



SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NA AVICULTURA BRASILEIRA: ESTADO DA ARTE

M. O. Vilela^{1*}, R. S. Gates², C. F. Souza¹, M. A. Martins¹, I. F. F. Tinôco¹, C. G. S. Teles Júnior³

¹Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, Minas Gerais, Brasil

²Iowa State University, Departments of Agricultural and Biosystems Engineering, and Animal Science, Egg Industry Center, Ames, USA

³Universidade Federal Rural da Amazônia, Instituto de Ciências Agrárias- Campus Belém, Pará, Brasil

Article history: Received 12 May 2020; Received in revised form 02 June 2020; Accepted 02 June 2020; Available online 30 June 2020.

RESUMO

O Brasil é um dos principais produtores mundiais de carne de frango e de ovos, e para se manter competitivo no mercado, novas metodologias vem sendo estudadas e implementadas a fim de se obter maior rendimento na produção, enfatizando-se o manejo, dieta, sanidade e ambiência. Neste sentido, o monitoramento e controle de variáveis relacionadas ao ambiente térmico e qualidade do ar são de extrema relevância. Ademais, o perfil do consumidor atual tem se mostrado cada vez mais exigente frente ao bem-estar animal diante da grande visibilidade desse conceito nos últimos anos, segundo o qual a procedência dos produtos consumidos são critérios de escolha no momento da compra. Na produção avícola industrial, um dos pontos cruciais para garantia de um ambiente confortável para as aves e, assim, boas respostas nos índices zootécnicos, consiste na escolha e dimensionamento correto do sistema de ventilação instalado nos galpões de criação. Diante disso, para alcançar melhor distribuição do fluxo de ar em aviários e atender as exigências internacionais de bem-estar e qualidade do ar, de acordo com os padrões de qualidade exigidos, esta revisão de literatura objetivou apresentar um levantamento dos principais sistemas de ventilação, bem como de sua aplicabilidade na avicultura brasileira, além de reportar o estado na arte nesse tema.

Palavras-chave: Acondicionamento térmico. Aviário. Ventilação híbrida. Ventilação mecânica. Ventilação natural.

VENTILATION SYSTEMS IN BRAZILIAN POULTRY: STATE OF THE ART

ABSTRACT

Brazil is one of the main world producers of chicken meat and eggs, and in order to remain competitive, new methodologies have been studied and implemented with the purpose of obtaining greater production yield, always emphasizing management, diet, sanitation and environment. In this sense, the monitoring and control of variables related to the indoor thermal environment and air quality are extremely important. Furthermore, the current consumer profile is increasingly demanding a focus on animal welfare and origin of products consumed are fundamental criteria for decision making at the purchase time. In commercial poultry

* moniqueoliveiravilela@gmail.com

production, one of the crucial needs is to guarantee a comfortable environment for the birds and, consequently, proper ventilation system design. To achieve the best distribution of air flow in poultry facilities and, thus, to meet international welfare and air quality requirements, according to the required quality standards, this literature review aimed provides a survey of the main ventilation systems and their applicability to Brazilian poultry production.

Keywords: Hybrid ventilation. Mechanical ventilation. Natural ventilation. Poultry house. Thermal conditioning.

INTRODUÇÃO

O ambiente de criação é crucial para o desempenho satisfatório da avicultura, uma vez que, dependendo da duração e intensidade do estresse térmico, a produtividade pode ser comprometida, gerando grandes perdas econômicas (CURTIS, 1983). É fato que os principais elementos climáticos que afetam o conforto térmico das aves no interior das instalações são a temperatura do ar, umidade relativa, radiação e movimentação do ar. Esses fatores externos tendem a influenciar a quantidade de energia trocada entre ave e meio, havendo, muitas vezes, a necessidade de ajustes fisiológicos para a ocorrência do balanço de calor (BAËTA & SOUZA, 2010).

A ventilação é uma parte essencial do sistema de controle ambiental em todos os tipos de instalações para produção animal e vegetal. A principal função da ventilação é promover a troca de ar do ambiente interno de acordo com as condições ambientais e com as exigências térmicas dos animais alojados. Como a necessidade de ventilação varia em função do clima, época do ano, necessidade da espécie, manejo, entre outros fatores, o projeto de ventilação requer o entendimento das interações complexas entre os fatores físicos e biológicos do sistema (HELLICKSON & WALKER, 1983; ALBRIGHT, 1990; SANTOS et al., 2012). O vento é definido como a movimentação das massas de ar e consiste em um dos agentes de dissipação do calor metabólico do animal através da convecção. Mesmo quando não reduz a temperatura do ar, favorece o mecanismo convectivo, e dentro dos limites recomendados, melhora a sensação térmica

dos animais, pois remove o calor produzido pelos mesmos e controla a umidade do ambiente (ABREU & ABREU, 2000; FERREIRA, 2016).

Segundo Souza et al., (2017), as perdas na produção avícola, tanto de carne quanto de ovos, geralmente ocorrem devido às altas temperaturas do ar, típicas em determinadas regiões do país, principalmente onde o clima é quente e úmido. O estresse por calor aumenta conforme a temperatura do ar e a umidade relativa do ambiente se elevam, impossibilitando assim as trocas de calor do animal com o meio. Blakely et al. (2007) afirmam que as variações térmicas do ambiente de criação são fortemente influenciadas pela velocidade do ar, acometendo significativamente a performance das aves. Altas velocidades diminuem a temperatura efetiva; sendo assim, a presença de correntes de ar é prejudicial em ambientes frios. No entanto, em ambientes quentes, certos valores de velocidade do ar podem amenizar o calor, como observado por Ruzal et al. (2011), que relatam que altas taxas de velocidade (3 m s^{-1}) afetam positivamente a produção de ovos. Saraz et al. (2013), avaliando a distribuição da temperatura do ar em aviários equipados com ventilação tipo túnel combinada com nebulização, observaram que houve redução da temperatura do ar, permanecendo na faixa entre 23 e 29°C, considerada confortável enquanto os dois sistemas foram usados simultaneamente. Vilela (2016) avaliou os efeitos da temperatura, umidade e velocidade do ar sobre o comportamento e desempenho de codornas japonesas em três

ambientes térmicos diferentes, sendo eles conforto térmico, calor úmido e calor seco, combinados com dois níveis de velocidade do ar (0 m s^{-1} e $2,3 \text{ m s}^{-1}$) e concluiu que os ambientes mantidos com calor úmido resultaram em maiores índices de aves prostradas, maior ingestão de água e, conseqüentemente, menor desempenho produtivo. Similarmente, Santos et al. (2017), avaliaram a influência de diferentes velocidades do ar ($0, 1, 2, \text{ e } 3 \text{ m s}^{-1}$) e diferentes temperaturas ambientais ($17, 23, 29 \text{ e } 35^\circ\text{C}$) no comportamento de codornas japonesas. Os autores concluíram que as aves sob altas temperaturas (35°C) e condições de ar parado (0 m s^{-1}) reduziram significativamente a frequência do comportamento ingestivo quando comparadas às aves expostas as velocidades de $1, 2 \text{ e } 3 \text{ m s}^{-1}$.

Ademais, a renovação do ar no interior de aviários é imprescindível para o balanço de umidade e para a eliminação de gases como a amônia e dióxido de carbono, poeira, microrganismos e odores, além de favorecer a redução da transferência de calor pela cobertura, contribuindo com as trocas de calor do animal por convecção e evaporação (YANAGI JÚNIOR, 2006; BAËTA & SOUZA, 2010; ABREU et al., 2011; BIANCHI et al., 2015; ALBINO et al., 2017). Desse modo, a ventilação representa uma das mais importantes estratégias para a manutenção do conforto térmico e da qualidade do ar em aviários, pois auxilia na redução da produção de calor metabólico e, em condições de estresse, mantém o equilíbrio eletrolítico (NAWAB et al., 2018).

É notória a evolução dos sistemas de produção avícola nas últimas décadas, tanto em termos de tecnificação do sistema e aperfeiçoamento das tipologias construtivas quanto nas áreas de genética e nutrição. Todavia, deve-se ressaltar que o acondicionamento térmico dos aviários ainda demanda melhorias sucessivas, já que o ambiente de criação é um dos principais fatores que podem levar a grandes perdas econômicas a nível industrial. Além disso, a

evolução dos sistemas de acondicionamento térmico deve ter em vista o bem-estar e manejo humanizado dos animais diante de um mercado consumidor cada vez mais exigente (SOUZA et al., 2017).

