

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

ANÁLISE DO AMBIENTE PARA FRANGOS POR MEIO DA LÓGICA FUZZY: UMA REVISÃO

ANALYSIS OF THE ENVIRONMENT FOR BROILER CHICKENS USING FUZZY LOGIC: A REVIEW

Ponciano, P.F.^{1*}, Lopes, M.A.², Yanagi Junior, T.³ e Ferraz, G.A.S.¹

¹Universidade Federal de Lavras (UFLA). Lavras-MG. 37200-000 Brasil. *patyponciano@yahoo.com.br

²Departamento de Medicina Veterinária. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Caixa Postal 3037. Lavras-MG. 37200-000 Brasil.

³Departamento de Engenharia. Universidade Federal de Lavras (UFLA). Caixa Postal 3037. Lavras-MG. 37200-000 Brasil.

PALAVRAS-CHAVE ADICIONAIS

Avicultura de corte. Conforto ambiental.

ADDITIONAL KEYWORDS

Broiler. Environmental confort.

RESUMO

O objetivo desta revisão foi de discutir a utilização da lógica fuzzy na análise das variáveis que afetam a ambiência de frangos de corte e exemplificar situações bem sucedidas de utilização dessa metodologia na predição das variáveis que afetam o conforto térmico para frangos de corte, além de apresentar a potencialidade dessa metodologia que pode ser usada como suporte à tomada de decisão sobre o controle da climatização dos galpões avícolas, garantindo, assim, melhorias na produção. Dentre as variáveis analisadas por meio da lógica fuzzy, destaca-se o controle da temperatura, umidade relativa, luminosidade, poluentes aéreos e concentração de alguns gases. Esses fatores influenciam diretamente a condição de conforto e bem-estar das aves, afetando sua produtividade. Portanto, é de grande importância uma ferramenta que pode contribuir na tomada de decisão, possibilitando, o controle do ambiente térmico no interior de galpões para produção de frangos.

SUMMARY

The aim of this review was to discuss the use of fuzzy logic to analyze variables that affect the environment of broiler chickens, to give some examples of successful use of this methodology to predict the variables that affect the thermal comfort for chickens, and to show the potential of this

methodology that can be used to support decisions on the climate control in broiler houses, thus ensuring improvements in production. Among the variables analyzed using the fuzzy logic, we highlight the temperature and moisture control inside of broiler houses, light, air pollutants and concentration of some gases. These factors have a direct influence in the comfort condition and welfare of birds, so they affect broiler productivity. Therefore, it is very important when a tool comes to contribute on taking decisions. The fuzzy logic allows the control of thermal environment inside of barns for broilers' production.

INTRODUÇÃO

O sistema produtivo avícola tem investido cada vez mais em ferramentas que possam otimizar a produtividade de frangos de corte. Frente às atuais demandas existentes, há uma busca incansável por conhecimento dos parâmetros que afetam essa atividade para que se obtenha a máxima produtividade de carne com o menor custo. Diversos estudos apontam para a interferência que o ambiente de criação exerce sobre a produtividade animal (Moura *et al.*, 2006; Salgado *et al.*, 2007; Nazareno *et al.*, 2009). Nesse sentido, sabe-se que o

sistema de criação intensivo, que geralmente é adotado na produção de frangos de corte, influencia diretamente na condição de bem-estar das aves promovendo o balanço de calor do sistema aves-galpão, na qualidade química do ar e na expressão dos comportamentos naturais dos animais, afetando assim, o desenvolvimento e desempenho. Hoje, tem-se conhecimento que animais mantidos nas suas zonas de termoneutralidade evitam o desperdício de energia, seja ela na forma de energia metabólica contida na ração fornecida para os animais e gasta para a manutenção da temperatura corporal, seja na forma de energia elétrica que é utilizada no funcionamento dos sistemas de climatização que são acionados indevidamente. Geralmente, os limites de termoneutralidade são fixados em medidas indiretas, como a temperatura do ar, umidade relativa, luminosidade, poluentes aéreos entre outras variáveis ambientais que geram imprecisão na análise das reais necessidades ambientais para as aves, devido a grande quantidade de fatores relacionados.

