



**ATHALITA ESTER MENDONÇA DA SILVA
PIVA FERREIRA**

**IMPACTOS DAS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS
SOBRE O AMBIENTE TÉRMICO DE AVIÁRIOS
CLIMATIZADOS DE FRANGOS DE CORTE**

**LAVRAS - MG
2018**

ATHALITA ESTER MENDONÇA DA SILVA PIVA FERREIRA

**IMPACTOS DAS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE O AMBIENTE
TÉRMICO DE AVIÁRIOS CLIMATIZADOS DE FRANGOS DE CORTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos
Profa. Dra. Giselle Borges de Moura
Profa. Dra. Sílvia de Nazaré Monteiro Yanagi
Coorientadores

**LAVRAS - MG
2018**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Ferreira, Athalita Ester Mendonça da Silva Piva.

Impactos das variações climáticas sobre o ambiente térmico de aviários climatizados de frangos de corte / Athalita Ester Mendonça da Silva Piva Ferreira. - 2018.

87 p. : il.

Orientador(a): Tadayuki Yanagi Junior.

Coorientador(a): Alessandro Torres Campos, Giselle Borges de Moura, Silvia de Nazaré Monteiro Yanagi.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Avicultura de corte. 2. Mudanças climáticas. 3. Simulação numérica. I. Junior, Tadayuki Yanagi. II. Campos, Alessandro Torres. III. de Moura, Giselle Borges. IV. Yanagi, Silvia de Nazaré

ATHALITA ESTER MENDONÇA DA SILVA PIVA FERREIRA

**IMPACTOS DAS VARIAÇÕES CLIMÁTICAS SOBRE O AMBIENTE
TÉRMICO DE AVIÁRIOS CLIMATIZADOS DE FRANGOS DE CORTE**

**CLIMATE CHANGE IMPACTS ON THE THERMAL ENVIRONMENT
OF BROILER CHICKEN AVIARIES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Construções Rurais e Ambiente, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 02 de agosto de 2018.

Prof. Dra. Giselle Borges de Moura UFLA

Prof. Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro UFLA

Profa. Dra. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco UFV

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

**LAVRAS - MG
2018**

A DEUS.

*À minha família, os grandes motivadores
do meu progresso e evolução,
que com o apoio de todos, cada passo realizado
tornou-se intensamente gratificante.
A realização deste sonho também é mérito deles.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente a Deus pela oportunidade de estar concretizando este sonho, por ter sido meu amparo e proteção e ter me proporcionado saúde para trilhar este caminho.

Aos meus pais, Athadeu e Maria Aparecida. Meu porto seguro, meu incentivo, meu grande exemplo de vida, pelo amor e por todo apoio recebido para a realização deste grande passo. Sou grata pelos ensinamentos, paciência, carinho e conselhos, decisivos na superação dos momentos difíceis.

Aos meus irmãos, pelo carinho e apoio incondicional, amo vocês.

Ao meu esposo Marcos que esteve presente em boa parte deste trabalho, sendo meu suporte emocional e ombro amigo. Te amo!

À minha filha, Elis Helena, minha grande inspiração para a concretização deste trabalho com garra e determinação, superando todas as dificuldades enfrentadas e poder ser motivo de orgulho e exemplo para ela.

A todos os meus familiares e amigos, que torcem pelas minhas conquistas e marcam presença em minha vida. Agradeço a vocês pela convivência, pelo amor e por todo apoio.

Aos amigos da cidade de Lavras que me ajudaram de alguma forma e pelo grande incentivo.

Às amigas Natália e Amanda, pela amizade, pelo apoio e cooperação neste trabalho.

Ao professor e orientador Tadayuki Yanagi Junior, pelos ensinamentos, grande dedicação e profissionalismo, por ser verdadeiramente mestre, e acima de tudo, pelo grande incentivo, se dispondo a me ajudar sempre que possível. Obrigada pela confiança. Minha gratidão!

Aos professores. Agradeço imensamente os ensinamentos, a possibilidade de crescimento e a dedicação.

Aos membros da banca de defesa pelas correções, sugestões e avaliação deste trabalho.

Ao programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola da UFLA, agradeço à Helem em nome dos funcionários, por todo auxílio imprescindível nesta jornada.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realização do curso e pela minha formação humana e profissional.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Agradeço a todos que contribuíram por mais essa importante conquista pessoal

Muito obrigada!

“Combati o bom combate, acabei a carreira e guardei a fé”.

2 Timóteo 4:7

Seu trabalho vai ocupar uma grande parte de sua vida. A única maneira de estar verdadeiramente satisfeito é fazendo aquilo que você acredita ser um ótimo trabalho. E o único jeito de fazer um ótimo trabalho é fazendo algo que você ama.

Steve Jobs

Algumas vezes, o esforço é justamente o que precisamos em nossa vida. Se Deus nos permitisse passar através de nossas vidas sem quaisquer obstáculos, Ele nos deixaria aleijados. Nós não iríamos ser tão fortes como poderíamos ter sido. Nós nunca poderíamos voar.

Autor Desconhecido

RESUMO GERAL

Devido à importância que o setor avícola de corte apresenta para a economia nacional, torna-se importante o estudo dos fatores que possam otimizar o desempenho dos frangos de maneira efetiva nas próximas décadas. O clima, por ser um dos fatores que mais interferem na produção avícola, enquadra-se neste contexto e, como tal, deve ser analisado, tendo em vista a propensão de sua alteração para um futuro próximo. Neste sentido, e considerando que o maior problema para a criação de frangos de corte advém do estresse por calor, objetivou-se com o presente trabalho, estudar o impacto das mudanças climáticas sobre a avicultura de corte no município de Uberaba, no Estado de Minas Gerais, visando subsidiar estudos de mitigação do desconforto térmico, por calor no interior de aviários fechados e climatizados para criação de frangos de corte. O ambiente térmico no interior de aviários climatizados foi predito por meio de um modelo baseado em equações de transferências de calor e massa. Os aviários simulados possuíam características construtivas formadas pela combinação de três coberturas (galvanizada, fibrocimento e sanduíche), dois fechamentos laterais (cortinas e alvenaria de tijolo furado revestido por emboço) e três sistemas de resfriamento evaporativo (nebulização, placas porosas e a combinação das duas). Dados meteorológicos médios do município de Uberaba, localizado no Estado de Minas Gerais, foram utilizados como dados de entrada para as simulações referentes ao cenário atual e futuro (2100), do ambiente térmico no interior de aviários do tipo túnel de vento, visando o estudo de possíveis mitigações de condições térmicas não desejadas. As simulações realizadas em função dos dados de temperatura média do ar para o cenário atual, indicam que os aviários equipados com resfriamento evaporativo por placas porosas de umedecimento ou com esse sistema associado à nebulização, foram capazes de proporcionar condições térmicas de conforto para frangos de corte. Entretanto, para o cenário futuro, verificou-se redução da percentagem dos aviários em condições de conforto. Por sua vez, as simulações, considerando a temperatura do ar máxima indicam a incapacidade dos aviários simulados em proporcionar condições de conforto para as aves, independente da sua configuração ou cenário (atual ou futuro).

Palavras-chave: Avicultura de corte. Mudanças climáticas. Simulação numérica.

GENERAL ABSTRACT

Due to the importance of the poultry sector for the national economy, it is important to study the factors that can optimize chicken performance in the coming decades. Climate, as one of the factors that most interfere with poultry production, fits in this context and, as such, must be analyzed, considering the propensity of its alteration for the near future. In this sense, and considering that the main problem for broiler breeding comes from heat stress, was objectified with the present work to study the impact of climate changes on broiler breeding in the municipality of Uberaba, State of Minas Gerais aiming to subsidize studies of thermal discomfort mitigation, by heat inside closed and air conditioned poultry farms for broiler breeding. The thermal environment inside air-conditioned poultry farms was predicted by means of a model based on equations of heat and mass transfers. The simulated poultry farms had constructive characteristics formed by the combination of three roofing (galvanized, fiber cement and sandwich), two side closures (curtains and masonry of hollow brick coated by plaster) and three evaporative cooling systems (nebulization, porous plates and the combination of the two). Average meteorological data of the municipality of Uberaba, located in the State of Minas Gerais, were used as input data for simulations referring to the current and future scenario (2100), of the thermal environment inside wind tunnel type poultry farms, aiming the study possible mitigations of unwanted thermal conditions. The simulations performed according to the average air temperature data for the current scenario, indicate that aviaries equipped with evaporative cooling by porous wetting plates or with this system associated with nebulization were able to provide thermal comfort conditions for broiler chickens. However, for the future scenario, there was a reduction of the percentage of aviaries the in comfort conditions. Simulations considering maximum air temperature indicate the inability of simulated poultry farms to provide comfort conditions for birds, regardless of their configuration or scenario (current or future).

Key words: Poultry farming. Climate changes. Numerical simulation.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1 - | Tendência da produção de carne de frango mundial..... | 23 |
| Figura 2 - | Tendência da exportação de carne de frango mundial. | 24 |
| Figura 3 - | Tendência da exportação do Brasil e EUA desde o ano de 2012 a 2018..... | 25 |
| Figura 4 - | Produção brasileira de carne de frango correspondente aos anos de 2006 até 2016..... | 27 |
| Figura 5 - | Participação de cada estado frente ao abate de frango no ano de 2016..... | 28 |
| Figura 6 - | Participação de cada estado frente à exportação de carne de frango no ano de 2016..... | 29 |

LISTA DE TABELAS

PRIMEIRA PARTE

| | | |
|------------|---|----|
| Tabela 1 – | Faixa de temperaturas de conforto térmico para frangos de corte nas diferentes idades. | 35 |
| Tabela 2 – | Valores de temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto térmico (ZCT) e temperatura crítica superior (TCS), de acordo com a fase de vida da ave. | 36 |
| Tabela 3 – | Intervalos de umidade relativa para conforto térmico de frangos de corte de diferentes idades. | 37 |

SEGUNDA PARTE

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 1 – | Configurações dos aviários climatizados simulados (AS) para os cenários de atual e 2100, com base na temperatura de bulbo seco média do ar (tbs,m, °C). | 82 |
| Tabela 2 – | Configurações dos aviários climatizados simulados (AS) para os cenários de atual e 2100, com base na temperatura de bulbo seco máxima do ar (tbs,x, °C). | 83 |
| Tabela 3 – | Resultados das análises de tendência a partir do teste não-paramétrico de Mann-Kendall ao nível de 5% de probabilidade e de regressão linear aplicados aos dados de temperatura de bulbo seco média e máxima mensais (tbs,m e tbs,x, respectivamente) e umidade relativa do ar (UR) referentes ao Município de Uberaba – MG, de 1961 a atual. | 84 |
| Tabela 4 – | Resultados das análises de tendência a partir do teste não-paramétrico de Mann-Kendall ao nível de 5% de probabilidade e de regressão linear aplicados aos dados de temperatura de bulbo seco média e máxima mensais (tbs,méd e tbs,máx, respectivamente) e umidade relativa do ar (UR) referentes ao Município de Uberaba – MG, de 1961 a atual. | 85 |

| | | |
|------------|--|----|
| Tabela 5 – | Percentagem do aviário em condições de conforto (PC) e valor médio e desvio padrão do ITU (entre parênteses) calculados com base no índice de temperatura e umidade (ITU < 74) para as configurações dos aviários climatizados simulados (AS) nos cenários atual e futuro (2100), com base na temperatura de bulbo seco média e máxima do ar (tbs,m e tbs,x, respectivamente)..... | 86 |
|------------|--|----|

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

| | |
|-------------------------|--|
| $A_{i,j}$ | Área associada ao i -ésimo volume de controle (VC) e j -ésimo componente estrutural do galpão, m^2 ; |
| $A_{\text{ piso } i}$ | Área do piso no i -ésimo VC, m^2 ; |
| β_i | Fração de água nebulizada no i -ésimo VC; |
| CA_i | Conversão alimentar de cada ave no i -ésimo VC, $g\ g^{-1}$; |
| CRD_i | Consumo de ração diário de cada ave no i -ésimo VC, $g\ \text{dia}^{-1}$; |
| f | Eficiência de resfriamento do sistema, adimensional; |
| F_i | Fator de ganho de calor no i -ésimo VC (obtido experimentalmente), $W\ m^{-1}\ K^{-1}$; |
| FR_i | Frequência respiratória de cada ave no i -ésimo VC, $\text{resp}\ \text{dia}^{-1}$; |
| GPD_i | Ganho de peso diário de cada ave no i -ésimo VC, $g\ \text{dia}^{-1}$; |
| hfg_i | Calor latente de vaporização da água no i -ésimo VC, $J\ kg^{-1}$; |
| $IAPfc_i$ | Índice térmico ambiental de produtividade para frango de corte no i -ésimo VC; |
| $ITU_{\text{ Thom } i}$ | Índice de temperatura e umidade proposto por Thom (1959) no i -ésimo VC; |
| $ITU_{\text{ D\&B } i}$ | Índice de temperatura e umidade proposto por DeShazer e Beck (1988) no i -ésimo VC; |

| | |
|----------------------|--|
| LHP | Percentual do calor sensível liberado pela ave na forma de calor latente, %; |
| LT | Código de iluminação, 0 ou 1 para 100% do tempo com as luzes ligadas ou desligadas, respectivamente. Valores entre 0 e 1 caracterizam iluminação parcial podendo ser calculados pela seguinte expressão: $LT = (LOT/100) \times \text{MIN}(1, \text{MAX}(0, (6,02 - I_r) / 6,02))$, em que LOT é o tempo com as luzes desligadas por hora, %, e I_r é a intensidade de radiação solar do ambiente externo, $W m^{-2}$; |
| Mc | Massa corporal das aves, kg; |
| $m_{\text{água } i}$ | Massa de água inserida pela nebulização no i-ésimo VC, $kg s^{-1}$; |
| m_i | Taxa na qual a umidade é removida do VC pela ventilação, $kg s^{-1}$; |
| m_{i-1} | Taxa na qual a umidade é carregada para o VC pela ventilação, $kg s^{-1}$; |
| $m_{\text{inf } i}$ | Taxa na qual a umidade é carregada para o VC pela infiltração de ar, $kg s^{-1}$; |
| $m_{p \text{ ave}}$ | Taxa de produção de umidade por ave, $kg s^{-1} \text{ ave}^{-1}$; |
| $m_{p i}$ | Taxa de produção de umidade no i-ésimo VC, $kg s^{-1}$; |
| m_{PAD} | Taxa na qual a umidade é conduzida para o VC pelo ar que passa pela placa porosa umedecida, $kg s^{-1}$; |

| | |
|----------------------|---|
| $m_{neb i}$ | Taxa na qual a umidade é conduzida para o VC devido à aplicação de água pelo sistema de nebulização, kg s^{-1} ; |
| N | Densidade de criação, aves m^{-2} ; |
| P_i | Perímetro do galpão no i -ésimo VC, m; |
| $\rho_{\text{água}}$ | Densidade da água, kg m^{-3} ; |
| ρ_i | Densidade do ar que sai do VC, kg m^{-3} ; |
| ρ_{i-1} | Densidade do ar que entra no VC, kg m^{-3} ; |
| $\rho_{inf i}$ | Densidade do ar que infiltra no VC, kg m^{-3} ; |
| ρ_{PAD} | Densidade do ar que atravessa a placa porosa umedecida, kg m^{-3} ; |
| $q_{e i}$ | Taxa de conversão de calor sensível para calor latente no i -ésimo VC, W; |
| $q_{f i}$ | Calor sensível transferido para o piso através da região próxima ao perímetro da construção no i -ésimo VC, W; |
| $q_{h i}$ | Calor sensível ganho dos sistemas de aquecimento no i -ésimo VC, W; |
| $q_{m i}$ | Calor sensível ganho de fontes mecânicas, elétricas e outras, tais como os motores e luzes, respectivamente, no i -ésimo VC, W; |
| $q_{neb i}$ | Calor sensível utilizado na evaporação da água nebulizada no i -ésimo VC, W; |
| $q_{s i}$ | Calor sensível liberado pelos animais alojados no i -ésimo VC, W; |
| $q_{s ave}$ | Calor sensível liberado por ave no i -ésimo VC, W kg^{-1} ; |