Nesse contexto, mais pesquisas devem ser realizadas a fim de aperfeiçoar as configurações dos sistemas de ventilação para o melhor fluxo de ar nas instalações animais e, assim, atender as exigências internacionais de bem-estar e questões relacionadas à qualidade do ar, de acordo com os padrões de qualidade exigidos. O conhecimento acerca dos sistemas de ventilação praticados em instalações avícolas é extremamente importante para o bom dimensionamento do projeto e para a definição do tipo de ventilação que melhor se adequa às especificidades da região. Sendo assim, objetivou-se, com a presente revisão de literatura, abordar e elucidar os principais sistemas de ventilação e sua aplicabilidade na avicultura brasileira.

FATORES DETERMINANTES PARA MANUTENÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO EM PROJETOS ARQUITETÔNICOS DE AVIÁRIOS

Segundo Tinôco (2001), não existe um projeto arquitetônico de padrão universal, visando o conforto ambiental dos animais, que possa ser implementado em todo o mundo, haja vista as distintas condições climáticas observadas nas diferentes regiões. Assim sendo, cada localidade requer tipologias construtivas e arranjos específicos para oferecer as melhores condições de conforto térmico, de acordo com as necessidades de cada espécie. Ferreira (2016) aponta que, por muito tempo, as estruturas adotadas na avicultura brasileira foram importadas de regiões de clima temperado, como países da Europa e os Estados Unidos. Como consequência, por muitas vezes o projeto e os materiais de construção empregados não foram condizentes com o clima do Brasil. O autor afirma que, ainda hoje, constata-se que a inserção de novas tecnologias pode comprometer a eficiência do sistema

produtivo em virtude do despreparo de funcionários ao operar o equipamento. A própria concepção arquitetônica inadequada pode acometer o bom funcionamento dos equipamentos e, assim, o desempenho dos animais.

Tinôco (2001) afirma que o projeto de um aviário deve se adequar ao clima da região onde será concebido, em consoante com as necessidades dos seus ocupantes, bem como amenizar sensações de desconforto em caso de calor, frio ou vento em excesso. Nesse aspecto, o entendimento dos aspectos fisiológicos, padrões comportamentais e a relação das aves com o ambiente em que vivem torna-se indispensável. Além do mais, é crucial a compreensão sobre os processos construtivos da instalação e conceitos básicos de ambiência e bem-estar animal.

O projeto arquitetônico para a produção avícola deve atender não só parâmetros funcionais, estruturais, econômicos e estéticos, mas também deve possibilitar a maior eficiência energética dos sistemas de aquecimento e resfriamento, além de favorecer o conforto térmico durante a maior parte do tempo. Caso o aviário venha a apresentar algum defeito em sua estrutura, de modo a prejudicar a adequada ventilação, a renovação do ar e a manutenção da temperatura dentro da faixa de conforto, os animais tornam-se propensos ao desenvolvimento de problemas de saúde, baixo desempenho e altas taxas de mortalidade (PAULA et al., 2012).

No Brasil, é predominante o sistema de integração na produção de frangos de corte e, por isso, há a exigência, por parte da empresa integradora, de que os projetos sejam padronizados. Para manter a competitividade, os aviários contemporâneos apresentam características industriais, altamente tecnificados e com grandes dimensões. São dimensionados, em média, com 12 m de largura e 125 m de comprimento, podendo atingir a extensão de até 160 m (TINÔCO, 2001).

Em adição a todas as características construtivas, como dimensões, orientação, material de construção e cobertura, forro, pintura e paisagismo circundante, a ventilação é um elemento que deve ser bem conhecido e explorado pelo avicultor, já que é primordial para o melhor acondicionamento térmico.

TIPOS DE VENTILAÇÃO ADOTADOS EM CONSTRUÇÕES RURAIS

De acordo com Hellickson & Walker (1983), Albright (1990) e Baêta & Souza (2010), existem duas formas de se ventilar uma construção rural: a ventilação natural e mecânica (ou artificial).

A ventilação natural pode ocorrer em função das diferenças de pressão devido à ação dinâmica do vento (chamada de ventilação dinâmica) ou em função de gradientes de temperatura entre dois meios considerados (denominada ventilação térmica). Abreu & Abreu (2000) reportaram que o vento ocorre em função da diferença de pressão atmosférica ao nível do solo que, por sua vez, decorre em consequência da variação de temperatura. Ainda, segundo os autores, o ar sempre flui de um ponto de alta pressão para baixa pressão, ou seja, a velocidade do ar em um galpão é sempre maior nas aberturas onde o vento incide do que ao lado oposto, por onde o vento deixa a instalação. A ação dos ventos, mesmo intermitente, promove o escalonamento das pressões no sentido horizontal.

Existem dois mecanismos relativos à pressão na ventilação natural que devem ser compreendidos para que o sistema seja efetivamente eficiente (HELLICKSON & WALKER, 1983; ALBRIGHT, 1990; JONES & WEST, 2001). O primeiro mecanismo diz respeito a própria pressão induzida pela ação do vento, onde dois efeitos importantes podem ocorrer: o efeito Bernoulli e o efeito Venturi. O efeito Bernoulli resulta no desenvolvimento de zonas de fluxo de ar acelerado e desacelerado, acarretando em pressão positiva a barlavento e negativa a sotavento.

Já o efeito Venturi causa aceleração quando o fluxo de ar laminar é ligeiramente contraído por uma abertura, resultando em pressão negativa na região da constrição. Este é um efeito profícuo em projetos de torres eólicas, como saída por exaustão (JONES & WEST, 2001).

O segundo mecanismo decorrente é o efeito de tiragem ou termossifão, que ocorre quando o ar interior é mais aquecido que o ar exterior e, portanto, por ser menos denso, tende a subir para a parte superior da edificação. Também denominado como ventilação térmica, o processo é derivado das diferenças de temperatura no ambiente, criando gradientes de pressão provocados graças às variações de densidade do ar no interior dos aviários, resultando no efeito supracitado. A diferença de pressão se dá em função da diferença de temperatura do ar entre o interior e o exterior do galpão; do tamanho das aberturas de entrada e saída do ar pelo lanternim; e da diferença de nível entre essas aberturas. Hellickson et al. (1983) nomeou esse efeito como “efeito chaminé”. Quando uma instalação apresenta aberturas próximas ao piso e à cobertura, em condições onde o ar interior está em uma temperatura maior que do ar exterior, o ar mais quente, por ser menos denso, tende a sair pelas aberturas superiores. Simultaneamente, o ar mais frio e mais denso adentra pelas aberturas inferiores, promovendo o fluxo de ar no interior da edificação (BAÊTA & SOUZA, 2010). O primeiro fator a ser considerado para alcançar taxas corretas de ventilação é o projeto das aberturas de ar (WILSON et al., 1983).

Abreu & Abreu (2000) afirmam que o dimensionamento e localização das aberturas devem ser considerados para o controle da corrente de ar. Segundo os autores, as aberturas de entrada devem ser posicionadas na direção onde incidem os ventos dominantes. A inclinação do telhado também tem sua importância, visto que, quanto maior tal inclinação, maior a velocidade do ar na cumeeira, gerando uma pressão negativa mais acentuada e,

consequentemente, incrementando a sucção de ar interno para o exterior do galpão. Portanto, o uso do lanternim é essencial para uma ventilação natural eficiente. Recomenda-se que o mesmo seja em duas águas, ao longo de toda a extensão da cumeeira, permitindo abertura mínima de 10% da largura do aviário, com telhados sobrepostos distanciados no mínimo 40 cm (ABREU & ABREU, 2000; BAÊTA & SOUZA, 2010).

Para Ferreira (2016), a velocidade de deslocamento das massas de ar no efeito chaminé depende da diferença de altura entre as aberturas. Portanto, é indicado que o manejo das cortinas seja realizado corretamente para que a ventilação seja eficiente, de modo que haja aberturas de baixo para cima até dois terços de altura da parede lateral, a fim de favorecer a dissipação do calor corporal das aves e umidade da cama; e de cima para baixo até alcançar o mesmo ponto, para promover a saída de ar quente acumulado na área superior do aviário. Além das dimensões e da localização das aberturas de entrada e saída de ar, a produção e perda de calor pela instalação e pelos animais, tal como a umidade relativa do ambiente interno, podem influenciar a taxa mínima demandada para a ventilação térmica (BAÊTA & SOUZA, 2010).