As ferramentas matemáticas até então utilizadas, apresentavam limitações para se descrever a interação adequada das variáveis envolvidas na ambiência de frangos de corte, devido ao grande número de informações existentes para a determinação das condições adequadas para o bem estar das aves alojadas nos galpões avícolas. Nesse contexto, a introdução dos conhecimentos da teoria dos conjuntos fuzzy mostra-se inovadora, pois é uma teoria matemática aplicada a conceitos difusos. A teoria fuzzy ao invés de utilizar números, utiliza variáveis lingüísticas, palavras ou sentenças como base, as quais desempenham papel importante no tratamento da imprecisão. Trata-se então, de uma metodologia interessante na tomada de decisão, possibilitando, a predição de variáveis respostas de interesse, como por exemplo, consumo de ração, ganho de peso, conversão alimentar, temperatura corporal, etc. Um modelo fuzzy pode ser desenvolvido e aplicado por meio do uso de

programas computacionais específicos, disponíveis no mercado, de acesso livre ou não, ou, por meio do desenvolvimento de um sistema computacional em uma linguagem de programação qualquer. Desta forma, objetiva-se com esta revisão de literatura discutir, exemplificar e apresentar a potencialidade do uso da lógica fuzzy na predição das variáveis que afetam o conforto térmico para frangos de corte como forma de auxílio à tomada de decisão sobre o controle da climatização de galpões avícolas, propiciando assim, melhorias na produtividade.

AMBIÊNCIA NA AVICULTURA

A avicultura de corte brasileira tem buscado o progresso por meio de pesquisas nas áreas de genética, instalações, nutrição, manejo, sanidade e conforto ambiental. Todos esses estudos têm como propósito, compreender melhor os fatores que influenciam o desenvolvimento e o desempenho de frangos de corte para que se obtenha a máxima produção de carne com o menor custo de produção, considerando concomitantemente, o bem estar das aves.

Dentre os diversos fatores que influenciam a produção de frangos de corte, os fatores ambientais, como a temperatura, umidade relativa, ventilação, iluminância entre outros, assumem relevante importância no processo de criação dos animais (Oliveira *et al.*, 2006). É de conhecimento que os animais atingem a sua produtividade ótima quando são mantidos em ambiente termoneuro, ou seja, quando a energia do alimento não é desviada para compensar desvios térmicos em relação ao intervalo de termoneutralidade para eliminar ou manter o seu calor. Segundo Nazareno *et al.* (2009) a zona de termoneutralidade está relacionada a um ambiente térmico ideal, no qual as aves encontram condições adequadas para expressar suas melhores características produtivas. Os intervalos de temperatura considerados confortáveis para criação de

frangos de corte é de 31°C e 33°C para pintos de 1 a 7 dias (Macari *et al.*, 2004), caindo para 20 a 27°C quando adultas (Abreu *et al.*, 2007; Furtado *et al.*, 2003). A umidade relativa considerada ideal varia de 50 a 80% (Medeiros, 2001; Tinôco, 2001) e a velocidade do ar recomendada por Medeiros *et al.* (2005) é de 1,5 m s⁻¹ para frangos adultos. De acordo com Oliveira *et al.* (2006) dificilmente estes valores são encontrados em condições comerciais de produção, sobretudo no verão. Salgado *et al.* (2007) afirmam que o excesso de frio e, principalmente, o excesso de calor, revertem em menor produtividade, afetando também seu crescimento e saúde, o que pode levar a situação extrema, como o acréscimo da mortalidade dos lotes.

Quando se fala em conforto térmico, os dois elementos climáticos: temperatura e umidade são altamente correlacionados, uma vez que, em temperaturas muito elevadas (acima de 35°C), o principal meio de dissipação de calor das aves é a evaporação, que depende da umidade relativa do ar (Baeta e Souza, 1997). A capacidade das aves em suportar o calor é inversamente proporcional ao teor de umidade relativa do ar. Quanto maior a umidade relativa do ar, mais dificuldade a ave tem de remover calor interno pelas vias aéreas, o que leva ao aumento da frequência respiratória. Todo esse processo que a ave realiza no sentido de manutenção da homeotermia promove modificações fisiológicas que podem comprometer seu desempenho (Oliveira *et al.*, 2006).