| | |
|---------------|---|
| $q_{so\ i}$ | Calor sensível resultante da absorção da radiação solar no interior do galpão para o i -ésimo VC, W; |
| $q_{vi\ i}$ | Calor sensível transferido pelo ar de ventilação que entra no i -ésimo VC, W; |
| $q_{vo\ i}$ | Calor sensível transferido pelo ar de ventilação que deixa o i -ésimo VC, W; |
| $q_{wi\ i}$ | Calor sensível transferido através da estrutura da construção no i -ésimo VC, W; |
| $tb_{s\ i}$ | Temperatura de bulbo seco no VC atual (i), °C; |
| $tb_{s\ i-1}$ | Temperatura de bulbo seco no VC anterior ($i-1$), °C; |
| $tb_{s\ o}$ | Temperatura de bulbo seco no ambiente externo, °C; |
| $t_{bu\ i}$ | Temperatura de bulbo úmido no VC atual (i), °C; |
| $t_{bu\ o}$ | Temperatura de bulbo úmido no ambiente externo, °C; |
| $tp\ i$ | Temperatura da pele das aves no i -ésimo VC, °C; |
| t_{PAD} | Temperatura do ar após passar pela placa porosa umedecida, °C; |
| $t_{po\ i}$ | Temperatura de ponto de orvalho no ambiente externo, °C; |
| $tr\ i$ | Temperatura retal das aves no i -ésimo VC, °C; |
| $U_{i,j}$ | Coefficiente global de transferência de calor, para o i -ésimo VC e j -ésimo componente da estrutura da instalação, $W\ m^{-2}\ K^{-1}$; |
| $UR\ i$ | Umidade relativa do ar no VC atual (i), %; |
| $UR\ i-1$ | Umidade relativa do ar no VC anterior ($i-1$), %; |

| | |
|----------------------|--|
| UR_o | Umidade relativa do ar no ambiente externo, %; |
| $V_{\text{água}}$ | Vazão volumétrica da água aplicada pelo sistema de nebulização, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; |
| V_{PAD} | Vazão volumétrica do ar que atravessa a placa porosa umedecida, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; |
| V_i | Velocidade do ar à altura de 0,30 m no i-ésimo VC, m s^{-1} ; |
| V_i | Vazão volumétrica do ar no i-ésimo VC, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; |
| V_{i-l} | Vazão volumétrica do ar que entra no i-ésimo VC, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; |
| $V_{\text{infi } i}$ | Vazão volumétrica do ar que infiltra no i-ésimo VC, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$; |
| W_i | Razão de mistura do ar no i-ésimo VC, kg kg^{-1} ; |
| W_{i-l} | Razão de mistura do ar que entra no i-ésimo VC, kg kg^{-1} ; |
| $W_{\text{infi } i}$ | Razão de mistura do ar que infiltra no i-ésimo VC, kg kg^{-1} ; |
| W_{PAD} | Razão de mistura do ar que atravessa a placa porosa umedecida, kg kg^{-1} . |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|--|-----------|
| | PRIMEIRA PARTE..... | 20 |
| 1 | INTRODUÇÃO | 20 |
| 2 | OBJETIVOS..... | 21 |
| 2.1 | Objetivo geral | 21 |
| 2.2 | Objetivos específicos..... | 22 |
| 3 | REFERENCIAL TEÓRICO | 23 |
| 3.1 | Panorama da avicultura mundial | 23 |
| 3.2 | Panorama da avicultura brasileira | 25 |
| 3.3 | Principais estados produtores de aves para abate..... | 27 |
| 3.4 | Interações entre o ambiente térmico e os frangos de corte | 29 |
| 3.5 | Limites de conforto térmico para frangos de corte | 34 |
| 3.6 | Efeito do ambiente térmico sobre as respostas fisiológicas de frangos de corte | 38 |
| 3.7 | Mudanças climáticas e produção avícola | 40 |
| 3.8 | Modelagem matemática aplicada à ambiência avícola | 41 |
| 3.9 | Testes de tendências aplicados às séries de dados climáticos..... | 44 |
| 4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 49 |
| | REFERÊNCIAS | 50 |
| | SEGUNDA PARTE - ARTIGO | 59 |
| | ARTIGO 1 – SIMULAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AVIÁRIOS CLIMATIZADOS DE FRANGOS DE CORTE | 59 |

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A demanda por alimentos, fibras e energia a fim de suprir o crescimento da população do planeta têm aumentado a emissão de gases do efeito estufa, influenciando, desta forma, na aptidão bioclimática das diversas regiões produtoras de gêneros de origem animal. As mudanças climáticas podem variar entre regiões, sendo seguidas de variações no regime de precipitação, na frequência e na intensidade de eventos climáticos extremos, como ondas de calor ou frio, chuvas intensas e enchentes, secas, mais intensas e/ou frequentes furações e ciclones tropicais e extratropicais.

Neste contexto, destaca-se a avicultura, que apesar do crescimento, observa-se que, em climas tropicais e subtropicais, a exemplo do que ocorre no Brasil, os altos valores da temperatura de bulbo seco (tbs) e da umidade relativa do ar (UR), principalmente na primavera e no verão, geram condições de desconforto térmico às aves, inibindo o seu desempenho produtivo e se constituindo em um dos principais problemas que afetam a sua criação em condições de confinamento.

O ambiente de produção exerce papel fundamental na avicultura moderna, que busca alcançar alta produtividade, em espaço físico e tempo relativamente reduzidos; desta forma, as mudanças climáticas podem representar um desafio em manter a produção animal nos níveis atuais.

Dentre os fatores do ambiente, os térmicos, representados por temperatura, umidade, velocidade do ar e radiação solar, são os que mais afetam as aves, pois comprometem sua função vital mais importante, que é a manutenção de sua homeotermia, resultando em respostas negativas de desempenho produtivo.

A exposição de frangos a altas temperaturas causa redução na ingestão de alimentos, prejudicando a taxa de crescimento, o rendimento do peito e a qualidade da carne, além de provocar dispêndio de energia de produção no sentido de promover a perda de calor.

Para o estudo do efeito das mudanças climáticas sobre a avicultura, torna-se necessária a identificação de alterações climáticas nos registros meteorológicos, por meio do estudo de tendências aplicadas às séries temporais de dados, primordial para os estudos de engenharia.

O uso de resultados oriundos da aplicação de séries temporais, como dados de entrada em um modelo de transferência de calor e massa, para predição do ambiente térmico, respostas fisiológicas e desempenho produtivo de frangos de corte criados em galpões climatizados, constitui-se em interessante metodologia para predição de cenários futuros e obtenção de soluções mitigadoras, considerando os desafios que podem ocorrer devido às mudanças climáticas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Objetivou-se com o presente trabalho, estudar o impacto das mudanças climáticas sobre a avicultura de corte em Uberaba-MG, visando subsidiar estudos de mitigação do desconforto térmico em aviários fechados e climatizados para criação de frangos de corte.

2.2 Objetivos específicos

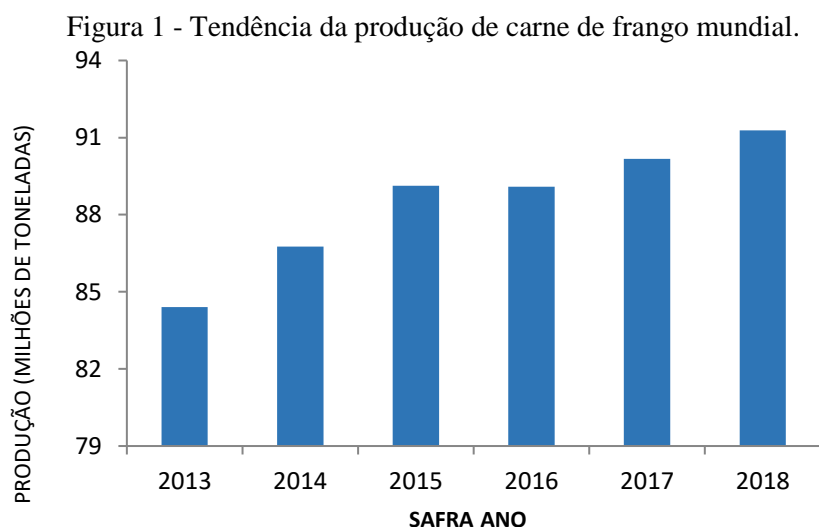
- a) Identificar a existência de tendência em séries de dados climáticos no município de Uberaba.

- b) Aplicar a modelagem matemática para a predição do ambiente térmico no interior de galpões avícolas climatizados equipados com diferentes coberturas (galvanizada, fibrocimento e sanduíche), fechamentos laterais (cortinas e alvenarias de tijolo furado revestido por emboço) e sistemas de resfriamento evaporativo (nebulização, placas porosas e a combinação das duas).

3 REFERENCIAL TEÓRICO

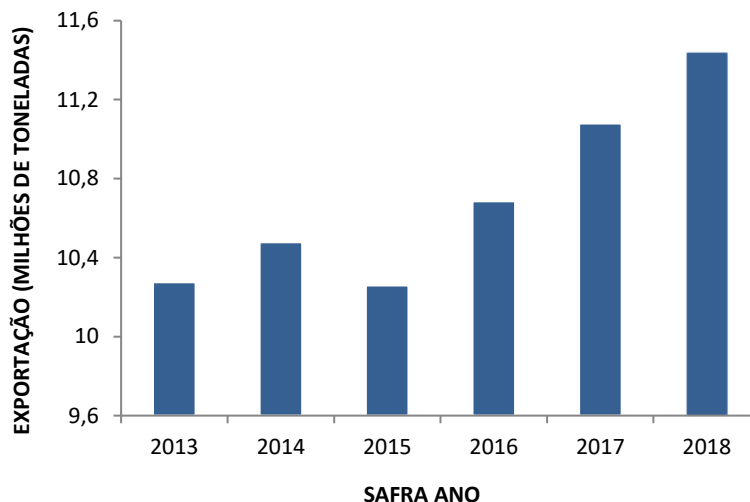
3.1 Panorama da avicultura mundial

Segundo o *United States Department of Agriculture* (USDA, 2017), a produção mundial de frango deverá crescer cerca de 1% em 2018, com produção estimada de 91,3 milhões de toneladas e com previsão de lucro principalmente para os Estados Unidos da América (EUA), Brasil, Índia e União Europeia. A expansão da avicultura de corte dos EUA e do Brasil será impulsionada pelo aumento das exportações, enquanto que, a Índia e a União Europeia apresentarão crescimento lento. A previsão para a produção na China será de redução de 5% para o ano de 2018, pelo 3º ano seguido, em função da gripe aviária, altamente patogênica (IAAP), por ter ocorrido mais de 700 casos de infecções por Influenza Aviária em humanos, com uma taxa de mortalidade de cerca de 40%, segundo o relatório do USDA (2017). A tendência mundial de produção e exportação de carne de frango em comparação ao ano de 2013 a 2018 pode ser visualizada, respectivamente, nas Figuras 1 e 2.



Fonte: Adaptado de *United States Department of Agriculture* (USDA, 2017).

Figura 2 - Tendência da exportação de carne de frango mundial.

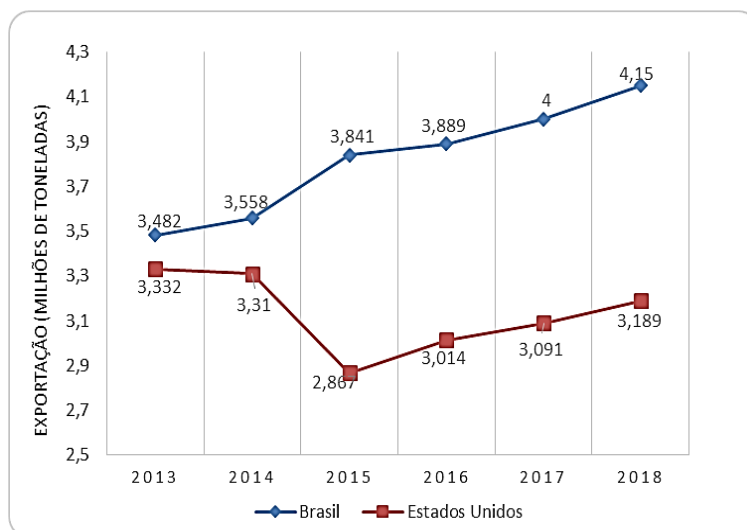


Fonte: Adaptado de *United States Department of Agriculture* (USDA, 2017).

De acordo com *United States Department of Agriculture* (USDA, 2017) é previsto o aumento de 3% nas exportações de carne de frango mundial para o ano de 2018 em relação a 2017. O aumento da exportação brasileira para o ano de 2018 será impulsionado pelo aumento da competitividade dos seus produtos e pelo fato de seus principais concorrentes estarem impactados negativamente pelas restrições ao comércio devido à gripe aviária.

Por sua vez, a produção dos EUA, segundo USDA (2017), deverá crescer 2%, para um recorde de 19,0 milhões de toneladas para o ano de 2018, em relação ao ano de 2017. As exportações alcançarão, aproximadamente, 3,2 milhões de toneladas, representando aumento de 3%. A tendência à maior produção será apoiada pelo crescimento do consumo interno, aumento da demanda de exportação do México e melhoras nos embarques para outros mercados primários. Essa tendência do aumento da exportação brasileira e americana está ilustrada na Figura 3.

Figura 3 - Tendência da exportação de carne de frango do Brasil e EUA desde o ano de 2012 a 2018.



Fonte: Adaptado de *United States Department of Agriculture (USDA, 2017)*.

3.2 Panorama da avicultura brasileira

A avicultura brasileira ocupa a segunda posição na produção mundial, produzindo um total de 12.9 milhões de toneladas de carne de frango em 2016, ficando atrás apenas dos EUA, com produção de 18.261 milhões de toneladas, seguida da China, que se encontra em terceiro lugar, com produção de 12.300 milhões de toneladas. O Brasil ocupa a liderança mundial de exportação de carne de frango com 4.384 milhões de toneladas (UBABEF, 2017). O principal destino da produção da carne de frango brasileira é o mercado interno, representando 66% da produção, enquanto que, as exportações representam 34% (ABPA, 2016).

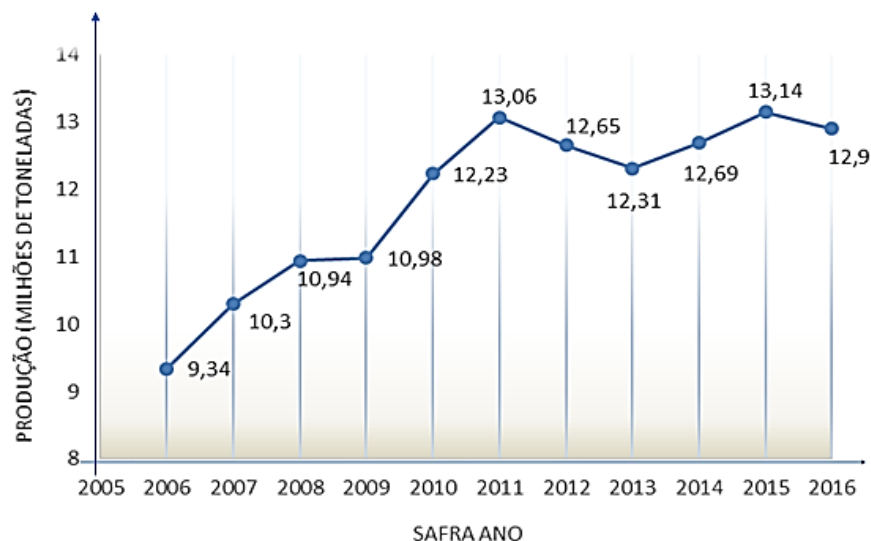
Dados do relatório anual da União Brasileira de Avicultura (UBABEF, 2017) indicam um expressivo crescimento da produção brasileira de carne de frango (Figura 4), entre os anos de 2013 e 2016. A redução observada na produção

no ano de 2012, deveu-se ao aumento significativo dos preços dos insumos, como o farelo de trigo e soja e, em 2013 devido à alta do preço do milho no mercado internacional, consequência da quebra da safra nos Estados Unidos no ano de 2012, o que encareceu a ração, e afetou negativamente o crescimento da produção de frango em 2011 e reduziu o preço final recebido. Adicionalmente, o milho mais caro e o preço menor do frango, mais os desdobramentos da crise internacional, que reduziram as exportações, já haviam causado dificuldades ao setor avícola entre 2011 e 2012 (BRASIL, 2014).