Segundo Tinôco et al. (2014), em regiões nas quais a temperatura do ar é mais elevada, é inevitável a realização de modificações nas instalações, como, por exemplo, o uso de ventilação mecânica, muitas vezes associados a sistemas de resfriamento adiabático evaporativo. A ventilação mecânica, também designada ventilação artificial ou forçada, é realizada por meio de equipamentos que demandam energia, principalmente elétrica, para que sejam acionados, como é o caso de ventiladores e exaustores. É muito importante que a ventilação mecânica seja empregada sempre que a ventilação natural não for suficiente para prover a renovação do ar e redução da temperatura ambiental no interior de um galpão. A principal vantagem

desse sistema é a possibilidade do controle da taxa de ventilação de acordo com a necessidade e, quando bem planejado, favorece a melhor distribuição da ventilação no local (BAÊTA & SOUZA, 2010).

A ventilação mecânica pode ser realizada de duas formas:

- 1) por pressão negativa ou exaustão (Figura 1);
- 2) por pressão positiva ou pressurização que, por sua vez, pode ser do tipo transversal ou longitudinal; (Figuras 2 A e B, respectivamente).

No sistema por pressão negativa, exaustores puxam o ar interno para fora da instalação, criando um vácuo parcial que

força a entrada de ar fresco e este, por sua vez, percorre todo o galpão. A manutenção da pressão negativa dentro do aviário é o que garante a entrada de ar na direção e velocidades adequadas para que se misture com o ar já existente (OBERREUTER & HOFF, 2000; FRAME & ANDERSON, 2002). Quando as cortinas permanecem fechadas, o sistema é chamado de ventilação tipo túnel e sua eficiência depende de uma boa vedação do aviário. Já o sistema por pressão positiva consiste em ventiladores que insuflam o ar externo para o interior do aviário, obrigando a saída do ar interno (BAÊTA & SOUZA, 2010; FERREIRA, 2016).

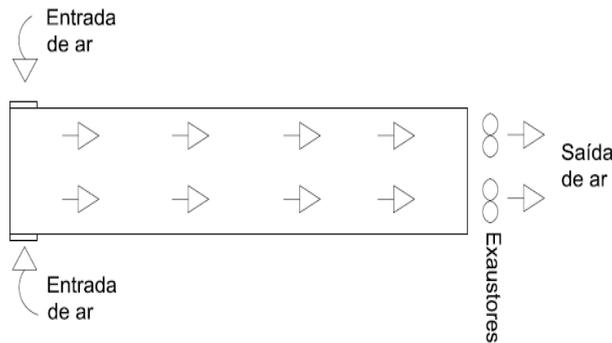


Figura 1. Sistema de ventilação por pressão negativa ou exaustão.
Fonte: Os autores.

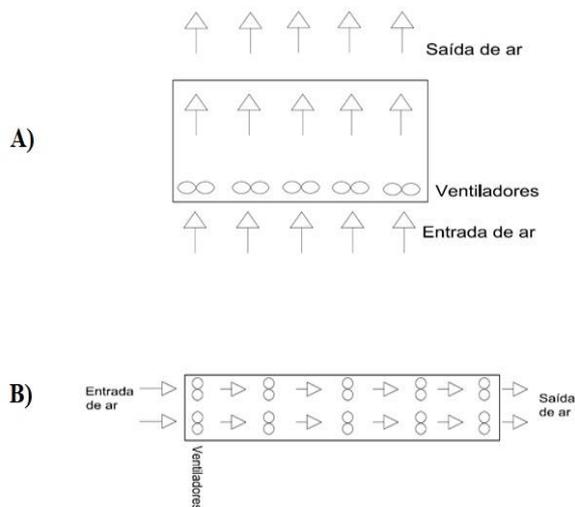


Figura 2. Sistema de ventilação por pressão positiva, onde a) ventilação por pressão positiva lateral; b) ventilação por pressão positiva tipo túnel.

Fonte: Os autores.

O emprego de ventilação por pressão negativa tem sido uma das estratégias mais utilizadas pelos avicultores para proporcionar as condições ambientais o mais próximo possível ao requerimento dos animais (SILVA et al., 2013). As principais vantagens desse sistema, segundo Yohannes & Tekle (2018), são temperaturas do ar e umidade relativa mantidas dentro de faixas desejadas, bem como níveis de amônia dentro de limites especificados pelas normas. Além disso, tipo de sistema permite maior controle e uniformidade do fluxo de ar no interior do galpão, minimizando zonas mortas de ar.

Tanto o sistema por pressão negativa quando por pressão positiva apresentam desempenho eficiente quando são propriamente dimensionados, com número e tamanho de ventiladores adequados e o manejo correto das aberturas para entrada de ar. Contudo, observa-se que os sistemas de ventilação por pressão positiva vem caindo em desuso por ser mais difícil o gerenciamento e controle do fluxo de ar. Segundo Mesa et al. (2017), a ventilação por pressão negativa proporciona maior efetividade e uniformidade na mistura de ar no interior do aviário, quando comparada ao sistema de ventilação por pressão positiva. O mesmo foi observado por Osório et al. (2016b), ao avaliar o microambiente de criação de frangos submetidos à ventilação por pressão negativa e positiva. Ao confrontar os dois tipos de ventilação mecânica, os autores constataram que a ventilação por pressão negativa resulta em comportamento mais estável e uniforme na distribuição espacial de temperatura e umidade do ar. Consequentemente, maior distribuição do calor e melhores condições de conforto térmico são alcançadas. Para que o fluxo do ar na ventilação por pressão positiva seja mais uniforme, dutos para o direcionamento de ar fresco nas regiões necessárias são uma exigência. Além disso, o sistema é susceptível à influência de

ventos fortes que sopram nas saídas, o que, de fato, é de difícil controle.

Outra vantagem do sistema de ventilação por pressão negativa consiste no fato de que, mesmo se a construção possuir problemas de vedação, como rachaduras, frestas de vãos das portas ou qualquer outro tipo de vazamento de ar, o sistema permanecerá apresentando um bom desempenho, desde que as entradas de ar sejam dimensionadas e manejadas corretamente.

Para o melhor entendimento da Figura 3, é preciso conhecer o conceito de jato de ar e momento do jato. Segundo Albright (1990), jato de ar é definido como uma região do ar que se move em velocidade diferente da velocidade do ar circundante. Ao infiltrar-se em uma instalação através de uma entrada de ar, o ar fresco possui uma velocidade significativa, ao passo que o ar interno se mantém praticamente parado. Se o jato de ar é direcionado para longe das extremidades da instalação, é denominado jato livre. Se o fluxo for conduzido ao longo de uma parede ou do teto, é chamado jato de parede. Quando passa por uma entrada de ar em uma construção, o ar forma um jato e possui momento. Segundo Albright (1990), acredita-se que o momento não é perdido no ar circundante, apenas propaga-se no ar parado por arrastamento. O jato aumenta por arrastamento e diminui conforme o momento é distribuído por uma maior massa de ar. Como mencionado por Strøm et al. (2002), estudos sobre características do fluxo de ar em ambientes dotados de sistemas de ventilação demonstrados por Kaul et al. (1975) revelam que o momento do jato de entrada pode caracterizar esses padrões de fluxo de ar. Albright (1989) afirma que o momento de jato foi estabelecido como um critério para indicar se um jato constituirá padrões estáveis de mistura de ar em uma instalação ventilada isotérmica. De acordo com Timmons et al. (1986), Albright (1989) e Strøm et al. (2002), Barber et al. (1982) propuseram um

número de momento de jato adimensional, definido como:

$$J = \frac{Q.v}{g.V} \quad \text{Eq. (1)}$$

Onde Q é a taxa total de ventilação ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$); v é a velocidade do jato de entrada (m s^{-1}); g, a constante gravitacional (m s^{-2}); e V, o volume da instalação (m^3).

Segundo Strøm et al. (2002), para padrões estáveis de fluxo de ar é necessário número de momento de jato maior que $7,5 \cdot 10^{-4}$. A velocidade do jato de entrada é dado pela Equação 2:

$$v = \sqrt{\frac{2.\Delta p}{\rho}} \quad \text{Eq. (2)}$$

Onde Δp é a diferença de pressão através da entrada e ρ é a densidade do ar.