Apesar de temperatura e umidade do ar serem as variáveis mais analisadas quando se trata de conforto ambiental para produção comercial de frangos de corte, existem outros fatores que são relevantes para se analisar o conforto nos galpões, tais como, a iluminância, a concentração de gases, a quantidade de poeira e microorganismos, etc. Com o avanço nos estudos sobre programas de luz, os pesquisadores concluíram que o melhor desempenho e bem-estar das aves podem ser alcançados com fotoperíodos

moderados, que possibilitariam aumento nas horas de sono, propiciando assim, menor estresse fisiológico, melhora na resposta imunológica e, possivelmente, melhora no metabolismo ósseo e na condição das patas (Rutz e Bermudez, 2004; Lopez *et al.*, 2007). Lin *et al.* (2006) reportam que frangos de corte expostos a baixa luminosidade (menor que 5 lx) produzem menos calor sensível na quarta e quinta semanas de vida. Moraes *et al.* (2008) compararam o efeito de diferentes programas de luz sobre o desempenho, rendimento de carcaça e resposta imunológica de frangos de corte e constataram que as aves submetidas ao programa de luz crescente (0 a 7 dias de idade: 23 h de luz e 1 h de escuro, de 8 a 21 dias: luz natural, de 22 a 28 dias: 14 h de luz e 10 h de escuro, de 29 a 35 dias: 18 h luz e 6 h escuro e 36 a 45 dias: 23 h luz e 1 h escuro) apresentaram maior peso vivo e maior consumo de ração em relação aos demais tratamentos testados (23 horas de luz e 1 de escuro; 16 horas de luz e 8 de escuro e luz natural). Bessei (2006), revisando pontos críticos de bem-estar na produção de frangos de corte, aponta como importante o controle (de 6-10 horas de exposição à luminosidade, 1 vez ao dia) do regime e da intensidade de luz em aviários, por influenciar diretamente na atividade motora e possível exaustão das aves, além do aparecimento de anormalidades locomotoras.

Por serem encontrados frequentemente em altas concentrações em galpões para criação de frangos de corte, os poluentes aéreos são extremamente importantes. Estes poluentes, quando alteram as características ideais do ar, além de prejudicar o bem estar das aves, favorecem o aumento da susceptibilidade a doenças respiratórias e prejuízos no processo produtivo (Alencar *et al.*, 2004; Nääs *et al.*, 2007b).

As trocas de ar inadequadas aumentam as concentrações de partículas de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), e amônia (NH₃) no interior das instalações, diminuindo as concentrações de oxigênio

(O₂), favorecendo assim, a incidência de ascite em aves de corte (Alencar *et al.*, 2004; Owada *et al.*, 2007).

O CO (monóxido de carbono), resultante da queima incompleta do gás GLP, pode afetar os sistemas cardiovascular, nervoso central e reprodutivo das aves, quando presente em altas concentrações no ar. A Commission Internationale du Génie Rural recomenda o limite máximo de exposição de 10 ppm de CO para os animais (CIGR, 1989), sendo que, o limite mínimo de O₂ é de 19,5%, sendo normalmente encontrado na composição do ar atmosférico a 20,9% (OSHA, 1994).

Níveis de CO₂ superiores a 1,2% causaram efeitos negativos em pintos e frangos, como ofegação, anóxia, redução do consumo de ração e redução do crescimento (Reece *et al.*, 1980). Para instalações avícolas, Wathes (1999) recomenda o limite de 3.000 ppm para CO₂ como o máximo para exposição contínua dos animais nas instalações.

Segundo Lott e Donald (2005), a amônia é um gás incolor e irritante, gerado a partir da decomposição microbiana dos dejetos, que causa significativas perdas econômicas para os criadores e integradores de aves, além de danos à saúde, com o agravante de que, a maioria dos criadores desconhece as perdas ocasionadas pela concentração de amônia em seus galpões. No Brasil, não existem limites legais para a exposição de aves à amônia. Entretanto, exportadores de carne de frango adotam o limite de exposição constante máximo de 20 ppm, quando as concentrações de amônia em sistemas de criação intensiva fechados podem apresentar, na última semana de produção, valores de até 50 ppm (Miragliotta, 2006; Jones *et al.*, 2005). Jones *et al.* (2005) estudando o efeito simultâneo da exposição de frangos a diferentes concentrações de amônia e intensidades de luz, encontraram que as aves apresentaram comportamento aversivo ao acréscimo de concentração de amônia (acima de 10 ppm) no ambiente, diretamente proporcional ao acréscimo da intensidade luminosa.