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2014), a produção brasileira de carne de frango totalizou, no ano de 2014, o equivalente a 12,69 milhões de toneladas, resultado 3,08% superior ao total produzido pelo setor em 2013. Este aumento decorreu principalmente pela alta dos preços da carne bovina.

Em 2015, segundo dados da ABPA (2015), a produção de carne de frango totalizou, neste mesmo ano, uma produção de 13,14 milhões de toneladas, quantidade 3,55% superior ao registrado no ano de 2014. Em meio ao cenário complexo de 2015, a carne de frango ampliou sua liderança como a mais consumida pelo brasileiro, tendo como principal causa o aumento do custo da carne de boi (TURRA, 2015). Na Figura 4, é ilustrada a tendência de crescimento da produção brasileira do ano de 2006 até 2016.

Figura 4 - Produção brasileira de carne de frango, em milhões de toneladas, correspondente aos anos de 2006 até 2016.

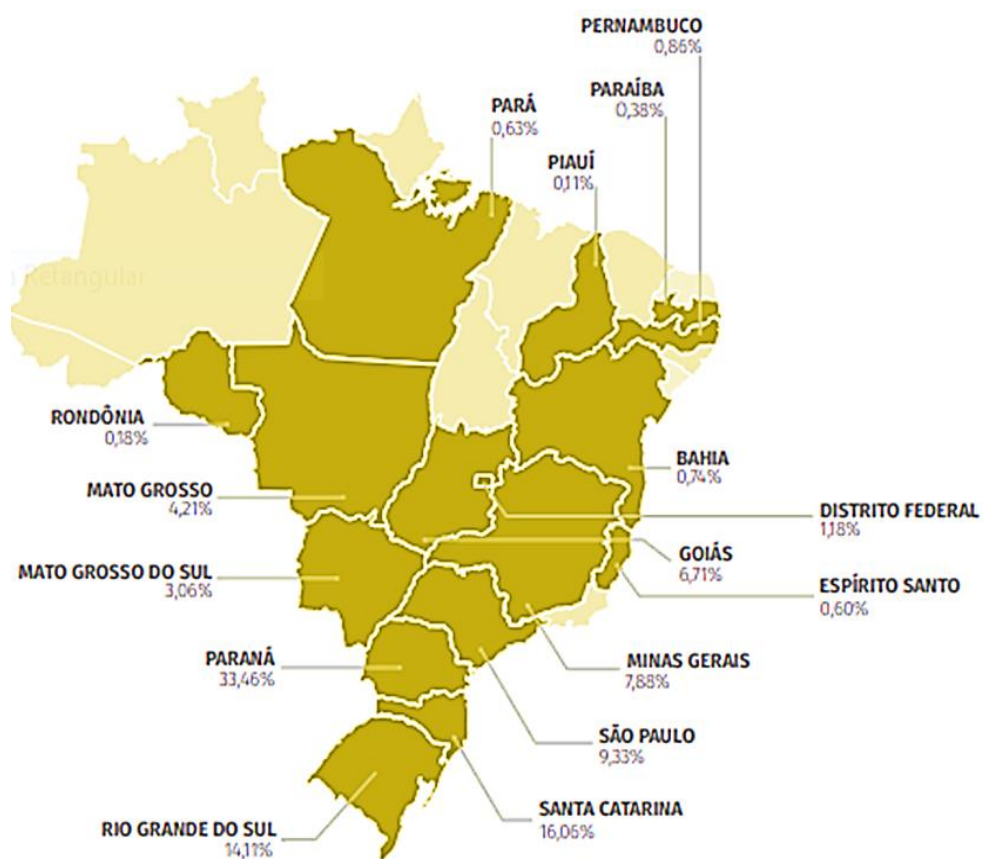


Fonte: UBABEF (2017).

3.3 Principais estados produtores de aves para abate

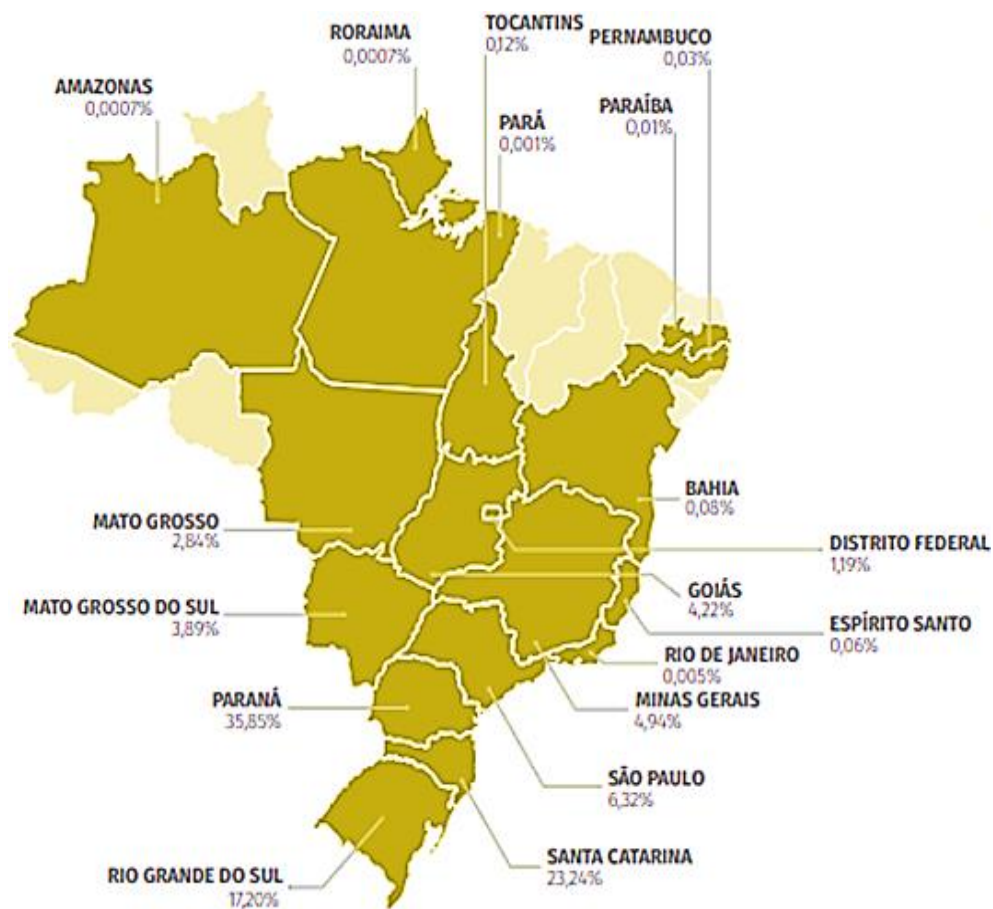
Segundo ABPA (2015), o estado do Paraná, desde o ano de 2003, tem se destacado como o maior produtor de carne frango do país. Enquanto o estado do Paraná ocupa a primeira posição, em relação ao abate e exportação de carne de frango, o estado de Minas Gerais ocupa a quinta posição (UBABEF, 2017). A posição de destaque do estado do Paraná deve-se, entre outros fatores, à estrutura industrial avícola de abate e processamento, com base no cooperativismo consolidado. O comportamento da produção e exportação de carne de frango, no ano de 2016, nos estados brasileiros, são ilustrados nas Figuras 5 e 6 respectivamente.

Figura 5 - Participação de cada estado frente ao abate de frangos de corte no ano de 2016.



Fonte: ABPA (2017).

Figura 6 - Participação de cada estado frente à exportação de carne de frango no ano de 2016.



Fonte: SECEX/ABPA (2017).

3.4 Interações entre o ambiente térmico e os frangos de corte

Por serem homeotérmicos, os frangos de corte possuem capacidade para manter a temperatura corporal aproximadamente constante até certos limites do

ambiente térmico que os circunda. Quando criados em condições de conforto, as aves podem expressar o máximo desempenho das suas potencialidades genéticas.

O ambiente torna-se termicamente desconfortável quando os valores de temperatura do ar encontram-se fora da zona de termoneutralidade dos animais, ou seja, quando as faixas térmicas estão acima ou abaixo dos limites em que os animais conseguem manter a sua homeotermia sem esforço significativo. De acordo com Ponciano et al. (2012), animais mantidos nas suas zonas de termoneutralidade evitam que ocorra desperdício tanto de energia metabólica, que é gasta para a manutenção da temperatura corporal (para conservar ou dissipar calor), quanto evita o gasto de energia calorífica utilizada para o funcionamento dos sistemas de climatização.

A zona de conforto térmico está relacionada aos fatores idade, estado fisiológico, peso, nível de alimentação, ambientais (temperatura e umidade do ar), dentre outros. Quando submetida ao estresse por frio, a ave busca manter a homeotermia por meio do aumento na produção de calor e da diminuição das perdas; contudo, em situação de estresse calórico, o processo ocorre de forma inversa (COSTA et al., 2012).

Segundo Albino et al. (2014), um dos grandes receios quanto ao aumento da temperatura ambiente na avicultura está relacionado à dificuldade das aves em trocarem calor com o meio, uma vez que estas não dispõem de glândulas sudoríparas. Simultaneamente apresentam o corpo recoberto por penas, as quais tem o propósito de tentar manter sua temperatura corporal em equilíbrio, funcionando como isolamento térmico. Ademais, as aves não são apenas sensíveis ao aumento da temperatura do ar, mas também a variações da umidade relativa. Segundo Medeiros et al. (2005) e Abreu e Abreu (2011), independentemente da fase de criação, a faixa ideal de umidade relativa do ar para as aves deve permanecer entre 60 e 70%. Por sua vez, para Baêta e Souza (2010) e Ferreira (2011) a temperatura ambiente indicada para frangos de corte, na fase adulta, varia

entre 18 e 22 °C, sendo dependente da umidade relativa do ar (50 a 70 %), considerando que a temperatura interna das aves oscila entre 40 e 41,5 °C.

Para Oliveira et al. (2016), quanto maior for a umidade relativa do ar, menos eficiente é perda de calor pelas aves por meio do processo de evaporação. Nesse sentido, os dois elementos meteorológicos devem ser monitorados e controlados a fim de garantir o bem-estar, a produtividade e a qualidade tanto das carnes.

Para Abdelqader e Al-Fataftah (2014), a umidade relativa do ar atua na perda de calor latente (aumenta com a temperatura e diminui com o aumento da umidade relativa) e seu efeito na termorregulação dependerá da idade das aves e da temperatura do ar.

O ambiente externo influencia fortemente no comportamento das aves. Segundo LARA; ROSTAGNO (2013), as aves modificam seu comportamento e sua fisiologia quando são submetidas a temperaturas do ar fora da zona da termoneutralidade, ocorrendo variação de comportamento individual, tanto em duração, quanto em intensidade.

Segundo Albino e Tavernari (2010), para a escolha das instalações avícolas, vários fatores devem ser levados em consideração, desde a análise econômica até o clima da região, a fim de que sejam utilizados materiais de construção adequados aliados a um manejo correto, que possibilitem a obtenção de um ambiente interno favorável, onde as aves poderão desempenhar todo o seu potencial genético.

De acordo com Nascimento et al. (2014), o conforto térmico, dentro das instalações, está diretamente relacionado com o calor produzido pelos animais, o calor que é absorvido, por meio da radiação solar, o calor trocado pelos materiais de cobertura, paredes, piso ou cama e as trocas térmicas provocadas pela ventilação, de forma natural ou mesmo artificial.

Em grande parte, as instalações em seus diferentes aspectos de materiais, concepção arquitetônica, orientação, entre outros, são grandes responsáveis pelo microclima interno nos aviários.

Almeida e Passini (2013) avaliaram diferentes tipos de coberturas (telha de cimento-amianto, telha de bambu, telha de bambu pintada de branco, telha de fibra vegetal e betume e telha de fibra vegetal e betume pintada de branco) em instalações para aves, por meio do Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade (ITGU), Carga Térmica de Radiação (CTR) e Entalpia (H) no Estado de Goiás. Os autores observaram que, dentre os horários estudados, o considerado com menor conforto foi às 14h, sendo que a cobertura de fibra vegetal e betume foi a que apresentou maior valor de ITGU (84,1) quando comparada às demais coberturas, caracterizando uma situação de menor conforto térmico, não sendo observada diferença para CTR e H entre os tratamentos na região estudada.

Silva et al. (2015), avaliando o uso de diferentes tipos de coberturas (telhas cerâmicas, telhas de alumínio e telhas de fibra vegetal), em modelos reduzidos de galpões avícolas (1:10), a partir da análise dos índices de conforto térmico, obtidos da região Central do Brasil, observaram que a utilização de telha de cerâmica com inclinação de 30° propicia ambiente interno com menores valores de carga térmica de radiação e Índice de Temperatura de Globo Negro e Umidade, comparativamente as demais telhas testadas é a mais recomendada.

Castro et al. (2017), avaliando o uso de diferentes combinações de cobertura (revestimentos cerâmicos e fibrocimento pintado de branco, associadas a revestimentos de polipropileno e a revestimento de tecido termo-reflexivo) em modelos reduzidos de instalações de produção animal, com base em índices de conforto térmico, observaram que os valores de radiação térmica máxima ocorreram às 14h (515,36 a 573,36 W m⁻²), sendo o melhor tratamento formado por telha de fibrocimento com revestimento específico de polipropileno sob

cobertura e o pior tratamento foi formado por telha de fibrocimento com tela termo reflexiva nas telhas (544,05 W.m⁻²).

Não só o efeito do ambiente interno deve ser analisado visando melhoria nas condições de produção de aves para corte, mas o ambiente externo também deve ser estudado para busca de novas tecnologias baseado no clima de cada região. Araújo; Maciel; Santos (2014,) em estudo climático do município de Redenção no Estado do Pará, observaram a necessidade de corrigir o bioclima para se alcançar condições ideais para a produção de frangos no município, visto que a região apresenta umidade relativa do ar considerada acima da zona de conforto térmico (71,1 a 73,6%) e que, segundo as recomendações, deve estar entre 50 e 70%. O fator mais relevante quanto à contribuição para o aumento da umidade relativa está relacionado diretamente com as chuvas torrenciais, uma vez que a região se situa no bioclima amazônico.

Enquanto que Dalólio et al. (2016) avaliando o efeito do bioclima em um galpão experimental de frangos de corte, na cidade de Diamantina-MG, por meio de leituras diárias da temperatura e umidade relativa nos horários (9:00, 15:00 e 21:00 horas), durante um período de 42 dias no ciclo de criação dos frangos de corte, observaram que a temperatura do ar no galpão, até a quarta semana de criação das aves, esteve fora da zona de conforto térmico, em todos os horários, ficando abaixo dos valores considerados como ideais (1° dia 20 a 25°, 7° dia 13 a 17°, 14° dia 17 a 23° e 21° dia 17 a 25°). Dessa forma, as aves permaneceram em estresse por frio durante a maior parte do período. Os autores observaram também, que em todas as semanas avaliadas, os valores de umidade relativa no interior do aviário estiveram fora da faixa ideal (50 – 70 %) apresentando umidades variando desde 55 a 100%.

Contudo, são necessários mais estudos a fim de avaliar as diferentes interações dentro do sistema de criação de aves para corte, permitindo o melhor planejamento, como a produção arquitetônica e orientação dos avicultores a

respeito do melhor planejamento ambiental, objetivando maior produção, maior qualidade dos seus produtos e redução dos custos.

