos de corte criados em sistema de ventilação positiva em túnel associado a nebulização, criados em três níveis de alta densidade (14, 16 e 18 aves/m²), em condições de verão. O autor concluiu, nas condições de realização desse experimento, que:

Tabela 3 - Valores médios de desempenho das aves com 42 dias de idade, para as diferentes densidades (10 e 14 aves/m²) e os diferentes sistemas de ventilação estudados (SVT - ventilação em túnel associada a nebulização; SVL - ventilação lateral associada a nebulização e CON - convencional)

	Densidade (aves/m ²)	Cons. ração (kg/ave)	Peso vivo (kg)	Conversão alimentar	Mortalidade (%)	Produção (kg ave/m ²)
SVT	14	4,31	2,436	1,78	2,26	34,10
SVL	14	4,37	2,396	1,83	2,44	33,54
CON	10	5,00	2,381	2,10	2,50	23,81

Fonte: ZANOLLA (1998).

- Os valores médios de ganho de peso, conversão alimentar, peso vivo e taxa de mortalidade apresentaram valores próximos para as três densidades estudadas; contudo, houve tendência de melhores resultados nas densidades de 14 e 16 aves/m².
- O sistema de nebulização associado à ventilação positiva em túnel permitiu a criação de frangos de corte em alta densidade de alojamento, sem comprometer os índices de desempenho produtivo das aves.

MATOS (1998) realizou um estudo com dois diferentes sistemas de ventilação positiva (em túnel, SVT e lateral, SVL), ambos associados à aspersão sobre a cobertura e à nebulização interna, em um lote de frangos de corte criados em dois níveis de alta densidade de alojamento, 16 e 18 aves/m², no período de 20 a 40 dias de idade, em condições de calor, no Município de São Pedro dos Ferros - MG. O autor concluiu, nas condições de realização desse experimento, que:

- Os dois sistemas de ventilação (SVT e SVL) mostraram-se eficientes no sentido de manter as condições térmicas, no interior das instalações, relativamente homogêneas em relação ao ambiente externo;

- O conforto térmico ambiente, avaliado pelos resultados do Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU) e Carga Térmica de Radiação (CTR), foram estatisticamente iguais, entres os sistemas de ventilação estudados (SVT e SVL), nos horários de observação das 14 às 18 horas. Contudo, o SVL apresentou maior eficiência no arrefecimento térmico das instalações nos primeiros horários de observação (8 às 12 horas), sendo significativa esta diferença nos valores de ITGU e CTR;
- Não houve diferença estatística entre os valores médios finais de consumo de ração, ganho de peso, peso vivo e mortalidade para os diferentes sistemas de ventilação (SVT e SVL). Contudo, o SVL apresentou valores de conversão alimentar estatisticamente melhores do que o SVT.

2.3.3. Ventilação com pressão negativa

No sistema de ventilação com pressão negativa ocorre a sucção do ar, criando um vácuo parcial na construção (Figura 17). A diferença de pressão do ar entre o interior e o exterior do abrigo (pressão estática) succiona o ar externo para o interior da construção (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990). Este sistema de ventilação é mais comum quando se dispõe de controle de ambiente, no caso de incubatórios avícolas ou galpões semi-climatizados.

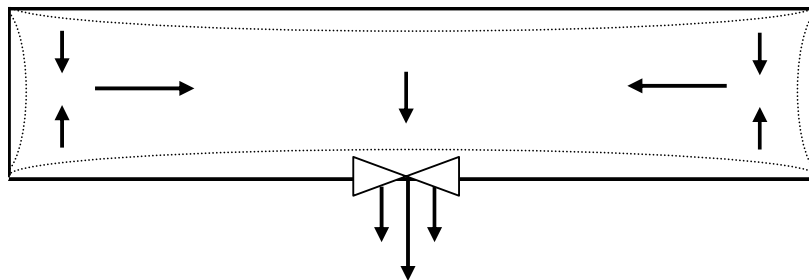


Figura 17 - Esquema de uma instalação com pressão negativa.

Este sistema normalmente utiliza exaustores com 600 m³/min de vazão (Figura 18) e pode estar associado a placas evaporativas ou sistema de nebulização interna, constituindo galpões semi-climatizados. Neste caso, geralmente, o sistema possui controle automático para ligar e desligar exaustores, placas evaporativas e sistema de nebulização interna, além da movimentação das cortinas.



Figura 18 - Modelo de exaustor comercial usado em galpões avícolas com ventilação negativa.

2.3.3.1. Resfriamento evaporativo

Os princípios envolvidos no fenômeno de resfriamento evaporativo associado a pressão negativa são os mesmos descritos para pressão positiva. O resfriamento evaporativo associado à ventilação com pressão negativa pode ser constituído por linhas de nebulização de água distribuídas no interior do galpão, linhas de nebulização em uma câmara imediatamente anterior à entrada de ar ou por placas evaporativas montadas na extremidade oposta aos exaustores.

A principal vantagem do sistema de placas evaporativas é que a umidade fica fora do galpão, produzindo maior resfriamento com menor grau de umidade interna. Sendo assim, os galpões tendem a ficar mais limpos, com menor

incidência de ferrugem nos equipamentos e menores problemas elétricos nos galpões.

A eficiência de cada placa evaporativa dependerá de vários fatores, entre eles:

- material utilizado e vida útil;
- espessura do material;
- ângulo e construção da placa evaporativa, e
- sistema de nebulização ou fluxo da água;

Outra questão importante é a relação custo inicial, custo de operação e resultados operacionais que cada sistema poderá proporcionar. Sendo esta tecnologia recente, com poucos resultados de pesquisas e com grandes variações em função de diferenças climáticas, é preciso que se tenha cautela ao se optar por ele. Assim, os projetos devem ser instalados com cautela, identificando se a relação custo x benefício permite sua utilização.

Ao estudar o efeito de diferentes orientações na eficiência do resfriador adiabático (evaporativo), TIMMONS e BAUGHMAN (1984), verificaram que a mesma foi reduzida de aproximadamente 15% quando o aparelho encontrava-se em posição que possibilitava a incidência direta do sol sobre o material poroso; esta redução na eficiência foi atribuída à absorção direta de radiação solar pelo material poroso umedecido.

Os mesmos autores em experimento semelhante, realizado na Carolina do Norte, verificaram que a eficiência do resfriador foi reduzida em aproximadamente 23% quando o material poroso esteve exposto à radiação solar direta.

O sistema mais comum no mercado é constituído por placas evaporativas com gotejamento de água. Estudos vêm sendo desenvolvidos por MORAES et al. (2000), em galpões com ventilação negativa (semi-climatizados) na região de Jataí - Goiás, utilizando nebulização direta de água nas placas evaporativas (Figura 19), câmara de nebulização (barreira de vapor) montada na seção anterior



Figura 19 - Localização das linhas de nebulização de água direta nas placas.

à entrada de ar na instalação (Figura 20) e linhas móveis de nebulização de água no interior do galpão (Figura 21), objetivando otimizar o sistema de resfriamento evaporativo.

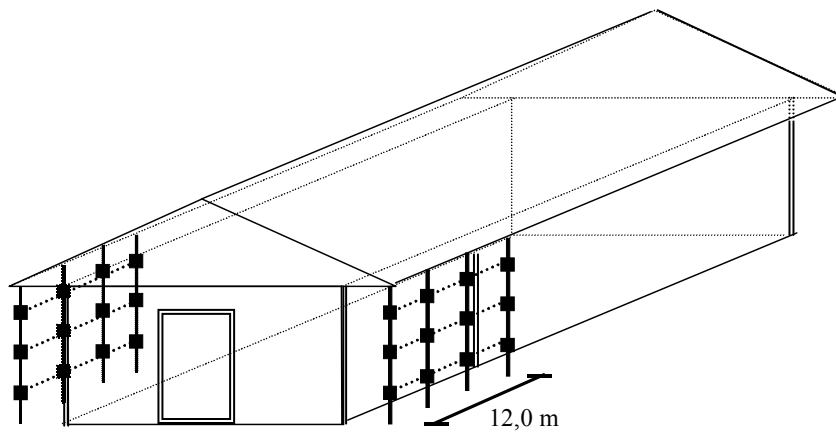


Figura 20 - Localização das linhas instaladas nas câmaras de nebulização.

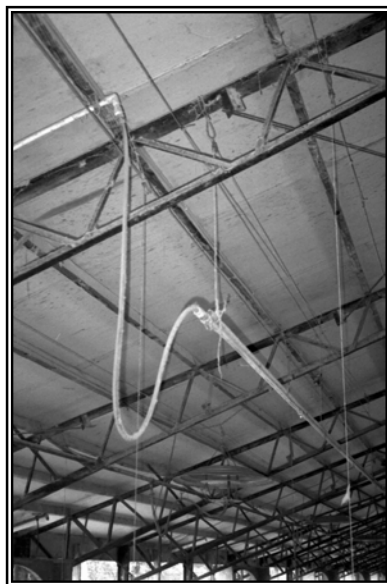


Figura 21 - Sistema de nebulização com linhas móveis.

A nebulização direta nas placas evaporativas e a câmara de nebulização visam propiciar a entrada de ar na instalação com temperaturas mais amenas e a nebulização interna permite a manutenção da temperatura ao longo do comprimento do galpão. Com a utilização de linhas móveis de nebulização, tem-se maior possibilidade de manejo da altura da névoa de água, aumentando a eficiência de evaporação próxima às aves.

Material poroso

De acordo com WIERSMA e SHORT (1983), os fabricantes norte-americanos de resfriadores adiabáticos (evaporativos) têm utilizado como material poroso, a madeira, a celulose, o metal, o mineral, o vidro e, mais recentemente, o plástico e o cimento; a escolha desses materiais está na dependência de durabilidade e eficiência; o mais utilizado tem sido o de fitas de madeira, muito embora sua eficiência torne-se reduzida ao final do primeiro ano, uma vez que sua durabilidade é relativamente baixa. A Figura 22 mostra em detalhe uma placa evaporativa constituída por lâminas de celulose.

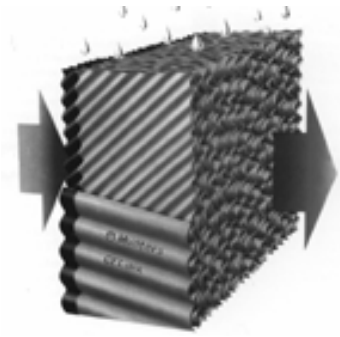


Figura 22 - Placa evaporativa constituída por lâminas de celulose.

2.3.3.2. Insuflação natural e exaustão mecânica

Neste caso, um ou mais exaustores (ventiladores axiais) removem o ar do recinto para o exterior. A pressão no interior do recinto diminui devido a essa exaustão, estabelecendo um fluxo de ar através das aberturas, do exterior para o interior do recinto, e deste para o exterior, sendo a pressão externa maior que a pressão interna na instalação (Figura 23).

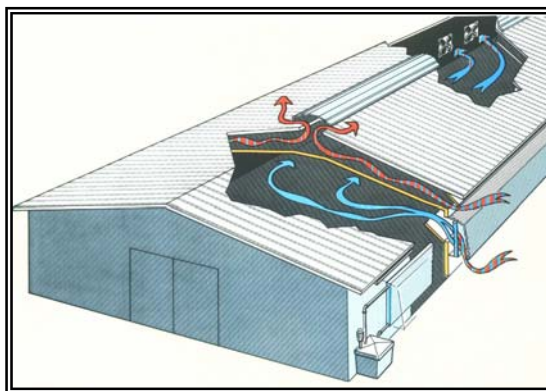


Figura 23 - Galpão com ventilação negativa - placas evaporativas, forro ventilado e exaustores na extremidade oposta da instalação.

Embora em geral seja de menor custo que a insuflação mecânica, esse sistema não permite um controle adequado da qualidade do ar que entra no recinto, exceto quando se utiliza filtros de ar nas entradas. As placas evaporativas, no caso das instalações avícolas, funcionam inadequadamente como filtros, reduzindo a eficiência no processo de evaporação devido ao acúmulo de poeira em cada lote de aves. O detalhe da placa evaporativa associada à ventilação negativa é apresentado na Figura 24.

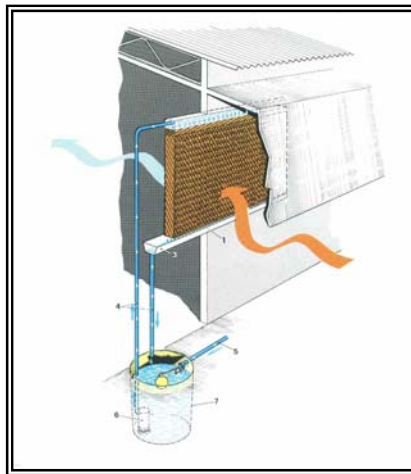


Figura 24 - Placa evaporativa protegida contra radiação solar direta.

A Figura 25 apresenta um galpão com ventilação negativa transversal, onde as placas evaporativas se encontram em toda a lateral da instalação e os exaustores, na lateral oposta.

2.3.3.3. Insuflação e exaustão mecânicas

Nesse caso, há ventiladores que insuflam o ar e ventiladores que removem o ar do recinto, colocados diretamente na instalação ou por meio de sistemas de dutos. Assim, consegue-se uma ventilação mais controlada tanto em relação à

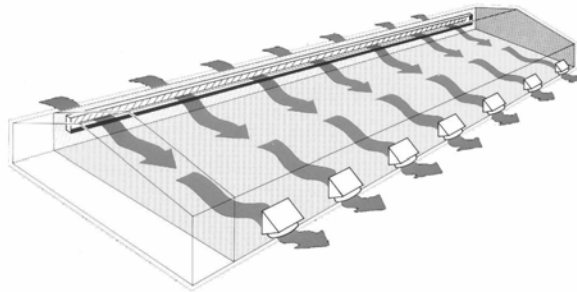


Figura 25 - Galpão com ventilação negativa - transversal.

qualidade do ar que entra, quanto à distribuição do mesmo no interior. Pode ser chamado de sistema misto de ventilação (Figura 26).

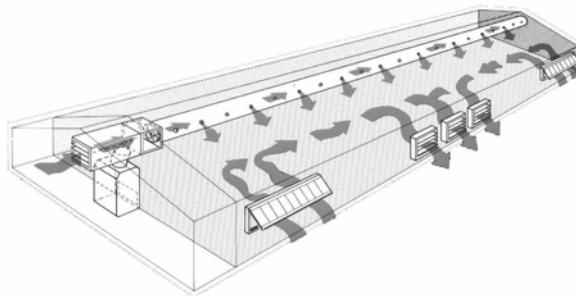


Figura 26 - Galpão com ventilação negativa - insuflação e exaustão mecânicas (duto com captação de ar externo) com duas entradas de ar na lateral.

Pode-se, escolhendo adequadamente os ventiladores, conseguir que a pressão no recinto seja maior, igual ou menor que a pressão no exterior. A instalação de insuflação e exaustão mecânicas em sua forma mais completa pode permitir a captação do ar em local não poluído, realizar filtragem do mesmo, caso necessário, e

realizar o insuflamento em saídas dispostas convenientemente ao longo de um ou mais dutos (Figura 27).

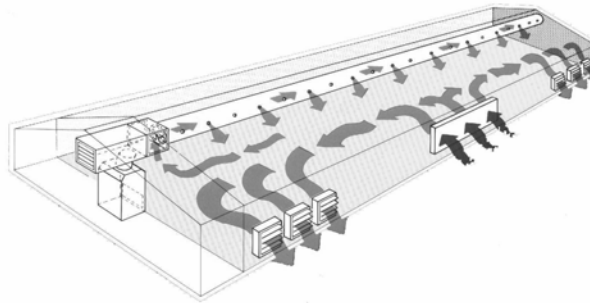


Figura 27 - Galpão com ventilação negativa - insuflação e exaustão mecânicas (duto com captação de ar interno) com uma placa evaporativa.

No caso do exaustor ser do tipo axial, deverá ser localizado na parede oposta à de admissão de ar e em nível médio em relação ao piso. As placas evaporativas podem se situar no centro de uma das laterais do galpão, ou nas extremidades, de acordo com o projeto. A área das placas evaporativas depende da vazão necessária admitida para a instalação, assim como a vazão de água para maior eficiência do sistema evaporativo. Quando não for possível a utilização da parede oposta à da admissão do ar, deve-se considerar a utilização de redes de dutos.

Tratando-se de um sistema mais dispendioso que os anteriores, o sistema misto só deverá ser adotado quando a ventilação não puder ser resolvida satisfatoriamente por dos sistemas de ventilação descritos anteriormente.

A Figura 28 apresenta uma instalação com ventilação negativa cruzada, composta por exaustores montados em uma das empenas e na lateral (norte ou sul). Os exaustores fixados em uma das empenas tem o objetivo de direcionar o fluxo de vento no sentido longitudinal, com entrada de ar pelas placas

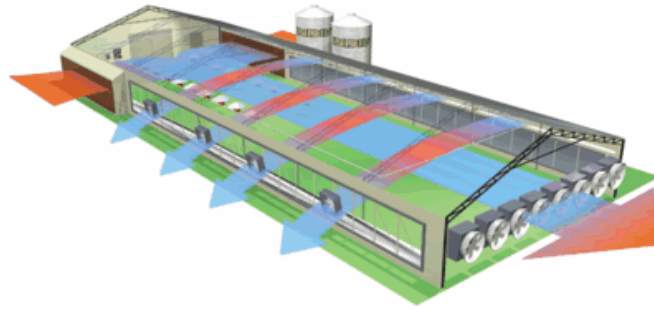


Figura 28 - Galpão com ventilação negativa cruzada - exaustores na empena (fluxo de vento no sentido longitudinal) e na lateral (fluxo de vento no sentido transversal).

evaporativas, utilizado em condições de altas temperaturas ou quando necessita-se de renovação de grandes volumes de ar. Os exaustores montados em uma lateral (norte ou sul) têm o objetivo de direcionar o fluxo de vento no sentido transversal, quando necessita-se de pequenos volumes de ar ou em condições de inverno, com estreita entrada de ar próximo à cobertura, em toda extensão lateral oposta aos exaustores.

CARACTERIZAÇÃO OPERACIONAL DE SISTEMAS DE SEMICLIMATIZAÇÃO DE GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE COM VENTILAÇÃO DE PRESSÃO POSITIVA ASSOCIADA A NEBULIZAÇÃO COM BAIXA PRESSÃO E VENTILAÇÃO DE PRESSÃO NEGATIVA ASSOCIADA A NEBULIZAÇÃO DE ALTA PRESSÃO

1. INTRODUÇÃO

As pesquisas na área de ambiência têm assumido papel primordial no desenvolvimento da produção avícola, introduzindo novos conceitos como alta densidade de alojamento, sistemas de ventilação, sistemas de resfriamento evaporativo, controle automático de variáveis ambientais, equipamentos e semiclimatização de galpões.

Em regiões tropicais e subtropicais, sob condições naturais, não ocorrem temperaturas ambientais dentro da faixa de conforto nos horários mais quentes do dia e em condições de verão, de acordo com estudos desenvolvidos por TEIXEIRA (1983), PIASENTIN (1984), TINÔCO (1988), FONSECA (1998), MATOS (1998) e ZANOLLA (1998).

A maior parte da avicultura brasileira se desenvolveu em instalações abertas, com sistema de ventilação natural. Na década de 80, surgiram diversas pesquisas utilizando o sistema de ventilação mecânica com pressão positiva e resfriamento evaporativo do ar ambiente, objetivando amenizar os efeitos negativos das altas temperaturas para as aves. Posteriormente, foram introduzidos no Brasil galpões climatizados com ventilação de pressão negativa, associada a placas evaporativas ou nebulização interna.

Segundo WIERSMA e SHORT (1983) e McNEILL et al. (1983), em instalações agrícolas, o sistema de resfriamento evaporativo tem sido o método de condicionamento térmico mais utilizado pelos produtores, em virtude de apresentar baixo custo inicial e operacional, além de ser facilmente implantado, sem a necessidade de fazer alterações substanciais na instalação. HAHN e

OSBURN (1970) apontam como outra vantagem o baixo custo de manutenção, em comparação com outros sistemas.