Em relação à concentração de poeira presente nos aviários, estes galpões apresentam uma das maiores médias em comparação com ambientes de criação de outras espécies, sendo de 3,83 a 10,4 mg m⁻³ para poeiras inaláveis, e de 0,42 a 1,14 mg m⁻³, para poeiras respiráveis (Hartung e Seedorf, 1999). Os fatores que influenciam consideravelmente a concentração de poeira, promovendo maior ou menor suspensão dos particulados são: o clima, tipologia construtiva, o sistema de ventilação e o material que compõe a cama-de-frango (Nääs *et al.*, 2007b).

Outro fator que influência o conforto nos aviários é a presença de fungos e outros microorganismos no galpão. O desenvolvimento de fungos ocorre praticamente durante todas as etapas da produção avícola. Em galpões de frango de corte a incidência destes microorganismos ocorre de forma homogênea quando falamos em tipologias diferentes de aviários e até mesmo diferentes densidades de aves (Gigli *et al.*, 2006). Fungos são comumente encontrados na natureza e seus esporos são considerados alérgenos potenciais; além disso, de acordo com Li e Yang (2004), são patógenos oportunistas e ocasionalmente causam doenças infecciosas em animais suscetíveis e imunossuprimidos. Estes autores afirmam que as exposições de animais a esporos de fungos e seus subprodutos são complicadas uma vez que existe envolvimento de agentes múltiplos, reações de hipersensibilidade dentre outras conseqüências à saúde, entretanto, a literatura não aponta com precisão os efeitos da inalação de diversos compostos fúngicos. Os esporos podem estar presentes na ração, na cama dos aviários bem como no ar, contaminando o ambiente avícola, seja este um galpão de matrizes, frango de corte ou interior do incubatório.

Simultaneamente aos avanços alcançados na genética, nas instalações, na nutrição, no manejo e na sanidade de frangos de corte, que propiciaram o desenvolvimento do setor, vários estudos têm comprovado

ANÁLISE DO AMBIENTE PARA FRANGOS POR MEIO DA LÓGICA FUZZY: UMA REVISÃO

que as condições da instalação e da ambiência podem melhorar, ainda mais, o bem estar das aves e o desempenho produtivo, conforme citado previamente. Assim, as variáveis ambientais podem ser consideradas imperativas no processo de criação comercial de frangos de corte.

ANÁLISE DO CONFORTO AMBIENTAL

Tendo em vista que as variáveis ambientais, especialmente temperatura, umidade relativa, luminosidade, poluentes aéreos e poeira, influenciam o conforto do animal e conseqüentemente, a produção, um sistema pode ser criado para controlar o ambiente térmico no interior de galpões, levando em consideração respostas produtivas ou fisiológicas.

Para a estimativa de situações com alto grau de aleatoriedade, como o bem-estar, baseada em análise empírica de medidas fisiológicas, pesquisas apontam o potencial do uso de critérios específicos em uma base de conhecimento prévio, utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy, usada na área de sistemas de suporte à decisão, que se caracterizam pela incerteza existente entre as afirmações de "sim" e "não" (Amendola *et al.*, 2004; Owada *et al.*, 2007; Ferreira, 2009).

A teoria dos conjuntos fuzzy é baseada na linguagem expressa por variáveis lingüísticas, que podem ser transformadas em valores, cujo princípio é o *Postulado da possibilidade* (Bellman e Zadeh, 1970). A estimativa de bem estar animal, considerando todas as possibilidades de associações críticas do ambiente térmico e aéreo, constitui-se em um problema em que a aplicação da teoria dos conjuntos fuzzy pode apresentar-se promissora.

A lógica fuzzy, dentre outras metodologias direcionadas para a tomada de decisão e para ações mais precisas, têm contribuído para o avanço e a velocidade das pesquisas em produção animal (Cadenas *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2005; Nääs *et al.*, 2007a;

Pandorfi *et al.*, 2007; Nääs *et al.*, 2008; Perissinotto *et al.*, 2009; Tolon *et al.*, 2010). Dentre estes trabalhos, destaca-se a utilização da lógica fuzzy como ferramenta de suporte à decisão nas áreas de ambiência e produção avícola (Oliveira, *et al.*, 2005; Pereira *et al.*, 2008; Schiassi *et al.*, 2008).

O QUE É A LÓGICA FUZZY

A necessidade de quantificar os fenômenos para serem entendidos é um dos dogmas da ciência moderna, havendo uma veneração pelo o que é preciso, rigoroso e quantitativo, em oposição ao que é impreciso e qualitativo (Zadeh, 1975).