Em ambas as técnicas de ventilação mecânica, a pressão é determinante para o sucesso do sistema. Abreu & Abreu (2000) declaram que a pressão está relacionada diretamente com a vazão e não com a velocidade e, por isso, é fundamental saber a quantidade de ar demandada. A pressão estática refere-se à leve diferença de pressão entre o interior e o exterior do aviário durante o funcionamento dos exaustores, que faz com que o ar interior seja empurrado para fora (CURTIS, 1983; ALBRIGHT, 1990; FRAME & ANDERSON, 2002). De acordo com Albright (1990), quando a pressão estática é muito baixa, o ar não é bem misturado devido ao momento do jato de ar diminuto e/ou à insuficiente velocidade do ar fresco recebido, ocorrendo assim, a estagnação de ar quente e ar frio na instalação (Figura 3-A). Além disso, o controle da largura da abertura da entrada é crucial para manter uma boa distribuição de ar dentro de uma edificação, uma vez que, pela equação da continuidade, influencia diretamente a velocidade do ar de entrada. Caso a velocidade seja muito menor que os valores

projetados, o momento de jato não é capaz de possibilitar a mistura, criando regiões de zonas mortas de ar (ALBRIGHT, 1989; GATES et al., 1991). A pressão estática em níveis adequados propicia a entrada de ar fresco e a homogeneização do mesmo, permitindo um ligeiro aquecimento antes de alcançar o nível das aves (Figura 3-B). Quando a pressão estática se encontra demasiadamente alta, o ar fresco pode ser impulsionado ao longo do teto e, assim, a mistura com o ar presente no aviário é prejudicada. Conseqüentemente, o equilíbrio da temperatura entre o ar fresco e o ar interior também é afetado (Figura 3-C) (ALBRIGHT, 1989; GATES et al., 1991; FRAME & ANDERSON, 2002).

É importante que o ar fresco que adentra o galpão se misture com o ar interno presente no ambiente antes mesmo de atingir o nível das aves, evitando que o ar frio incida diretamente sobre as mesmas. Em períodos frios, a diferença de temperatura do ar que entra e o ar interior pode ser bastante elevada, e essa situação pode caracterizar uma condição crítica principalmente às aves mais jovens, que são mais vulneráveis ao estresse por frio (ALBRIGHT, 1990).

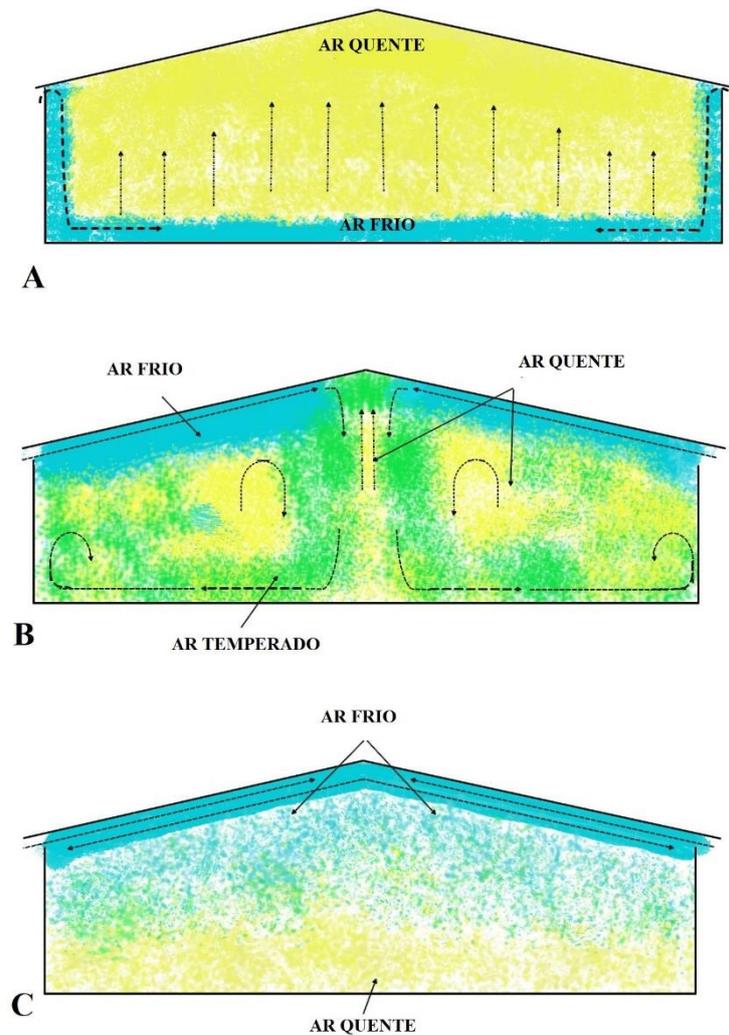


Figura 3. Distribuição de ar em diferentes níveis de pressão estática em aviários, onde A) Pressão estática insuficiente; B) Pressão estática adequada; C) Pressão estática excessiva.

Fonte: Adaptado de Frame & Anderson (2002).

Em tese, a ventilação mecânica, tanto por pressão positiva quanto negativa, deve prover ar fresco para o interior da instalação, distribuído uniformemente em todas as partes do galpão, com ausência de correntes de ar (BAÊTA & SOUZA, 2010; YOHANNES & TEKLE, 2018), além do maior controle da renovação de ar e controle da direção e da velocidade do vento (OLOYO & OJERINDE, 2019). Todavia, em um aviário é possível observar regiões de baixa movimentação de ar. Um dos principais motivos que causam essa desuniformidade de distribuição é o mau dimensionamento e posicionamento dos equipamentos de ventilação e das aberturas para entrada de ar para sistema com pressão negativa (ABREU & ABREU, 2000). De

acordo com Baêta & Souza (2010), os cálculos para estimar a taxa de ventilação mecânica em um ambiente consistem basicamente no balanço de calor, no dimensionamento dos equipamentos que compõe o sistema e na potência do motor do ventilador, que é definido pela velocidade do ar requerida na instalação.

COMPONENTES DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO

O ventilador/exaustor consiste em um dispositivo mecânico que, por meio de energia mecânica de rotação, promove diferenças de pressão entre o interior e o exterior do aviário, desenvolvendo a movimentação de ar (BAÊTA & SOUZA,

2010; ABREU & ABREU, 2012). O motor elétrico do ventilador é o responsável pela energia mecânica gerada e, por isso, deve ser dimensionado de forma que a potência e rotação forneça a vazão necessária. Via de regra, a capacidade do ventilador é correspondente à sua rotação; a pressão, ao quadrado da sua rotação; e a potência, ao cubo de sua rotação (BAÊTA & SOUZA, 2010). De acordo com os autores, para o dimensionamento do sistema de ventilação, é importante atentar-se a algumas características dos ventiladores, como por exemplo a vazão; a velocidade de saída; a pressão devido à velocidade de saída (correspondente à velocidade do ar na saída); pressão total (referente à diferença de pressão total do ar na saída do ventilador e a pressão total do ar na entrada); pressão estática (diferença entre a pressão total e a pressão devido à velocidade).

Dentre os tipos de ventiladores encontrados no mercado, os mais comuns são do tipo axial e centrífugo. Os ventiladores axiais, normalmente empregados em aviários, são compostos por hélices e, algumas vezes, carcaça; enquanto os centrífugos apresentam carcaça, rotor de réguas curvas, mancais, eixos, entradas e saída de ar (ABREU & ABREU, 2012).

Baêta & Souza (2010) recomendam que, a nível de projeto, a escolha do ventilador leve em conta as tabelas fornecidas pelos fabricantes, onde constam informações sobre características importantes como rotação, potência e eficiência energética, de modo a atender o fluxo requerido. Existe, ainda, a disponibilidade de acesso à publicações *on-line* de testes independentes de desempenho e eficiência de ventiladores agrícolas, realizados em laboratórios por universidades renomadas, como, por exemplo, Bess Illinois. Esses testes fornecem dados imparciais sobre a performance de ventiladores comerciais e, assim, possibilita que o projetista compare diferentes fabricantes e modelos. Ventilação ineficiente em termos de qualidade e desempenho dos ventiladores

pode onerar o custo da produção, tanto em virtude dos gastos com energia elétrica quanto à baixa qualidade do ar, que pode influenciar no bem-estar das aves (ABREU & ABREU, 2012).