No Estado de Goiás, a avicultura de corte se desenvolveu consideravelmente nos últimos anos, além de ser uma região produtora de milho e soja, contribuindo para a redução do custo em transporte de grãos. Nessa região, as instalações para frangos de corte apresentaram alguns problemas em seu desempenho, carecendo de maiores investigações.

Nesse contexto, e considerando a importância do conforto térmico ambiental na criação de aves, este trabalho teve por objetivo a caracterização operacional de dois sistemas de semiclimatização em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás: ventilação de pressão positiva e nebulização interna de baixa pressão; e ventilação de pressão negativa e nebulização interna de alta pressão.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental desta pesquisa foi desenvolvida em três galpões comerciais para frangos de corte, situados no município de Jataí, no sudoeste de Goiás, em condições de altas temperaturas do ar, nos meses de agosto a dezembro de 1999. As características arquitetônicas das instalações, bem como os sistemas de semiclimatização, são descritas a seguir.

2.1. Características arquitetônicas dos galpões

Os três galpões possuíam as mesmas características arquitetônicas, com 125 m de comprimento, 12 m de largura, 2,8 m de pé-direito, orientação leste-oeste, cobertura de telhas galvanizadas, 20 cm de beiral, estrutura metálica, telhado em duas águas com 14° de inclinação, piso interior em terra batida e muretas de proteção com 35 cm de altura. Da mureta ao teto, o galpão era fechado nas faces norte e sul por telas de arame com malha de 2,5 cm, com vedação feita por cortinas de polietileno, acionamento automático e fechamento de baixo para cima. As faces

leste e oeste dos galpões (oitões) eram também vedadas por cortinas de polietileno, e os portões, em alumínio, eram localizados no centro dos oitões. A área experimental, com os três galpões, está apresentada na Figura 1A.

2.2. Caracterização dos sistemas de semiclimatização de ambiente

A diferença entre os tratamentos consistiu no tipo de sistema de semiclimatização de ambiente interno, descrito a seguir.

a) ST (sistema testemunha) - sem sistema de modificação ambiental (Figura 2A).

b) SE (sistema com exaustores) - ventilação de pressão negativa, com sete exaustores localizados no oitão leste, nebulização interna com alta pressão, ao longo do galpão, e entrada de ar livre nas laterais do oitão oeste. Cada exaustor tinha seis pás, vazão de $600\text{m}^3.\text{min}^{-1}$, 1,5 m de diâmetro e estavam dispostos lado a lado, no oitão leste, a 35 cm do piso (Figura 3A). O sistema de nebulização interna era composto por duas linhas, montadas a 3,0 m das laterais norte e sul e de 2,5 m do oitão oeste a 15,0 m do oitão leste. Os bicos de nebulização possuíam pressão para saída da água de 600 psi (considerada alta), e cada bico foi montado com espaçamento de 2,5 m, sendo 43 bicos em cada linha, totalizando 86 bicos no galpão. A entrada de ar livre tinha 15,0 m de largura, 2,0 m de altura e sua área era reduzida com o acionamento manual das cortinas de polietileno, de baixo para cima (Figura 4A).

c) SV (sistema com ventiladores) – ventilação de pressão positiva, com sete ventiladores dispostos em linha e nebulização interna com baixa pressão, ambos ao longo do comprimento do galpão, com entrada e saída de ar livre nos oitões oeste e leste, respectivamente. Cada ventilador tinha seis pás, vazão de $600\text{ m}^3.\text{min}^{-1}$, 1,5 m de diâmetro, montado a 1,0 m de altura do piso; eles estavam dispostos em linha, no centro do galpão, com o primeiro ventilador a 25,0 m do oitão oeste e os demais a cada 15,0 m (Figura 5A). O sistema de nebulização interna era composto por duas linhas, montadas a 4,0 m das laterais norte e sul e

de 5,0 m do oitão oeste a 6,0 m do oitão leste. Os bicos de nebulização tinham pressão, para saída da água, de 300 psi, considerada baixa, e cada bico foi montado com espaçamento de 2,0 m, sendo 58 bicos em cada linha, totalizando 116 bicos no galpão. A entrada de ar livre se localizava no oitão oeste e a saída no oitão leste, e sua área podia ser reduzida com o acionamento manual das cortinas de polietileno, de baixo para cima (Figura 6A).

2.3. Coleta de dados ambientais para caracterização termoigrométrica

A fase experimental de campo foi realizada de agosto a dezembro de 1999, com frangos de corte criados com densidade de 18 aves/m², e compreendeu o período crítico de estresse por calor, ou seja, de 21 a 48 dias de vida das aves, para os três tratamentos.

As variáveis temperatura de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo negro e velocidade do ar foram registradas no interior dos três galpões, aos 21, 30, 39 e 48 dias de vida das aves; o intervalo das leituras foi de duas horas, totalizando 13 observações em cada ciclo diário completo (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24 horas).

Cada galpão foi dividido em duas áreas geométricas com dimensões similares e no centro de cada área foi instalado um termômetro de globo negro e um higrômetro, ambos constituídos de termômetros de vidro e coluna de mercúrio com resolução de 0,5 °C, na altura correspondente ao centro de massa das aves. A velocidade do ar foi determinada por meio de um anemômetro digital, de hélices, com resolução de 0,1 m.s⁻¹, nas proximidades de cada globo negro.

2.4. Determinação dos índices térmicos ambientais

Com a finalidade de caracterizar o nível de conforto térmico ambiental, foi utilizado o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU),

adimensional, de acordo com a equação apresentada a seguir, proposta por BUFFINGTON et al. (1981):

$$ITGU = tgn + 0,36.tpo + 41,5$$

Onde: tgn = temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$); e
 tpo = temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

Para caracterizar a carga térmica radiante da instalação que é irradiada sobre as aves, foi calculada a Carga Térmica de Radiação (CTR, $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$), conforme equação proposta por ESMAY (1974):

$$CTR = \sigma(TRM)^4$$

Onde: σ = constante de Stefan-Boltzmann ($5,67\cdot 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$); e
TRM = temperatura radiante média, K.

A temperatura radiante média (TRM) é a temperatura de uma circunvizinhança considerada uniformemente negra, de modo a eliminar o efeito de reflexão, com o qual um corpo (globo negro) troca tanta energia quanto a do ambiente atual considerado (BOND e KELLY, 1955). A TRM pode ser expressa pela equação:

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

Onde: v = velocidade ar, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$;
 Tgn = temperatura de globo negro, K; e
 Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

2.5. Delineamento Experimental

Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas um esquema fatorial 3x2 (3 sistemas e 2 pontos de coleta de dados) e nas subparcelas o horário das observações, com delineamento em blocos casualizados com quatro repetições (21, 30, 39 e 48 dias de vida das aves). Os dados foram interpretados estatisticamente, por meio de análises de variância e regressão.

As médias dos fatores qualitativos foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo, os modelos estatísticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de Student (“t”) a 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Índices térmicos ambientais

Os valores médios da temperatura do ar (TA), da umidade relativa do ar (UR), do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR), correspondentes aos sistemas, aos horários de observação e aos pontos de medição, estão apresentados na Tabela 1A.

O resumo da análise de variância para os valores de TA, UR, ITGU e CTR, correspondentes aos sistemas, aos pontos de medição e aos horários de observação, está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das análises de variância referentes ao efeito dos sistemas, dos pontos e dos horários de observação, em relação a temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica de radiação (CTR)

FV	GL	Quadrados Médios			
		TA	UR	ITGU	CTR
Blocos	3	206,2350	15284,7300	39,3944	3323,9590
Sistemas (S)	2	7,0729 *	2743,6650 **	20,1912 **	2814,0460
Pontos (P)	1	1,5512 n.s.	80,5299 n.s.	1,0711 n.s.	**
S x P	2	1,7171 n.s.	470,7036 n.s.	6,5717 *	2347,2720
Erro (a)	15	2,1459	187,4681	1,9431	**
Horários	12	487,1317 **	2469,1480 **	616,7204 **	55,5668 n.s.
(H)	24	5,3628 *	82,7554 n.s.	5,1130 **	229,1062
H x S	12	1,0165 n.s.	77,6804 n.s.	0,7928 n.s.	16394,6300
H x P	24	1,1511 n.s.	58,0289 n.s.	0,8039 n.s.	**
H x S x P	216	3,1908	99,6232	2,7008	629,8045 **
Erro (b)					329,1364 *
					42,9384 n.s.
					171,8838
CV (%) parcela		5,66	22,86	1,91	3,37
CV (%) subparcela		6,90	16,67	2,25	2,92

* = F Significativo a 5% de probabilidade; ** = F Significativo a 1% de probabilidade; n. s. = F não-significativo a 5% de probabilidade.

3.2. Temperatura do ar (TA)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “sistemas”, “horários” e interação “horários x sistemas”, a 5% de probabilidade. Dessa forma, passou-se a estudar o desdobramento da interação “horários x sistemas”. Os valores médios de TA em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de TA (°C) em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	ST	SE	SV
00	23,1 a	24,1 a	22,7 a
02	20,5 a	21,4 a	20,4 a
04	19,1 a	20,2 a	20,1 a
06	19,8 a	21,2 a	20,8 a
08	21,7 a	23,3 a	22,8 a
10	26,8 a	27,0 a	26,2 a
12	32,2 a	30,6 a	30,5 a
14	33,9 a	31,9 a	32,9 a
16	33,6 a	31,4 b	31,2 b
18	31,1 a	30,3 a	29,4 a
20	24,1 a	26,1 a	25,8 a
22	25,2 a	26,4 a	25,5 a
24	24,4 a	25,9 a	24,9 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com base na Tabela 2, observa-se que houve diferença significativa apenas às 16 horas entre o tratamento testemunha e os sistemas de semiclimatização. Os valores de TA acima de 26 - valor a partir do qual considera-se o animal em estresse por calor - estão enfatizados em cinza na Tabela 2. Pode-se verificar nos horários mais quentes do dia (12 às 16 horas) que, nos tratamentos SE e SV, a temperatura interna do aviário foi cerca de 1,9 e 1,7 °C, respectivamente, menor que o ST.

A partir das 10 horas, a temperatura no interior dos aviários esteve acima da temperatura considerada de conforto para aves com mais de 21 dias de vida, podendo-se inferir que os sistemas de resfriamento de ambiente não devem ser acionados em função do horário e sim da temperatura interna da instalação,

predeterminada em função da idade e do conforto térmico que se deseja oferecer aos animais.

Observa-se também que a temperatura do ar às 18 horas ainda foi elevada, provavelmente, pela ineficiência dos tratamentos SE e SV em propiciar o adequado resfriamento do ambiente. No caso do ST, observa-se que, a partir das 20 horas, houve tendência de a temperatura do ar em seu interior ser inferior à dos sistemas de semiclimatização, provavelmente em decorrência da abertura contínua de suas cortinas, facilitando a dissipação de calor para o meio exterior.

Com base na Tabela 2, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de TA correspondentes aos sistemas, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 3 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de TA, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), para cada sistema. A Figura 1 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento da TA empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 3.

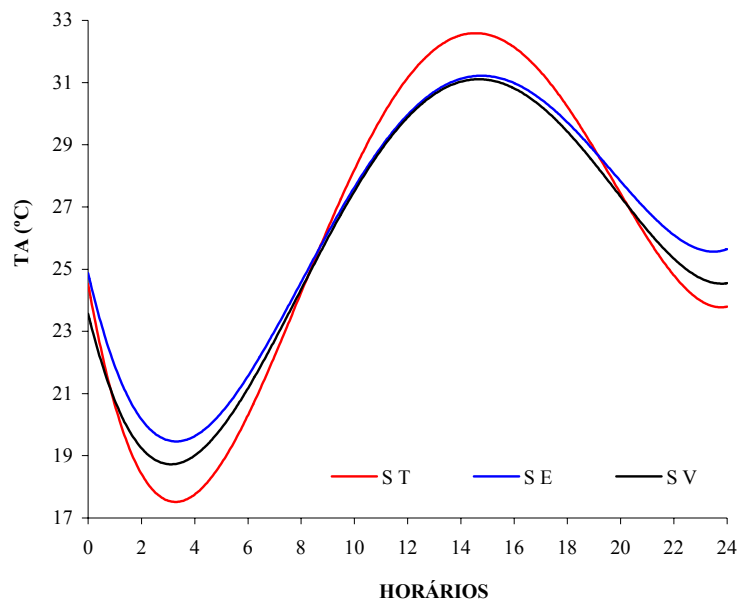


Figura 1 - Estimativa da temperatura do ar (TA, °C) em função dos horários de observação, para cada sistema.

Tabela 3 - Equações ajustadas para valores de TA (°C) em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R²)

	Equações da Regressão	R²
ST	$\hat{Y} = 24,5190 - 4,8298 H + 1,0038 H^2 - 0,0591 H^3 + 0,0011 H^4$	0,89
SE	$\hat{Y} = 24,8710 - 3,7083 H + 0,7660 H^2 - 0,0448 H^3 + 0,0008 H^4$	0,95
SV	$\hat{Y} = 23,5650 - 3,4970 H + 0,7552 H^2 - 0,0447 H^3 + 0,0008 H^4$	0,93

Da mesma forma, de acordo com a Figura 1, considerando 26°C como limite, pode-se observar que as aves estiveram sob estresse térmico na maior parte do dia, das 8 às 22 horas, podendo-se inferir que os tratamentos SE e SV foram ineficientes em sua função de acondicionamento térmico. Assim, as aves a partir de 21 dias de vida estiveram em condições de conforto, em termos de temperatura do ar, cerca de 40% do tempo.

3.3. Umidade relativa do ar (UR)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “horários” e para “sistemas”, a 5% de probabilidade; por essa razão, eles foram estudados separadamente. A título de ilustração, os valores médios de UR em função dos horários de observação estão apresentados na Tabela 4, uma vez que não houve diferença significativa para “horários x sistemas”.

Tabela 4 - Valores médios de UR (%) em função dos horários de observação

Horários	Umidade Relativa (%)
00	68,2
02	75,8
04	66,5
06	65,6
08	69,2
10	59,7
12	46,3
14	43,8
16	46,6
18	49,4
20	62,8
22	62,9
24	61,7

Foi ajustada uma equação de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de UR, com melhor ajuste do modelo de quarta potência e $R^2 = 0,81$, apresentada a seguir:

$$\hat{Y} = 67,0990 + 6,1919 H - 1,4936 H^2 + 0,0915 H^3 - 0,0017 H^4$$

A Figura 2 mostra a representação gráfica do comportamento da UR em função dos horários, de acordo com a equação de regressão descrita anteriormente. De acordo com essa figura, que representa o comportamento médio dos tratamentos, observa-se que os menores valores de UR ocorreram entre 10 e 18 horas, variando de 47 a 52%, de onde se pode inferir que a nebulização interna utilizada no SE e no SV foi ineficiente, pois os valores normalmente esperados quando se utiliza este artifício são em torno de 80%. Os maiores valores de UR ocorreram entre 2 e 6 horas, variando de 70 a 75%, considerado normal em condições naturais.

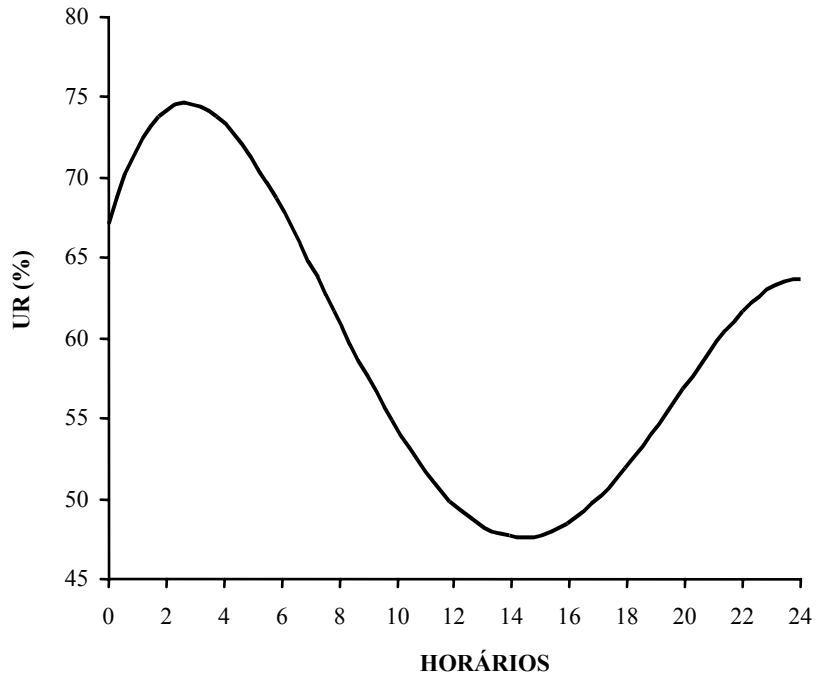


Figura 2 - Estimativa da umidade relativa (UR, %) em função dos horários de observação.

Tendo por base os dados de temperatura e umidade relativa reais, foi simulada uma condição de eficiência do sistema de resfriamento, com 80% de UR, às 14 horas, descrita na Tabela 5.

De acordo com a Tabela 5, observa-se que, se os sistemas de resfriamento fossem mais eficientes, elevando a umidade relativa para em torno de 80% no interior do galpão, as temperaturas do ar seriam de 24,9 e 25,7 °C, para SE e SV, respectivamente. Neste caso, a redução em termos de temperatura do ar no interior do galpão seria de 7,0 e 7,2 °C, para SE e SV, respectivamente. Estas reduções são muito significativas, uma vez que as aves se beneficiam mais com as condições de ambiente com temperaturas mais amenas do que com a própria evaporação via latente (respiração/ofegação), em altas temperaturas do ar.

Os valores médios de UR para cada sistema estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 - Valores reais e simulados de TA e UR, às 14 horas, nos três sistemas

VALORES REAIS		
ST	SE	SV
TA = 33,9 °C	TA = 31,9 °C	TA = 32,9 °C
UR = 43,8 %	UR = 43,8 %	UR = 43,8 %
Tbu = 23,9 °C	Tbu = 22,3 °C	Tbu = 23,1 °C
Entalpia = 71,4 KJ/Kg	Entalpia = 65,3 KJ/Kg	Entalpia = 68,3 KJ/Kg
VALORES SIMULADOS		
	UR = 80,0 %	UR = 80,0 %
	TA = 24,9 °C	TA = 25,7 °C

Tabela 6 - Valores médios de UR (%) para cada sistema

Tratamentos	Umidade Relativa (%)
ST	54,6 c
SE	60,3 b
SV	64,8 a

As médias seguidas de letras iguais nas colunas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 6, observa-se diferença significativa, em termos de UR, para todos os sistemas testados. No ST, a umidade relativa foi a mais baixa, possivelmente por acompanhar as condições termoigrométricas do ar exterior. Entre SE e SV, a UR foi maior no SV, permitindo inferir melhor eficiência deste. Contudo, os valores de UR de ambos foram considerados baixos quando comparados àqueles esperados de até 80%.

Nesses casos, a água nebulizada no interior dos aviários tem o objetivo principal de reduzir a temperatura do ar, por meio da sua evaporação, em um processo considerado adiabático. Com isso, pode-se inferir que os sistemas de nebulização interna apresentaram problemas, que podem estar associados ao fator humano (manejo) ou fator sistema, relacionado com a pressão de saída e a vazão da água, o diâmetro (tamanho) da gota, a altura e número de linhas com nebulizadores ou mesmo o número de bicos de nebulização.

3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “sistemas”, “horários” e “horários x sistemas”, a 1% de probabilidade, e para “sistemas x pontos”, a 5% de probabilidade. Dessa forma, passou-se a estudar o desdobramento das interações “horários x sistemas” e “sistemas x pontos”.

Os valores médios de ITGU em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 7.

De acordo com a Tabela 7, houve diferença significativa entre os sistemas às 6, 16, 20 e 24 horas, e os valores de ITGU acima de 76 estão enfatizados em cinza. Dessa seleção, período crítico em termos de temperatura do ar, houve diferença significativa apenas para os valores observados às 16 horas, entre ST e SE.

Com base na Tabela 7, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de ITGU correspondentes aos sistemas, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 8 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de ITGU, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), para cada sistema.

A Figura 3 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento do ITGU empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 8.