Modelos matemáticos são eficientes em lidar com problemas mecânicos como leis rígidas da física, química e engenharia, mas nas questões humanas que exigem julgamento, percepção e emoção, as análises matemáticas e as simulações computacionais não conseguem compor modelos que se aproximam da complexidade do raciocínio humano. Porém, a teoria dos conjuntos fuzzy permite lidar com sistemas humanísticos que incorporam a fluidez do pensamento humano e seu comportamento, por meio de uma estrutura metodológica, que é tolerante com a imprecisão (Navares, 2007).

A teoria de conjuntos fuzzy foi introduzida por Lotfi Asker Zadeh, em 1965, como uma teoria matemática aplicada a conceitos difusos. A partir daí, a pesquisa e a aplicação dessa teoria em sistemas de informação têm crescido. Uma área de aplicação da teoria dos conjuntos fuzzy é o chamado raciocínio aproximado, semelhante à forma do pensamento humano. Nesse sentido, a introdução dos conhecimentos da teoria dos conjuntos fuzzy tem se mostrado inovadora.

A lógica fuzzy é a lógica que suporta os modos de raciocínio que são aproximados ao invés de exatos. Essa teoria tem como base a utilização de variáveis lingüísticas, cujos valores não são números e, sim,

palavras ou sentenças na linguagem natural ou artificial, as quais desempenham um papel importante no tratamento da imprecisão (Zadeh, 1975).

Segundo Amendola *et al.* (2004), as pesquisas apontam o potencial de se usar análises teóricas das medidas de controle do ambiente, como por exemplo a teoria dos conjuntos fuzzy para estabelecer critérios mais objetivos nas decisões dos produtores. Isso se deve ao fato dos parâmetros relacionados ao ambiente de alojamento para aves ser geralmente baseado em análises empíricas, principalmente quando são incorporadas respostas fisiológicas dos animais a agentes estressores do ambiente (Aerts *et al.*, 1996; Goedseels *et al.*, 1992; Lacey *et al.*, 2000), o que, insere maior complexidade nesse tipo de análise.

DIFERENÇA ENTRE LÓGICA CLÁSSICA E LÓGICA FUZZY

O filósofo grego Aristóteles (384-322 a.C.) considerado o pai da ciência da lógica clássica, estabeleceu um conjunto de regras rígidas para que conclusões pudessem ser aceitas como logicamente válidas. A lógica clássica de Aristóteles trata as afirmações de forma binária, classificando-as como verdadeiras ou falsas, preto ou branco, quente ou frio (Melo, 2009). Nos conjuntos clássicos, o elemento pode assumir apenas dois valores de pertinência (aspecto bivalente) 0 ou 1, em que o meio é excluído.

De acordo com Schiassi *et al.* (2008), um conjunto clássico é representado por sua função característica, em que $\mu_A(x)$ representa o grau de pertinência com que o elemento x assume no conjunto A , conforme especificado na equação:

$$\begin{aligned} \mu_A(x) &= 1, \text{ se } x \text{ pertence a } A \\ \mu_A(x) &= 0, \text{ se } x \text{ não pertence a } A \end{aligned}$$

No entanto, muitas das experiências do mundo real não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas,

sim ou não, branco ou preto. Por isso, a lógica fuzzy considera que existem vários níveis entre o verdadeiro e o falso. De modo figurativo, enquanto a lógica clássica enxerga apenas o preto e o branco, a lógica fuzzy é capaz de, além do preto e o branco, enxergar vários tons de cinza (Melo, 2009).

Segundo Schiassi *et al.* (2008) e Amendola *et al.* (2005), nos conjuntos fuzzy, ocorre a flexibilização do intervalo de pertinência, na qual a transição entre pertinência é gradual, em vez de brusca. O fator de pertinência pode então assumir qualquer valor entre 0 e 1, sendo que o valor 0 indica uma completa exclusão e um valor 1 representa completa pertinência. As funções características dos conjuntos fuzzy são dadas pelas equações:

$$\begin{aligned} \mu_A(x) &= 1, \text{ } x \text{ pertence totalmente ao conjunto } A; \\ 0 < \mu_A(x) < 1, \text{ } x \text{ pertence parcialmente ao conjunto } A; \\ \mu_A(x) &= 0, \text{ } x \text{ não pertence ao conjunto } A. \end{aligned}$$

Ao trabalhar com dados incertos, uma informação deixa de ser representada por um número e passa a ser representada por um conjunto. Assim, o uso da teoria clássica de Aristóteles torna-se inviável devido a sua ineficiência no tratamento de informações imprecisas. Entretanto, essas incertezas podem ser estudadas e modeladas de forma mais robusta, utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy (Meirelles *et al.*, 2007).