O controle do sistema de ventilação pode ser realizado com o auxílio de diversos equipamentos que, em conjunto, atuam para manter as condições ambientais internas dentro dos limites ideais para o conforto e maior produtividade dos animais. Segundo Pratt et al. (1983), Guarino et al. (2008) e Oliveira et al. (2018), existem diversas técnicas disponíveis no mercado para o controle do ambiente térmico na criação animal. Dentre esses equipamentos de controle, basicamente pode-se citar:

Termostatos: são os mais usuais no controle do sistema de ventilação em instalações agroindustriais, efetuando o controle da temperatura do ar. Consiste em um disjuntor sensível à temperatura e normalmente são constituídos por um elemento sensor e um interruptor elétrico.

Umidostatos: São semelhantes aos termostatos, exceto pelo fato de que o elemento de potência detecta a umidade ao invés da temperatura. Os elementos de potência mais comuns em umidostatos apresentam uma seção com um material sensível à umidade, que altera o seu comprimento de acordo com a umidade relativa do ar, análogo ao fio de cabelo humano.

Timers: Permitem marcar os intervalos de tempo de funcionamento do sistema. Os mais comuns para sistema de ventilação são os *timers* temporizadores de intervalo ou ciclo e o cronômetro de 24 horas, que consistem basicamente em interruptores elétricos on-off, acionados por um pequeno motor síncrono ou de relógio.

Além desses equipamentos elementares, é importante o uso de uma conexão paralela entre termostato e *timer*; e manóstato, que aciona os ventiladores em função da pressão, e assim, evita que os mesmos operem de maneira forçada.

Controladores: Conjunto de sensores e dispositivos de acionamento dos sistemas de climatização. A princípio, os controladores primitivos apresentavam baixo número de acionamentos, o que tornava o sistema instável e de baixa efetividade. O constante aperfeiçoamento e investimento nas tecnologias utilizadas nos controladores possibilitou o monitoramento de diversas variáveis simultaneamente, dentre elas temperatura, umidade e pressão estática (CÓRDOVA, 2013; TIGGEMAN, 2015). Atualmente, sistemas automáticos de controle do ambiente para instalações de produção animal são facilmente encontrados no mercado, e amplamente utilizado pelos produtores. Esses sistemas, que são compostos por controladores e sensores, atuam tanto no controle do ambiente térmico (sistemas de resfriamento e aquecimento) como nos sistemas de arrazoamento, detecção automática de doenças e avaliação comportamental em tempo real por meio de processamento e análise de imagens digitais (GUARINO et al., 2008; OLIVEIRA et al., 2018).

O acionamento dos sistemas de resfriamento e aquecimento é executado a partir de *setpoints* programados nesses controladores, de acordo com a fase de criação. Com isso, é possível que todo o sistema de acondicionamento térmico entre em funcionamento ou desligue automaticamente, de acordo com as condições psicrométricas do ar verificadas naquele instante. Esse tipo de equipamento, quando utilizado, facilita o trabalho de monitoramento das condições térmicas do ambiente e viabiliza o melhor uso de energia elétrica (ABREU & ABREU, 2000), sendo indispensável para a estabilidade do microclima interno da instalação (BUSTAMANTE et al., 2013). Apesar de ser uma tecnologia bastante difundida entre os produtores, muitos ainda não investem em controladores sofisticados e acabam realizando o controle do sistema de ventilação de forma manual ou com

controladores básicos (DETSCH et al., 2018).

Aviários modernos contam com controle ambiental mais sofisticado mediante a utilização de microprocessadores. Segundo Pratt et al. (1983) e Diniz (2017), microprocessadores permitem que a lógica e a tomada de decisão sejam acionadas às funções fornecidas pelo sistema de controle. Dessa forma, são responsáveis por receber a informação do sensor, comparar com os valores de referência programados no sistema, interpretá-los e tomar decisão (como, por exemplo, ligar ou desligar o equipamento).

Além disso, pesquisadores em todo o mundo vem desenvolvendo estudos para melhorar a eficiência do sistema e facilitar o trabalho dos produtores. Nesse sentido, observa-se a expansão do uso de dispositivos sem fio e armazenamento de informações em banco de dados remoto para fins de gerenciamento, além da possibilidade de acesso por aplicativos (SILVA, 2018).

Backup: É fundamental que as instalações que possuem sistemas de controle do ambiente térmico também incluam a adoção de sistemas de *backup* para atingir os resultados esperados e evitar perdas devido a qualquer tipo de falha que possa ocorrer nos controladores. Gates et al. (1992) afirmam que, por muitas vezes, as falhas nos controladores podem ser causadas pelo *backup* mecânico inadequado e à falha dos sistemas de alarme paralelo. Portanto, é extremamente importante a implementação de um sistema de *backup* consistente que atue em associação ao controlador eletrônico.

Alarmes sinalizadores são essenciais para notificar problemas como temperatura, energia, ativação de bomba de água, entre outros. Alarmes instalados nas entradas dos controladores acionados por pressão estática são muito úteis pois são independentes do controlador principal. Por isso, sistemas de *backup* devem ser o mais

independentes possível, para que não estejam propensos à falha do sistema como um todo, caso o controlador principal venha a falhar (DONALD, 2009).

ESTUDOS ATUAIS SOBRE VENTILAÇÃO NA AVICULTURA

Para o sucesso do sistema produtivo, é fundamental entender e avaliar a variabilidade espacial dos fatores térmicos do ambiente, principalmente da distribuição do ar, no sentido de auxiliar em tomadas de decisão para o adequado manejo da ventilação (CURI et al., 2014; QUEIROZ et al., 2017). Sabe-se que a variação dos elementos climáticos no interior de uma instalação gera efeito semelhante na produtividade e bem estar dos animais, e assim, surgem regiões do galpão onde o desempenho das aves fica prejudicado (SILVA et al., 2013). Diversas pesquisas sobre a distribuição da velocidade do ar em aviários vem sendo publicadas nos últimos

anos e mostram, a partir de diferentes técnicas, a variabilidade espacial dessa variável no interior das edificações (MOSTAFA et al., 2012; SANTOS et al., 2012; SILVA et al., 2013; CURI et al., 2014; WANG et al., 2014; QUEIROZ et al., 2017).

Silva et al. (2013), em seu estudo, objetivaram estudar a variabilidade espacial das características ambientais e do peso de frangos de corte criados em galpão com ventilação negativa e observaram que a desuniformidade dos fatores climáticos, incluindo a velocidade do ar, influenciaram diretamente no peso vivo de frangos de corte, como pode ser visto na Figura 4. Tal irregularidade nas condições ambientais ao longo de todo o galpão evidencia a necessidade de modificações construtivas e adoção de estratégias que favoreçam a melhor distribuição do ar e, assim, homogeneidade das variáveis climáticas no ambiente de criação das aves.

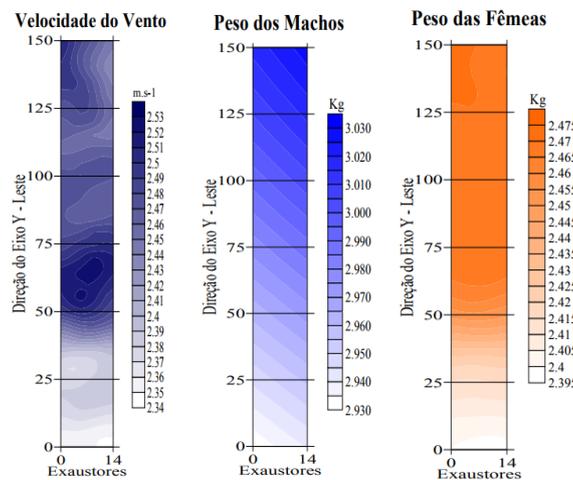


Figura 4. Distribuição espacial da velocidade do ar ($m s^{-1}$) e os pesos dos machos e das fêmeas em galpão de frangos de corte equipados com sistema de ventilação por pressão negativa.

Fonte: Silva et al., 2013.