Tabela 7 - Valores médios de ITGU em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	ST	SE	SV
00	69,7 a	70,5 a	70,1 a
02	67,4 a	68,2 a	68,0 a
04	64,9 a	65,5 a	66,3 a
06	65,5 b	66,6 a b	67,8 a
08	68,6 a	70,0 a	70,5 a
10	74,3 a	74,9 a	74,5 a
12	79,2 a	78,2 a	78,5 a
14	81,5 a	79,6 a	81,3 a
16	80,7 a	78,7 b	80,0 a b
18	78,2 a	77,7 a	77,6 a
20	70,4 b	72,6 a	73,2 a
22	71,6 a	73,0 a	73,4 a
24	70,7 b	72,7 a	72,7 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 8 - Equações ajustadas para valores de ITGU em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Tratamentos	Equações da Regressão	R^2
ST	$\hat{Y} = 71,4060 - 5,4059 H + 1,1223 H^2 - 0,0663 H^3 + 0,0012 H^4$	0,90
SE	$\hat{Y} = 71,6590 - 4,5200 H + 0,9393 H^2 - 0,0557 H^3 + 0,0010 H^4$	0,94
SV	$\hat{Y} = 71,2100 - 4,1152 H + 0,8848 H^2 - 0,0525 H^3 + 0,0010 H^4$	0,94

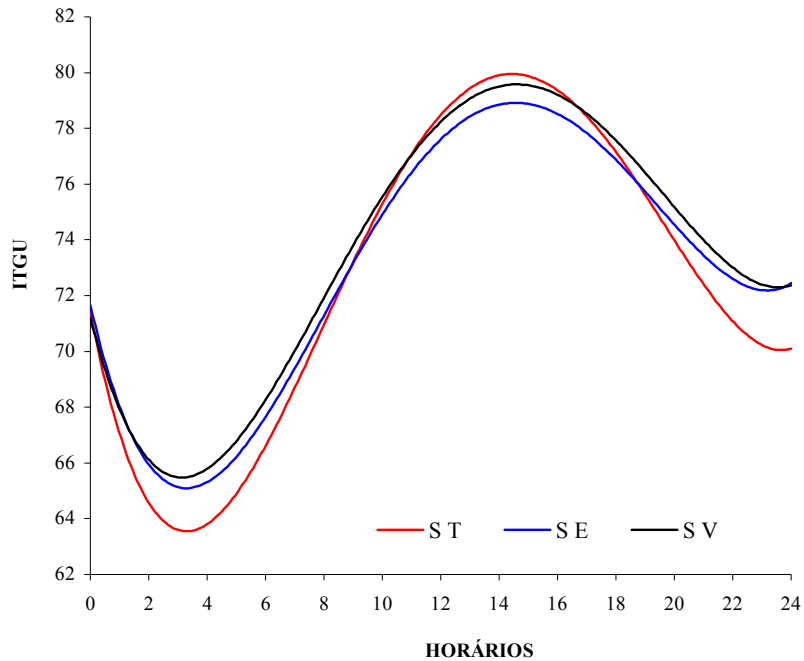


Figura 3 - Estimativa do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) em função dos horários de observação, para cada sistema.

De acordo com a Figura 3, observa-se que as aves estiveram em condição de estresse por calor, admitindo o ITGU igual a 76 como parâmetro limite para tal, das 10 às 20 horas, com valores de ITGU entre 78 e 80 das 12 às 16 horas, considerado por diversos autores como situação de risco de vida para os animais.

Os valores médios de ITGU em função dos pontos de medição, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 9.

De acordo com a Tabela 9, houve diferença significativa no ponto 1, entre o SV e os demais, com o maior valor de ITGU (73,6). Não houve diferença entre os sistemas no ponto 2, assim como entre os pontos em cada sistema. Esses resultados, mais uma vez, demonstram a tendência de o SE ser melhor que o SV.

Tabela 9 - Valores médios de ITGU em função dos pontos de medição, para cada sistema

	ST	SE	SV
P 1	72,3 b A	72,7 b A	73,6 a A
P 2	72,7 a A	73,2 a A	73,2 a A

As médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

3.5. Carga térmica de radiação (CTR)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “horários x pontos”, a 5% de probabilidade, e para “sistemas”, “pontos”, “horários” e “horários x sistemas”, a 1% de probabilidade. Desta forma, passou-se a estudar o desdobramento das interações “horários x pontos” e “horários x sistemas” separadamente. Os valores médios de CTR correspondentes aos pontos, em função dos horários de observação, estão apresentados na Tabela 10.

De acordo com a Tabela 10, houve diferença significativa entre os pontos às 12, 14, 16 e 18 horas, com menores valores absolutos de CTR no ponto 1.

O sentido do fluxo de ar no interior dos galpões, no SE e no SV, foi do ponto 1 para o 2, podendo-se inferir que ocorreu aumento da CTR entre esses pontos devido à perda da eficiência ao longo do galpão, traduzido pela maior temperatura dos elementos da construção.

Com base na Tabela 10, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de CTR correspondentes aos pontos, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 11 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de CTR, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), em cada ponto.

Tabela 10 - Valores médios de CTR ($W.m^{-2}$) correspondentes aos pontos, em função dos horários de observação

Horários	P 1	P 2
00	430,7 a	430,2 a
02	422,4 a	423,1 a
04	413,3 a	415,1 a
06	420,9 a	419,3 a
08	431,7 a	431,6 a
10	456,3 a	463,8 a
12	472,9 b	488,9 a
14	485,2 b	502,1 a
16	475,6 b	489,7 a
18	463,7 b	477,8 a
20	444,4 a	440,5 a
22	442,5 a	447,4 a
24	443,9 a	445,0 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 11 - Equações ajustadas para valores de CTR ($W.m^{-2}$) em função dos horários de observação, para cada ponto, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

	Equações da Regressão	R^2
P 1	$\hat{Y} = 436,7200 - 20,2540 H + 4,4440 H^2 - 0,2699 H^3 + 0,0050 H^4$	0,93
P 2	$\hat{Y} = 439,0900 - 24,8280 H + 5,5176 H^2 - 0,3361 H^3 + 0,0062 H^4$	0,89

Na Figura 4 é ilustrada a representação gráfica do comportamento da CTR empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 11.

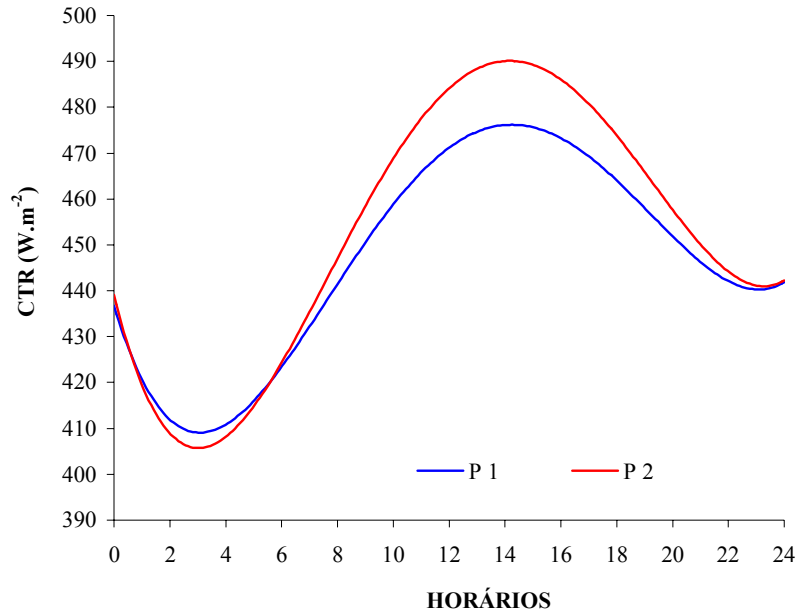


Figura 4 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR, W.m²) em função dos horários de observação, para cada ponto.

De acordo com a Figura 4, tomando como limite valores acima de 450 W.m², observa-se que os sistemas testados apresentam elevados valores de CTR, principalmente entre 8 e 20 horas, com piores resultados para o ponto 2.

Os valores médios de CTR em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 12, e os valores de CTR acima de 450 estão enfatizados em cinza. Dessa seleção, houve tendência de apenas o SE ser estatisticamente diferente do ST.

O maior valor absoluto de CTR ocorreu às 14 horas, no ST, estatisticamente igual ao SV. Às 14 horas, em termos absolutos, ocorreu a máxima diferença de CTR entre o SE, SV e ST.

De modo geral, pode-se inferir que, nas condições de maiores temperaturas do ar durante o dia, os tratamentos SE e SV foram ineficientes em reduzir a carga térmica de radiação. No ST, como era esperado, observou-se a ocorrência dos maiores valores absolutos de CTR das 10 às 18 horas.

Tabela 12 - Valores médios de CTR ($W.m^{-2}$) em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	ST	SE	SV
00	434,1 a	424,2 a	433,1 a
02	421,3 a	423,8 a	423,2 a
04	412,7 a	411,2 a	418,6 a
06	416,3 a	420,2 a	423,8 a
08	429,3 a	431,9 a	433,7 a
10	468,4 a	455,2 a	456,6 a
12	494,2 a	472,3 b	475,8 b
14	511,4 a	471,2 b	498,4 a
16	503,7 a	462,0 c	482,1 b
18	484,4 a	460,9 b	466,9 b
20	437,4 a	441,6 a	448,4 a
22	443,9 a	444,1 a	446,9 a
24	441,9 a	446,8 a	444,7 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com base na Tabela 12, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de CTR correspondentes aos sistemas, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 13 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de CTR, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), em cada sistema.

A Figura 5 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento da CTR empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 13.

Tabela 13 - Equações ajustadas para valores de CTR (W.m^{-2}) em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

	Equações da Regressão	R^2
ST	$\hat{Y} = 444,3700 - 31,0880 H + 6,6947 H^2 - 0,4036 H^3 + 0,0074 H^4$	0,88
SE	$\hat{Y} = 430,4000 - 15,8360 H + 3,7140 H^2 - 0,2327 H^3 + 0,0044 H^4$	0,91
SV	$\hat{Y} = 439,3300 - 20,6900 H + 4,5274 H^2 - 0,2721 H^3 + 0,0050 H^4$	0,90

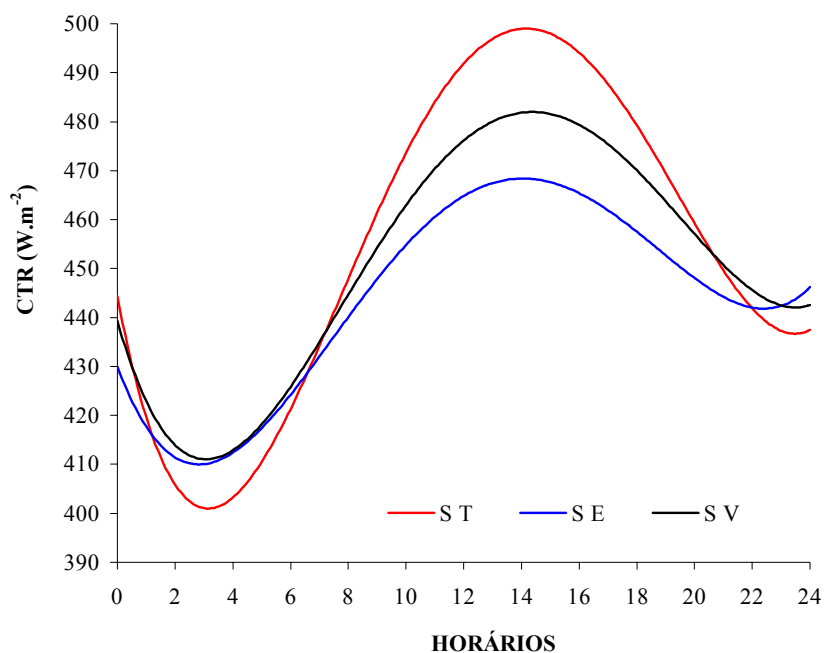


Figura 5 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR, W.m^{-2}) em função dos horários de observação, para cada sistema.

4. CONCLUSÕES

Nas condições de realização deste trabalho e pelos resultados obtidos, conclui-se que:

- De forma geral, com relação à TA e ao ITGU, não houve diferença significativa entre os resultados dos ambientes com semiclimatização e os da testemunha;
- Com base na TA e no ITGU, os frangos de corte, a partir de 21 dias, das 12 às 18 horas, estiveram em condições de estresse por calor em todos os tratamentos, determinado por temperaturas do ar acima de 26°C e índice de temperatura de globo negro e umidade acima de 76. Nas horas mais quentes do dia, a UR esteve em torno de 44% em todos os tratamentos, muito abaixo dos 80% possíveis para galpões semi-climatizados. De modo geral, os sistemas estudados foram ineficientes em promover melhorias térmicas ambientais, havendo ainda a possibilidade de redução da temperatura do ar cerca de 7,0°C, com o aumento da eficiência dos mesmos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOND, T. E., KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, 36(4): 251-255. 1955.

BUFFINGTON, C. S., COLLAZO-AROCHO, A., CANTON, G. H., PITT, D., THATCHER, W. W., COLLIER, R. J. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, 24(3):711-714, 1981.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2 ed. Westport: AVI Publishing Company, 1974. 325p.

FONSECA, J. M. Viçosa, 1998. **Efeito do sistema de ventilação em túnel no conforto ambiente e na produção de frango de corte em alta densidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, UFV.

HAHN, G. L., OSBURN, D. D. Feasibility of evaporative cooling for dairy cattle bases on expected production losses. **Transactions of the ASAE**. 13(3): 289-294. 1970.

- MATOS, M. L. **Conforto térmico ambiente e desempenho de frangos de corte, alojados em dois níveis de alta densidade, em galpões com sistemas de ventilação em túnel e ventilação lateral.** Viçosa, 1998. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, UFV. 1998.
- McNEILL, S. G., FEHR, R. L., WALKER, J. N., PARKER, G. R. Performance of evaporative coolers for mid-south gestation housing. **Transactions of the ASAE**, 26(1):219-222. 1983.
- PIASENTIN, J. A. **Conforto medido pelo índice de temperatura de globo e umidade na produção de frangos de corte para dois tipos de pisos em Viçosa, M.G.** Viçosa: UFV, 1984. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- 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: UFV, 1983. 62p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- TINÔCO, I. F. F. **Resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte.** Viçosa: UFV, 1988. 92p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- 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.
- WIERSMA, F.; SHORT, T. H. Evaporative cooling. In: HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. **Ventilation of Agricultural Structures**, 2.ed. St. Joseph, Michigan: *ASAE*, 1983. p. 103-118.

6. APÊNDICE



Figura 1A - Vista da área experimental.



Figura 2A - Vista do tratamento ST (testemunha).



Figura 3A - Vista dos exaustores do tratamento SE.



Figura 4A - Vista da entrada de ar no tratamento SE.



Figura 5A - Vista dos ventiladores no tratamento SV.



Figura 6A - Vista da entrada de ar no tratamento SV.

Tabela 1A - Valores médios da temperatura do ar (TA), da umidade relativa do ar (UR), do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR), correspondentes aos sistemas, aos horários de observação e aos pontos de medição.

SISTEMAS	HORÁRIOS	PONTOS	TA	UR	ITGU	CTR
ST	0	1	23.0	66.4	69.5	433.4
ST	0	2	23.3	65.7	69.8	434.8
ST	2	1	20.5	72.3	67.4	421.7
ST	2	2	20.5	73.9	67.3	420.9
ST	4	1	19.0	69.0	64.9	411.7
ST	4	2	19.3	62.1	64.8	413.8
ST	6	1	19.8	58.6	65.1	416.7
ST	6	2	19.9	68.0	65.9	416.0
ST	8	1	22.0	62.9	68.5	430.4
ST	8	2	21.5	70.3	68.6	428.2
ST	10	1	27.1	49.8	74.0	465.0
ST	10	2	26.6	54.8	74.6	471.8
ST	12	1	32.6	36.9	78.9	487.9
ST	12	2	31.8	40.9	79.5	500.5
ST	14	1	34.3	34.4	81.3	507.5
ST	14	2	33.6	36.7	81.7	515.3
ST	16	1	33.9	33.9	80.6	500.3
ST	16	2	33.3	35.9	80.8	507.0
ST	18	1	31.5	40.8	78.3	478.0
ST	18	2	30.6	41.7	78.1	490.7
ST	20	1	24.0	55.9	70.3	440.1
ST	20	2	24.1	61.3	70.5	434.7
ST	22	1	25.3	52.4	71.0	440.2
ST	22	2	25.3	60.3	72.3	447.7
ST	24	1	24.5	55.7	70.5	440.2
ST	24	2	24.4	58.4	70.9	443.7
SE	0	1	24.3	65.1	70.6	425.9
SE	0	2	24.0	68.1	70.3	422.4
SE	2	1	21.5	72.8	68.2	423.8
SE	2	2	21.4	75.9	68.3	423.9

Tabela 1A, Cont.

SISTEMAS	HORÁRIOS	PONTOS	TA	UR	ITGU	CTR
SE	4	1	20.0	68.0	65.3	410.1
SE	4	2	20.5	64.9	65.6	412.2
SE	6	1	21.6	60.9	66.7	420.9
SE	6	2	20.9	62.9	66.4	419.5
SE	8	1	23.6	65.2	70.1	432.8
SE	8	2	23.0	68.4	69.9	431.0
SE	10	1	27.1	61.9	75.0	450.9
SE	10	2	26.9	60.7	74.8	459.4
SE	12	1	30.1	50.7	77.6	463.7
SE	12	2	31.1	45.9	78.9	481.8
SE	14	1	31.0	56.0	78.8	457.4
SE	14	2	32.9	43.6	80.5	485.0
SE	16	1	30.1	56.3	77.6	454.0
SE	16	2	32.6	43.4	79.6	470.0
SE	18	1	29.9	54.2	77.0	448.8
SE	18	2	30.8	47.6	78.3	473.0
SE	20	1	26.8	58.5	72.7	442.7
SE	20	2	25.5	68.3	72.6	440.5
SE	22	1	26.6	61.1	72.9	443.3
SE	22	2	26.1	64.9	73.1	444.8
SE	24	1	26.4	58.4	72.6	446.4
SE	24	2	25.4	63.1	72.8	447.1
SV	0	1	23.0	70.7	70.2	432.8
SV	0	2	22.5	73.0	70.0	433.4
SV	2	1	20.6	78.8	67.9	421.7
SV	2	2	20.1	81.1	68.1	424.7
SV	4	1	20.0	65.5	66.1	418.1
SV	4	2	20.1	69.8	66.5	419.2
SV	6	1	21.3	74.4	68.5	425.2
SV	6	2	20.4	68.9	67.2	422.3
SV	8	1	22.8	77.0	70.4	431.8
SV	8	2	22.9	71.2	70.5	435.6

Tabela 1A, Cont.

SISTEMAS	HORÁRIOS	PONTOS	TA	UR	ITGU	CTR
SV	10	1	26.5	69.3	74.9	452.8
SV	10	2	26.0	61.5	74.1	460.3
SV	12	1	30.5	55.7	78.6	467.1
SV	12	2	30.6	47.4	78.5	484.4
SV	14	1	33.1	49.1	81.5	490.7
SV	14	2	32.6	42.9	81.1	506.1
SV	16	1	31.0	61.8	80.0	472.1
SV	16	2	31.4	48.5	80.1	492.1
SV	18	1	29.4	62.4	77.9	464.2
SV	18	2	29.5	50.0	77.2	469.6
SV	20	1	26.4	71.4	74.1	450.5
SV	20	2	25.3	61.6	72.3	446.4
SV	22	1	25.8	73.8	73.8	444.1
SV	22	2	25.3	64.9	73.0	449.7
SV	24	1	25.1	67.5	72.9	445.0
SV	24	2	24.6	67.2	72.5	444.3

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS DE SEMICLIMATIZAÇÃO EM GALPÕES PARA FRANGOS DE CORTE: VENTILAÇÃO DE PRESSÃO POSITIVA COM NEBULIZAÇÃO INTERNA E VENTILAÇÃO DE PRESSÃO NEGATIVA COM PLACAS EVAPORATIVAS

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, o desenvolvimento da genética, da nutrição e do manejo ocorreu simultaneamente ao crescimento econômico da avicultura, resultando em aumento da produção anual de carne e do consumo *per capita*, além de redução do custo de produção. Em 2002, o País apresentou a terceira maior avicultura de corte e um dos menores custos de produção de carne de frango do mundo (UBA, 2003).