ESTRUTURA DA LÓGICA FUZZY

Segundo Simões (1999), a lógica fuzzy é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em um sistema de controle. Um controlador fuzzy típico pode ser projetado para comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, isto é, o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem.

A idéia básica em controle fuzzy é modelar as ações a partir de conhecimento especialista, ao invés de, necessariamente, modelar o processo em si. Isso nos leva a

ANÁLISE DO AMBIENTE PARA FRANGOS POR MEIO DA LÓGICA FUZZY: UMA REVISÃO

uma abordagem diferente dos métodos convencionais de controle de processos, onde os mesmos são desenvolvidos via modelagem matemática dos processos de modo a derivar as ações de controle como função do estado do processo. A motivação para esta nova abordagem veio de casos onde o conhecimento especialista de controle era disponível, seja por meio de operadores ou de projetistas, e os modelos matemáticos envolvidos eram muito custosos, ou muito complicados para serem desenvolvidos (Gomide *et al.*, 1995).

Sistema fuzzy, baseado na lógica fuzzy, são sistemas capazes de trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil implementação computacional (Ferreira, 2009).

Oliveira *et al.* (2005) e Schiassi *et al.* (2008) explicam que um sistema fuzzy é constituído por variáveis de entrada e saída. Para cada variável, são atribuídos conjuntos fuzzy que as caracterizam, sendo que, para cada conjunto fuzzy, é criada uma função de pertinência, ou seja, quanto que um elemento pertence a um conjunto. Na teoria dos conjuntos clássicos, deve-se decidir o grau de pertinência 0 ou 1, enquanto os conjuntos fuzzy nos permitem escolher um valor real arbitrário entre 0 e 1 (Melo, 2009).

Para realização da técnica dos conjuntos fuzzy, as variáveis de entrada precisam sofrer uma fuzzificação, ou seja, é o processo que traduz as variáveis de entrada do sistema em conjuntos fuzzy em seus respectivos domínios, por meio de especialistas ou de uma base de dados. As variáveis e suas classificações lingüísticas são catalogadas e modeladas em conjuntos fuzzy (Barros e Bassanezi, 2006).

Em seguida, é realizada a inferência fuzzy, que consiste na realização do raciocínio fuzzy com base num sistema de regras que relaciona as variáveis de entrada com as de saída. O sistema de regras pode ser construído com base em bancos de da-

dos e opiniões de especialistas. Cada regra é composta por conectivos lógicos (se, e, ou, então), como, por exemplo,

Regra: se x é A, e y é B, então z é C
em que

A, B e C são conjuntos fuzzy (Oliveira *et al.*, 2005 e Schiassi *et al.*, 2008).

E por último ocorre a defuzzificação, que é a tradução da saída num valor numérico (Mendel, 1995).

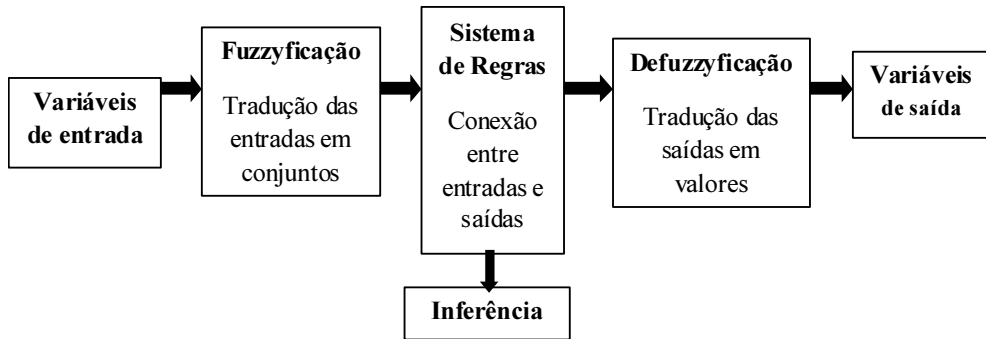
A **figura 1** apresenta o esquema ilustrativo de um sistema fuzzy.