3.5 Limites de conforto térmico para frangos de corte

Existem diversos parâmetros que são considerados na determinação do conforto térmico dos frangos de corte. Segundo Amaral et al. (2011), dentre os fatores que compõem o ambiente, os térmicos, representados pela temperatura, umidade relativa, radiação e velocidade do ar, são tidos como os mais relevantes, por exercerem ação direta e imediata, uma vez que comprometem a homeotermia. Os índices zootécnicos (ganho de peso, consumo de ração e água, conversão alimentar, peso corporal e rendimento de carcaça), as respostas fisiológicas (temperatura retal e superficial, frequência respiratória) e as respostas comportamentais (tais como demonstração de estresse, distribuição espacial e presença de comedouros e bebedouros) podem ser avaliados para verificar se os frangos de corte estão sendo criados ou não na zona de conforto ou termoneutra.

As aves são animais homeotérmicos capazes de regular a temperatura corporal. Cerca de 80% da energia ingerida é utilizada para manutenção da homeotermia e apenas 20% é utilizada para produção. A temperatura do núcleo corporal de aves é igual a 41,7°C de acordo com Abreu e Abreu (2011).

Diversos autores (HUBBARD, 2014; ROSS, 2014; COBB, 2012; CASSUCE, 2011; ABREU e ABREU, 2011), em pesquisas realizadas, em quase sua totalidade, vêm estabelecendo as faixas de temperatura considerada como ideais para os ambientes de criação de frangos de corte, visando estabelecer bons parâmetros de criação e maior desempenho produtivo. Estas faixas de temperatura do ar (Tabela 1) têm auxiliado na definição da forma mais adequada de criação e empregos de sistemas de condicionamento térmico para frio e calor no Brasil.

Tabela 1 – Faixa de temperaturas de conforto térmico para frangos de corte nas diferentes idades.

| Idade | Faixa de Temperatura (°C) |
|-----------|---------------------------|
| 1° Semana | 35-32 |
| 2° Semana | 32-29 |
| 3° Semana | 29-21 |
| 4° Semana | 26-20 |
| 5° Semana | 23-18 |
| 6° Semana | 20-18 |

Fonte: Adaptada de HUBBARD (2014); ROSS (2014); COBB (2012); CASSUCE (2011); ABREU e ABREU (2011).

Cassuce et al. (2013) objetivando verificar as temperaturas ambientais que caracterizam o conforto térmico de frango de corte de 1 a 21 dias de idade, sob condições de produção brasileiras, observaram que os valores de temperatura ambiente que proporcionam o maior ganho de peso para o período inicial de criação de frangos de corte foram 31,3; 25,5 e 21,8 °C, na primeira, segunda e terceiras semanas de vida dos animais.

De acordo com Ponciano et al. (2011), quando os animais são mantidos em temperaturas do ar adequadas, se evita o desperdício de energia metabólica contida na ração fornecida, visto que praticamente não existe gastos na manutenção da temperatura corporal. Por isso, é de fundamental importância o controle do ambiente térmico no ambiente de produção, para que as aves mantenham suas funções fisiológicas em estado normal e produzam de forma regular. As temperaturas críticas inferiores e superiores, além daquelas que definem a zona de conforto térmico estão listadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de temperatura crítica inferior (TCI), zona de conforto térmico (ZCT) e temperatura crítica superior (TCS), de acordo com a fase de vida da ave.

| Fase | TCI (°C) | ZCT (°C) | TCS (°C) |
|---------------|----------|----------|----------|
| Recém-nascido | 34 | 35 | 39 |
| Adulta | 15 | 18 a 28 | 32 |

Fonte: Curtis (1983).

Como pode ser observado nas Tabelas 1 e 2, para cada idade da ave existe uma faixa considerada ideal de temperatura e umidade relativa do ar. Temperaturas acima ou abaixo desses limites promovem estresse nos animais, prejudicando desta forma seu rendimento final e, até mesmo, levando esses animais a óbito (ZHANG et al., 2012).

Segundo União Brasileira de Avicultura (UBABEF, 2017), para pintinhos de um a sete dias de idade, a zona de conforto encontra-se entre 31 a 33°C. Para aves adultas recomenda-se a temperatura de 21 a 23°C e umidade relativa entre 65 a 70%.

Cassuce (2011), ao avaliar frangos de corte em diferentes idades e condições de estresse por calor (30°C a 36°C e 33°C a 39°C), observaram uma perda de aproximadamente 7% nos animais em temperatura de 33 a 39°C e uma redução de 4% no rendimento da carcaça das aves submetidas a temperatura de 30 a 36°C, quando foram comparadas às aves mantidas em condições de conforto térmico.

De acordo com Zuidhof et al. (2014), aves com idade mais próxima ao abate são mais susceptíveis ao calor, devido ao seu maior peso corporal e maior empenamento, dificultando as trocas gasosas.

Os estresses térmicos por calor e por frio causam a redução do desempenho de frangos de corte, o que resulta em piores índices de conversão alimentar (BAZIZ et al., 1996; NAVARINI 2009, BOIAGO et al., 2013).

Além da temperatura do ar, a umidade relativa também está diretamente relacionada à susceptibilidade das aves ao estresse calórico, visto que quando submetidas a elevadas temperatura ocorrem respostas fisiológicas compensatórias para voltar à zona de conforto térmico (CAIRES et al., 2010). Esse limite de umidade relativa do ar é variável em relação à idade da ave (Tabela 3).

Tabela 3 – Intervalos de umidade relativa para conforto térmico de frangos de corte de diferentes idades

| Idade (dias) | Umidade relativa (%) |
|--------------|----------------------|
| 0 | 30-50 |
| 7 | 40-60 |
| 14 | 40-60 |
| 21 | 40-60 |
| 28 | 50-70 |
| 35 | 50-70 |
| 42 | 50-70 |

Fonte: COBB. Broiler Management Guide (2012)

O desenvolvimento do pintinho em condições ambientais de termoneutralidade, em particular na primeira semana de idade, é condição relevante para o desenvolvimento futuro do animal (MARCHINI et al., 2009). Após a eclosão, o desenvolvimento inicial do pintinho é fundamental para o melhor desempenho do frango de corte até o final do ciclo de produção (TEIXEIRA et al., 2009).

No período de 1 a 21 dias, as aves mantidas nos ambientes de alta temperatura apresentaram redução média de 14,7% de consumo de ração (OLIVEIRA et al., 2006). Por sua vez, Siqueira (2006) relatou redução linear de 32,4 g no consumo de ração de frangos de corte, para cada unidade de temperatura acrescida no período de 21 a 42 dias de idade. Oliveira et al., (2006) avaliando os efeitos da temperatura ambiente sobre as características de carcaça de frangos de corte machos de 22 aos 42 dias de idade, concluíram que os melhores resultados

para pesos absolutos de peito, coxa e carcaça são obtidos quando as aves são mantidas em temperaturas de 24 a 26,3°C.

Segundo alguns autores, o conforto térmico para frangos de corte ocorre quando a temperatura do ar próximo à ave está entre 15°C e 25°C, a umidade relativa entre 50% e 60%, não podendo atingir valores acima de 80%; e a velocidade média do ar à altura das aves de, aproximadamente, 0,2 m s⁻¹, no inverno e 0,5 m s⁻¹, no verão (BAIÃO, 1995; CURTIS, 1983; DESHAZER, BECK 1988; DONALD, 1998).

Assim, o conhecimento da faixa ideal de temperatura e umidade relativa do ar buscando o conforto térmico, permite ao avicultor trabalhar em cima das melhores formas para estar dentro destes limites ou até mesmo prever as respostas fisiológicas destes animais.

3.6 Efeito do ambiente térmico sobre as respostas fisiológicas de frangos de corte

A influência das condições ambientais na produtividade é fator determinante nas funções fisiológicas e metabólicas dos frangos de corte, responsáveis pelo seu melhor desempenho.

Segundo Franco (2011), no início da vida, ainda na fase embrionária e nas primeiras semanas de vida, as aves são consideradas animais poiquilotérmicos, incapazes de manter a temperatura corporal de forma adequada se o ambiente estiver desfavorável. Entre 1º a 21º dias de idade, as aves são extremamente sensíveis a estresse por frio, pois seu sistema termorregulador ainda não está totalmente desenvolvido e quando submetidas a ambientes com temperaturas abaixo do ideal para a idade, esse animal pode ser levado à hipotermia (GOMES et al., 2011). De acordo com Navas (2014), as aves quando submetidas por frio, tendem a aumentar seu consumo por alimentos e reduzir seu consumo de água e

apresentam tendência em agrupar-se, objetivando diminuir a sua taxa de calor corporal perdida para o ambiente.

Segundo Schiassi, et al. (2015a), tanto o excesso de frio quanto o excesso de calor influenciam na manutenção da temperatura corporal das aves, levando a alteração comportamental e mudanças em seus parâmetros fisiológicos visando adaptar-se ao estresse.

De acordo com Schiassi (2013), quando frangos de corte são submetidos à baixas temperaturas, estes necessitam elevar a produção de calor visando manter a homeotermia, e para que este processo ocorra, as aves ativam o processo de vasoconstrição, diminuindo sua frequência respiratória, elevam sua taxa metabólica, e ampliam o isolamento de sua pele mediante a ereção de suas penas, juntamente com a produção de calor por meio de tremor muscular e arrepio.

Schiassi et al. (2015b), avaliando o comportamento de frangos de corte, durante as duas primeiras semanas de vida, submetidos a diversas variações de temperatura do ar em câmaras climáticas observaram que em condições de estresse térmico pelo frio, as aves apresentam tendência de permanecer maior parte do tempo agrupadas, afetando desta forma o seu desenvolvimento e a sua eficiência produtiva.

Segundo Zhang et al. (2012), exposições prolongadas a altas temperaturas e umidade relativa do ar podem causar desequilíbrios fisiológicos e bioquímicos, causando perdas produtivas, redução da qualidade e aumento na mortalidade de frangos de corte. Ao se agravar essa condição, os frangos mais pesados são mais suscetíveis ao estresse térmico, aumentando a mortalidade e tornando-os mais dependentes das instalações avícolas (VALE et al., 2010).

Sendo assim, o comportamento desses animais é o reflexo do seu estado de bem-estar em um determinado período, estando relacionado a fatores ambientais e fisiológicos (COSTA, et al., 2012). Assim, as informações comportamentais, juntamente com as informações referentes ao ambiente e às

respostas produtivas das aves possibilitam uma análise mais detalhada dos processos envolvidos, possibilitando a busca de soluções visando diminuir ou eliminar os problemas ocorridos durante o processo de desenvolvimento da ave (SCHIASI, 2013).

3.7 Mudanças climáticas e produção avícola

As mudanças climáticas representam um grande desafio para a avicultura brasileira, pois tendências de aumento da temperatura do ar, em certos períodos do ano e em determinados locais, além da ocorrência de extremos climáticos, podem gerar prejuízos aos produtores. Por serem animais homeotérmicos, os frangos de corte são capazes de manter a sua temperatura corporal dentro de limites estreitos, entretanto, podem apresentar perdas produtivas consideráveis quando o ambiente térmico extrapola os limites de conforto (BARACHO et al., 2013; BOIAGO et al., 2013; LARA; ROSTAGNO, 2013; CASTRO, 2014; SCHIASI et al., 2015b).

A decisão pela implantação de um novo aviário exige dos profissionais mais atenção aos pontos limitantes que norteiam a escolha do sistema, como o conhecimento da fisiologia da ave, o diagnóstico bioclimático da microrregião de produção, a aplicação dos conceitos de ambiência e um detalhamento da tipificação dos sistemas (ABREU; ABREU, 2011). Para estudo da estimativa do ambiente térmico e do desempenho produtivo dos frangos de corte, ao longo do comprimento do galpão, algumas simulações utilizaram o modelo matemático e o programa computacional SisTunel 1.0, proposto por Carvalho (2006). Em adição, à escolha dos materiais que irão compor a estrutura do aviário, a densidade de criação das aves, o uso de sistemas de resfriamento evaporativo, dentre outras possibilidades, é imperativo para o projeto adequado do aviário.

O Código Sanitário de Animais Terrestres da OIE (2016) relatam algumas estratégias visando reduzir os efeitos adversos do ambiente sobre os frangos de corte; dentre estas, incluem-se o fornecimento de temperatura adequada, resfriamento evaporativo do ar e o ajuste na densidade de alojamento e também ajuste na velocidade do ar. Também preconizam que a ventilação adequada é necessária em todos os lugares do alojamento a fim de fornecer ar fresco, remover gases residuais, como amônia e dióxido de carbono, excesso de umidade e poeira do ambiente.

3.8 Modelagem matemática aplicada à ambiência avícola

A cadeia de produção de frangos de corte tem recebido investimentos em tecnologias que propiciem a sua otimização. Dentre as tecnologias que permitem atender às necessidades desta cadeia produtiva, destaca-se o desenvolvimento de modelos matemáticos para fins de predição e controle do ambiente de produção.

A modelagem matemática é um método de pesquisa que investiga, por meio da matemática, problemas, fenômenos ou situações das mais diferentes áreas, consistindo, assim, em uma área de pesquisa essencialmente interdisciplinar para fazer predições a respeito da situação ou problema investigado (BASSANEZZI, 2002).

Nesse contexto, a necessidade do controle e entendimento efetivo do ambiente interno nas instalações avícolas é a principal razão do uso de diferentes métodos matemáticos e computacionais, como, por exemplo, os modelos baseados em equações de transferência de calor e massa (CARVALHO et al., 2009; WATHES e CLARK, 1981; KETTLEWELL; MORAN, 1992; TURNPENNY et al., 2000a; YANAGI Jr. et al., 2001; NASCIMENTO, 2017).

Bouchillon et al. (1970) desenvolveram um modelo mecânico para determinar a homeostase térmica de frangos de corte em diferentes condições

ambientais. Foi descrito pelos autores, considerando a análise em estado transiente e estacionário, incluindo as perdas evaporatórias pela respiração. Porém, os autores utilizaram equações para prever as variáveis fisiológicas dos frangos baseadas no peso corporal, que variam de acordo com as condições ambientais as quais as aves estão expostas. Os autores supracitados concluem a necessidade de aprimoramento do modelo e a inclusão de dados fisiológicos mensurados nos frangos de corte.

Carvalho et al. (2009) registraram o zoneamento do potencial de uso de sistemas de resfriamento evaporativo (SRE) acoplado a um sistema de ventilação em modo túnel (SVT), para criação de frangos de corte na região Sudeste do Brasil. Provando que o SVT é recomendado é recomendado para a região Sudeste do Brasil, em razão de proporcionar melhores condições de conforto às aves, uma vez que somente o uso da ventilação não foi suficiente para lhes garantir conforto térmico às aves no período estudado, para as horas mais quentes do dia.

Wathes e Clark (1981) estudaram o fluxo de calor sensível por convecção e radiação de ondas longas de frangos de corte durante todo o ciclo de criação. Apesar da discussão dos autores envolver a proteção térmica da capa de penas e o comportamento de agrupamento dos frangos dentro das instalações, a produção de calor metabólico e o seu particionamento nos mecanismos de perdas de calor não foi considerado.

Kettlewell e Moran (1992) propuseram um modelo matemático para o estudo da perda e produção de calor de frangos de corte durante o transporte em caixas. A observação dos autores é a necessidade de utilizar alguns parâmetros fisiológicos de outras pesquisas que não foram mensurados em frangos de corte, sendo, portanto, de aves que diferem fisiologicamente dos frangos. Devido ao grande número necessário de suposições, os pesquisadores mostraram ressalva em definir as conclusões a partir das predições do modelo, ressaltando a necessidade de se realizar mais pesquisas que ajudem na definição dos parâmetros mais

importantes e que o modelo possa ser testado com dados mensurados em condições simuladas e reais de transporte de frangos de corte.