A maior parte da avicultura brasileira se desenvolveu em instalações abertas, com sistema de ventilação natural. Na década de 80, surgiram diversas pesquisas utilizando o sistema de ventilação mecânica com pressão positiva (ventiladores) e nebulização interna, objetivando amenizar os efeitos negativos das altas temperaturas do ar para as aves. Posteriormente, foram introduzidos no Brasil galpões climatizados utilizando ventilação mecânica com pressão negativa (exaustores) e resfriamento evaporativo por placas ou “pad cooling”.

No sistema de ventilação mecânica com pressão positiva, os ventiladores ($300 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$) forçam o ar externo para dentro da construção, com aumento da pressão do ar. No sistema de ventilação com pressão negativa, ocorre a sucção do ar pelos exaustores ($600 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$), em uma das extremidades do galpão, criando um túnel de vento relativamente homogêneo ao longo da construção. Nesse caso, existe um controle automático para ligar e desligar os componentes do sistema (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990).

O resfriamento evaporativo do ar tem se mostrado um importante artifício para propiciar melhores condições de temperatura ambiental para as aves, pois consiste em mudar o ponto de estado psicrométrico do ar para maior umidade

relativa e menor temperatura de bulbo seco, mediante contato do ar com a superfície umedecida (placas evaporativas) ou líquida, ou com água pulverizada ou aspergida. Como a pressão de vapor do ar insaturado a ser resfriado é menor que a da água de contato, ocorre vaporização da água; o calor necessário para essa mudança de estado vem do calor sensível contido no ar e na água, resultando em decréscimo da temperatura de ambos e, conseqüentemente, do ar ambiente (WIERSMA e SHORT, 1983).

No Estado de Goiás, a avicultura de corte se desenvolveu consideravelmente nos últimos anos, além de ser uma região produtora de milho e soja, contribuindo para a redução do custo em transporte de grãos. Nessa região, as instalações para frangos de corte apresentaram alguns problemas em seu desempenho, carecendo de maiores investigações.

Nesse contexto, e considerando a importância do conforto térmico ambiental na criação de aves, este trabalho teve por objetivo a caracterização operacional de dois sistemas de semiclimatização em galpões para frangos de corte, no sudoeste de Goiás: ventilação de pressão positiva e nebulização interna; e ventilação de pressão negativa e placas evaporativas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental desta pesquisa foi desenvolvida em dois galpões comerciais para frangos de corte, situados no município de Jataí, no sudoeste de Goiás, em condições de altas temperaturas do ar, nos meses de agosto a dezembro de 1999. As características arquitetônicas das instalações, bem como os sistemas de semiclimatização, são descritas a seguir.

2.1. Características arquitetônicas dos galpões

Os dois galpões possuíam as mesmas dimensões, com 125 m de comprimento, 12 m de largura, orientação leste-oeste, telhado em duas águas,

piso interior em terra batida e muretas de proteção com 25 cm de altura. Da mureta ao teto, os galpões eram fechados nas faces norte e sul por telas de arame com malha de 2,5 cm e vedação feita por cortinas de polietileno, com fechamento de baixo para cima (Figura 1A).

As diferenças entre os tratamentos consistiram em algumas características arquitetônicas e no sistema de semiclimatização de ambiente interno, descritos a seguir.

SV (sistema com ventiladores)

- a) Características arquitetônicas: a cobertura era de telhas cerâmicas, com 1,5 m de beiral, apoiada sobre estrutura de madeira e pórtico de concreto, com 30° de inclinação, 3,2 m de pé-direito e fechamento manual das cortinas. Os oitões eram vedados com cortinas de polietileno com acionamento manual e portões de madeira localizados no centro.
- b) Descrição do sistema de semiclimatização – ventilação de pressão positiva, com 16 ventiladores dispostos em duas linhas (túnel) e nebulização interna com baixa pressão, ambos ao longo do comprimento do galpão, com entrada e saída de ar livre nos oitões oeste e leste, respectivamente (Figura 2A). Os ventiladores eram de três pás, vazão de $300 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$, 90 cm de diâmetro, montados a 1,5 m de altura do piso e dispostos em duas linhas, a 3,0 m das laterais norte e sul, com o primeiro par de ventiladores a 5,0 m do oitão oeste e os demais, a cada 15,0 m (Figura 3A). O sistema de nebulização interna era composto por três linhas longitudinais, equidistantes, montadas a 3,0 m das laterais norte e sul, e uma linha no centro. As linhas foram montadas de 3,0 m do oitão oeste a 9,0 m do oitão leste. Os bicos de nebulização tinham pressão para saída da água de 100 psi, considerada baixa, e cada bico foi montado com espaçamento de 3,0 m, sendo 37 bicos em cada linha, totalizando 111 bicos no galpão.

SE (sistema exaustores)

- a) Características arquitetônicas: a cobertura era de telhas galvanizadas, pintadas de branco, com 20 cm de beiral, apoiada sobre estrutura metálica, com 14° de inclinação, 2,8 m de pé-direito e fechamento automático das cortinas. O oitão leste era composto pelos exaustores, com fechamento em alvenaria, e o oeste era composto pelas placas evaporativas em forma de L, com um portão de alumínio no centro.
- b) Descrição do sistema de semiclimatização – ventilação de pressão negativa, com nove exaustores localizados no oitão leste e nas laterais e entrada de ar através das placas evaporativas no oitão oeste e nas laterais, em forma de “L” (Figura 4A). Os exaustores eram de seis pás, vazão de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ e 1,2 m de diâmetro. Sete exaustores foram dispostos lado a lado no oitão leste, a 40 cm do piso, um na lateral norte e o último na lateral sul, ambos próximos ao oitão leste (Figura 5A). A entrada de ar através das placas tinha 12,5 m de largura em cada lateral (norte e sul), 9,0 m no oitão oeste e 2,0 m de altura, totalizando 68 m^2 para entrada de ar no galpão.

2.2. Coleta de dados ambientais para caracterização termogramétrica

A fase experimental de campo foi realizada de agosto a dezembro de 1999, com frangos de corte criados com densidade de 18 aves/m^2 , e compreendeu o período crítico de estresse por calor, ou seja, de 21 a 48 dias de vida das aves.

As variáveis temperatura de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo negro e velocidade do ar foram registradas no interior dos dois galpões, aos 21, 34 e 47 dias de vida das aves; o intervalo das leituras foi de duas horas, totalizando 13 observações em cada ciclo diário completo (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24 horas).

Cada galpão foi dividido em quatro áreas geométricas com dimensões similares e no centro de cada área foram instalados um termômetro de globo negro e um higrômetro, ambos constituídos de termômetros de vidro e coluna de

mercúrio com resolução de 0,5 °C, na altura correspondente ao centro de massa das aves. A velocidade do ar foi determinada por meio de um anemômetro digital, de hélices, com resolução de 0,1 m.s⁻¹, nas proximidades de cada globo negro.

2.3. Determinação dos índices de conforto térmico

Com a finalidade de caracterizar o nível de conforto térmico ambiental, foi utilizado o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), adimensional, de acordo com a equação apresentada a seguir, proposta por BUFFINGTON et al. (1981).

$$ITGU = tgn + 0,36.tpo + 41,5$$

Onde: tgn = temperatura de globo negro, °C; e
tpo = temperatura de ponto de orvalho, °C.

Para caracterizar a carga térmica radiante da instalação que é irradiada sobre as aves, foi calculada a carga térmica de radiação (CTR, W.m⁻²), conforme equação proposta por ESMAY (1974):

$$CTR = \sigma(TRM)^4$$

Onde: σ = constante de Stefan-Boltzmann (5,67 x 10⁻⁸ W. m⁻². K⁻⁴); e
TRM = temperatura radiante média, K.

A temperatura radiante média (TRM, K) é a temperatura de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra, de modo a eliminar o efeito da reflexão, com o qual um corpo (globo negro) troca tanta energia quanto a do ambiente atual considerado (BOND e KELLY, 1955). A TRM pode ser expressa pela equação:

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

Onde: v = velocidade ar, m.s⁻¹;
Tgn = temperatura de globo negro, K; e
Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

2.4. Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas um esquema fatorial 2x4 (2 sistemas e 4 pontos de coleta de dados) e nas subparcelas o horário das observações, com delineamento em blocos casualizados e três repetições (21, 34 e 47 dias de vida das aves). Os dados foram interpretados estatisticamente, por meio de análises de variância e regressão.

As médias dos fatores qualitativos foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo, os modelos estatísticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de Student (“t”), a 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Índices térmicos ambientais

Os valores médios da temperatura do ar (TA), da umidade relativa do ar (UR), do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR), correspondentes aos sistemas, aos horários de observação e aos pontos de medição, é apresentados na Tabela 1A.

O resumo da análise de variância para os valores de TA, UR, ITGU e CTR, correspondentes aos sistemas, aos pontos de medição e aos horários de observação, está apresentado na Tabela 1.

3.2. Temperatura do ar (TA)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “horários” e “horários x sistemas”, a 1% de probabilidade, e “sistemas x pontos”, a 5% de

Tabela 1 - Resumo das análises de variância referentes ao efeito dos sistemas, dos pontos e dos horários de observação, em relação a temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica de radiação (CTR)

FV	GL	Quadrados Médios			
		TA	UR	ITGU	CTR
Blocos	2	6,8437	304,4733	57,4753	6170,4620
Sistemas (S)	1	6,2051 n.s.	6133,9160 **	1,0022 n.s.	6228,1380 **
Pontos (P)	3	34,8162 n.s.	214,1171 n.s.	1,7910 n.s.	1679,0360 **
S x P	3	44,1880 *	343,6022 n.s.	10,8735 n.s.	285,7471 n.s.
Erro (a)	14	14,8419	209,5394	6,2070	300,3477
Horários (H)	12	350,0270 **	1420,5250 **	503,6034 **	15453,1900
H x S	12	24,7780 **	505,1192 **	10,8058 **	**
H x P	36	4,0882 n.s.	39,6218 n.s.	3,2604 **	712,0272 **
H x S x P	36	4,1220 n.s.	50,2005 n.s.	3,6206 **	201,1067 n.s.
Erro (b)	192	3,0348	55,6578	1,8306	63,8388 n.s.
					192,2308
CV (%) parcela		15,66	26,64	3,51	3,91
CV (%) subparcela		7,08	13,73	1,91	3,13

* = F significativo a 5% de probabilidade; ** = F significativo a 1% de probabilidade; n. s. = F não-significativo a 5% de probabilidade.

probabilidade. Dessa forma, passou-se a estudar o desdobramento das interações separadamente. Os valores médios de TA em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 2.

Com base na Tabela 2, observa-se que houve diferença significativa às 8, 12, 14 e 16 horas, entre os sistemas. Às 8 horas, o SE apresentou temperatura do ar maior que o SV. Entretanto, nesse horário, os sistemas de semiclimatização não estavam funcionando.

Às 12, 14 e 16 horas, a temperatura do ar no SE foi inferior à temperatura do ar no SV, indicando maior eficiência daquele sistema. No entanto, observa-se que, nesses horários, a temperatura do ar no SV foi acima da considerada de

Tabela 2 - Valores médios de TA (°C) em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	S V	S E
00	22,0 a	21,7 a
02	22,0 a	22,1 a
04	20,8 a	21,8 a
06	19,4 a	20,8 a
08	20,7 b	23,2 a
10	27,9 a	28,9 a
12	30,8 a	28,0 b
14	32,1 a	28,3 b
16	31,6 a	27,4 b
18	26,6 a	26,9 a
20	24,9 a	24,8 a
22	22,9 a	23,7 a
24	19,6 a	20,0 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

conforto para frangos de corte a partir de 21 dias de vida, em torno de 26°C. Assim, pode-se inferir que, mesmo sendo o SE mais eficiente que o SV, ainda se encontra aquém da situação desejável de conforto térmico no interior de um aviário. Às 14 horas, ocorreu a máxima temperatura do ar no interior do aviário com o SV, que apresentou 3,8 °C acima da temperatura do ar no interior do SE.

Os valores de TA acima de 26°C, observados das 10 às 18 horas nos dois sistemas, estão enfatizados em cinza na Tabela 2. Considerando apenas a TA como determinante do conforto térmico, as aves estiveram em condições de estresse por calor das 10 às 18 horas, em ambos os sistemas, com mais gravidade no SV.

Com base na Tabela 2, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de TA correspondentes aos sistemas, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 3 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de TA em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 3 - Equações ajustadas para valores de TA ($^{\circ}\text{C}$) em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

	Equações da Regressão	R^2
SV	$\hat{Y} = 23,5860 - 3,3289 H + 0,7046 H^2 - 0,0404 H^3 + 0,0007 H^4$	0,85
SE	$\hat{Y} = 22,3020 - 1,3466 H + 0,3440 H^2 - 0,0202 H^3 + 0,0003 H^4$	0,86

Na Figura 1 é mostrada, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento da TA empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 3.

De acordo com a Figura 1, o SE proporcionou maior arrefecimento do ambiente interno do aviário, embora a temperatura entre 10 e 18 horas tenha sido acima daquela considerada confortável para frangos de corte a partir de 21 dias de vida. A amplitude térmica (diferença entre temperaturas máxima e mínima) foi de 12 e 8°C , no SV e SE, respectivamente.

Os valores médios de TA em função dos pontos de medição, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 4.

De acordo com a Tabela 4, houve diferença significativa entre os sistemas para os pontos 1 e 3, e entre os pontos 1 e 4 para o SE.

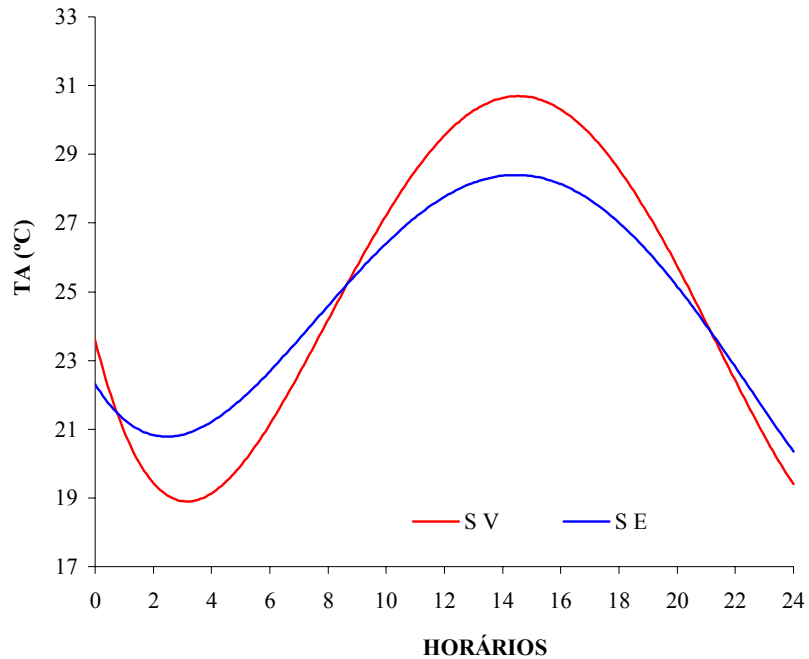


Figura 1 - Estimativa da temperatura do ar (TA, °C) em função dos horários de observação, para cada sistema.

Tabela 4 - Valores médios de TA (°C) em função dos pontos de medição, para cada sistema

Pontos	S V	S E
1	25,0 a A	22,6 b C
2	24,5 a A	24,3 a B
3	24,2 b A	25,2 a AB
4	25,2 a A	25,6 a A

As médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas e maiúsculas iguais nas colunas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 4, no ponto 1, houve diferença significativa entre os sistemas, o que pode ser explicado pelo fato de o SE apresentar placas

evaporativas no sentido do fluxo de entrada de ar na instalação, contribuindo para que a temperatura no ponto 1 fosse menor em relação aos outros pontos do mesmo sistema.

No ponto 3 houve diferença significativa entre os sistemas, com maior valor de TA no SE, devido ao seu maior afastamento da fonte de umidade, no caso, as placas evaporativas. O SV apresentou temperatura mais baixa no ponto 3, pois a fonte de umidade (nebulização interna) estava instalada ao longo do comprimento do galpão.

Não houve diferença significativa entre os pontos do SV. Entretanto, ocorreu redução da temperatura do ponto 1 ao 3, indicando o provável benefício da nebulização interna e das telhas de barro.

No SE, houve diferença significativa entre os pontos, com menor valor absoluto para o ponto 1, aumentando gradualmente no 2, 3 e 4, nessa ordem. Assim, à medida que os pontos se afastam da fonte de umidade - ou seja, as placas evaporativas - e se aproximam dos exaustores, observa-se aumento da temperatura, provavelmente pela mudança no ponto de estado do ar decorrente do aquecimento deste a partir da cobertura e de outros componentes, ao longo do galpão. Nesse caso, o acréscimo de nebulização interna, ao longo do galpão, talvez tornasse o sistema mais eficiente nos diversos pontos.

3.3. Umidade relativa do ar (UR)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “sistemas”, “horários” e “horários x sistemas”, a 1% de probabilidade. Os valores médios de UR em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 5.

De acordo com a Tabela 5, houve diferença significativa entre os sistemas às 0, 12, 14, 16, 18, 20 e 22 horas. Observa-se que, das 12 às 22 horas, o SE apresentou maiores valores de UR que o SV. Pode-se inferir que, embora tivesse

Tabela 5 - Valores médios de UR (%) em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	S V	S E
00	57,8 b	70,0 a
02	58,3 a	63,5 a
04	59,8 a	60,4 a
06	67,1 a	65,7 a
08	60,6 a	58,2 a
10	43,5 a	42,4 a
12	36,9 b	56,7 a
14	33,4 b	58,1 a
16	34,9 b	57,0 a
18	44,9 b	57,9 a
20	45,5 b	55,7 a
22	49,4 b	57,8 a
24	56,3 a	60,4 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

nebulização interna no SV, esta não foi tão eficiente quanto as placas evaporativas no SE. Talvez o fluxo de ar mais arrefecido tenha passado longe das aves, devido à grande altura das linhas de nebulização e do pé-direito, ao número reduzido de bicos e à baixa pressão destes.

A tendência natural da UR é decrescer até atingir seu mínimo, que se aproxima do horário de máxima temperatura do ar. Pode-se inferir que, nos horários mais quentes do dia (12 às 16 horas), os valores de UR foram muito baixos, com relação àqueles esperados para esses sistemas de arrefecimento de ambiente, ou seja, 80%. A UR média nesse período, no SV, foi de 35%, confirmando a ineficiência do conjunto, sendo possível acrescentar 45% de umidade no ambiente interno do aviário para seu bom desempenho, ao passo que a UR média no mesmo

período, no SE, ficou próxima de 57%, sendo possível acrescentar 23% de umidade no ambiente interno do aviário para seu bom desempenho.

De modo geral, os valores mais altos de UR ocorreram, nos dois sistemas, entre 0 e 8 horas, possivelmente acompanhando a UR do ambiente externo, uma vez que as cortinas dos dois galpões ficavam abertas durante toda noite.

Com base na Tabela 5, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de UR, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 6 apresenta as equações de regressão ajustadas para valores de UR em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 6 - Equações ajustadas para valores de UR (%) em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

	Equações da Regressão	R^2
SV	$\hat{Y} = 54,1570 + 7,8432 H - 1,6252 H^2 + 0,0915 H^3 - 0,0016 H^4$	0,83
SE	$\hat{Y} = 69,4280 - 1,9910 H - 0,0143 H^2 + 0,0091 H^3 - 0,0002 H^4$	0,49

A Figura 2 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento da UR empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 6.

De acordo com a Figura 2, o sistema 2 foi mais eficiente que o 1 em termos de arrefecimento do ambiente interno, embora tenha ainda potencial para atingir até 80% de UR, sem comprometer as condições de saúde das aves.