No mesmo contexto, Curi et al. (2014) avaliaram, por meio da geostatística, o efeito da ventilação e diferentes tipologias construtivas em relação ao ambiente térmico e aéreo em aviários de frangos de corte na fase final de criação. Os aviários eram providos de

sistema de ventilação mecânica por pressão negativa e as tipologias avaliadas foram: *Blue House* (BH) com nebulizadores na entrada de ar e vedação de cortinas; *Dark House* (DH) com painel evaporativo (tijolo cerâmico) e vedação de cortinas; e *Solid Wall* (SW) com painel evaporativo de

celulose e vedação de alvenaria. O comportamento do ar e sua distribuição, nos diferentes tratamentos e idades das aves, pode ser visto na Figura 5. Os autores observaram que o sistema de ventilação com resfriamento evaporativo auxilia no arrefecimento do ar no centro do aviário, entretanto nas proximidades das paredes

laterais foram observadas temperaturas elevadas. Ainda, valores elevados de amônia foram verificados na região próxima aos exaustores, devido as características do sistema de ventilação tipo túnel, que encaminha o ar no sentido longitudinal do aviário (Figura 6).

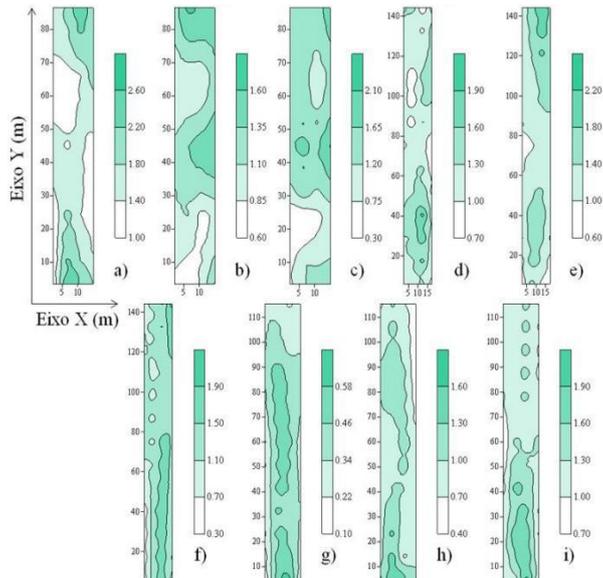


Figura 5. Mapas de krigagem para a velocidade do ar no aviário BH, aos 28 (a), 35(b) e 42(c) dias de idade das aves, DH aos 28 (d), 35(e) e 42(f) dias de idade das aves, e SW aos 28 (g), 35(h) e 42(i) dias de idade das aves, no período do verão.

Fonte: Curi et al., 2014.

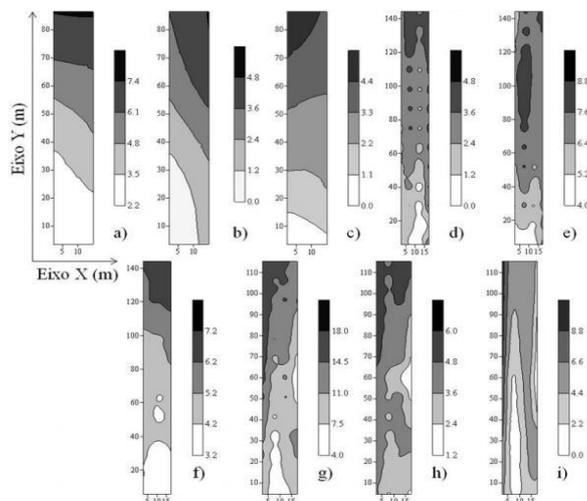


Figura 6. Mapas de krigagem para a concentração de amônia no aviário BH, aos 28 (a), 35(b) e 42(c) dias de idade das aves, DH aos 28 (d), 35(e) e 42(f) dias de idade das aves, e SW aos 28 (g), 35(h) e 42(i) dias de idade das aves, no período do verão.

Fonte: Curi et al., 2014.

A fluidodinâmica computacional tem demonstrado ser uma ferramenta vantajosa em estudos relativos a sistemas de ventilação em criação animal. Bianchi et al. (2015) compararam a eficiência dos sistemas de ventilação longitudinal e transversal, através da análise do comportamento de variáveis como temperatura, umidade relativa e concentração de dióxido de carbono por meio de simulações em CFD. Os autores concluíram que o sistema de ventilação

longitudinal apresentou as maiores concentrações de CO₂ no corredor central do galpão, ou seja, o sistema não permitiu um fluxo de ar uniforme e eficaz ao longo das paredes laterais do galpão (Figura 7). A simulação para o sistema de ventilação transversal mostrou uma maior uniformidade da troca de ar e, conseqüentemente, melhor distribuição da concentração de CO₂ (Figura 8).

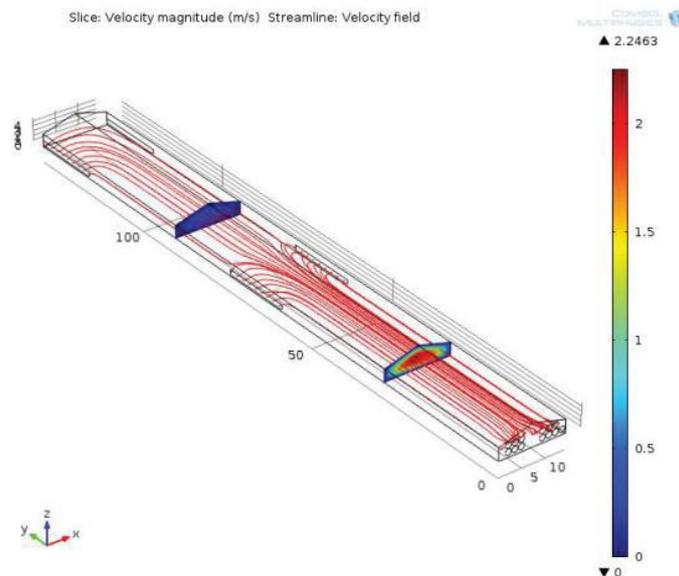


Figura 7. Simulação do campo de escoamento do fluido na instalação comercial em estudo.

Fonte: Bianchi et al., 2015.

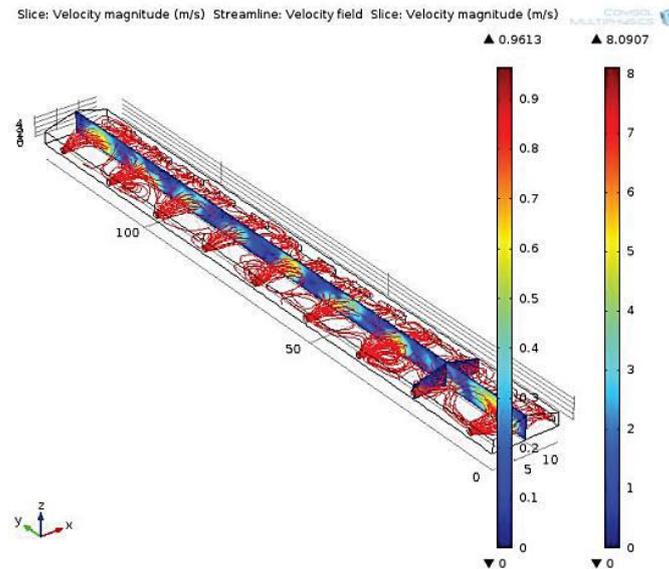


Figura 8. Simulação do campo de escoamento no caso de ventilação cruzada na instalação comercial em estudo.

Fonte: Bianchi et al., 2015.

A implementação de sistemas de ventilação por dutos tem sido utilizada para proporcionar maior uniformidade na distribuição de temperatura do ar e para evitar que a entrada de ar frio atinja diretamente os animais. Mostafa et al. (2012) desenvolveram diferentes sistemas de ventilação por duto, a fim de estabelecer o modelo mais adequado para utilização durante o inverno. Os autores também utilizaram simulações em CFD para testar estes diferentes sistemas. Quatro diferentes novos modelos de ventilação foram comparados com o sistema de ventilação em modo túnel (sistema padrão do galpão em estudo), sendo eles configurados como: entrada e saída diretamente conectados com o trocador de calor sem o uso de dutos; saída de ar conectada diretamente com o trocador de calor na parede lateral e dutos de entrada de ar localizados no centro do galpão; dutos de entrada e saída de ar localizados no centro do galpão; e dutos de entrada e saída de ar e localizados em cada lado do galpão. Para todos os modelos, os autores observaram maior uniformidade em cerca de 60 a 70% quando comparados ao sistema padrão (ventilação em modo túnel).