Turnpenny et al. (2000b) ao desenvolverem um modelo empírico que pode ser aplicado para frangos de corte, levando em consideração o fato de não existir incidência de radiação dentro das instalações, concluíram que uma importante limitação para a validação dos modelos é a carência de dados experimentais disponíveis a respeito do particionamento das perdas de calor, da produção de calor metabólico e do isolamento proporcionado pela capa de cobertura, onde a maioria dos dados foram obtidos a mais de 40 anos atrás.

Yanagi Jr. et al. (2001) desenvolveram um modelo matemático mecanístico e transiente para estudar o aumento na temperatura corporal de galinhas poedeiras após um período de exposição de 50 minutos a uma condição de estresse térmico, e relacionaram com a efetividade de se realizar o molhamento da superfície corporal das aves; mas o modelo considera a transferência de calor por radiação entre os animais e o ambiente como desprezíveis.

Nascimento et al. (2017) apresentaram um modelo para pintos de corte nos primeiros oito dias de vida, considerando um estado estacionário, para estimar as temperaturas da pele e da camada de penas. Ademais, o modelo pode utilizado para a predição da quantidade de calor necessária (provida por uma fonte adicional de radiação) que precisa ser fornecida às aves para que mantenham sua homeostase. A importância deste modelo é considerar a produção de calor metabólico das aves, sendo utilizados dados coletados em frangos de corte por calorimetria indireta para a inclusão no modelo.

As simulações realizadas por meio de modelos matemáticos são importantes para a previsão de problemas específicos como a predição de transferência de calor entre o animal e o ambiente; a predição da temperatura corporal em função do ambiente térmico e ou molhamento do animal; a predição

do ambiente térmico e das respostas fisiológicas e produtivas dos animais; dentre outras.

3.9 Testes de tendências aplicados às séries de dados climáticos

Para o estudo de tendências, será aplicado às séries temporais de elementos climáticos, o teste sazonal de Mann-Kendall (MK), proposto inicialmente por SNEYERS (1975). O Teste de Mann-Kendall (MANN, 1945; KENDALL, 1975) é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para estabelecer se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Por tratar-se de um método não paramétrico, ele não requer distribuição normal dos dados (YUE et al., 2002). Outra vantagem deste método é o fato de ser pouco influenciado por mudanças abruptas ou séries não homogêneas (ZHANG et al., 2009). No entanto, este método exige que os dados sejam independentes e aleatórios (NEETI; EASTMAN, 2011).

Desta maneira, este teste é o método mais apropriado para analisar mudanças climáticas em séries climatológicas, permitindo também, a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência (GOOSSENS; BERGER, 1986), sendo recomendado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) (YU et al., 2002).

No teste MK, assume-se a hipótese de nulidade (H_0), ou seja, de estabilidade de uma série temporal, quando não existe tendência na série, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples). Dessa forma, a hipótese alternativa (H_1) se caracteriza pela existência de uma tendência na série temporal. Segundo Folhes e Fisch (2006), o seguinte roteiro de cálculo para aplicação do teste SMK pode ser usado:

Partindo do princípio de uma série temporal aleatória, em que, $X_1, \dots, X_i, \dots, X_n$ será analisada na comprovação da hipótese de nulidade (H_0), inicialmente, calcula-se a posição ou a ordem de cada elemento X_i em relação aos outros valores da série, de maneira que $R_1, \dots, R_i, \dots, R_n$ represente a série de números que especificam a ordem relativa de cada elemento da série temporal X_i . Na sequência, o sinal de cada número-ordem deve ser determinado por intermédio das funções sinal ($R_j - R_i$), conforme as equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = 1, \text{ para } R_j - R_i > 0 \quad (1)$$

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = 0, \text{ para } R_j - R_i = 0 \quad (2)$$

$$\text{sinal}(R_j - R_i) = -1, \text{ para } R_j - R_i < 0 \quad (3)$$

Considerando a hipótese de nulidade (H_0) de ausência de tendência positiva ou negativa na série, o teste SMK pode ser calculado pela equação 4.

$$S = \sum_{j=i+1}^n \text{sinal}(R_j - R_i) \quad (4)$$

Caso a hipótese de nulidade H_0 seja verdadeira, então a estatística S apresenta conforme equação 5.

$$\text{VAR}(S) = \frac{n \cdot (n-1) \cdot (2 \cdot n + 5)}{18} \quad (5)$$

Para séries temporais mensais de observações, o teste SMK deve ser aplicado considerando-se a covariância entre os valores mensais no cálculo da variância. Assim, os dados devem ser agrupados em uma matriz X, bem como a respectiva matriz R de ordem de cada observação X.

$$X = \begin{bmatrix} X_{1,1} & \cdots & X_{1,12} \\ \vdots & & \vdots \\ X_{n,1} & \cdots & X_{n,12} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$R = \begin{bmatrix} R_{1,1} & \cdots & R_{1,12} \\ \vdots & R_{i,g} \cdots R_{i,h} & \vdots \\ R_{n,1} & \cdots & R_{n,12} \end{bmatrix} \quad (7)$$

A estatística S_g para cada mês pode ser calculada pela equação 8.

$$S_g = \sum_{j=i+1}^n \text{sign}(R_{j,g} - R_{i,g}) \quad (8)$$

em que, $g = 1, 2, \dots, 12$ que representa os meses do ano (Janeiro = 1, Fevereiro = 2, ..., Dezembro = 12).

Sob H_0 , o teste SMK é calculado pela equação 9.

$$S = \sum_{g=1}^{12} S_g \quad (9)$$

Considerando que H_0 seja verdadeira, a estatística S apresenta uma distribuição aproximadamente normal com média igual a zero e variância $\text{VAR}(S)$ calculada pela Equação 10.

$$\text{VAR}(S) = \sum_{g=1}^{12} \text{VAR}(S_g) + \sum_{\substack{g,h=1 \\ g \neq h}}^{12} \text{COV}(S_g, S_h) \quad (10)$$

A COV (S_g, S_h) pode ser calculada pela equação 11, a seguir:

$$\text{COV}(S_g, S_h) = \frac{[K_{g,h} + 4 \sum_{i=1}^n R_{i,g} \cdot R_{i,h} - n \cdot (n+1)^2]}{3} \quad (11)$$

O termo $K_{g,h}$ da equação 11 pode ser calculado conforme descrito na equação 12.

$$K_{g,h} = \sum_{j=i+1}^n \text{sign}[(X_{j,g} - X_{i,j}) \cdot (X_{j,h} - X_{i,h})] \quad (12)$$

Assim, o valor da estatística MK pode ser calculada conforme descrito a seguir (equação 13):

$$\text{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (13)$$

A decisão final de aceitar ou rejeitar H_0 é realizada com base na análise da estatística MK. Assim, pode-se confirmar a hipótese de estabilidade dos dados ou rejeitá-la, aceitando a hipótese alternativa, que consiste na existência de tendência nos dados climatológicos. O sinal positivo ($\text{MK} > 0$) da estatística MK

indica se tendência é crescente e negativo ($MK < 0$) o inverso. Aplicando-se um teste bilateral para tendência, H_0 será aceito se $|MK| \leq Z_{\alpha/2}$, sendo que, o valor de $Z_{\alpha/2}$ é obtido a partir da Tabela na Normal Reduzida, geralmente ao nível $\alpha=0,05$.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O clima representa um grande desafio para a manutenção da produtividade e qualidade do setor aviário. Ter o conhecimento da influência desse fator sobre o animal constitui uma importante ferramenta para a busca de novas alternativas para solucionar os problemas decorrentes das mudanças climáticas. Assim, a modelagem matemática e o método de análise de tendência aplicado às séries de dados climáticos são relevantes para se fazer previsões a respeito desta questão.

O conhecimento e a caracterização bioclimática das condições atuais possibilita a busca de soluções para mitigação de possíveis problemas, tanto para o presente, quanto para cenários futuros. Fornecendo aos avicultores, dados científicos do comportamento das aves frente às variações climáticas, possibilita-se também a busca de novas alternativas para manutenção da qualidade da produção.

REFERÊNCIAS

ABDELQADER, A.; AL-FATAFTAH, A. R. Thermal acclimation of broiler birds by intermittent heat exposure. **Journal of Thermal Biology**, Amsterdam, v.39, p.1-5, 2014.

ABPA. Associação Brasileira Proteína Animal. Mercado Mundial 2014. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/mercado-mundial>. Acesso: 28 jan. 2018.

ABPA. Associação Brasileira Proteína Animal. Mercado Mundial. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/mercado-mundial>. Acesso em janeiro de 2015.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Protocolo de Bem-Estar para Frangos de Corte. 2016. Disponível em :< <http://abpa-br.com.br> >. Acesso em 10 de fevereiro de 2018.

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. Relatório anual 2017. Disponível em: http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web_reduzido.pdf. Acesso em 10 de março de 2018.

ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.40, p.1-14, 2011.

ALBINO, F. L.; CARVALHO, B.R.; MAIA, R.C.; BARROS, V.R.S.M. **Galinhas Poedeiras: criação e alimentação**. Ed.1. Viçosa, MG, 376 p. 2014.

ALBINO, L.F.T.; TAVERNARI, F.C. **Produção e manejo de frangos de corte**. Viçosa: UFV, 2010. 88 p. (Série didática).

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: ASAE, 1990. 453 p.

ALMEIDA, E. A.; PASSINI, R. Thermal comfort in reduced models of broilers' houses, under different types of roofing materials. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.33, n.1, p.19-27, jan./fev. 2013.

AMARAL, A.G.; YANAGI JUNIOR, T.; LIMA, R.R., TEIXEIRA, V.H.; SCHIASSI, L. Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.3, p.649-658, 2011.

ARAÚJO, J. A.; MACIEL, L.G.; SANTOS, J.S. Caracterização climática para frangos de corte no município de Redenção – PA. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.10, n.19; p. 2014.

ASHRAE. Evaporative air cooling. In: **HVAC Systems and Equipment Handdbook**. Atlanta, Ga.: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, 1992. Chap. 19.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa, UFV, p. 268, 2010.

BAIÃO, N. C. Efeitos da alta densidade populacional sobre o ambiente das instalações avícolas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE AMBIÊNCIA E INSTALAÇÕES NA AVICULTURA INDUSTRIAL, 1995, São Paulo. **Anais...** Campinas, 1995. p. 67-75.

BARACHO, M. S.; CASSIANO, J. A.; NÄÄS, I. A.; TONON, G. S.; GARCIA, R. G.; ROYER, A. F. B.; SANTANA, M. R. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. **Agrarian**, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.

BASSANEZZI, R. C. **Ensino-aprendizagem com modelagem matemática**. São Paulo: Contexto, 2002, 389 p.

BAZIZ, H.A.; GERAERT, P.A.; GUILLAUMIN, S. 1996. Chronic heat exposure enhances fat deposition and modifies muscle and fat partition in broiler carcasses. **Poult. Sci.**, 75:505-513.

BOIAGO, M. M.; BARBA, H.; SOUZA, P. A.; SCATOLINI, A. M.; FERRARI, F. B.; GIAMPIETRO-GANECO, A. Desempenho de frangos de corte, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.

BOUCHILLON, C.W.; REECE, F.N; DEATON, J.W. Mathematical modeling of thermal homeostasis in a chicken. Transactions of ASAE, v.13, n.5, p. 648-652, 1970.

BRASIL, PORTAL. **Produção dispara no campo com recorde no abate de frangos, suínos e na postura de ovos.** 2014. Disponível em: <http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2014/12/producao-dispara-no-campo-com-recorde-no-abate-de-frangos-suinos-e-na-postura-de-ovos>. Acesso: 29 nov. 2018.

CAIRES, C.M.; CARVALHO, A.P.; CAIRES, R.M. Criação alternativa de frangos de corte. **Revista Eletrônica Nutrine**, v.7, n.2, p.1169-1174, 2010.

CASSUCE, D. C. **Determinação das faixas de conforto térmico para frangos de corte de diferentes idades criados no Brasil.** 2011. 103p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

CASSUCE, D.C.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C.; ZOLNIER, S.; CECON, P.R.; VIEIRA, M.F.A.. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. **Engenharia Agrícola**, v.33, n.1, p.28-36, 2013.

CASTRO, A.C.; SILVA, I. J.O, NAZARENO, A.C.; NUNES, M. L.A, PIEDADE, S.M.S (2017). Thermal efficiency of different coverage materials in reduced models of animal husbandry facilities: a case study. **Revista Engenharia Agrícola** 37(3):403-413.

CASTRO, J. O. **Avaliação e modelagem do desempenho de codornas japonesas em postura submetidas a diferentes ambientes térmicos.** 2014. 71 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CARVALHO, V. F. **Modelagem e zoneamento do ambiente térmico para avaliar o desempenho de frangos de corte criados em galpões climatizados.** Lavras: UFLA, 2006. 77p. Dissertação Mestrado.

CARVALHO, V. F.; YANAGI JUNIOR, T.; DAMASCENO, F. A.; MORAIS, S. R. P.; TINÔCO, I. F. F. **Desenvolvimento de um software para predição do ambiente térmico e desempenho de frangos de corte em galpões climatizados.** Revista Brasileira de Agroinformática, v. 9, p. 1–16, 2009.

CHANDRA, P. K.; SINGH, R. P. **Applied numerical methods for food and agricultural engineers.** Boca Raton: CRC Press, 1995. 500 p.

COBB. **Broiler Management Guide**, 2012 73 p. Available at: <http://www.cobb-vantress.com/docs/default-source/management-guides/broiler-management-guide.pdf>. Accessed: may 9 2018.

COSTA, E. M. S.; DOURADO, L. R. B.; MERVAL, R. R. Medidas para avaliar o conforto térmico em aves. **Publicações em Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.6, 2018, 2012.

CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. L.; NAKANISHI, E. Y.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C. de C.; SANTOS, W. N. **Aplicação de painéis particulados de baixa densidade à base de resíduos agroindustriais como forro para galpões avícolas**, Brasília, DF, 2012. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 49., 2012, Brasília, DF. Anais... Brasília: SBZ, 2012. CD.

CURTIS, S. E. Environmental management in animal agriculture. **The Iowa State University**: Ames, 1983. 410p.

DALÓLIO, F. S.; MOREIRA, J.; COELHO, J. R.; SOUZA, C. F. Caracterização bioclimática de um galpão experimental de criação de frangos de corte na região de Diamantina-MG. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa - MG, v. 24, n. 1, p. 22-31, Janeiro / Fevereiro 2016.

DESHAZER, J. A.; BECK, M. M. University of Nebraska Report for Northeast Regional Poultry Project NE-127. Lincoln: Agricultural Research Division, University of Nebraska. 1988.

DONALD, J. Environmental control options under different climate conditions. **World Poultry**, Amsterdam, v. 14, n. 11, p. 22-27, 1998.

FERREIRA, R.A. **Maior produção com melhor ambiente: para aves, suínos e bovinos**. 2ed. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, 2011. 401p.

FOLHES, M. T.; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté (SP). **Revista Ambiente e Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.1, n.1, p. 61-71, 2006.

FRANCO, S. G. **Ambiência Avícola** – Universidade Federal do Paraná – p. 2 – Curitiba, PR. 2011.

GOMES, J. S.; MATONO, D.; SMANIOTTO, B. D.; VALEZE, L. D.; BAZZO, I. C.; RODOVALHO, M. V. T. SGARBORA, S. H. P. V. Estresse térmico na avicultura. In: X Congresso de Iniciação Científica das Faculdades Integradas de Ourinhos, 2011, Ourinhos. **Anais...** Ourinhos: X CIC – FIO, 2011.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v.4, n.B4, p. 385-400, 1986.

HUBBARD. **Management guide broiler**. Hubbard, 2014. Available at: <https://www.hubbardbreeders.com/managementguides/Hubbard%20Broiler%20Management>. Accessed: april 4 2018.

KENDALL, M.G.. Rank Correlation Methods. Charles Griffin, London. 1975
MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259. 1975.