Tendo por base os dados de temperatura e umidade relativa reais, foi simulada uma condição de eficiência do sistema de resfriamento, com 80% de UR, às 14 horas, descrita na Tabela 7.

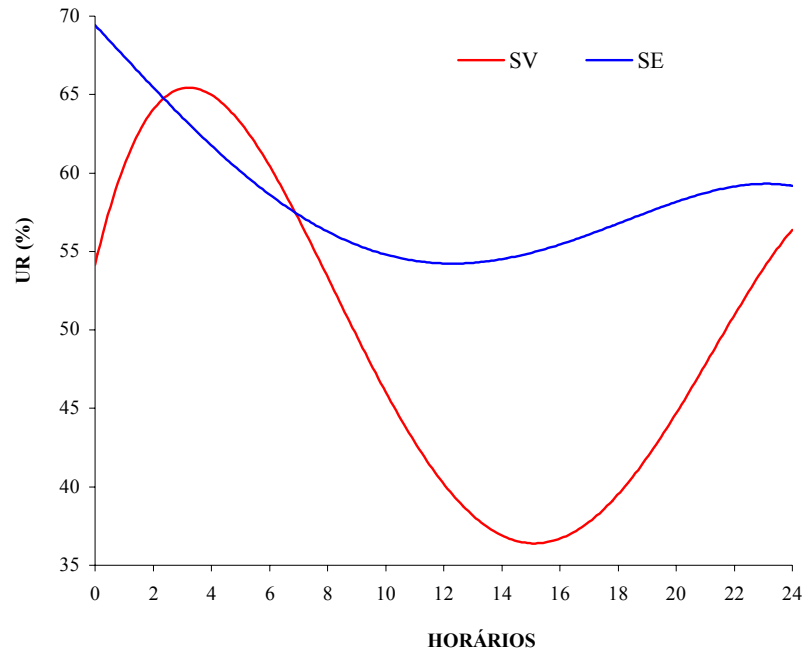


Figura 2 - Estimativa da umidade relativa do ar (UR, %) em função dos horários de observação, para cada sistema.

Tabela 7 - Valores reais e simulados de temperatura e umidade relativa, às 14 horas, nos dois sistemas

VALORES REAIS	
SV	SE
TA = 32,1 °C	TA = 28,3 °C
UR = 33,4 %	UR = 58,1 %
Tbu = 20,2 °C	Tbu = 22,0 °C
Entalpia = 57,2 KJ/Kg	Entalpia = 64,3 KJ/Kg
VALORES SIMULADOS	
UR = 80,0 %	UR = 80,0 %
TA = 22,7 °C	TA = 24,6 °C

De acordo com a Tabela 7, observa-se que, se os sistemas de resfriamento fossem mais eficientes, elevando a umidade relativa para em torno de 80% no interior do galpão, as temperaturas do ar seriam de 22,7 e 24,6 °C, para SV e SE, respectivamente. Nesse caso, a redução em termos de temperatura do ar no interior do galpão seria de 9,4 e 3,7 °C, para SV e SE, respectivamente. Estas reduções são muito significativas, principalmente para o SV, uma vez que as aves se beneficiam mais com as condições de ambiente com temperaturas mais amenas do que com a própria evaporação via latente (respiração/ofegação), em altas temperaturas do ar.

3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “horários”, “horários x sistemas”, “horários x pontos” e “horários x sistemas x pontos”, a 1% de probabilidade. Assim, passou-se a estudar o desdobramento da interação “horários x sistemas x pontos”.

Os valores médios de ITGU em função dos horários de observação, para cada ponto, em cada sistema, estão apresentados na Tabela 8. Os valores de ITGU acima de 76 estão enfatizados em cinza. Observa-se que não houve diferença significativa entre os pontos para o SV, em todos os horários estudados. Para o SE, houve diferença significativa entre os pontos às 12, 14 e 16 horas. Nesse caso, o ponto 1 apresentou os menores valores de ITGU, provavelmente devido à presença das placas evaporativas próximas a esse ponto. De modo geral, nesses horários, houve tendência de o ITGU em aumentar gradualmente do ponto 1 até o 3.

De acordo com a Tabela 8, nos horários mais quentes do dia (12 às 16 horas), no SE, houve tendência de os valores de ITGU acima de 76 se concentrarem próximos aos pontos 3 e 4. Pode-se inferir, neste caso, que a adição de nebulização interna ao longo do galpão poderia ser benéfica, visando propiciar conforto para as aves, traduzido pela redução do ITGU nesses locais.

Tabela 8 - Valores médios de ITGU em função dos pontos e horários, para cada sistema

Horários	S V				S E			
	P 1	P 2	P 3	P 4	P 1	P 2	P 3	P 4
00	69,0 a	67,7 a	67,2 a	68,6 a	68,3 a	68,6 a	68,7 a	68,2 a
02	68,0 a	67,9 a	67,5 a	67,8 a	67,7 a	67,6 a	67,5 a	67,2 a
04	67,1 a	66,3 a	66,0 a	66,0 a	66,6 a	66,3 a	66,2 a	66,1 a
06	64,8 a	65,4 a	65,1 a	65,1 a	66,5 a	65,7 a	65,1 a	65,3 a
08	66,3 a	66,7 a	67,1 a	67,2 a	69,1 a	68,4 a	68,0 a	67,9 a
10	74,3 a	74,1 a	74,8 a	75,5 a	75,1 a	74,9 a	74,7 a	74,4 a
12	78,2 a	76,9 a	77,6 a	77,6 a	72,6 b	75,3 b	78,9 a	78,5 a
14	79,6 a	78,6 a	78,5 a	79,0 a	73,5 c	76,4 bc	79,7 a	79,1 a
16	79,1 a	78,1 a	77,6 a	78,3 a	72,6 c	73,4 bc	77,1 a	76,5 a
18	73,7 a	72,7 a	72,2 a	72,7 a	72,3 a	74,5 a	75,0 a	74,4 a
20	70,7 a	70,9 a	69,6 a	71,0 a	71,3 a	71,3 a	70,9 a	71,4 a
22	69,1 a	68,9 a	68,1 a	68,7 a	70,7 a	70,5 a	68,6 a	68,2 a
24	66,3 a	65,4 a	64,0 a	65,9 a	66,5 a	65,8 a	64,1 a	66,4 a

As médias seguidas de letras minúsculas iguais nas linhas, dentro de cada sistema (S), não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

3.5. Carga térmica de radiação (CTR)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “sistemas”, “pontos”, “horários” e “horários x sistemas”, a 1% de probabilidade. Dessa forma, passou-se a estudar o desdobramento da interação.

Os valores médios de CTR em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 9. Observa-se que houve diferença significativa entre os sistemas às 14 e 16 horas. Nesses horários, os menores valores de CTR ocorreram no SE, embora o galpão com SV tivesse telhas de cerâmica, situação que não foi suficiente para reduzir satisfatoriamente a CTR,

Tabela 9 - Valores médios de CTR ($W.m^{-2}$) em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	S V	S E
00	430,1 a	425,1 a
02	428,5 a	424,1 a
04	419,2 a	412,2 a
06	409,8 a	410,2 a
08	427,5 a	428,4 a
10	467,2 a	443,6 a
12	483,6 a	473,5 a
14	497,7 a	479,4 b
16	491,1 a	454,7 b
18	455,0 a	451,0 a
20	445,9 a	442,0 a
22	435,8 a	432,0 a
24	419,5 a	418,3 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

aliado ao fato de a nebulização interna nesse sistema não ter sido eficiente, como demonstrado anteriormente.

Observa-se também que a CTR mínima ocorreu às 6 horas nos dois sistemas, seguindo a tendência natural da instalação em acompanhar o resfriamento do ambiente externo durante a madrugada.

Com base na Tabela 9, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de CTR correspondentes aos sistemas, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 10 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de CTR em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tabela 10 - Equações ajustadas para valores de CTR (W.m^{-2}) em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

	Equações da Regressão	R^2
SV	$\hat{Y} = 440,3100 - 23,3740 H + 5,0129 H^2 - 0,2958 H^3 + 0,0052 H^4$	0,85
SE	$\hat{Y} = 431,9900 - 17,1220 H + 3,6574 H^2 - 0,2142 H^3 + 0,0038 H^4$	0,85

Na Figura 3 é ilustrada a representação gráfica do comportamento da CTR, empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 10. De acordo com a Figura 3, o SE foi mais eficiente em reduzir a CTR no ambiente interno do aviário que o SV, em cerca de 4%, às 14 horas.

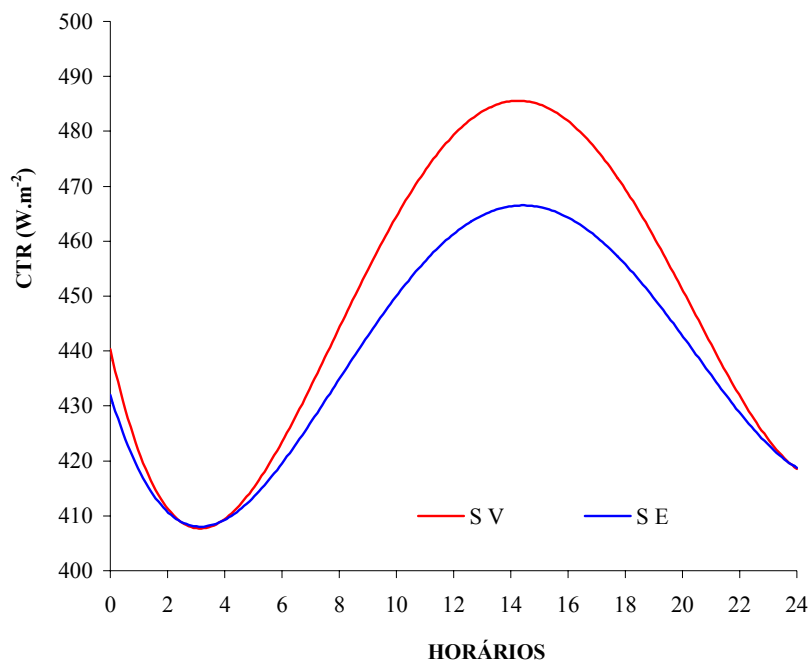


Figura 3 - Estimativa da carga térmica de radiação (CTR, W.m^{-2}) em função dos horários de observação, para cada sistema.

4. CONCLUSÕES

Nas condições de realização deste trabalho e pelos resultados obtidos, conclui-se que:

- Nas horas mais quentes do dia (12 às 16 horas), houve diferença significativa para TA entre os sistemas, com maiores valores no SV, embora ambos apresentassem condições ambientais características de estresse por calor, determinado pelo limite de 26 °C para frangos de corte.
- A UR, nos galpões com SV e SE estiveram em torno de 35 e 57%, respectivamente, abaixo do valor de 80%, esperado para galpões semiclimatizados com resfriamento evaporativo, entre 12 e 16 horas.
- Os frangos de corte, a partir de 21 dias de vida e nos horários mais quentes do dia (12 às 16 horas), estiveram em condições de estresse por calor, determinado por valores de ITGU acima de 76, ao longo de todo o galpão com SV e ao longo da metade do galpão com SE (oposta à placa evaporativa).
- De forma geral, os sistemas de semiclimatização estudados se mostraram ineficientes em propiciar conforto térmico para os frangos de corte.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOND, T. E., KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, 36(4): 251-255. 1955.
- BUFFINGTON, C. S., COLLAZO-AROCHO, A., CANTON, G. H., PITT, D., THATCHER, W. W., COLLIER, R. J. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, 24(3):711-714, 1981.
- CANEVER, M. D., CHIUCHETTA, O., SANTOS FILHO, J. I., TALAMINI, D.J.D. O custo dos avanços. **Avicultura Industrial**, 1059:28-32, 1998.
- ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2 ed. Westport: AVI Publishing Company, 1974. 325p.

MIDWEST PLAN SERVICE. **Mechanical ventilating systems for livestock housing**. Ames, Iowa: Iowa State University, 1990. 72 p.

UBA - União Brasileira de Avicultura. <http://www.uba.org.br> 10.02.2003.

WIERSMA, F.; SHORT, T. H. Evaporative cooling. In: HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. (Ed.) **Ventilation of Agricultural Structures**, 2.ed. St. Joseph, Michigan: *ASAE*, 1983. p. 103-118.

6. APÊNDICE



Figura 1A – Vista da área experimental.



Figura 2A – Vista da entrada de ar no tratamento SV.



Figura 3A – Vista do tratamento SV.



Figura 4A – Vista das placas evaporativas no tratamento SE.



Figura 5A – Vista dos exaustores no tratamento SE.

Tabela 1A - Valores médios da temperatura do ar (TA), da umidade relativa do ar (UR), do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR), correspondentes aos sistemas, aos horários de observação e aos pontos de medição.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SV	0	1	23.0	56.8	69.0	431.7
SV	0	2	21.0	61.7	67.8	430.7
SV	0	3	21.2	55.1	67.2	429.2
SV	0	4	23.0	58.0	68.6	428.8
SV	2	1	23.0	60.1	68.8	426.0
SV	2	2	21.8	56.8	67.9	429.3
SV	2	3	20.8	59.2	67.5	431.3
SV	2	4	22.5	57.1	67.8	427.4
SV	4	1	21.7	61.2	67.1	418.9
SV	4	2	20.3	58.7	66.3	419.5
SV	4	3	19.8	61.8	66.0	419.7
SV	4	4	21.3	57.9	66.0	418.8
SV	6	1	20.0	68.8	64.9	401.4
SV	6	2	19.2	67.2	65.4	414.9
SV	6	3	18.5	67.8	65.1	414.0
SV	6	4	20.0	64.6	65.1	408.8
SV	8	1	20.0	66.8	66.4	430.4
SV	8	2	20.2	62.3	66.7	425.0
SV	8	3	20.5	58.0	67.1	430.3
SV	8	4	22.3	55.4	67.2	424.2
SV	10	1	27.2	42.7	74.3	475.6
SV	10	2	27.3	46.0	74.1	463.2
SV	10	3	28.0	41.0	74.8	476.0
SV	10	4	29.2	44.3	75.5	454.0
SV	12	1	30.8	35.7	78.2	498.3
SV	12	2	30.7	35.6	76.9	477.1
SV	12	3	30.3	37.0	77.6	497.1
SV	12	4	31.3	39.4	77.6	462.0
SV	14	1	32.5	31.2	79.7	514.6
SV	14	2	31.8	33.2	78.6	498.1

Tabela 1A, Cont.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SV	14	3	32.0	31.3	78.5	499.5
SV	14	4	32.2	38.1	79.0	478.9
SV	16	1	32.5	31.3	79.1	504.0
SV	16	2	31.3	36.1	78.1	487.8
SV	16	3	31.2	32.5	77.6	494.9
SV	16	4	31.5	39.7	78.3	477.9
SV	18	1	26.3	48.6	73.7	461.4
SV	18	2	27.2	41.5	72.7	455.4
SV	18	3	26.3	41.4	72.2	456.1
SV	18	4	26.8	48.1	72.7	447.1
SV	20	1	24.7	46.9	70.7	445.3
SV	20	2	25.5	44.9	70.9	447.1
SV	20	3	24.5	40.6	69.6	445.1
SV	20	4	24.8	49.8	71.1	446.1
SV	22	1	23.5	46.5	69.1	437.7
SV	22	2	23.3	48.3	68.9	436.2
SV	22	3	22.3	47.3	68.1	436.3
SV	22	4	22.5	55.5	68.7	433.3
SV	24	1	20.0	55.0	66.3	424.5
SV	24	2	19.5	57.9	65.4	418.7
SV	24	3	19.0	50.6	64.0	415.9
SV	24	4	20.0	61.8	65.9	418.7
SE	0	1	21.3	68.5	68.3	426.4
SE	0	2	21.7	71.1	68.6	426.4
SE	0	3	22.2	72.7	68.7	423.9
SE	0	4	21.8	67.8	68.2	423.8
SE	2	1	20.8	65.9	67.7	427.4
SE	2	2	22.7	62.0	67.6	425.6
SE	2	3	22.3	64.8	67.5	421.6
SE	2	4	22.5	61.4	67.2	421.6
SE	4	1	20.5	63.6	66.6	413.9
SE	4	2	22.3	58.1	66.3	413.2

Tabela 1A, Cont.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SE	4	3	22.0	61.3	66.2	410.9
SE	4	4	22.3	58.7	66.1	410.9
SE	6	1	19.8	71.3	66.5	414.1
SE	6	2	21.3	65.0	65.8	411.0
SE	6	3	21.0	64.0	65.1	406.2
SE	6	4	21.2	62.7	65.3	409.7
SE	8	1	21.8	62.3	69.1	433.2
SE	8	2	23.7	56.6	68.4	428.4
SE	8	3	23.5	57.2	67.9	425.5
SE	8	4	23.7	56.9	68.0	426.4
SE	10	1	27.7	44.1	75.1	472.3
SE	10	2	29.5	43.2	74.9	426.8
SE	10	3	29.2	43.8	74.7	441.5
SE	10	4	29.5	38.7	74.4	434.0
SE	12	1	22.8	68.9	72.6	478.1
SE	12	2	26.2	61.4	75.3	481.5
SE	12	3	31.2	52.2	78.9	474.0
SE	12	4	32.0	44.2	78.5	460.3
SE	14	1	22.8	70.9	73.5	494.4
SE	14	2	27.5	60.4	76.4	475.6
SE	14	3	31.2	54.7	79.7	477.0
SE	14	4	31.8	46.5	79.1	470.4
SE	16	1	24.2	60.9	72.6	467.7
SE	16	2	26.0	61.4	73.4	445.5
SE	16	3	29.3	57.8	77.1	456.5
SE	16	4	30.2	48.0	76.4	449.2
SE	18	1	24.0	65.0	72.3	454.7
SE	18	2	27.0	57.2	74.5	457.5
SE	18	3	28.0	59.1	75.0	448.5
SE	18	4	28.8	50.3	74.4	443.5
SE	20	1	24.5	53.8	71.3	446.9
SE	20	2	24.8	56.2	71.3	442.1

Tabela 1A, Cont.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SE	20	3	25.2	55.1	70.9	437.7
SE	20	4	24.8	57.8	71.4	442.7
SE	22	1	23.3	61.9	70.7	440.2
SE	22	2	23.8	61.6	70.5	435.2
SE	22	3	23.5	59.1	68.6	422.3
SE	22	4	24.3	48.6	68.2	430.3
SE	24	1	20.2	59.7	66.5	422.6
SE	24	2	20.0	60.6	65.8	418.7
SE	24	3	19.3	55.5	64.1	413.1
SE	24	4	20.5	65.6	66.4	418.7

EFEITO DO SISTEMA DE NEBULIZAÇÃO INTERNA, EM GALPÕES SEMICLIMATIZADOS PARA FRANGOS DE CORTE COM PRESSÃO NEGATIVA E PLACAS EVAPORATIVAS

1. INTRODUÇÃO

Para acompanhar a rápida ascensão da avicultura no País, o setor passou por algumas transformações, como a implantação de regras de biossegurança, a adequação das instalações e dos equipamentos e as constantes modificações das técnicas de manejo. Como resultado, o sistema de integração de frangos de corte, a avançada tecnologia implantada e a alta qualidade dos produtos derivados dessas aves fizeram com que esse segmento da agroindústria brasileira tivesse excelente participação no cenário mundial.

Em meados dos anos 90, iniciou-se o processo de importação de projetos de galpões para frangos de corte com exaustores, pressão negativa e placas evaporativas, denominados “galpões climatizados”. Estes apresentavam o dobro do custo de um galpão simples e recomendação de criação de 20 a 24 aves/m², o dobro da densidade de alojamento que vinha sendo utilizada. No contexto deste trabalho, será utilizado o termo “galpão semiclimatizado”, que melhor descreve essas instalações, pois existem apenas dispositivos para ligar ou desligar os sistemas.

No sistema de ventilação com pressão negativa ocorre a sucção do ar em uma das extremidades do galpão, criando um vácuo parcial ao longo deste. A diferença de pressão succiona o ar externo por uma extremidade com movimentação deste ao longo de seu comprimento; por isso, é também denominado “túnel de vento” (MIDWEST PLAN SERVICE, 1990). Este sistema de ventilação é mais comum quando se dispõe de controle de ambiente, no caso de galpões semiclimatizados. Normalmente utiliza exaustores com 600 m³/min de vazão e pode estar associado a placas evaporativas em

extremidade oposta ou sistema de nebulização interna, constituindo galpões semiclimatizados. Nesse caso, geralmente, o sistema possui controle automático para ligar e desligar os exaustores, a água nas placas evaporativas e o sistema de nebulização interna, além da movimentação das cortinas.