Em adição aos sistemas de ventilação já consolidados, existe também a

proposta de implementação dos sistemas híbridos de ventilação, onde o aviário deve integrar os sistemas de ventilação natural e mecânica por meio do manejo das cortinas laterais. Segundo Coelho (2018) e Teles Junior (2019), esse tipo de ventilação consiste no desligamento dos ventiladores/exaustores e abertura das cortinas para utilização da ventilação natural enquanto as condições de temperaturas externas estiverem mais amenas. Neste caso, a ventilação natural deve ser suficiente para manter a temperatura de conforto dentro dos alojamentos. Do mesmo modo, quando a ventilação natural não supre as exigências climáticas para o conforto térmico dos animais, as cortinas laterais podem ser manejadas de modo a fechar todo o aviário e, então, o sistema de ventilação mecânica deve ser acionado.

Dentre as vantagens destacam-se a manutenção da qualidade do ar no interior dos aviários e a economia de energia na fase final de criação, já que os equipamentos de arrefecimento térmico não são necessários nesses períodos. Todavia, é importante atentar-se ao ambiente de criação dos pintinhos em fase inicial, visto que os mesmos devem estar protegidos de baixas

temperaturas e correntes de ar intensas durante o inverno ou em noites frias (OSÓRIO et al., 2016a). Neste caso, os autores ressaltam a importância do bom isolamento térmico e sistema de aquecimento eficiente.

O controle do fluxo e provimento de melhor distribuição de ar em sistema híbrido de ventilação é uma tarefa muito complexa devido à instabilidade da intensidade e direção da ventilação natural. Portanto, a orientação e localização do

CONCLUSÕES

O ambiente térmico engloba um complexo de fatores que interagem entre si e refletem na temperatura ambiental efetiva, ou seja, uma única variável que abrange o efeito combinado da temperatura, umidade, radiação e vento. Com isso, o sistema de ventilação praticado em aviários representa grande parte do sucesso da atividade, já que é sabido que a ventilação em níveis apropriados favorece não só a diminuição da temperatura do ar, mas também facilita as trocas térmicas por mecanismos sensíveis ou latentes, promove a diluição de gases e contaminantes e efetua a renovação do ar.

A orientação do galpão e sua localização são fatores determinantes para o melhor aproveitamento do fluxo de ar quando o sistema de ventilação natural é empregado, visto que, se não houver diferenças de temperatura e pressão, a mesma não ocorre. Para a escolha do melhor sistema de ventilação, deve-se levar em consideração diversos fatores, como a região onde será implementado, condições

AGRADECIMENTOS

Ao apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código Financeiro 001 e Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG). Os

aviários são imprescindíveis para o sucesso da estratégia. Ainda, para que o sistema híbrido seja eficiente, há a necessidade de automatização do manejo de cortinas em função da temperatura, umidade e velocidade do ar exterior. Assim, a abertura parcial automatizada das cortinas laterais por meio de sensores e controladores pré-programados pode favorecer a homogeneidade do fluxo de ar no interior do galpão.

climáticas da região, tipificação construtiva da instalação e disponibilidade de energia elétrica. Além disso, é muito importante orientar adequadamente as aberturas conforme a direção dos ventos dominantes. Como exemplo, galpões alocados em regiões tropicais podem interceptar maiores intensidades de ventilação natural e melhor circulação de ar quando possuem pé-direito alto. No caso de galpões com ventilação por pressão negativa, além dos cuidados já citados, é muito importante a atenção a detalhes, como a adequada vedação do galpão e o dimensionamento correto do sistema de ventilação, para maior eficiência do sistema.

Assim, é indiscutível que o projeto do sistema de ventilação deva ser realizado de modo a garantir a uniformidade do ambiente térmico e boa qualidade do ar. Como consequência, melhores serão os resultados quanto ao bem-estar, produtividade dos animais e retorno econômico.

autores agradecem também à Universidade Federal de Viçosa (UFV), à Universidade Estadual de Iowa, ao Departamento de Engenharia Agrícola (UFV) e ao Núcleo de Pesquisa em Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais – Ambiagro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. **Ventilação na avicultura de corte.** Embrapa Suínos e Aves, Documentos, 63, Concórdia, 50p, 2000.
- ABREU, V.M.N.; ABREU, P.G.; COLDEBELLA, A.; JAENISCH, F.R.F.; SILVA, V.S. **Evaluation of litter material and ventilation systems in poultry production: I. overall performance.** Revista Brasileira de Zootecnia, v. 40(6), 1364–1371, 2011.
- ABREU, P.G.; ABREU, V.M.N. **Ventiladores na produção de aves.** Engormix (artigos técnicos de avicultura), 2012.
- ALBINO, L.F.T.; BARROS, V.R.S.M.; MAIA, R.C.; TAVERNARI, F.C.; SILVA, D.L. **Produção e nutrição de frangos de corte.** 2a. ed. Viçosa: Editora UFV, 360p, 2017.
- ALBRIGHT, L. D. **Slotted inlet baffle control based on inlet jet momentum numbers.** Transactions of the ASAE, 32(5), 1764-1768, 1989.
- ALBRIGHT, L. D. **Environment Control for Animals and Plants.** St. Joseph: ASAE, 354p, 1990.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em Edificações Rurais.** 2a. ed. Viçosa: Editora UFV, 269p., 2010.
- BARBER, E.M.; SOKHANSANJ, S.; LAMPMAN, W.P.; OGILVIE, J.R. **Stability of airflow patterns in ventilated airspaces.** American Society of Agricultural Engineers paper no. 82-4551, 10, 1982.
- BIANCHI, B.; CATALANO, P.; GENTILE, A.; GIAMETTA, F.; LA FIANZA, G. **Microclimate measuring and fluid-dynamic simulation in an industrial broiler house: testing of an experimental ventilation system.** Veterinaria Italiana, v.51, 85–92, 2015.
- BLAKELY, J. R.; SIMPSON, G.; DONALD, J.; CAMPBELL, J.; MACKLIN, K. **The Economic Importance of House and Ventilation Management.** The Poultry Engineering, Economics and Management, Auburn University, n. 49, 1-4, 2007.
- BUSTAMANTE, E.; GARCÍA-DIEGO, F. J.; CALVET, S.; ESTELLÉS, F.; BELTRÁN, P.; HOSPITALER, A.; TORRES, A. G. **Exploring ventilation efficiency in poultry buildings: The validation of computational fluid dynamics (CFD) in a cross-mechanically ventilated broiler farm.** Energies, 6(5), 2605-2623, 2013.
- COELHO, D.J.R. **Ambiente térmico e aéreo de aviários sólidos de frangos de corte acondicionados artificialmente para condições climáticas do Brasil e Portugal.** 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2018.
- CÓRDOVA, P. D. S. **A evolução dos sistemas de equipamentos para criação de frangos de corte com foco na inovação.** Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Administração). Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, Criciúma, 2013.
- CURI, T. M. R. C.; VERCELLINO, R. D. A.; MASSARI, J. M.; SOUZA, Z. M.; MOURA, D. J. **Geoestatística para avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte.** Engenharia Agrícola, 34(6), 2014.
- CURTIS, S. E. **Environmental Management in Animal Agriculture.** Iowa State University Press, 409p, 1983.
- DETSCH, D. T.; CONTI, D.; DINIZ-EHRHARDT, M.A.; MARTÍNEZ, J. M. **On the controlling of temperature: A proposal for a real-time controller in broiler houses.** Scientia Agricola, 75(6), 445-451, 2018.

DINIZ, A.M. **Sistema automatizado de aquisição, em tempo real, de umidade e temperatura do solo na irrigação.**

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), 76p., 2017.

DONALD, J. O. **Manejo del ambiente en el galpón de pollo de engorde.** 44p.,

2009. Disponível em:
http://pt.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/Aviagen-Manejo-Ambiente-Galpón-Pollo-Engorde-2009.pdf

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente - para aves, suínos e bovinos.** 3a edição, Aprenda Fácil, 528p, 2016.

FRAME, D. D., ANDERSON, G. L. **Understanding Static Pressure.** Eletronic Publishing - Utah State University, 3, 1, 2002.

GATES, R.S.; OVERHULTS, D.G.; WALCOTT, B.L.; SHEARER, S.A. **Constant velocity air inlet controller.** Computers and electronics in agriculture, 6(2), 175-190, 1991.