KETTLEWELL, P.J.; MORAN, P. A study of heat production and heat loss in crated broiler chickens: a mathematical model for a single bird. *British Poultry Science*, 33:2, 239-252, 1992.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impacto do estresse térmico sobre a produção de aves. **Animals**, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 356-369, 2013.

MAHONEY, S. A.; KING, J.R. The use of the equivalent black-body temperature in the thermal energetic of small birds. **Journal of Thermal Biology**, Oxford, v.2, n.3, p. 115-120, 1977.

MANN, H.B. Nonparametric tests against trend. *Econometrica* 13, 245-259. 1945

MARCHINI, C.F.P.; SILVA, P.L.; NASCIMENTO, M.R.B.M.; BELETTI, M.E.; GUIMARÃES, E.C.; SOARES, H.L. Intestinal morphometry of the duodenal mucosa in broiler chickens underwent to high cyclic environment temperature. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.61, n.2, p.491-497, 2009.

MEDEIROS, C. M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 2001. 115 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2001.

MEDEIROS, C. M.; BAÊTA, F. C.; OLIVEIRA, R. F. M.; TINÔCO, I. F. F.; ALBINO, L. F. T.; CECON, P. R. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, v.13, n.4, p.277-286, 2005.

NASCIMENTO, G.R. do et al. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. **Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb.**, v.18, n.6, p.658-663, 2014.

NASCIMENTO, SHEILA TAVARES; MAIA, A. S. C. ; GEBREMEDHIN, K. G. ; NASCIMENTO, C. C. N. . Metabolic heat production and evaporation of poultry. **POULTRY SCIENCE**, p. 1, 2017.

NAVARINI, F.C. **Níveis de Proteína Bruta e Balanço Eletrolítico para Frangos de Corte**. 2009. 68 f. Dissertação (Pós – Graduação em Zootecnia) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2009.

NAVAS, T. DE. O. **Estresse por calor na produção de frangos de corte**. **Goiânia**: UFG, 2014. 35p. Trabalho de Conclusão de Curso (Zootecnia). Universidade Federal de Goiás, 2014.

NEETI, N; EASTMAN, J.R. A Contextual Mann-Kendall Approach for the Assessment of Trend Significance in Image Time Series. **Transactions in GIS**, 15(5): 599-611. 2011.

OIE. **Código sanitário dos animais terrestres**. 2016. Disponível em: <http://www.oie.int/en/international-standardsetting/terrestrialcode/acce>. Acesso em 9 de fevereiro de 2018.

OLIVEIRA, P.M., FARIA, M.J.A., NETO, M.G. (2016). **Strategies to minimize the adverse thermal environment in broiler chickens**. Arquivo Brasileiro De Medicina Veterinaria E Zootecnia 68, 739- 747.

OLIVEIRA, R.F.M.; DONZELE, J.L.; ABREU, M.L.T.; FERREIRA, R.A.; VAZ, R.G.M.V.; CELLA, P. S. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.35, n.3, p.797-803, 2006.

OLIVEIRA, G. A.; OLIVEIRA, R. F. M.; DONZELE, J.L.; CECON, P. R.; VAZ, V. R. G. M.; ORLANDO, U. A.D. Efeito da temperatura ambiente sobre o desempenho e as características de carcaça de frangos de corte dos 22 aos 42

dias. **R. Bras. Zootec.**, v.35, n.4, p.1398-1405, 2006.

PONCIANO, P. F. et al. Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 446-458, jun. 2012.

PONCIANO, P. F. et al. Análise do ambiente para frangos por meio da lógica fuzzy: uma revisão. **Revista Archivos de Zootecnia**, v. 60, p. 1-13, 2011.

ROSS. **Broiler management handbook**, 2014.132 p. Available at: http://en.aviagen.com/assets/Tech_Center/Ross_Broiler/Ross-Broiler-Handbook-2014i-EN.pdf. Accessed: may 4 2018.

SCHIASSI, L. **Desempenho e comportamento de frangos de corte em túneis de vento climatizados**. 2013. 79 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2013.

SCHIASSI, L. et al. Modelagem fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** (Online), Campina Grande, v. 19, p. 140-146, 2015a.

SCHIASSI, L.; JUNIOR, T.; FERRAZ, P. F.P.; CAMPOS, A. T.; SILVA, G. R.; ABREU, L.H. P. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. **Eng. Agríc., Jaboticabal**, v.35, n.3, p.390-396, maio/jun. 2015b.

SECEX–Secretaria de Comércio Exterior. **Publicações**. Disponível em: www.desenvolvimento.gov.br. Acesso : 03 jan. 2018.

SILVA, M.G.; MARTIN, S.; OLIVEIRA, C.E.G.; MOSCON, E.S.; DAMASCENO F.A. (2015) Desempenho térmico de tipos de coberturas no interior de modelos reduzidos de galpões avícolas. **Energia na Agricultura** 30 (3):269-275.

SINGLETERY, I. B.; BOTTCHEER, R. W.; BAUGHMAN, G. R. Characterizing effects of temperature and humidity on misting evaporative efficiency. St. Joseph: **Transactions of the ASAE**, Saint. Joseph, v. 39, n. 5, p. 1801-1809, Sept./Oct. 1996.

SIQUEIRA, J. C. **Nível de lisina digestível da ração e temperatura ambiente para frangos de corte em crescimento**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa. 2006.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des series d'observations. Gênova: Organização Mundial de Meteorologia, 1975. 192p. (OMN, **Nota técnica**, 143)

TEIXEIRA, E N.M.; SILVA, J.H.V.; COSTA, F.G.P.; MARTINS, T.D.D.; GIVISIEZ, P.E.N.; FURTADO, D.A. Efeito do tempo de jejum pós-eclosão, valores energéticos e inclusão do ovo desidratado em dietas pré-iniciais e iniciais de pintos de corte. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa-MG, v.38, n.2, 2009.

TURNPENNY, J.R.; McARHTUR, A.J.; CLARK, J. A.; WATHES, C.M. Thermal balance of livestock, 1. A parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, v.101, p. 15-27, 2000a.

TURNPENNY, J. R.; WATHES, C.M.; CLARK, J.A.; McARHTUR, A.J. Thermal balance of livestock, 2. Application of a parsimonious model. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.101, p. 29-52, 2000b.

TURRA, F. Avicultura e suinocultura do Brasil: Produção e Exportação; Previsões para 2015 e 2016. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/noticia/avicultura-e-suinocultura-do-brasil-producao-e-exportacao-previsoes-para-2015-e-2016-1478> . Acesso em: 04 abr. 2018.

UBABEF – União Brasileira da Avicultura. Relatório Anual – Carne de Frango, 2013. Disponível em: www.abef.com.br/ubabef/publicacoes_relatorios_anuais.php. Acesso em: 22 de março de 2018.

UBABEF – União Brasileira da Avicultura. Relatório Anual. Carne de Frango. 2017. Disponível em: http://abpa-br.com.br/storage/files/3678c_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web_reduzido.pdf. Acesso em: 02 abr. 2018.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA – UBA. Protocolo de boas práticas de produção de frango de corte. 2008. Acesso 08 abril 2018]. Disponível em: http://www.avisite.com.br/legislacao/anexos/protocolo_de_boas_praticas_de_producao_de_frangos.pdf.

USDA – UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Livestock and Poultry: World Markets and Trade. Foreign Agricultural Service, 12 out. 2017. Disponível em: https://apps.fas.usda.gov/psdonline/civestock_poultry.pdf. Acesso: 4 mar. 2018.

VALE, M. M.; MOURA D.J.; NÄÄS I.A.; PEREIRA D.F. Heat waves characterization with impact over broilers mortality rates between 29 days old at the slaughter. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.12, p.279-285, 2010.

WATHES, C.M.; CLARK, J.A. Sensible heat transfer from the fowl: Radiative and convective heat losses from a flock of broiler chickens. **British Poultry Science**, Abingdon, v.22, n.2, p.185–196, 1981.

WILHELM, L. R. Numerical Calculation of Psychrometric Properties in SI Units. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 318-321 e 325, Mar./Apr. 1976.

XIN, H.; BERRY, I. L.; TABLER, G. T.; COSTELLO, T. A. Heat and moisture production of poultry and their housing systems: broilers. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 44, n. 6, p. 1851-1857, Nov./Dec. 2001.

YANAGI, T.; Jr., XIN, H.; GATES, R.S. **Modeling partial surface evaporative cooling of chickens**. In: ASAE Annual International Meeting, paper no. 01-3011, St Joseph: ASAE, 2001.

YU, P.; YANG, T.; WU, C. Impact of climate change on water resources in southern Taiwan. **Journal of Hydrology**. Amsterdam, v.260, p.161-175, 2002.

YUE, S; PILON, P; CAVADIAS, G. **Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series**. *Journal of Hydrology* 259:254-271. 2002.

ZHANG, Z. Y.; JIA, G. Q.; ZUO, J. J.; ZHANG, Y.; LEI, J.; REN, L.; FENG, D. Y. Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. **Poultry science**, v. 91, n. 11, p. 2931-2937, 2012.

ZHANG, W; YAN, Y; ZHENG, J; LI, L; DONG, X; CAI, H. Temporal and spatial variability of annual extreme water level in the Pearl River Delta region, China. *Global and Planetary Change* 69:35-47. 2009.

ZUIDHOF, M. J.; SCHNEIDER, B. L.; CARNEY, V. L.; KORVER, D. R.; ROBINSON F.E. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. **Poultry Science**, n.93, p.2970-2982, 2014.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO

Simulation of the impacts of climate change on acclimatized broiler
aviaries

ARTIGO 1 – SIMULAÇÃO DOS IMPACTOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE AVIÁRIOS CLIMATIZADOS DE FRANGOS DE CORTE

Normas da Revista Científica: Ciência Rural

ISSN: 1678-4596

(Versão preliminar)

RESUMO: *As mudanças climáticas poderão afetar negativamente a produção de frangos de corte no Brasil. Objetou-se com o presente trabalho estudar os impactos das mudanças climáticas sobre o ambiente térmico no interior de aviários climatizados para criação de frangos de corte. O ambiente térmico no interior de aviários climatizados foram preditos por intermédio de um modelo baseado em equações de transferências de calor e massa. Os aviários simulados possuíam características construtivas formadas pela combinação de três coberturas com diferentes tipos de materiais (galvanizada, fibrocimento e sanduiche), dois fechamentos laterais (cortinas e alvenaria de tijolo furado revestido*

por emboço) e três sistemas de resfriamento (nebulização, placas porosas e a combinação das duas). Dados meteorológicos do município de Uberaba foram usados como dados de entrada para as simulações referentes ao cenário atual e futuro (2100), do ambiente térmico no interior de aviários do tipo túnel de vento, visando o estudo de possíveis mitigações de condições térmicas não desejadas. As simulações indicam que os galpões equipados com sistema de resfriamento evaporativo de placas porosas umedecidas e o uso associado destas placas com nebulização são capazes no geral de propiciar condições de conforto para as aves quando se considera a temperatura média do ar no mês mais quente. Entretanto, ao se considerar a temperatura máxima do ar, nenhum aviário simulado foi capaz de propiciar condições de conforto térmico para as aves.

Palavras-chave: *ambiência avícola, modelagem matemática, tendências climáticas.*

INTRODUÇÃO

O destaque da avicultura de corte brasileira no cenário nacional e internacional deve-se, entre outros motivos, ao constante desenvolvimento técnico-científico do setor. Entretanto, em decorrência da demanda mundial por alimentos, fibras e energia, tem-se verificado a ocorrência de mudanças climáticas que podem influenciar a aptidão bioclimática de diversas regiões produtoras de produtos de origem animal.

As mudanças climáticas representam um grande desafio para a avicultura brasileira, pois tendências de aumento da temperatura do ar em certos períodos do ano e em determinados locais, além da ocorrência de extremos climáticos, podem gerar prejuízos aos produtores. Por serem animais homeotérmicos, os frangos de corte são capazes de manter a sua temperatura corporal dentro de limites estreitos, entretanto, podem apresentar perdas produtivas consideráveis quando o ambiente térmico extrapola os limites de conforto (BARACHO et al., 2013; BOIAGO et al., 2013; LARA e ROSTAGNO, 2013; SCHIASSI et al., 2015).

Para o estudo das mudanças climáticas tem-se aplicado às séries temporais de elementos climáticos o teste não paramétrico de Mann-Kendall (MK), proposto inicialmente por SNEYERS (1975). O Teste de

Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) é um método robusto, sequencial e não paramétrico utilizado para verificar se determinada série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. O teste MK tem sido aplicado em diversos estudos para análises de tendências climáticas (RENAUDEAU et al., 2012; SKUCE et al., 2013; SOSSIDOU et al., 2014; TIAN et al., 2016)

O efeito de possíveis mudanças climáticas sobre o ambiente térmico no interior de aviários climatizados ou sobre a própria ave, pode ser analisado por meio de modelos matemáticos baseados em equações de transferência de calor e massa (MITCHELL, 1976; MAHONEY & KING, 1977; MEDEIROS, 1997; GEBREMEDHIN & WU, 2000; YANAGI JUNIOR, 2002; AERTS et al., 2003; CARVALHO, 2006; NASCIMENTO, 2015).

Diante do exposto, objetiva-se com o presente trabalho, simular os impactos das mudanças climáticas sobre o ambiente térmico no interior de aviários fechados e climatizados para criação de frangos de corte no município de Uberaba, no Estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Séries de dados climáticos e análise de tendências

Séries de dados com valores médios mensais de temperatura de bulbo seco média ($t_{bs,m}$), temperatura de bulbo seco máxima ($t_{bs,x}$) e umidade relativa (UR) do ar referentes ao município de Uberaba – MG (19,73°S de latitude, 47,95°W de longitude e altitude de 737,0 m), do ano de 1961 até 2017, pertencentes às redes de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) foram utilizados nesta pesquisa. A escolha do município de Uberaba, deve-se ao fato do município estar inserido em uma mesorregião de grande importância na produção de frangos de corte no estado de Minas Gerais, apresentando o clima quente e seco, grande favorável à criação.

Para a análise das tendências foi aplicado às séries temporais de elementos meteorológicos o teste MK (MANN, 1945; KENDALL, 1975), teste estes amplamente utilizado para detectar tendências em variáveis meteorológicas (ASFAW et al., 2018). Por se tratar de um método não paramétrico, o teste MK não requer distribuição normal dos dados (YUE et al., 2002). Ademais, este método é pouco influenciado por mudanças abruptas nos dados ou séries não homogêneas (ZHANG ET AL., 2009).

A hipótese de nulidade (H_0) do teste MK considera a existência de estabilidade da série temporal; assim, a sequência de valores ocorre de forma independente e a distribuição de probabilidade permanece inalterada (série aleatória simples).

Por sua vez, a hipótese alternativa (H_1) considera que a série de valores possui tendência de redução ou aumento, se o valor do coeficiente de Mann-Kendall for negativo ($MK < 0$) ou positivo ($MK > 0$), respectivamente. Desta forma, o teste Z, ao nível de 5% de significância deve ser aplicado. A estatística S foi obtida pela equação 1, sendo que, n é o número de observações, X_j e X_i são os valores sequenciais dos dados e $\text{sgn}(\phi)$ é a função de sinal. A função de sinal assume valor de 1 se $\phi > 0$; 0 se $\phi = 0$ e -1 se $\phi < 0$.

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(X_j - X_i) \quad (1)$$

Assumindo a hipótese de que os dados são identicamente distribuídos e independentes (KENDALL, 1975), a média e a variância da

estatística Z são obtidas pelas equações 2 e 3, respectivamente. O m é o número de grupos de classificação associados, cada um associado a um t_i .

$$E(S) = 0 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}(S) \\ = \frac{n \cdot (n - 1) \cdot (2 \cdot n + 5) - \sum_{i=1}^m t_i \cdot (t_i - 1) \cdot (2 \cdot t_i + 5)}{18} \end{aligned} \quad (3)$$

Assim, o valor de Z pode ser calculado pela equação 4.

$$Z = \begin{cases} \frac{s - 1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}, & \text{se } S > 0 \\ 0, & \text{se } S = 0 \\ \frac{s + 1}{\sqrt{\text{Var}(s)}}, & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

Para se obter as tendências para o ano de 2100, aplicou-se a análise de regressão linear entre a variável aleatória Y (séries de $t_{bs,m}$ ou $t_{bs,x}$ ou UR) e o tempo (X), através do teste paramétrico de significância t sobre o coeficiente angular (β) (LONGOBARDI & VILLANI, 2010).