De acordo com WHITAKER (1979), a eficiência do resfriamento evaporativo depende da diferença entre as temperaturas de bulbo seco e úmido (depressão psicrométrica), típica da região. Apesar do maior benefício em climas quentes e secos, observa-se que no ciclo diurno das regiões úmidas a maior temperatura do ar relaciona-se a uma menor umidade relativa, possibilitando a utilização desse sistema nas horas de maior possibilidade de estresse calórico para os animais, ou seja, naquelas horas com temperaturas mais altas.

No Estado de Goiás, a avicultura de corte se desenvolveu consideravelmente nos últimos anos, por ser uma região produtora de milho e soja, o que contribui para a redução do custo em transporte de grãos. Nessa região, os sistemas de resfriamento utilizados nas instalações para frangos de corte apresentaram alguns problemas em seu desempenho, carecendo de maiores investigações.

Considerando a importância do conforto térmico ambiental na criação de aves, este trabalho teve por objetivo estudar o efeito do sistema de nebulização interna em galpões para frangos de corte semiclimatizados com pressão negativa e placas evaporativas, no sudoeste de Goiás.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A parte experimental desta pesquisa foi desenvolvida em dois galpões comerciais para frangos de corte, situados no município de Jataí, no sudoeste de Goiás, em condições de altas temperaturas do ar, nos meses de agosto a

dezembro de 1999. As características arquitetônicas das instalações, bem como o sistema de nebulização, são descritos a seguir.

2.1. Características arquitetônicas dos galpões

Os dois galpões possuíam as mesmas características arquitetônicas, com 125 m de comprimento, 12 m de largura, 2,8 m de pé-direito, orientação leste-oeste, cobertura de alumínio, 30 cm de beiral, estrutura metálica, telhado em duas águas com 14° de inclinação, piso interior em terra batida e muretas de proteção com 30 cm de altura. Da mureta ao teto, o galpão era fechado nas faces norte e sul por telas de arame com malha de 2,5 cm, com vedação feita por cortinas de polietileno, acionamento automático e fechamento de baixo para cima. A face leste (oitão) era constituída pelos exaustores e fechamento em alumínio, com um portão no centro. O oitão oeste era em alumínio, com um portão no centro, e em suas laterais estavam montadas as placas evaporativas.

2.2. Caracterização dos sistemas de semiclimatização de ambiente

A diferença entre os tratamentos consistiu na presença de nebulização interna em um dos galpões, como descrito a seguir.

- a) SEP – sistema de pressão negativa, com nove exaustores localizados no oitão leste e nas laterais, e entrada de ar através das placas evaporativas nas laterais do oitão oeste. Cada exaustor tinha três pás, vazão de $600 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ e 1,2 m de diâmetro; seis deles estavam dispostos lado a lado no oitão leste, a 60 cm do piso, dois deles na lateral sul próximo ao oitão leste e um na lateral norte, também próximo ao oitão leste. A entrada de ar através das placas tinha 12,0 m de largura e 2,0 m de altura, totalizando 48 m^2 para entrada de ar no galpão (Figura 1A).

b) SENP – idêntico ao SEP, com nebulização interna. O sistema de nebulização interna era composto por nove linhas transversais ao comprimento do galpão, montadas a 3,0 m das laterais norte e sul e de 20,0 m do oitão oeste a 25,0 m do oitão leste, com 10,0 m entre as linhas. Os bicos de nebulização tinham pressão, para saída da água, de 100 psi (7 kgf.cm⁻²), considerada baixa, e cada bico foi montado com espaçamento de 1,5 m, sendo quatro bicos em cada linha transversal, totalizando 36 bicos no galpão. (Figura 2A)

2.3. Coleta de dados ambientais para caracterização termoigrométrica

A fase experimental de campo foi realizada de agosto a dezembro de 1999, com frangos de corte criados com densidade de 18 aves/m², e compreendeu o período crítico de estresse por calor, ou seja, de 21 a 48 dias de vida das aves.

As variáveis temperatura de bulbo seco, de bulbo úmido e de globo negro e velocidade do ar foram registradas no interior dos dois galpões, aos 21, 30, 39 e 48 dias de vida das aves; o intervalo das leituras foi de duas horas, totalizando 13 observações em cada ciclo diário completo (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22 e 24 horas).

Cada galpão foi dividido em cinco áreas geométricas com dimensões similares e no centro de cada área foram instalados um termômetro de globo negro e um higrômetro, ambos constituídos de termômetros de vidro e coluna de mercúrio com resolução de 0,5 °C, na altura correspondente ao centro de massa das aves. A velocidade do ar foi determinada por meio de um anemômetro digital, de hélices, com resolução de 0,1 m.s⁻¹, nas proximidades de cada globo negro.

2.4. Determinação dos índices de conforto térmico

Com a finalidade de caracterizar o nível de conforto térmico ambiental, foi utilizado o Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), adimensional, de acordo com a equação apresentada a seguir, proposta por BUFFINGTON et al. (1981).

$$ITGU = tgn + 0,36.tpo + 41,5$$

Onde: tgn = temperatura de globo negro, °C; e
tpo = temperatura de ponto de orvalho, °C.

Para caracterizar a carga térmica radiante da instalação que é irradiada sobre as aves, foi calculada a Carga Térmica de Radiação (CTR, W.m⁻²), conforme equação proposta por ESMAY (1974):

$$CTR = \sigma(TRM)^4$$

Onde: σ = constante de Stefan-Boltzmann (5,67 x 10⁻⁸ W. m⁻². K⁻⁴); e
TRM = temperatura radiante média, K.

A temperatura radiante média (TRM, K) é a temperatura de uma circunvizinhança, considerada uniformemente negra, de modo a eliminar o efeito de reflexão, com o qual um corpo (globo negro) troca tanta energia quanto a do ambiente atual considerado (BOND e KELLY, 1955). A TRM pode ser expressa pela equação:

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

Onde: v = velocidade ar, m.s⁻¹;
Tgn = temperatura de globo negro, K; e
Tbs = temperatura de bulbo seco, K.

2.5. Delineamento experimental

Os tratamentos foram dispostos em esquema de parcelas subdivididas, tendo nas parcelas um esquema fatorial 2x5 (dois sistemas de semiclimatização e cinco pontos de coleta de dados) e nas subparcelas o horário das observações, com delineamento em blocos casualizados e quatro repetições (21, 30, 39 e 48 dias de vida das aves). Os dados foram interpretados estatisticamente, por meio de análises de variância e regressão.

As médias dos fatores qualitativos foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Para o fator quantitativo, os modelos estatísticos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de Student (“t”) a 5% de probabilidade, e no coeficiente de determinação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Índices térmicos ambientais

Os valores médios da temperatura do ar (TA), da umidade relativa do ar (UR), do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR), correspondentes aos sistemas, aos horários de observação e aos pontos de medição, estão apresentados na Tabela 1A.

O resumo da análise de variância para os valores de TA, UR, ITGU e CTR, correspondentes aos sistemas, aos pontos de medição e aos horários de observação, está apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo das análises de variância referentes ao efeito dos sistemas, dos pontos e dos horários de observação, em relação a temperatura do ar (TA), umidade relativa (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e carga térmica de radiação (CTR)

FV	GL	Quadrados Médios			
		TA	UR	ITGU	CTR
Blocos	3	99,1166	1604,7580	215,6256	3037,4010
Sistemas (S)	1	14,5577 **	1372,0550 **	6,0443 n.s.	2330,3480 **
Pontos (P)	4	21,4875 **	374,9110 **	79,3348 *	4922,9820 *
S x P	4	1,4379 n.s.	411,7029 **	5,0209 n.s.	352,4190 n.s.
Erro (a)	27	3,9948	84,3638	5,3534	244,1440
Horários (H)	12	247,5881 *	473,5006 *	337,8306 *	10795,2200 *
H x S	12	10,3786 *	127,0136 **	9,1517 **	342,3283 **
H x P	48	1,8945 n.s.	16,5862 n.s.	4,4612 **	380,2122 *
H x S x P	48	1,3403 n.s.	24,2056 n.s.	1,0379 n.s.	81,9610 n.s.
Erro (b)	360	1,9629	40,9974	2,8071	129,8965
CV (%) parcela		8,06	18,77	3,23	3,43
CV (%) subparcela		5,65	13,08	2,34	2,50

* - F Significativo a 5% de probabilidade; ** - F Significativo a 1% de probabilidade; n. s. - F Não-significativo a 5% de probabilidade.

3.2. Temperatura do ar (TA)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “horários” e “horários x sistemas”, a 5% de probabilidade, e “sistemas” e “pontos”, a 1% de probabilidade. Objetivando confrontar os efeitos dos sistemas sobre a temperatura ambiente, passou-se a estudar o desdobramento da interação “horários x sistemas”. Os valores médios de TA em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores médios de TA (°C), em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	SENP	SEP
00	23,4 a	23,9 a
02	22,5 a	22,6 a
04	22,1 a	21,1 b
06	21,9 a	20,4 b
08	22,5 b	23,5 a
10	25,5 b	28,3 a
12	28,1 a	28,0 a
14	28,2 a	28,2 a
16	28,0 a	27,9 a
18	25,8 a	26,0 a
20	24,9 a	25,5 a
22	24,4 a	25,1 a
24	22,5 b	23,5 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Com base na Tabela 2, observa-se que houve diferença significativa às 4, 6, 8, 10 e 24 horas entre os sistemas de semiclimatização. Os valores de TA acima de 26°C, condição considerada desconfortável, estão enfatizados em cinza na Tabela 2. Observa-se que, às 10 horas, o SENP apresentou valor de TA estatisticamente diferente do SEP, com menor temperatura do ar,

devido, provavelmente, ao início do processo de evaporação de água pelo sistema de nebulização interna neste tratamento e horário.

Pode-se verificar, nas horas mais quentes do dia (12 às 16 horas), que os sistemas não apresentaram diferença significativa, apesar de a TA ter sido superior ao limite considerado de conforto para frangos acima de 21 dias de vida. Assim, pode-se inferir que os sistemas estudados não foram eficientes em propiciar conforto térmico às aves, nesses horários.

Com base na Tabela 2, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de TA correspondentes aos sistemas, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 3 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de TA, para cada sistema.

Tabela 3 - Equações ajustadas para valores de TA (°C) em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R²)

	Equações da Regressão	R²
SENP	$\hat{Y} = 23,9920 - 1,8863 H + 0,3900 H^2 - 0,0223 H^3 + 0,0004 H^4$	0,88
SEP	$\hat{Y} = 24,4780 - 2,5748 H + 0,5379 H^2 - 0,0321 H^3 + 0,0006 H^4$	0,86

A Figura 1 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento da TA empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 3. Da mesma forma, considerando-se 26°C como limite, pode-se observar que as aves estiveram sob estresse térmico das 9 às 19 horas, podendo-se inferir

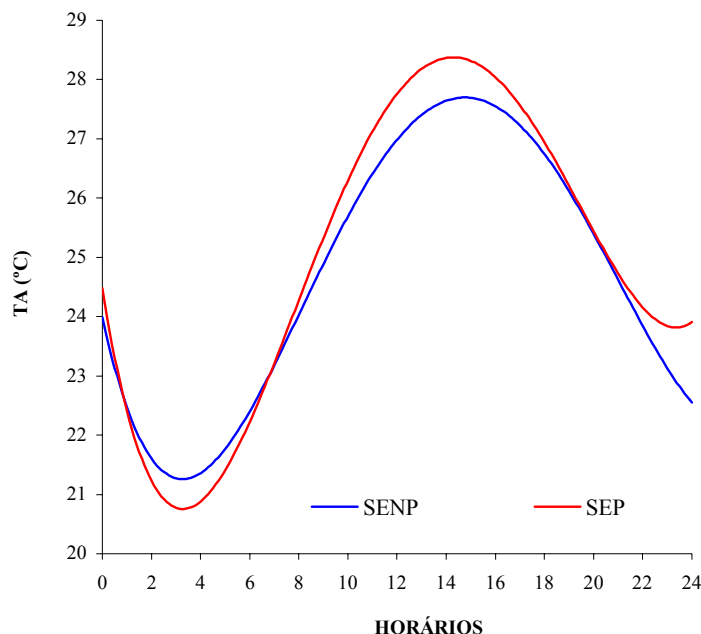


Figura 1 - Estimativa da temperatura do ar (TA, °C) em função dos horários de observação, para cada sistema.

que os sistemas de resfriamento são ineficientes em sua função de acondicionamento térmico. Além dos comentários feitos anteriormente, a figura mostra que a amplitude térmica - diferença entre a menor e maior temperatura - foi maior no tratamento SENP e menor no SEP. Para a criação de animais, uma menor amplitude é mais desejável.

3.3. Umidade relativa do ar (UR)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “sistemas”, “pontos”, “sistemas x pontos” e “horários x sistemas”, a 1% de probabilidade, e “horários”, a 5% de probabilidade. Objetivando confrontar os efeitos dos sistemas sobre a temperatura ambiente, passou-se a estudar o desdobramento da interação “horários x sistemas”. Os valores médios de UR em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores médios de UR (%) em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	SENP	SEP
00	52,9 a	48,4 b
02	56,0 a	50,8 b
04	57,6 a	53,4 b
06	53,3 a	54,6 a
08	47,3 a	44,7 a
10	50,4 a	41,5 b
12	45,4 a	46,3 a
14	45,7 a	47,3 a
16	46,4 a	45,3 a
18	47,7 a	47,5 a
20	52,3 a	44,3 b
22	49,5 a	43,9 b
24	52,8 a	46,5 b

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 4, houve diferença significativa entre os sistemas às 0, 2, 4, 10, 20, 22 e 24 horas. Considerando que a nebulização do SEP esteve em funcionamento das 10 às 16 horas, observa-se que apenas às 10 horas o SENP apresentou maior valor de umidade relativa que o SEP. Entretanto, os valores de umidade relativa foram muito baixos, com relação àqueles esperados para esses sistemas de arrefecimento de ambiente, ou seja, 80%.

Tendo por base os dados de TA e UR reais, caso fosse melhorada a eficiência do sistema de resfriamento, passando a UR para 80%, às 14 horas, a temperatura ambiente, para os dois tratamentos, seria reduzida em 6°C, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores reais e simulados de temperatura e umidade relativa, às 14 horas, nos dois sistemas

VALORES REAIS	
SENP	SEP
TA = 28,2 °C	TA = 28,2 °C
UR = 45,7 %	UR = 47,3 %
Tbu = 19,7 °C	Tbu = 20,0 °C
Entalpia = 56,2 KJ/Kg	Entalpia = 57,2 KJ/Kg
VALORES SIMULADOS	
UR = 80,0 %	UR = 80,0 %
TA = 22,1 °C	TA = 22,4 °C

Isso mostra que ambos os sistemas estavam trabalhando muito aquém de suas potencialidades, não justificando inclusive o funcionamento adicional da nebulização no tratamento SENP.

Pelas observações de campo, isso provavelmente ocorreu devido a molhamento insuficiente, área insuficiente, deterioração e exposição ao sol das placas evaporativas, número reduzido de bicos nebulizadores, linhas de nebulização muito altas, e grande volume de ar a ser resfriado.

Com base na Tabela 4, foram ajustadas equações de regressão, em função das observações horárias, a partir da média dos valores de UR, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 6 apresenta as equações de regressão ajustadas para valores de UR, em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2).

A Figura 2 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento da UR empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 6.

Tabela 6 - Equações ajustadas para valores de UR, em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

	Equações da Regressão	R^2
SENP	$\hat{Y} = 53,1540 + 2,7156 H - 0,6686 H^2 + 0,0424 H^3 - 0,0008 H^4$	0,83
SEP	$\hat{Y} = 48,7450 + 2,4002 H - 0,5277 H^2 + 0,0328 H^3 - 0,0006 H^4$	0,50

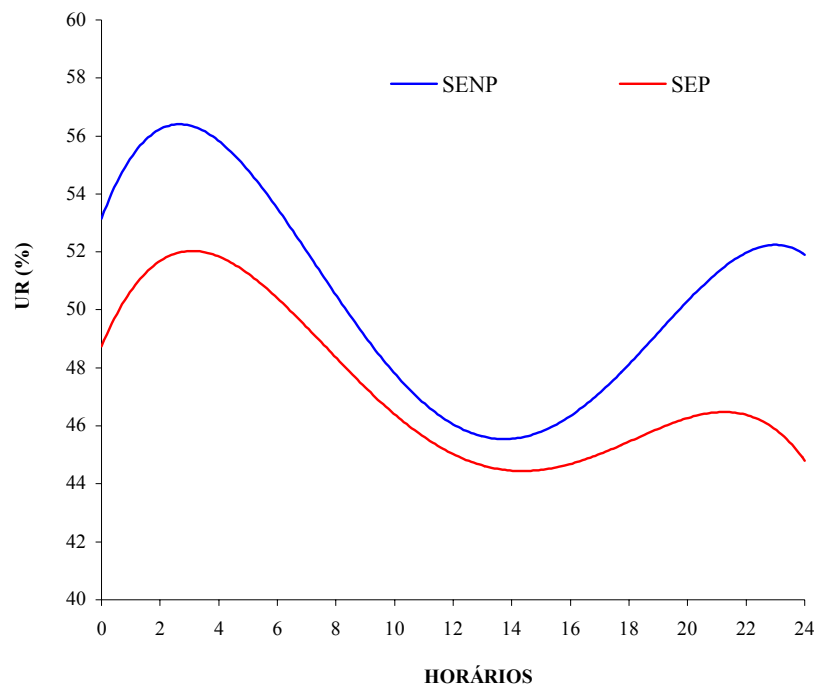


Figura 2 - Estimativa da umidade relativa (UR, %), em função dos horários de observação, para cada sistema.

De acordo com a Figura 2, o tratamento SENP foi ligeiramente mais eficiente que o SEP em termos de arrefecimento do ambiente interno, embora ambos tenham grande potencial para redução da temperatura interna, caso a UR atinja 80%.

3.4. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “horários x sistemas” e “horários x pontos”, a 1% de probabilidade, e “pontos” e “horários”, a 5% de probabilidade. Dessa forma, passou-se a estudar o desdobramento das interações “horários x sistemas” e “horários x pontos” separadamente.

Os valores médios de ITGU correspondentes aos pontos, em função dos horários de observação, estão apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Valores médios de ITGU correspondentes aos pontos, em função dos horários de observação

Horários	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
00	70,8 a	69,6 a	70,5 a	69,8 a	70,1 a
02	69,3 a	68,7 a	70,5 a	68,9 a	68,7 a
04	67,5 a	67,9 a	69,9 a	67,9 a	68,1 a
06	66,9 a	67,1 a	68,5 a	67,2 a	67,5 a
08	68,8 ab	68,0 b	70,4 a	68,6 ab	68,4 ab
10	72,1 b	72,8 ab	74,8 a	74,6 a	74,6 a
12	73,0 c	74,5 bc	77,2 a	76,0 ab	76,3 ab
14	73,2 c	74,7 bc	77,7 a	76,9 ab	77,1 a
16	73,3 b	74,9 ab	77,0 a	75,9 ab	76,0 a
18	71,2 b	72,2 b	74,8 a	73,3 b	72,6 ab
20	72,1 a	71,0 a	72,7 a	71,9 a	72,2 a
22	71,6 a	70,2 a	72,4 a	70,8 a	71,4 a
24	70,0 ab	69,0 ab	71,4 a	69,0 b	69,5 ab

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 7, houve diferença significativa entre os pontos, das 8 às 18 horas e às 24 horas. De modo geral, nos horários mais quentes do dia

(12 às 16 horas) houve tendência de os menores valores absolutos de ITGU ocorrerem no ponto 1 e os maiores, no ponto 3. Esse fato, provavelmente, decorre do aumento da entalpia do ar ao longo do galpão, devido ao calor e à umidade liberados pelas aves e advindos do sistema, da cobertura e da vizinhança.