GATES, R. S.; OVERHULTS, D. G.; TURNER, L. W. **Mechanical backup systems for electronic environmental controllers.** Applied Engineering in Agriculture, 8(4), 491-497, 1992.

GUARINO, M.; JANS, P.; COSTA, A.; AERTS, J. M.; BERCKMANS, D. **Field test of algorithm for automatic cough detection in pig houses.** Computers and electronics in agriculture, 62(1), 22-28, 2008.

HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. **Ventilation of Agricultural Structures.** American Society of Agricultural Engineers (ASAE). 372p, 1983.

HELLICKSON, M.A.; HINKLE, C.N.; JEDELE, D.G. **Natural Ventilation.** In: HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. Ventilation of Agricultural Structures.

[S.I.]: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 81-100, 1983.

JONES, J.; WEST, A.W. **Natural ventilation and collaborative design.** ASHRAE journal, v. 43(11), 46, 2001.

KAUL, P.; MALTRY, W.; MULLER, H.J.; WINTER, V. **Scientific-technical principles for the control of the environment in livestock houses and stores.** Translation 430. Brit. Soc. Res. Agric. Eng., NIAE, Silsoe, England, 1975.

MESA, D.; MUNIZ, E.; SOUZA, A.; GEFFROY, B. **Broiler-Housing Conditions Affect the Performance.** Brazilian Journal of Poultry Science, 19(2), 263-272, 2017.

MOSTAFA, E.; LEE, I. B.; SONG, S. H.; KWON, K. S.; SEO, I. H.; HONG, S. W.; HWANG, H.S.; BITOG, J.P.; HAN, H. T. **Computational fluid dynamics simulation of air temperature distribution inside broiler building fitted with duct ventilation system.** Biosystems Engineering, 112(4), 293-303, 2012.

NAWAB, A.; IBTISHAM, F.; LI, G.; KIESER, B.; WU, J.; LIU, W.; ZHAO, Y.; NAWAB, Y.; LI, K.; XIAO, M.; NA, L. **Heat stress in poultry production: Mitigation strategies to overcome the future challenges facing the global poultry industry.** Journal of thermal biology, 78, 131-139, 2018.

OBERREUTER, M.E.; HOFF, S.J. **Quantifying factors affecting sidewall air inlet performance.** Transactions of the ASAE, 43(3), 707, 2000.

OLIVEIRA, M.E.; OLIVEIRA, R.L.Z.; SOUZA, M. F.L.Z.; HARADA, E.S.; TECH, A.R.B. **Desenvolvimento de sensores para monitoramento de ambiente aviário com ênfase em controle térmico.** Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas, 12(3), 234-240, 2018.

OLOYO, A.; OJERINDE, A. **Poultry Housing and Management**. In: Poultry. IntechOpen, 2019.

OSÓRIO, R.; TINÔCO, I. F.F.; SARAZ, J.A.; SOUZA, C.F.; COELHO, D.J.R.; SOUSA, F.C. **Air quality in a poultry house with natural ventilation during phase chicks/Calidad del aire en galpón avícola con ventilación natural durante la fase de pollitos**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 20(7), 660-666, 2016a.

OSÓRIO, R.H.; TINÔCO, I.F.F.; OSORIO, J.A.; MENDES, L.B.; ROCHA, K.S.; GUERRA, L.M. **Thermal environment in two broiler barns during the first three weeks of age**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 20(3), 256-262, 2016b.

PAULA, M.O.; CAETANO, S.; MOREIRA, G.R.; AMORIM, M.M.; DURAN, M. **Identificação da tipologia construtiva de galpões avícolas no estado do Espírito Santo**. Enciclopédia Bioesfera, Goiânia, v. 8 (14), 641-653, 2012.

PRATT, G.L.; MENTZER, J.E.; ALBRIGHT, L.D.; BUNDY, D.S. **Ventilation equipment and controls**. In: HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. Ventilation of Agricultural Structures. [S.l.]: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 47-77, 1983.

QUEIROZ, M.L.V.; BARBOSA FILHO, A.D.; LIMA SALES, F.A.; LIMA, L. R.; DUARTE, L. M. **Variabilidade espacial do ambiente em galpões de frango de corte com sistema de nebulização**. Revista Ciência Agronômica, 48(4), 586, 2017.

RUZAL, M.; SHINDER, D.; MALKA, I.; YAHAV, S. **Ventilation plays an important role in hens' egg production at high ambient temperature**. Poultry science, v. 90 (4), 856-862, 2011.

SANTOS, M. J. B.; RABELLO, C. B.; PANDORFI, H.; TORRES, T. R.; SANTOS, P. A.; CAMELO, L. C. L. **Fatores que interferem no estresse térmico em frangos de corte**. Revista Eletrônica Nutritime, 1779 – 1786, 2012.

SANTOS, T.C.; GATES, R.S.; TINÔCO, I.F.F.; ZOLNIER, S.; BAÊTA, F.C. **Behavior of Japanese quail in different air velocities and air temperatures**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 52 (5), 344-354, 2017.

SARAZ, J.A.O.; TINÔCO, I.F.F.; GATES, R.S.; PAULA, M.O.; MENDES, L.B. **Evaluation of different methods for determining ammonia emissions in poultry buildings and their applicability to open facilities**. Dyna, v. 80(178), 51-60, 2013.

SILVA, E.G.D.; SANTOS, A.C.D.; FERREIRA, C.L.S.; SOUSA, J.P.L.D.; ROCHA, J.M.L.D.; SILVEIRA JÚNIOR, O. **Spatial variability of the environmental characteristics and weight of broilers in shed negative ventilation**. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 14(1), 132-141, 2013.

SILVA, V.V. **Cyber Physical System applied in poultry production**. i-ETC: ISEL Academic Journal of Electronics, Telecommunications and Computers, 4(1), 1-7, 2018.

SOUZA, C.F; BAÊTA, F.C.; TINOCO, I.F.F.; FREITAS, L.C.S.R.; CÂNDIDO, M.G.L. **Características ambientais dos aviários adotados atualmente no Brasil e respostas no desempenho produtivo**. Animal Business Brasil, 2017.

STRØM, J.S.; ZHANG, G.; MORSING, S. **Predicting near-floor air velocities for a slot-inlet ventilated building by jet velocity decay principles**. Transactions of the ASAE, 45(2), 407, 2002.

TIGGEMANN, F. **Sistema de controle e monitoramento de ambiência para**

aviários do tipo pressão negativa. 129p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) – Centro Universitário UNIVATES, 2015.

TIMMONS, M.B.; IRISH, W.W.; TOLEMAN, W.J. **Temperature variations within caged-layer housing as affected by inlet flow characteristics.** Applied engineering in agriculture, 2(2), 153-157, 1986.

TINÔCO, I. **Avicultura Industrial: Novos Conceitos de Materiais, Concepções e Técnicas Construtivas Disponíveis para Galpões Avícolas Brasileiros.** Revista Brasileira de Ciência Avícola, v. 3 (1), 01–26, 2001.

TINÔCO, I.F.F.; SOUZA, C.F.; BAÊTA, F.C.; COELHO, D.J.R.; MENDES, M.A.S.A. **Ambiência e Instalações na Avicultura de Postura Brasileira – Avanços e Perspectivas.** Animal Business Brasil, v.4 (14), 6-9, 2014.

VILELA, M.O. **Comportamento e desempenho produtivo de codornas japonesas submetidas a diferentes regimes de calor e umidade, combinados com diferentes níveis de velocidade do ar.** 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2016.

WANG, Z.; GAO, T.; JIANG, Z.; MIN, Y.; MO, J.; GAO, Y. **Effect of ventilation on distributions, concentrations, and emissions of air pollutants in a manure-belt layer house.** Journal of Applied Poultry Research, 23(4), 763-772, 2014.

WILSON, J.D.; ALBRIGHT, L.D.; WALKER, J.N. **Ventilation air distribution.** In: HELLICKSON, M.A.; WALKER, J.N. Ventilation of Agricultural Structures. [S.l.]: American Society of Agricultural Engineers (ASAE), 25-43, 1983.

YANAGI JUNIOR, T. **Inovações tecnológicas na bioclimatologia animal**

visando aumento da produção animal: relação bem-estar animal x clima. Infobibos: Informações Tecnológicas, 2006.

YOHANNES, G.; TEKLE, Y. **Review on Health Care Management Practices in Poultry.** Kenkyu Journal of Pharmacy Practice & Health Care 4, 42-55, 2018.