Modelo matemático aplicado

A metodologia matemática proposta e validada por CARVALHO (2006), baseada em balanço de calor e massa em regime permanente, foi aplicada para a determinação do índice de temperatura e umidade (ITU), (THOM, 1959) (equação 5), ao longo dos volumes de controle de um aviário climatizado.

$$ITU = t_{bs} + 0,36 \cdot t_{po} + 41,5 \quad (5)$$

em que

ITU: índice de temperatura e umidade (adimensional);

t_{bs} : temperatura de bulbo seco do ar ($^{\circ}\text{C}$);

t_{po} : temperatura de ponto de orvalho ($^{\circ}\text{C}$).

Inicialmente, o modelo prediz a temperatura de bulbo seco ($t_{bs,i}$) e a razão de mistura no volume de controle VC (i) (equações 6 e 10, respectivamente).

$$t_{bs,i} = \frac{q_{m,i} + q_{so,i} + q_{h,i} + q_{s,i} + A + B - (\beta_i \cdot \rho_{\text{água}} \cdot \dot{V}_{\text{água}} \cdot h f g_i)}{C} \quad (6)$$

em que:

$t_{bs\ i}$: temperatura de bulbo seco no VC atual (i), °C;

$q_{m\ i}$: calor sensível ganho de fontes mecânicas, elétricas e outras, tais como motores e luzes, respectivamente, no i-ésimo VC, W;

$q_{so\ i}$: calor sensível resultante da absorção da radiação solar no interior do galpão para o i-ésimo VC, W;

$q_{h\ i}$: calor sensível ganho dos sistemas de aquecimento no i-ésimo VC, W;

$q_{s\ i}$: calor sensível liberado pelos animais alojados no i-ésimo VC, W;

β_i : fração de água nebulizada no i-ésimo VC;

$\rho_{\text{água}}$: densidade da água, kg m⁻³;

$\dot{V}_{\text{água}}$: Vazão volumétrica da água aplicada pelo sistema de nebulização, m³ s⁻¹;

hfg_i : calor latente de vaporização da água no i-ésimo volume de controle, em J.kg⁻¹.

Os parâmetros A, B e C estão descritos pelas equações 7, 8 e 9, respectivamente.

$$A = \left(\sum_{j=1}^m U_{ij} \cdot A_{ij} + F_i \cdot P_i - 1006 \cdot \rho_{\text{inf}i} \cdot \dot{V}_{\text{inf}i} \right) \cdot t_{bso} \quad (7)$$

$$B = 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot t_{bsi-1} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot t_{PAD}) \quad (8)$$

$$C = \sum_{j=1}^m U_{ij} \cdot A_{ij} + F_i \cdot P_i + 1006 \cdot (\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} - \rho_{\text{inf}i} \cdot \dot{V}_{\text{inf}i} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD}) \quad (9)$$

em que:

U_{ij} : Coeficiente global de transferência de calor, para o i-ésimo VC e j-ésimo componente da estrutura da instalação, $\text{W m}^{-2} \text{K}^{-1}$;

A_{ij} : área associada ao i-ésimo volume de controle (VC) e j-ésimo componente estrutural do galpão, m^2 ;

F_i : fator de ganho de calor no i-ésimo VC (obtido experimentalmente), $\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$;

P_i : perímetro do galpão no i-ésimo VC, m;

$\rho_{\text{inf}i}$: densidade do ar que infiltra no VC, kg m^{-3} ;

$\dot{V}_{\text{inf}i}$: vazão volumétrica do ar que infiltra no i-ésimo VC, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

t_{bso} : temperatura de bulbo seco no ambiente externo, $^{\circ}\text{C}$;

ρ_{i-1} : densidade do ar que entra no VC, kg m^{-3} ;

\dot{V}_{i-1} : vazão volumétrica do ar que entra no i-ésimo VC, $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$;

$t_{bs\ i-1}$: temperatura de bulbo seco no VC anterior (i-1), °C;

ρ_{PAD} : densidade do ar que atravessa a placa porosa umedecida, kg m⁻³;

\dot{V}_{PAD} : vazão volumétrica do ar que atravessa a placa porosa umedecida,
m³ s⁻¹;

t_{PAD} : temperatura do ar após passar pela placa porosa umedecida, °C.

$$W_i = \frac{\rho_{i-1} \cdot \dot{V}_{i-1} \cdot W_{i-1} + \rho_{infi} \cdot \dot{V}_{infi} \cdot W_{infi} + \rho_{PAD} \cdot \dot{V}_{PAD} \cdot W_{PAD} + \beta_i \cdot \dot{m}_{\acute{a}gua\ i} \cdot \dot{m}_{p\ i}}{\rho_{i-1} \cdot (\dot{V}_{i-1} + \dot{V}_{infi} + \dot{V}_{PAD})} \quad (10)$$

em que,

ρ_{PAD} : densidade do ar que atravessa a placa porosa umedecida, kg m⁻³;

$\dot{m}_{\acute{a}gua\ i}$: massa de água inserida pela nebulização no i-ésimo VC, kg s⁻¹;

$\dot{m}_{p\ i}$: taxa de produção de umidade no i-ésimo VC, kg s⁻¹;

\dot{V}_{PAD} : vazão volumétrica do ar que atravessa a placa porosa umedecida, m³
s⁻¹;

W_{PAD} : razão de mistura do ar que atravessa a placa porosa umedecida, kg
kg⁻¹;

ρ_{infi} : densidade do ar que infiltra no VC, kg m⁻³;

\dot{V}_{infi} : vazão volumétrica do ar que infiltra no i-ésimo VC, m³ s⁻¹;

$W_{\text{inf}i}$: razão de mistura do ar que infiltra no i-ésimo VC, kg kg⁻¹;

ρ_{i-1} : densidade do ar que entra no VC, kg m⁻³;

\dot{V}_{i-1} : vazão volumétrica do ar que entra no i-ésimo VC, m³ s⁻¹;

W_{i-1} : razão de mistura do ar que entra no i-ésimo VC, kg kg⁻¹;

ρ_i : densidade do ar que sai do VC, kg m⁻³;

\dot{V}_i : vazão volumétrica do ar no i-ésimo VC, m³ s⁻¹;

W_i : razão de mistura do ar no i-ésimo VC, kg kg⁻¹.

A t_{po} e demais variáveis psicrométricas necessárias foram usadas as metodologias propostas por WILHELM (1976) e ALBRIGHT (1990), respectivamente.

Simulações

Valores de índice de temperatura e umidade médio (ITU_m) e máximo (ITU_x) foram simulados em 125 volumes de controle (VC), no interior de aviários climatizados, baseadas nos valores de $t_{bs,m}$, $t_{bs,x}$, respectivamente, e UR, considerando os cenários atual (média dos elementos meteorológicos dos últimos 5 anos) e futuro (2100). Os aviários simulados possuíam dimensões de 12 x 125 x 2,5 m, com cobertura de

telhas galvanizadas, em que $U = 6,073 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$ (U = coeficiente global de transferência de calor) ou de fibrocimento ($U = 5,80 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$) ou tipo sanduíche ($U = 0,726 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$), alvenaria de tijolo cerâmico furado com 8 furos com dimensões de $0,10 \times 0,16 \times 0,32 \text{ m}$ (largura x altura x comprimento) e $0,02 \text{ m}$ de emboço nas faces interna e externa ($U = 2,43 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$) nas muretas e cabeceiras. Os fechamentos laterais simulados foram de cortinas ($U = 5,971 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$) ou alvenaria de tijolo furado ($U = 2,43 \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-1}$).

A ventilação é promovida por 10 exaustores ($64,55 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$). Para os galpões com fechamento lateral por cortinas, a vazão que infiltra em cada VC com cortina é de $0,1324 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, sendo que, a diferença atravessava o PAD (placa porosa umedecida) ou entrava pela entrada de ar, no caso da existência de PAD ou apenas nebulização, respectivamente. A vazão que infiltra pelas laterais dos galpões com fechamento lateral do tipo alvenaria foi considerada nula.

O resfriamento evaporativo foi promovido por três diferentes meios: nebulização, placas porosas umedecidas ($10,7 \times 1,8 \text{ m}$, eficiência de 70%) ou o uso concomitante de ambas. O sistema de nebulização estudado foi composto de 7 linhas transversais com 10 nebulizadores (6 L

h^{-1} nebulizador $^{-1}$) situadas a 15, 25, 35, 45, 60, 80 e 110 m em relação à extremidade oposta aos exaustores (CARVALHO, 2006). As configurações dos aviários simulados, considerando os dados de $t_{\text{bs,m}}$ e $t_{\text{bs,x}}$, são listadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Para as simulações, considerou-se que os frangos de corte Cobb tinham massa corporal de 2,4 kg e sendo criados na densidade de alojamento de 14 aves m^{-2} , com sistema de iluminação acionado durante 11 h dia^{-1} . Os valores de $t_{\text{bs,m}}$, $t_{\text{bs,x}}$ e UR usados nas simulações referem-se àqueles oriundos do mês mais crítico, ou seja, o mês que resultou nos maiores valores de t_{bs} .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação da análise de tendências indicou a existência de tendências ao longo dos meses do ano (Tabela 3), sendo que, o mês nos quais a $t_{\text{bs,m}}$, $t_{\text{bs,x}}$ e UR apresentaram valores mais críticos foi o mês de outubro (Tabela 4). Desta forma, simulações de percentagem do aviário em condições de conforto determinado em função ITU_m e ITU_x (PC_{ITU_m}

e $PC_{ITU,X}$ respectivamente) para o mês de outubro foram executadas e listadas na Tabela 5.

Os aviários climatizados simulados com sistema de nebulização, independente do tipo de material de cobertura e de fechamento lateral, apresentaram valores de PC_{ITU} iguais ou inferiores a 48%, para o cenário atual e considerando a $t_{bs, m}$. Para este cenário, o uso de sistemas de resfriamento por placa porosa umedecida (PAD) ou o uso conjunto dela com a nebulização, propiciaram que 100% do aviário seja classificado como estando em conforto. Segundo LAVOR et al. (2008), valores de ITU menores que 74 são considerados como confortáveis para a criação de frangos adultos. Por sua vez, para o cenário futuro, considerando as tendências obtidas verificadas pelo teste MK e quantificadas pela regressão linear, observa-se que, os aviários simulados não foram capazes de fornecer condições térmicas de conforto ($ITU < 74$) às aves.

As simulações considerando a $t_{bs,x}$ (Tabela 5), seja para o cenário atual, quanto para o futuro, indicam que os aviários simulados não são capazes de proporcionar condições de conforto para os frangos de corte. Ao longo de todo período considerado, situações como estas podem ocorrer, tanto nos períodos mais quentes do dia, quanto para aqueles dias

com temperaturas elevadas ou em condições térmicas resultantes de ondas de calor.

Pesquisas conduzidas em escala comercial e laboratorial (VALE et al. 2010; VALE et al. 2016) demonstram as condições térmicas advindas de ondas de calor afetam a mortalidade e o ambiente de produção de frangos de corte, respectivamente, evidenciando a importância de se realizar tais estudos, seja em condições atuais ou para cenários futuros.

As aves submetidas a estresse por calor ou frio modificam seu comportamento, afetando funções fisiológicas e metabólicas, levando à diminuição da sua produtividade (CASSUCE et al., 2013). A temperatura para criação de frangos de corte aclimatizados e sob as condições de manejo e alimentação praticados no Brasil necessitam de um constante estudo e aprimoramento para obterem maior eficiência na produção.

CONCLUSÕES

1. No geral, no interior dos aviários fechados e climatizados, equipados com placas porosas umedecidas ou essas em conjunto com a nebulização propiciam ambientes térmicos adequados para

criação de frangos de corte, exceto naqueles períodos em que ocorrem os valores de temperaturas do ar máximas.

2. Simulações realizadas considerando o cenário futuro (2100) indicam a incapacidade dos aviários estudados em promover condições de conforto térmico para as aves ao longo de toda a sua extensão.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Nenhum conflito de interesse a declarar.

REFERÊNCIAS

AERTS, M. et al. Dynamic data-based modelling of heat production and growth of broiler chickens: development of an integrated management system. *Biosystems Engineering*, San Diego, v.84, n.3, p.257-66, 2003.

Available from: [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00285-4](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00285-4)

Accessed: Jan. 12, 2018. [doi.org/10.1016/S1537-5110\(02\)00285-4](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(02)00285-4).

ALBRIGHT, L. D. Environment control for animals and plants. St. Joseph: ASAE, 1990. 453 p.

ASFAW, A. et al. Variability and time series trend analysis of rainfall and temperature in northcentral Ethiopia: A case study in Woleka sub-basin.

Weather and Climate Extremes, v.19, p. 29-41, March. 2018. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2017.12.002>. Accessed: Jan. 12, 2018.

doi.org/10.1016/j.wace.2017.12.002.

BARACHO, M. S. et al. Ambiente interno em galpões de frango de corte com cama nova e reutilizada. *Agrarian*, Dourados, v. 6, n. 22, p. 473-478, 2013.

BOIAGO, M. M. et al. Desempenho de frangos de corte, alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária*

e Zootecnia, Belo Horizonte, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013. Available from:
<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352013000100034>. Accessed: Jan. 22,
2018. [doi.org/10.1590/S0102-09352013000100034](http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352013000100034).

CASSUCE, D. C. et al, A. Atualização da temperatura de conforto térmico
para frangos de corte de até 21 dias de idade. Engenharia Agrícola,
Jaboticabal, v. 33, n. 1, p. 28-36, 2013. Available:
<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000100004>. Accessed: Jan. 22, 2018.
[doi.org/10.1590/S0100-69162013000100004](http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162013000100004).

CARVALHO, V. F. **Modelagem e zoneamento do ambiente térmico
para avaliar o desempenho de frangos de corte criados em galpões
climatizados**. 77p. (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras.
2006.

GEBREMEDHIN, K. G.; WU, B. A model of evaporative cooling of wet
skin surface and fur layer. St. Joseph: ASAE. (ASAE Paper No. 004114).
2000. Available: [https://doi.org/10.1016/S0306-4565\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(00)00048-6).
Accessed: Jan. 25, 2018. [doi.org/10.1016/S0306-4565\(00\)00048-6](https://doi.org/10.1016/S0306-4565(00)00048-6).

KENDALL, M.G. (Ed). Rank correlation methods. London: Charles
Griffin, 1975. 210p.

KETTLEWELL, P.J.; MORAN, P. A study of heat production and heat loss in crated broiler chickens: a mathematical model for a single bird. *British Poultry Science*, 33:2, 239-252, 1992. Available. <https://doi.org/10.1080/00071669208417463>. Accessed: Jan. 25, 2018. doi.org/10.1080/00071669208417463.

LARA, L. J.; ROSTAGNO, M. H. Impacto do estresse térmico sobre a produção de aves. *Animals*, Cambridge, v. 3, n. 2, p. 356-369, 2013.

LONGOBARDI, A.; VILLANI, P. Trend analysis of annual and seasonal rainfall time series in the Mediterranean area. *International Journal of Climatology*, v.30, p.1538-1546, 2010.

MANN, H.B. Nonparametric test against trend. *Econometrica*, v.13, p.245-259, 1945.

MAHONEY, S. A.; KING, J.R. The use of the equivalent black-body temperature in the thermal energetic of small birds. *Journal of Thermal Biology*, Oxford, v.2, n.3, p. 115-120, 1977.

MEDEIROS, C. M. **Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 2001. 115 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa.

MEDEIROS, C. M. et al. Efeitos da temperatura, umidade relativa e

velocidade do ar em frangos de corte. Engenharia na Agricultura, Viçosa.- MG, v.13, n.4, p.277-286, 2005.