Com base na Tabela 7, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de ITGU correspondentes aos pontos, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 8 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de ITGU, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), em cada ponto.

Tabela 8 - Equações ajustadas para valores de ITGU em função dos horários de observação, para cada ponto, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Pontos	Equações da Regressão	R^2
1	$\hat{Y} = 71,2960 - 2,3345 H + 0,4281 H^2 - 0,0238 H^3 + 0,0004 H^4$	0,85
2	$\hat{Y} = 70,4680 - 2,4776 H + 0,5055 H^2 - 0,0293 H^3 + 0,0005 H^4$	0,86
3	$\hat{Y} = 71,6210 - 2,3919 H + 0,5251 H^2 - 0,0313 H^3 + 0,0006 H^4$	0,85
4	$\hat{Y} = 70,7870 - 2,8626 H + 0,6051 H^2 - 0,0356 H^3 + 0,0006 H^4$	0,88
5	$\hat{Y} = 70,9800 - 2,9493 H + 0,6232 H^2 - 0,0370 H^3 + 0,0007 H^4$	0,85

A Figura 3 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento do ITGU empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 8.

De acordo com a Figura 3, nos horários mais quentes do dia (12 às 16 horas) o ITGU, nos diversos pontos, esteve próximo ao limite considerado de conforto, ou seja, 76. Observa-se que o ITGU aumentou do ponto 1 até o 3 (centro do galpão) e

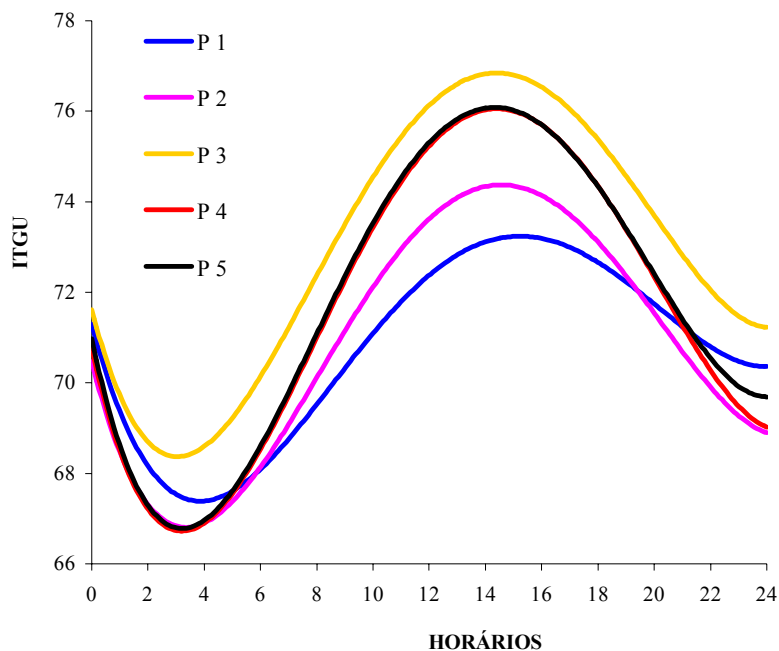


Figura 3 - Estimativa do ITGU em função dos horários de observação, para cada ponto.

reduziu a valores idênticos nos pontos 4 e 5. Não considerando os valores do ponto 3, os resultados corroboram a expectativa, ou seja, valores crescentes do início ao fim do galpão. Contudo, o maior valor sendo observado no centro do galpão, em princípio, foge à explicação no escopo deste trabalho.

Os valores médios de ITGU em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 9.

De acordo com a Tabela 9, houve diferença significativa entre os sistemas às 4, 6 e 10 horas, horários não muito importantes com relação ao estresse por calor. Não foram observados valores de ITGU acima de 76, indicando que as aves estiveram em situação de conforto térmico nos dois sistemas estudados.

Com base na Tabela 9, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de ITGU correspondentes aos sistemas, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 10

Tabela 9 - Valores médios de ITGU em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	SENP	SEP
00	70,1 a	70,2 a
02	69,5 a	69,0 a
04	69,2 a	67,3 b
06	68,1 a	66,7 b
08	68,5 a	69,2 a
10	72,9 b	74,6 a
12	75,4 a	75,4 a
14	76,0 a	75,7 a
16	75,8 a	75,1 a
18	72,7 a	72,9 a
20	72,4 a	71,6 a
22	71,5 a	71,0 a
24	69,4 a	70,1 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Tabela 10 - Equações ajustadas para valores de ITGU em função dos horários de observação, para cada sistema, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

	Equações da Regressão	R^2
SENP	$\hat{Y} = 70,9680 - 2,1272 H + 0,4310 H^2 - 0,0241 H^3 + 0,0004 H^4$	0,83
SEP	$\hat{Y} = 71,0920 - 3,0667 H + 0,6394 H^2 - 0,0383 H^3 + 0,0007 H^4$	0,88

apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de ITGU, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), para cada sistema.

A Figura 4 mostra, a título de ilustração, a representação gráfica do comportamento do ITGU empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 10.

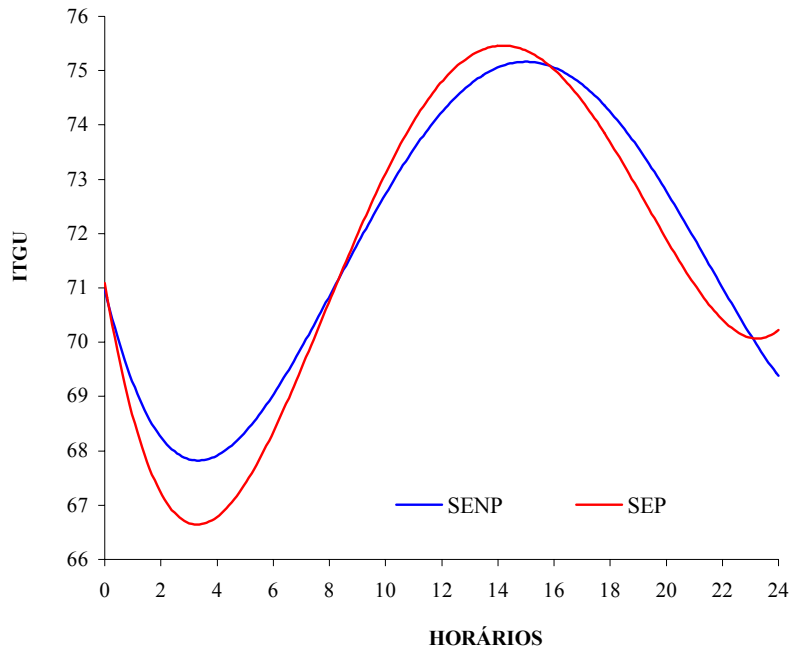


Figura 4 - Estimativa do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) em função dos horários de observação, para cada sistema.

De acordo com a Figura 4, observa-se uma tendência de valores próximos, com relação às condições térmicas ambientais, para os dois tratamentos. Nesse caso, pode-se inferir que o sistema de nebulização interna do tratamento SENP não foi tão eficiente quanto poderia, pois os valores de ITGU, determinantes de conforto térmico para as aves, estiveram muito próximos nos dois sistemas estudados.

3.5. Carga térmica de radiação (CTR)

De acordo com a Tabela 1, houve diferença significativa para “sistemas” e “horários x sistemas”, a 1% de probabilidade, e “pontos”, “horários” e “horários x pontos”, a 5% de probabilidade. Dessa forma, passou-se a estudar o desdobramento das interações “horários x pontos” e “horários x sistemas” separadamente.

Os valores médios de CTR correspondentes aos pontos, em função dos horários de observação, estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 - Valores médios de CTR ($W.m^{-2}$) correspondentes aos pontos, em função dos horários de observação

Horários	P 1	P 2	P 3	P 4	P 5
00	445,6 a	441,3 a	449,1 a	442,0 a	443,2 a
02	446,4 a	436,8 a	446,6 a	438,9 a	439,6 a
04	433,3 a	434,7 a	445,5 a	435,7 a	436,5 a
06	433,9 a	433,8 a	437,8 a	430,8 a	435,3 a
08	443,0 a	437,4 a	452,8 a	439,8 a	441,4 a
10	449,5 b	452,2 b	481,5 a	477,7 a	474,2 a
12	463,3 b	457,1 b	493,6 a	485,9 a	482,9 a
14	460,7 b	466,0 b	493,7 a	491,4 a	494,9 a
16	463,8 c	469,9 bc	482,5 ab	486,9 a	490,4 a
18	454,2 b	452,5 b	478,8 a	467,6 ab	464,7 ab
20	456,1 a	446,3 a	462,0 a	451,5 a	453,4 a
22	450,8 a	445,5 a	461,3 a	446,6 a	452,8 a
24	444,5 a	442,2 a	454,0 a	439,4 a	444,4 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

De acordo com a Tabela 11, houve diferença significativa entre os pontos às 10, 12, 14, 16 e 18 horas, com tendência de os menores valores absolutos de CTR ocorrerem no ponto 1, nesses horários. Nesse ponto, os menores valores de CTR nas horas mais quentes do dia podem ser explicados, provavelmente, pela eficiência das placas evaporativas em arrefecer o ar que entra na instalação e, por conseguinte, resfriar os elementos responsáveis pela emissão de carga radiante no galpão, nos dois sistemas estudados.

Com base na Tabela 11, foram ajustadas equações de regressão em função das observações horárias, a partir da média dos valores de CTR correspondentes aos pontos, com melhor ajuste do modelo de quarta potência. A Tabela 12 apresenta as equações de regressão ajustadas aos dados de CTR, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2), em cada ponto.

Tabela 12 - Equações ajustadas para valores de CTR em função dos horários de observação, para cada ponto, com os respectivos coeficientes de determinação (R^2)

Pontos	Equações da Regressão	R^2
1	$\hat{Y} = 449,3900 - 8,7873 H + 1,6324 H^2 - 0,0879 H^3 + 0,0015 H^4$	0,83
2	$\hat{Y} = 444,6800 - 9,9491 H + 2,0537 H^2 - 0,1192 H^3 + 0,0021 H^4$	0,85
3	$\hat{Y} = 454,5400 - 14,3370 H + 3,3171 H^2 - 0,2037 H^3 + 0,0038 H^4$	0,87
4	$\hat{Y} = 448,9700 - 17,5190 H + 3,9308 H^2 - 0,2391 H^3 + 0,0044 H^4$	0,87
5	$\hat{Y} = 449,6700 - 16,6360 H + 3,7379 H^2 - 0,2273 H^3 + 0,0042 H^4$	0,86

A Figura 5 ilustra a representação gráfica do comportamento da CTR empregando-se as equações de regressão listadas na Tabela 12.

De acordo com a Figura 5, observa-se que apenas nos pontos 1 e 2 os valores de CTR estiveram próximos a 460 W.m^{-2} , nos horários mais quentes do dia (12 às 16 horas). Os demais pontos apresentaram valores de CTR próximos a 490 W.m^{-2} .

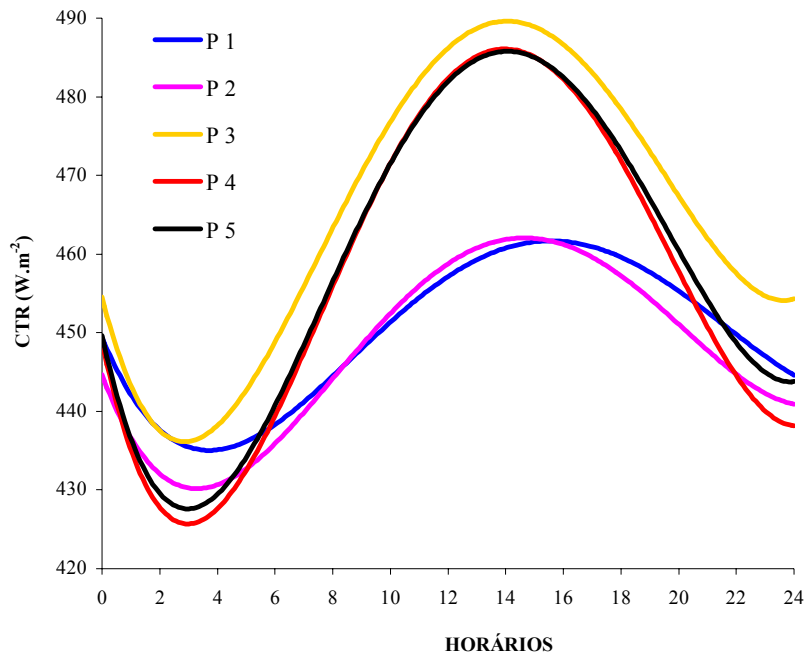


Figura 5 - Estimativa da CTR em função dos horários de observação, para cada ponto.

Observa-se também, na Figura 5, a mesma tendência dos resultados quando comparados com a Figura 4, que apresenta o comportamento do ITGU. Os valores de CTR no centro do galpão possivelmente tenham influenciado grandemente os valores de ITGU, que também foram os maiores no mesmo local.

Os valores médios de CTR em função dos horários de observação, para cada sistema, estão apresentados na Tabela 13.

Os valores de CTR acima de 450 W.m^{-2} , nos horários mais quentes do dia, estão enfatizados em cinza na Tabela 13. Nesses horários, houve diferença significativa entre os tratamentos apenas para os valores de CTR observados às 14 e às 16 horas. De modo geral, pode-se inferir que, nos horários mais quentes do dia, os dois sistemas estudados foram ineficientes em manter em baixos níveis a carga térmica de radiação, ao longo do galpão.

Tabela 13 - Valores médios de CTR ($W.m^{-2}$) em função dos horários de observação, para cada sistema

Horários	SENP	SEP
00	444,2 a	444,3 a
02	443,2 a	440,1 a
04	441,8 a	432,4 b
06	435,9 a	432,8 a
08	442,0 a	443,7 a
10	467,9 a	466,0 a
12	477,5 a	475,6 a
14	489,5 a	473,1 b
16	485,6 a	471,8 b
18	466,0 a	461,0 a
20	456,1 a	451,6 a
22	452,2 a	450,6 a
24	442,9 a	446,9 a

As médias seguidas de letras iguais nas linhas, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4. CONCLUSÕES

Nas condições de realização deste trabalho e pelos resultados obtidos, conclui-se que:

- Nas horas mais quentes do dia (12 às 16 horas), não houve diferença significativa para TA entre os tratamentos, embora ambos apresentassem condições ambientais características de estresse por calor, determinado pelo limite de 26 °C para frangos de corte a partir de 21 dias de vida.
- As URs nos tratamentos com SENP e SEP foram estatisticamente iguais entre 12 e 16 horas, apesar de apresentarem valores em torno de 46%,

muito abaixo dos 80% esperados para galpões semiclimatizados com resfriamento evaporativo.

- Assumindo o ITGU como sendo o parâmetro determinante do conforto térmico para frangos de corte, a partir de 21 dias de vida, observa-se que as aves estiveram em condições de conforto térmico nos dois tratamentos, pois não ocorreu nenhum valor de ITGU acima de 76.
- De forma geral, não houve efeito positivo do sistema de nebulização interna instalado em galpões semiclimatizados para frangos de corte a partir de 21 dias de vida.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOND, T. E., KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, 36(4): 251-255. 1955.

BUFFINGTON, C. S., COLLAZO-AROCHO, A., CANTON, G. H., PITT, D., THATCHER, W. W., COLLIER, R. J. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, 24(3):711-714, 1981.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2 ed. Westport: AVI Publishing Company, 1974. 325p.

MIDWEST PLAN SERVICE. **Mechanical ventilating systems for livestock housing**. Ames, Iowa: Iowa State University, 1990. 72 p.

WIERSMA, F.; SHORT, T. H. Evaporative cooling. In: HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. (Ed.) **Ventilation of Agricultural Structures**, 2.ed. St. Joseph, Michigan: *ASAE*, 1983. p. 103-118.

6. APÊNDICE



Figura 1A – Vista dos exaustores no tratamento SEP.



Figura 2A – Vista da placa evaporativa no tratamento SENP.

Tabela 1A - Valores médios da temperatura do ar (TA), da umidade relativa do ar (UR), do índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e da carga térmica de radiação (CTR), correspondentes aos sistemas, aos horários de observação e aos pontos de medição

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SENP	0	1	24.4	55.0	71.4	444.2
SENP	0	2	23.3	51.1	69.4	441.5
SENP	0	3	23.4	48.3	70.1	448.0
SENP	0	4	22.8	58.4	69.9	443.4
SENP	0	5	23.1	51.9	69.8	444.0
SENP	2	1	22.9	53.8	69.8	447.5
SENP	2	2	22.4	55.9	69.0	439.7
SENP	2	3	23.1	57.7	71.1	450.3
SENP	2	4	22.1	60.2	69.3	440.4
SENP	2	5	22.0	52.5	68.3	438.3
SENP	4	1	21.5	57.3	68.1	435.7
SENP	4	2	22.5	56.4	69.2	444.4
SENP	4	3	23.0	56.0	70.5	446.8
SENP	4	4	21.9	62.4	69.5	442.6
SENP	4	5	21.9	56.2	68.9	439.6
SENP	6	1	21.0	56.7	67.7	436.3
SENP	6	2	22.1	51.6	68.0	436.5
SENP	6	3	22.4	49.7	68.8	439.1
SENP	6	4	21.9	56.1	68.0	432.1
SENP	6	5	22.1	52.4	68.3	435.8
SENP	8	1	22.9	48.7	68.8	442.4
SENP	8	2	22.3	46.2	67.7	435.1
SENP	8	3	23.0	46.4	69.8	452.7
SENP	8	4	22.4	51.1	68.4	438.7
SENP	8	5	22.3	43.9	67.7	441.4
SENP	10	1	24.3	52.9	70.8	443.6
SENP	10	2	24.8	51.3	71.5	452.7
SENP	10	3	26.0	47.6	73.9	484.4
SENP	10	4	26.0	54.7	74.2	479.1
SENP	10	5	26.8	45.7	74.2	480.1

Tabela 1A, Cont.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SENP	12	1	26.0	49.4	72.9	460.6
SENP	12	2	27.5	46.0	74.3	463.5
SENP	12	3	28.5	45.2	76.4	488.9
SENP	12	4	28.6	45.8	76.3	483.6
SENP	12	5	29.8	40.9	77.2	491.1
SENP	14	1	26.3	47.6	73.1	462.4
SENP	14	2	27.3	46.4	74.7	477.9
SENP	14	3	28.5	45.8	77.4	502.6
SENP	14	4	29.0	49.4	77.8	503.4
SENP	14	5	30.3	39.5	77.9	501.5
SENP	16	1	26.4	47.7	73.3	462.8
SENP	16	2	27.3	50.1	75.2	481.0
SENP	16	3	28.9	44.3	76.9	493.1
SENP	16	4	28.4	49.9	76.7	489.6
SENP	16	5	29.3	39.8	76.8	501.7
SENP	18	1	25.0	47.7	71.1	450.5
SENP	18	2	25.5	50.3	72.5	460.2
SENP	18	3	27.0	42.3	74.1	478.3
SENP	18	4	25.8	54.0	73.6	471.9
SENP	18	5	25.9	44.2	72.5	469.4
SENP	20	1	24.8	55.3	72.4	452.9
SENP	20	2	24.8	50.9	71.8	450.3
SENP	20	3	25.4	47.1	72.8	466.7
SENP	20	4	24.3	59.6	72.3	452.9
SENP	20	5	25.4	48.4	72.6	457.9
SENP	22	1	24.8	51.3	72.0	451.1
SENP	22	2	24.0	47.7	70.6	446.6
SENP	22	3	24.5	45.0	72.1	462.8
SENP	22	4	23.8	55.6	71.1	445.1
SENP	22	5	24.9	47.8	71.8	455.3
SENP	24	1	23.3	52.0	70.1	445.5
SENP	24	2	22.3	50.2	68.3	436.9

Tabela 1A, Cont.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SENP	24	3	24.0	44.4	70.9	454.3
SENP	24	4	21.0	65.1	68.6	434.2
SENP	24	5	22.0	52.3	69.2	443.7
SEP	0	1	23.5	47.8	70.2	447.0
SEP	0	2	24.4	45.3	69.8	441.1
SEP	0	3	24.0	49.7	71.0	450.3
SEP	0	4	23.3	51.1	69.8	440.6
SEP	0	5	24.4	48.0	70.4	442.5
SEP	2	1	22.1	50.9	68.9	445.4
SEP	2	2	22.4	51.1	68.4	433.9
SEP	2	3	23.0	53.1	70.0	443.0
SEP	2	4	22.6	49.8	68.5	437.4
SEP	2	5	23.0	49.5	69.1	440.8
SEP	4	1	21.1	50.0	66.9	430.9
SEP	4	2	20.9	51.5	66.6	425.0
SEP	4	3	21.9	56.8	69.2	444.2
SEP	4	4	20.4	55.4	66.5	428.8
SEP	4	5	21.5	53.3	67.4	433.5
SEP	6	1	20.0	52.7	66.1	431.6
SEP	6	2	20.4	53.1	66.2	431.2
SEP	6	3	21.0	55.6	68.3	436.7
SEP	6	4	20.3	56.3	66.4	429.7
SEP	6	5	20.5	55.6	66.8	434.7
SEP	8	1	23.4	43.9	68.8	443.8
SEP	8	2	23.1	42.7	68.3	439.7
SEP	8	3	24.3	46.3	71.0	452.9
SEP	8	4	23.1	46.1	68.7	441.0
SEP	8	5	23.6	44.6	69.2	441.4
SEP	10	1	28.3	36.0	73.5	455.4
SEP	10	2	28.3	42.2	74.1	451.8
SEP	10	3	28.5	43.7	75.7	478.6
SEP	10	4	27.8	44.0	74.9	476.3

Tabela 1A, Cont.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SEP	10	5	28.6	41.7	75.1	468.2
SEP	12	1	27.0	40.7	73.2	466.0
SEP	12	2	28.3	46.6	74.6	450.8
SEP	12	3	29.0	49.1	77.9	498.4
SEP	12	4	27.8	48.6	75.8	488.3
SEP	12	5	28.1	46.6	75.5	474.6
SEP	14	1	27.1	42.6	73.4	459.1
SEP	14	2	28.3	44.8	74.7	454.1
SEP	14	3	29.6	49.6	78.1	484.9
SEP	14	4	28.1	49.6	76.1	479.3
SEP	14	5	28.0	50.2	76.4	488.3
SEP	16	1	27.3	40.7	73.4	464.9
SEP	16	2	28.3	42.9	74.6	458.9
SEP	16	3	29.5	47.0	77.0	471.9
SEP	16	4	27.3	48.7	75.2	484.2
SEP	16	5	27.5	47.2	75.1	479.1
SEP	18	1	24.9	44.5	71.3	457.8
SEP	18	2	26.3	44.0	71.9	444.9
SEP	18	3	27.4	49.1	75.6	479.3
SEP	18	4	25.9	50.1	73.1	463.2
SEP	18	5	25.9	50.0	72.8	460.1
SEP	20	1	25.1	45.7	71.9	459.2
SEP	20	2	25.3	42.9	70.2	442.2
SEP	20	3	26.1	43.4	72.7	457.4
SEP	20	4	25.3	45.4	71.4	450.1
SEP	20	5	25.9	44.0	71.8	448.8
SEP	22	1	25.4	45.1	71.3	450.5
SEP	22	2	25.0	40.9	69.7	444.4
SEP	22	3	24.8	49.2	72.8	459.9
SEP	22	4	24.9	43.2	70.5	448.2
SEP	22	5	25.6	41.2	70.9	450.3
SEP	24	1	23.5	46.7	69.8	443.6

Tabela 1A, Cont.

SISTEMA	HORÁRIO	PONTO	TA	UR	ITGU	CTR
SEP	24	2	23.4	43.7	69.8	447.6
SEP	24	3	24.3	49.6	71.8	453.8
SEP	24	4	22.9	46.9	69.4	444.7
SEP	24	5	23.8	45.7	69.9	445.2

3. CONCLUSÕES GERAIS

Nas condições de realização deste trabalho e pelos resultados obtidos, conclui-se que:

- Nas horas mais quentes do dia (12 às 16 horas) todos os tratamentos apresentaram condições ambientais características de estresse por calor, determinado pelo limite de 26 °C para frangos de corte a partir de 21 dias de vida;
- De forma geral, os sistemas estudados foram ineficientes em promover melhorias térmicas ambientais, havendo ainda a possibilidade de redução da temperatura do ar cerca de 7,0 °C, com o aumento da eficiência dos mesmos; A UR nos tratamentos esteve, entre 12 e 16 horas, em torno de 45%, muito abaixo dos 80% esperados para galpões semi-climatizados com resfriamento evaporativo;
- De forma geral, não houve efeito positivo do sistema de nebulização interna instalado em galpões semi-climatizados para frangos de corte a partir de 21 dias de vida; e,
- Assumindo o ITGU como sendo o parâmetro determinante do conforto térmico para frangos de corte, a partir de 21 dias de vida, observa-se que as aves estiveram em condições de conforto térmico apenas nos tratamentos com pressão negativa, pois não ocorreu nenhum valor de ITGU acima de 76.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEF – Associação brasileira de produtores e exportadores de frango.
<http://www.abef.com.br> 18.09.2000.
- 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**, 4(12):1-19, 1995.
- ANDERSON, B. E. In: SWENSON, M. J. **DUKES - Fisiologia dos Animais Domésticos**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1989. 799 p.
- BAÊTA, F. C. Planejamento de instalações avícolas considerando as variações de temperatura. In: Simpósio Internacional sobre Ambiência e Instalação na Avicultura Industrial. 1995, Campinas, SP. **Livro de textos**. Campinas: FACTA, 1995. p. 123-129.
- BAÊTA, F. C., SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais - conforto térmico animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246 p.
- BAÊTA, F.C. Acondicionamento térmico natural de galpões avícolas. In: SIMPÓSIO GOIANO DE AVICULTURA, 3,1998, Goiânia. **Anais...** Goiânia: 1998. p. 29-34.
- BAUER, L. A. F. **Materiais de construção**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1985. v.2. 362 p.
- BOND, T. E., KELLY, C. F. The globe thermometer in agricultural research. **Agricultural Engineering**, 36(4): 251-255. 1955.
- BOND, T. E., KELLY, C. F., GARRET, W. N., HAHN, L. Evaluation of materials for livestock shades. **California Agriculture**, 15:7-8, 1961.

- BOND, T. E., KELLY, C. F., ITTNER, N. R. Radiation studies of painted shade materials. **Agricultural Engineering**, 35(6):389-392, 1954.
- BOND, T. E., KELLY, C. F., MORISON, S. R., PEREIRA, N. Solar, atmospheric and terrestrial radiation received by shaded and unshaded animals. **Transactions of the ASAE**, 10(5):622-627, 1967.
- BOND, T. E., MORISON, S. R., GIVENS, R. L. Influence of surroundings on radiant heat load of animals. **Transactions of the ASAE**, 12(2):46-248, 1969.
- BOND, T. E., NEUBAUER, L. W., GIVENS, R. L. The influence of slope and orientation on effectiveness of livestock shades. **Transactions of the ASAE**, 19(11):134-136, 1976.
- BOTTCHER, R. W., WILLITS, D. H., BAUGHMAN, G. R. Field tests of reflective insulation and roof coating. Madison: **ASAE**, 1990. (Paper 90-4515).
- BRAY, D. R., BEEDE, D. K., DeLORENZO, M. A., WOLFENSON, D., GIESY, R. G., BUCKLIN, R. A. Environmental modification update. In: ANNUAL FLORIDA DAIRY PRODUCTION CONFERENCE, 28, 1991. **Proceedings...** [S.l.]:1991. p. 134-140.
- BUFFINGTON, C. S., COLLAZO-AROCHO, A., CANTON, G. H., PITT, D., THATCHER, W. W., COLLIER, R. J. Black globe humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, 24(3):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: UFV, 1986. 66 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- CANEVER, M. D., CHIUCHETTA, O., SANTOS FILHO, J. I., TALAMINI, D.J.D. O custo dos avanços. **Avicultura Industrial**, n. 1059, p. 28-32, 1998.
- CLARK, J. A. **Environmental aspects of housing for animal production.** British University of Nottingham, Page Bros Ltda, 1981. 510 p.
- CONAGIN, A.; NAGAI, V.; IGUE, T. Poder discriminativo de diferentes testes de comparação de médias. **Revista de Agricultura**, 65:203-214, 1990.
- COSTA E. C. **Arquitetura ecológica: condicionamento térmico natural.** 5. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1982. 264 p.
- CUNNINGHAM, D. L. **Poultry production systems in Georgia, costs and returns.** Analysis cooperative expansion service, College of Agricultural and Environmental Sciences, The University of Georgia, Athens, GA 30602 4356, 1995.
- CURTIS, S. E. **Environmental management in animal agriculture.** 2.ed. Ames, Iowa: Iowa State University Press, 1983. 407p.

- CZARICK, M., TYSON, B. L. Reflective roof coatings on commercial laying houses. Madison: **ASAE**, 1990. (Paper 90-4512).
- DALE, A. C., GIESE, H. Effect of roofing materials on temperatures in farm buildings under summer conditions. **Agricultural Engineering**, 34(3):168-177, 1953.
- DONALD, J. Considerações básicas sobre ventilação em galpões de integração de aves. 1996. 22 p. (Circular ANR, 956).
- ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. 2 ed. Westport: AVI Publishing Company, 1974. 325p.
- ESMAY, M. L., DIXON, J. E. **Environmental control for agricultural buildings**. Westport: AVI Publishing Company, 1986. 287 p.
- ETERNIT. **Conforto térmico**. São Paulo, 1981. 12 p.
- FONSECA, J. M. Viçosa, 1998. **Efeito do sistema de ventilação em túnel no conforto ambiente e na produção de frango de corte em alta densidade**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, UFV.
- GARRET, W. N., BOND, T. E., PEREIRA, N. Influence of shade height on physiological response of cattle during hot weather. **Transactions of the ASAE**, 10(4):433-434, 1967.
- GIVENS, R. L. Height of artificial shades for cattle in southeast. **Transactions of the ASAE**, 3(3):312-313, 1965.
- GRAYBILL, F. A. **Theory and application of the linear model**. Belmont: Duxbury Press, 1976. 704 p.
- HAHN, G. L., McQUIGG, Y. D. Evaluation of climatological records for rational planning of livestock shelters. **Agricultural Meteorology**, 7(2):131-141, 1970.
- HAHN, G. L., OSBURN, D. D. Feasibility of evaporative cooling for dairy cattle bases on expected production losses. **Transactions of the ASAE**, 13(3): 289-294. 1970.
- HARDOIM, P. C. Viçosa, 1989. 69 p. **Estudo do lanternim em instalações avícolas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, UFV.
- HELLICKSON, M. A., WALKER, J. N. **Ventilation of agricultural structures**. St. Joseph, Michigan: ASAE, 1983. 372 p.
- ISA BABCOCK BREEDERS. **Management guide ISA BABCOCK white eggs layers**. Ithaca: 1982. 256 p.

- KELLY, C. F., BOND, T. E. Effectiveness of artificial shade materials. **Agriculture Engineering**, 39(12):758, 759, 764, 1958.
- KELLY, C. F., BOND, T. E., ITTNER, N. R. Cold spots in the sky help cool livestock. **Agricultural Engineering**, 38(10):726-729, 743, 1957.
- KELLY, C. F., BOND, T. E., ITTNER, N. R. Design of livestock shades. **California Agriculture**, 8(8):3-4, 1954.
- KELLY, C. F., BOND, T. E., ITTNER, N. R. Thermal design of livestock shades. **Agricultural Engineering**, 31(12):601-606, 1950.
- KELLY, C. F., ITTNER, N. R. Artificial shades for livestock in hot climates. **Agricultural Engineering**, 29(6):239-242, 250, 1948.
- KRAVCHENKO, A., GONÇALVES, V. A. Influência dos materiais de cobertura na temperatura interna das construções. **Anais da Escola de Agronomia e Veterinária da UFMG**. 10(1):27-38, 1980.
- LEAL, P. A. M. **Determinação do microclima gerado dentro de uma estrutura a partir de dados ambientais**. Campinas: UNICAMP, 1981. 79 p. (Mestrado em Construções Rurais) - Universidade de Campinas, 1981.
- LEE, J. F.; SEARS, F. W. **Termodinâmica**, 3. ed. Rio de Janeiro: Editora McGraw Hill, 1976. 302p.
- LI, J. C. R. **Statistical inference**. Ann. Arbor, Edwards Brothers, Inc., 1964. Vol. 1, 658 p.
- LLOBET, J. A. C.; GONDOLBEU, V. S. **Manual Prático de Avicultura**. Livraria Popular Francisco Franco. Lisboa, 1986. 214p.
- MACINTYRE, A. J. **Ventilação industrial e controle da poluição**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan S/A, 1990. 403 p.
- MARQUES, D. **Desempenho de diferentes equipamentos - Manejo de frangos**. Coleção FACTA. Campinas. Fundação APINCO de Ciência e Tecnologia Avícolas, 1994, p. 59-70.
- MATOS, M. L. **Conforto térmico ambiente e desempenho de frangos de corte, alojados em dois níveis de alta densidade, em galpões com sistemas de ventilação em túnel e ventilação lateral**. Viçosa, 1998. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, UFV. 1998.
- McNEILL, S. G., FEHR, R. L., WALKER, J. N., PARKER, G. R. Performance of evaporative coolers for mid-south gestation housing. **Transactions of the ASAE**, 26(1):219-222. 1983.
- MIDWEST PLAN SERVICE. **Mechanical ventilating systems for livestock housing**. Ames, Iowa: Iowa State University, 1990. 72 p.

- MILLIGAN, J.L., WINN, P.N. The influence of temperature and humidity on broiler performance in environmental chambers. **Poultry Science**, v.43, 1964, p817-824.
- MISSON, B. H. The effects of temperature and relative humidity on the thermoregulatory responses of grouped and isolated neonate chicks. **Journal of Agricultural Science**, 86: 35. 1976.
- MORAES, S. R. P. **Conforto térmico em modelos reduzidos de galpões avícolas, para diferentes coberturas, durante o verão**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 73 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- MORAES, S. R. P. **Otimização do resfriamento evaporativo em galpões para frangos de corte com sistema de ventilação em túnel e pressão negativa, no sudoeste de Goiás**. Viçosa, 2000. 19 p. Projeto de Pesquisa aprovado em 29.09.00 (nº 50301449554, Doutorado em Engenharia Agrícola, área de Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, UFV. 2000.
- MUEHLING, A. J. Farm building insulation - application and problems. **Transactions of the ASAE**, 10(1):45-47, 1967.
- NÄÄS, I. A. **Princípios de conforto térmico na produção animal**. São Paulo: Ícone, 1989. 183 p.
- NAGAI, V.; CONAGIN, A. & IGTJE, T. Sensibilidade de diferentes testes de homogeneidade das variâncias. **Revista de Agricultura**, 66: 65-76, 1991.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M. H. **Applied linear statistical models. Regression, analysis of variance and experimental designs**. Homewood: Richard D. Irwin Inc., 1985. 1127 p.
- NEUBAUER, L. W. Optimum alleviation of solar stress on model buildings. **Transactions of the ASAE**, 15(1):129-132, 1972 a.
- NEUBAUER, L. W. Orientation and insulation: model versus prototype. **Transactions of the ASAE**, 15(4):707-709, 1972 b.
- NEUBAUER, L. W. Toward cooler buildings. **Agricultural Engineering**, 50(1):80-81, 1969.
- NEUBAUER, L. W., CRAMER, R. D. Effect of shape of building on interior air temperature. **Transactions of the ASAE**, 11(4):537-539, 1968.
- NEUBAUER, L. W., CRAMER, R. D. Solar radiation control for small exposed houses. **Transactions of the ASAE**, 9(2):194-197, 1966.
- O'NEIL, S. J. B., JACKSON, N. Observations of the effect of environmental temperature and environment of moult on the heat production and energy requirements of hens and cockerels of white leghorn strain. **Journal of Agricultural Science**, 82: 553. 1974.

- PIASENTIN, J.A. **Conforto medido pelo índice de temperatura de globo e umidade na produção de frangos de corte para dois tipos de pisos em Viçosa, M.G.** Viçosa: UFV, 1984. 98p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 13^a ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1990. 468 p.
- REECE, F. N., LOTT, B. D., DEATON, L. W., BRANTON, S. L. Meal feeding and broiler performance. **Poultry Science**, 65(12):1497-1501. 1986.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, 40(228):176-195,1993.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de parâmetros no caso de dados de delineamentos experimentais. **Revista Ceres**, 46(266):383-409,1999.
- REGAZZI, A. J. Teste para verificar a identidade de modelos de regressão e a igualdade de alguns parâmetros num modelo polinomial ortogonal. **Revista Ceres**, 40(228):176-195,1993.
- RIVERO, R. O. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural.** 2. ed. Porto Alegre: D. C. Luzzato, 1986. 240 p.
- ROMAN-PONCE, H., THATCHER, W. W., BUFFINGTON, D. E., WILCCOX, G. J., van HORN, H. H. Physiological and production responses of dairy cattle to shade structure in subtropical environment. **Journal of Dairy Science**, 60(3):424-429, 1976.
- ROSA, Y. B. C. J. **Influência de três materiais de cobertura no índice de conforto térmico, em condições de verão para Viçosa, MG.** Viçosa: UFV, 1984. 77 p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, 1984.
- SANTIN, A. Espaço para a alta densidade na criação de frangos de corte. **Aves e Ovos**. São Paulo: APA, (7): 04-10,1997.
- 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**, 2(7):1-8, 1993.
- SILVA, I. J. O., GHELFI FILHO, H., CONSIGLIERO, F. R. Influência dos materiais de cobertura no conforto térmico de abrigos. **Engenharia Rural**, 1(2):43-55, 1990.
- 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: UFV, 1983. 62p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, 1983.

- TIMMONS, M. B., GATES, R. S. Predictive model of laying hen performance to air temperature and evaporative cooling. **Transactions of the ASAE**, 31(5): 1503-1509. 1988.
- TIMMONS, M. B.; BAUGHMAN, G. R. A plenum concept applied to evaporative pad cooling for broiler housing. **Transactions of the ASAE**, 42(2):1877-1881, 1984.
- 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 frangos de corte, em condições de verão e outono**. Belo Horizonte: UFMG, 1996. 173 p. Tese (Doutorado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
- TINÔCO, I. F. F. **Resfriamento adiabático (evaporativo) na produção de frangos de corte**. Viçosa: UFV, 1988. 92p. Dissertação (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) - Universidade Federal de Viçosa, 1988.
- 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.
- 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**, 3(11):1-12, 1994.
- UBA - União Brasileira de Avicultura. <http://www.uba.org.br> 10.02.2003.
- VAN KAMPEN, M., MITCHELL, B. W., SIEGEL, H. S. Thermoneutral zone of chickens as determined by measuring heat production, respiration rate and eletromyographic and eletroencephalografic activity in light and dark environments and changing ambient temperatures. **Journal of Agricultural Science**, 92:219. 1979.
- VAN WICKLEN, G. L., STEINBERG, S. D., EGAN, M. A. Reducing broiler house temperatures using a reflective roof coating. Madison: **ASAE**, 1985 (Paper 85-4546).
- VAQUERO, E. G. **Projeto e construção de alojamento para animais**. 7. ed. Lisboa, Portugal: Litexa, 1981. 237p.
- WHITAKER, J. H. **Agricultural Buildings and Structure**. 2. ed., Heston, Virginia: Heston Publishing Company, 1979. 289p.
- WIERSMA, F.; SHORT, T. H. Evaporative cooling. In: HELLICKSON, M. A.; WALKER, J. N. (Ed.) **Ventilation of Agricultural Structures**, 2.ed. St. Joseph, Michigan: *ASAE*, 1983. p. 103-118.
- YOUSEF, M. K. **Stress physiology in livestock - poultry**. Las Vegas: CRC Press, 1985. V. 3. 159p.

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.

ZULOVICH, J. M., DESHAZER, J. A. **Estimativy egg production declines at high environmental temperatures and humidities.** St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1990. p. 34. (paper 90.4021)