MITCHELL, J. W. Heat transfer from spheres and other animal forms. Biophysical Journal, Bethesda, v. 16, n. 6, p. 561-569, 1976. Management System. Biosystems Engineering, San Diego, v. 84, n. 3, p. 257-266, Mar. 2003. doi: 10.1590/S1516-35982000000500021.

NASCIMENTO, S. T. et al Metabolic heat production and evaporation of poultry. POULTRY SCIENCE, p. 1, 2017.

RENAUDEAU, D. et al. Animal health aspects of adaptation to climate change: beating the heat and parasites in a warming Europe. Animal, Cambridge, v. 7, n. 2, p. 333-345, 2013.

SCHIASSI, L. et al. Comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.35, n.3, p.390-396, maio/jun. 2015b.

SOSSIDOU, E. N. et al. Options for managing livestock production systems to adapt to climate change. Journal of Earth Science and Engineering, Wisdow, v. 4, n. 1, p. 15-427, 2014.

SNEYERS, R. Sur l'analyse statistique des séries d'observations. Gênova: Organização Mundial de Meteorologia, 1975. 192p. (OMN, Nota técnica, 143).

TIAN, P.; MU, X.; LIU, J. et al. Impacts of Climate Variability and Human Activities on the Changes of Runoff and Sediment Load in a Catchment of the Loess Plateau, China. *Advances in Meteorology*, 2016.

VALE, M. M. et al. Effect of a simulated heat wave in thermal and aerial environment broiler-rearing environment. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 36, n. 2, p. 271- 280, 2016.

VALE, M. M. et al. Characterization of heat waves affecting mortality rates of broilers between 29 days and market age. *Brazilian Journal of Poultry Science*, Campinas, v. 12, n. 4, p. 279-285, 2010.

WATHES, C.M.; CLARK, J.A. Sensible heat transfer from the fowl: Radiative and convective heat losses from a flock of broiler chickens. *British Poultry Science*, Abingdon, v.22, n.2, p.185–196, 1981.

WILHELM, L. R. Numerical Calculation of Psychrometric Properties in SI Units. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v. 19, n. 2, p. 318-321 e 325, Mar./Apr. 1976.

YANAGI, T. et al. Modeling partial surface evaporative cooling of chickens. In: ASAE Annual International Meeting, paper no. 01-3011, St Joseph: ASAE, 2001.

YUE, S, G. et al. Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for detecting monotonic trends in hydrological series. *Journal of Hydrology*-v. 264, p. 254-271, march, 2002.

ZHANG, Z. et al. Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat. *Poultry science*, v. 91, n. 11, p. 2931-2937, 2012.

Tabela 1 – Configurações dos aviários climatizados simulados (AS) para os cenários de atual e 2100, com base na temperatura de bulbo seco média do ar ($t_{bs,m}$, °C).

| AS | t_{bs} | Te. | Fech. | SA | AS | t_{bs} | Te. | Fech. | SA |
|----------------------|-----------------------|-----|-------|-----|---------------------|----------------------|-----|-------|-----|
| M1 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | G | C | VN | M1 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | G | C | VN |
| M2 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | G | C | VP | M2 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | G | C | VP |
| M3 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | G | C | VNP | M3 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | G | C | VNP |
| M4 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | G | A | VN | M4 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | G | A | VN |
| M5 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | G | A | VP | M5 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | G | A | VP |
| M6 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | G | A | VNP | M6 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | G | A | VNP |
| M7 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | F | C | VN | M7 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | F | C | VN |
| M8 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | F | C | VP | M8 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | F | C | VP |
| M9 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | F | C | VNP | M9 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | F | C | VNP |
| M10 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | F | A | VN | M10 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | F | A | VN |
| M11 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | F | A | VP | M11 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | F | A | VP |
| M12 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | F | A | VNP | M12 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | F | A | VNP |
| M13 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | S | C | VN | M13 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | S | C | VN |
| M14 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | S | C | VP | M14 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | S | C | VP |
| M15 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | S | C | VNP | M15 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | S | C | VNP |
| M16 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | S | A | VN | M16 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | S | A | VN |
| M17 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | S | A | VP | M17 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | S | A | VP |
| M18 _{atual} | $t_{bs,m}$ (atual) | S | A | VNP | M18 ₂₁₀₀ | $t_{bs,m}$ (2100) | S | A | VNP |

Te: tipo de telha (G: galvanizada, F: fibrocimento, S: sanduiche); Fech: fechamento lateral e cabeceiras do aviário (C: cortinas, A: alvenaria de tijolo furado); AS: sistema de arrefecimento (VN: ventilação + nebulização; VP: ventilação + placas porosas de umedecimento, VNP: ventilação + nebulização + placas porosas de umedecimento).

Tabela 2 – Configurações dos aviários climatizados simulados (AS) para os cenários de atual e 2100, com base na temperatura de bulbo seco máxima do ar ($t_{bs,x}$, °C).

| AS | t_{bs} | Te. | Fech. | SA | AS | t_{bs} | Te. | Fech. | SA |
|-----------------------|-----------------------|-----|-------|-----|---------------------|----------------------|-----|-------|-----|
| X1 _{atual} * | $t_{bs,x}$ (atual) | G | C | VN | X1 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | G | C | VN |
| X2 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | G | C | VP | X2 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | G | C | VP |
| X3 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | G | C | VNP | X3 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | G | C | VNP |
| X4 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | G | A | VN | X4 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | G | A | VN |
| X5 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | G | A | VP | X5 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | G | A | VP |
| X6 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | G | A | VNP | X6 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | G | A | VNP |
| X7 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | F | C | VN | X7 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | F | C | VN |
| X8 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | F | C | VP | X8 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | F | C | VP |
| X9 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | F | C | VNP | X9 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | F | C | VNP |
| X10 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | F | A | VN | X10 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | F | A | VN |
| X11 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | F | A | VP | X11 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | F | A | VP |
| X12 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | F | A | VNP | X12 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | F | A | VNP |
| X13 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | S | C | VN | X13 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | S | C | VN |
| X14 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | S | C | VP | X14 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | S | C | VP |
| X15 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | S | C | VNP | X15 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | S | C | VNP |
| X16 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | S | A | VN | X16 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | S | A | VN |
| X17 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | S | A | VP | X17 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | S | A | VP |
| X18 _{atual} | $t_{bs,x}$ (atual) | S | A | VNP | X18 ₂₁₀₀ | $t_{bs,x}$ (2100) | S | A | VNP |

Te: tipo de telha (G: galvanizada, F: fibrocimento, S: sanduíche); Fech: fechamento lateral e cabeceiras do aviário (C: cortinas, A: alvenaria de tijolo furado); AS: sistema de arrefecimento (VN: ventilação + nebulização; VP: ventilação + placas porosas de umedecimento, VNP: ventilação + nebulização + placas porosas de umedecimento).

Tabela 3 – Resultados das análises de tendência a partir do teste não-paramétrico de Mann-Kendall ao nível de 5% de probabilidade e de regressão linear aplicados aos dados de temperatura de bulbo seco média e máxima mensais ($t_{bs,m}$ e $t_{bs,x}$, respectivamente) e umidade relativa do ar (UR) referentes ao Município de Uberaba – MG, de 1961 a atual.

| Mês | $t_{bs,m}$ (°C) | | | $t_{bs,x}$ (°C) | | | UR (%) | | |
|-----|-----------------|-------|---------|-----------------|-------|---------|--------|-------|---------|
| | TMK | Tend. | β | TMK | Tend. | β | TMK | Tend. | β |
| 1 | 3,48 | ** | 0,0241 | 1,74 | NS | - | 0,13 | NS | - |
| 2 | 3,51 | ** | 0,0282 | 3,62 | ** | 0,0438 | -1,81 | NS | - |
| 3 | 1,65 | NS | - | 0,99 | NS | - | 0,56 | NS | - |
| 4 | 2,11 | * | 0,0199 | 2,69 | ** | 0,0275 | 0,20 | NS | - |
| 5 | 0,78 | NS | - | 0,68 | NS | - | 0,26 | NS | - |
| 6 | 0,60 | NS | - | 1,14 | NS | - | 0,03 | NS | - |
| 7 | 0,99 | NS | - | 2,06 | * | 0,0263 | -1,09 | NS | - |
| 8 | 1,03 | NS | - | 2,60 | ** | 0,0323 | -1,24 | NS | - |
| 9 | 2,09 | * | 0,0213 | 2,63 | ** | 0,0422 | -1,01 | NS | - |
| 10 | 3,97 | ** | 0,0460 | 4,16 | ** | 0,0691 | -3,29 | ** | -0,1456 |
| 11 | 2,57 | ** | 0,0185 | 2,44 | * | 0,0214 | -0,13 | NS | - |
| 12 | 3,72 | ** | 0,0225 | 3,49 | ** | 0,0321 | -0,68 | NS | - |

TMK: Valor da estatística Z do teste de Mann-Kendall (+ Z: tendência positiva e - Z: tendência negativa); Tend.: tendência (NS – não significativa, ** significativa ao nível de 1% de probabilidade; * significativa ao nível de 5% de probabilidade); β : coeficiente angular da regressão linear.

Tabela 4 – Resultados das análises de tendência a partir do teste não-paramétrico de Mann-Kendall ao nível de 5% de probabilidade e de regressão linear aplicados aos dados de temperatura de bulbo seco média e máxima mensais ($t_{bs,méd}$ e $t_{bs,máx}$, respectivamente) e umidade relativa do ar (UR) referentes ao Município de Uberaba – MG, de 1961 a atual.

| Mês | $t_{bs,m}$ (°C) | | $t_{bs,x}$ (°C) | | UR (%) | |
|-----|-----------------|------|-----------------|------|--------|------|
| | atual | 2100 | atual | 2100 | atual | 2100 |
| 1 | 24,6 | 26,1 | 31,1 | - | 75 | - |
| 2 | 24,4 | 27,2 | 31,1 | 35,1 | 74 | - |
| 3 | 24,0 | - | 30,4 | - | 78 | - |
| 4 | 22,9 | 25,2 | 30,1 | 32,6 | 74 | - |
| 5 | 20,8 | - | 28,5 | - | 72 | - |
| 6 | 19,7 | - | 27,8 | - | 70 | - |
| 7 | 19,0 | - | 27,8 | 28,2 | 62 | - |
| 8 | 21,3 | - | 30,8 | 33,6 | 51 | - |
| 9 | 23,9 | 26,0 | 32,6 | 36,5 | 50 | - |
| 10 | 25,1 | 28,9 | 33,1 | 38,8 | 58 | 46 |
| 11 | 24,1 | 25,6 | 30,5 | 31,9 | 74 | - |
| 12 | 24,3 | 24,4 | 30,8 | 33,4 | 77 | - |

Tabela 5 – Percentagem do aviário em condições de conforto (PC) e valor médio e desvio padrão do ITU (entre parênteses) calculados com base no índice de temperatura e umidade (ITU < 74) para as configurações dos aviários climatizados simulados (AS) nos cenários atual e futuro (2100), com base na temperatura de bulbo seco média e máxima do ar ($t_{bs,m}$ e $t_{bs,x}$, respectivamente) no mês de outubro.

| AS | PC _{ITU} | AS | PC _{ITU} | AS | PC _{ITU} | AS | PC _{ITU} |
|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|--------------------|
| M1 _{atual} | 36,8 (74±1,0) | M1 ₂₁₀₀ | 0,0 (77±0,42) | X1 _{atual} | 0,0 (82,1±0,58) | X1 ₂₁₀₀ | 0,0 (86,8±1,41) |
| M2 _{atual} | 100,0 (71,4±1,35) | M2 ₂₁₀₀ | 74,4 (73±1,13) | X2 _{atual} | 0,0 (79,8±0,63) | X2 ₂₁₀₀ | 0,0 (82,8±0,36) |
| M3 _{atual} | 100,0 (71,3±1,29) | M3 ₂₁₀₀ | 89 (72,8±0,97) | X3 _{atual} | 0,0 (78,5±0,28) | X3 ₂₁₀₀ | 0,0 (81,0±0,89) |
| M4 _{atual} | 48,0 (74,1±0,87) | M4 ₂₁₀₀ | 0,0 (77,1±0,41) | X4 _{atual} | 0,0 (82,3±0,43) | X4 ₂₁₀₀ | 0,0 (86,4±1,63) |
| M5 _{atual} | 100,0 (71,3±1,39) | M5 ₂₁₀₀ | 74,4 (73,1±1,14) | X5 _{atual} | 0,0 (80,0±0,85) | X5 ₂₁₀₀ | 0,0 (83,5±0,72) |
| M6 _{atual} | 100,0 (71,2±1,33) | M6 ₂₁₀₀ | 72,8 (73,1±1,21) | X6 _{atual} | 0,0 (79,0±0,35) | X6 ₂₁₀₀ | 0,0 (82,1±0,41) |
| M7 _{atual} | 36,8 (74,4±1,03) | M7 ₂₁₀₀ | 0,0 (77,0±0,43) | X7 _{atual} | 0,0 (82,1±0,59) | X7 ₂₁₀₀ | 0,0 (86,8±1,41) |
| M8 _{atual} | 100 (71,3±1,34) | M8 ₂₁₀₀ | 75,2 (73,0±1,13) | X8 _{atual} | 0,0 (79,8±0,63) | X8 ₂₁₀₀ | 0,0 (82,8±0,36) |
| M9 _{atual} | 100,0 (71,3±1,28) | M9 ₂₁₀₀ | 89,6 (72,8±0,96) | X9 _{atual} | 0,0 (78,4±0,28) | X9 ₂₁₀₀ | 0,0 (81,0±0,91) |
| M10 _{atual} | 48 (74,1±0,87) | M10 ₂₁₀₀ | 0,0 (76,9±0,39) | X10 _{atual} | 0,0 (82,4±0,43) | X10 ₂₁₀₀ | 0,0 (87,5±1,07) |
| M11 _{atual} | 100,0 (71,2±1,38) | M11 ₂₁₀₀ | 75,2 (73,0±1,13) | X11 _{atual} | 0,0 (79,7±0,63) | X11 ₂₁₀₀ | 0,0 (82,8±0,36) |
| M12 _{atual} | 100,0 (71,2±1,33) | M12 ₂₁₀₀ | 73,6 (73,0±1,20) | X12 _{atual} | 0,0 (78,4±0,28) | X12 ₂₁₀₀ | 0,0 (81,0±0,91) |
| M13 _{atual} | 36,0 (74,5±1,09) | M13 ₂₁₀₀ | 0 (77,0±0,44) | X13 _{atual} | 0,0 (82,0±0,63) | X13 ₂₁₀₀ | 0,0 (86,2±1,75) |
| M14 _{atual} | 100,0 (71,2±1,27) | M14 ₂₁₀₀ | 89,6 (72,7±0,99) | X14 _{atual} | 0,0 (79,5±0,51) | X14 ₂₁₀₀ | 0,0 (81,6±0,32) |
| M15 _{atual} | 100,0 (71,1±1,22) | M15 ₂₁₀₀ | 100,0 (72,5±0,83) | X15 _{atual} | 0,0 (78,1±0,39) | X15 ₂₁₀₀ | 0,0 (80,6±1,05) |
| M16 _{atual} | 47,2 (74,1±0,90) | M16 ₂₁₀₀ | 0 (76,8±0,38) | X16 _{atual} | 0,0 (82,3±0,44) | X16 ₂₁₀₀ | 0,0 (87,4±1,08) |
| M17 _{atual} | 100,0 (71,1±1,33) | M17 ₂₁₀₀ | 73,6 (73,0±1,25) | X17 _{atual} | 0,0 (79,8±0,76) | X17 ₂₁₀₀ | 0,0 (83,1±0,56) |
| M18 _{atual} | 100,0 (71,1±1,28) | M18 ₂₁₀₀ | 82,4 (72,8±1,10) | X18 _{atual} | 0,0 (78,8±0,27) | X18 ₂₁₀₀ | 0,0 (81,7±0,53) |