Segundo Mendel (1995), para o desenvolvimento computacional de um sistema fuzzy pode se utilizar um software capaz de realizar todos os procedimentos necessários à sua construção. Entretanto, um modelo fuzzy pode ser desenvolvido diretamente em uma linguagem de programação qualquer, proporcionando assim, maior portabilidade, uma vez que a partir de um arquivo executável, poder-se-á implantar o modelo em qualquer computador ou microprocessador (sistema embarcado).

O que está por trás de toda essa versatilidade da utilização desta teoria fuzzy é a possibilidade de modelar e manipular matematicamente informações vagas e imprecisas, naturais da linguagem humana e, portanto, as fornecidas pelos especialistas (não matemáticos) ao caracterizar os processos estudados (Amendola *et al.*, 2005).

UTILIZAÇÃO DA LÓGICA FUZZY PARA O ESTUDO DO CONFORTO AMBIENTAL DE AVES

A estimativa de bem estar animal, considerando todas as possibilidades de associações críticas do ambiente térmico e aéreo, constitui-se em um problema onde a aplicação da teoria dos conjuntos fuzzy pode apresentar-se promissora. Segundo dados da literatura (Chao *et al.*, 2000; Gates *et al.*, 2001; Amendola *et al.*, 2004; Amendola



Adaptado de Carvalho *et al.* (2005), Schiassi *et al.* (2008), Ferreira (2009).

Figura 1. Esquema ilustrativo de um sistema fuzzy. (Schematic picture of a fuzzy system).

et al., 2005; Oliveira *et al.*, 2005, Yanagi Junior *et al.*, 2006; Pereira *et al.*, 2008; Schiassi *et al.*, 2008) as pesquisas apontam o potencial de se usar análises teóricas das medidas de controle do ambiente, como a teoria dos conjuntos fuzzy para estabelecer critérios mais objetivos nas decisões dos produtores. Isso se deve ao fato dos parâmetros relacionados ao ambiente de alojamento para aves ser geralmente baseados em análises empíricas, principalmente quando são incorporadas respostas fisiológicas dos animais a agentes estressores do ambiente (Goedseels *et al.*, 1992; Aerts *et al.*, 1996; Lacey *et al.*, 2000), o que, insere maior complexidade nesse tipo de análise.

Para aumentar a precisão na estimativa do estresse em aves criadas em aviários, a observação do comportamento das aves tem sido utilizada por vários granjeiros (Campos, 2003). Duncan e Mench (1993) afirmam que uma das formas de avaliar a mudança de comportamento animal submetido a estresse térmico é por meio da medição de sua temperatura corporal. Schiassi *et al.* (2008) visando prever o aumento da temperatura corporal de frangos de corte aos 90 minutos de exposição térmica sob diferentes condições de estresse térmico agudo, desenvolveram um sistema de auxílio à tomada de decisão, com base na metodologia

dos conjuntos fuzzy. As variáveis de entrada utilizadas foram: temperatura de bulbo seco do ar, umidade relativa e velocidade do ar. Com base nas variáveis de entrada, o modelo fuzzy predisse o aumento da temperatura corporal, avaliando o nível de desconforto térmico por meio da classificação do ambiente. Os valores do aumento da temperatura corporal estimados pelo sistema fuzzy, apresentaram menores valores absolutos de desvios, em relação aos valores calculados pela equação proposta pela equação de Tao e Xin (2003), quando comparados àqueles obtidos experimentalmente, sendo que os desvios foram de 0,1°C para o modelo fuzzy proposto e 0,3°C para a equação citada na literatura. Esse menor valor de desvio absoluto, obtido por meio do modelo de inferência fuzzy, permitiu que a classificação do estado de estresse das aves fosse mais realística.

Frangos de corte em situação de estresse térmico tem suas temperaturas corporais elevadas. O aumento da temperatura retal é uma resposta fisiológica às condições de temperatura e umidade elevadas que resultam do armazenamento de calor metabólico (Silva *et al.*, 2003). Com o objetivo de desenvolver e validar um modelo fuzzy para a predição de temperatura retal de frangos de corte, Ferreira (2009) utilizou como

variáveis de entrada a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (%) e velocidade do ar (m s^{-1}) e simulou satisfatoriamente diferentes sistemas de criação em relação aos valores medidos experimentalmente. O desvio médio encontrado por Ferreira (2009) por meio do sistema fuzzy foi de $0,13^{\circ}\text{C}$, o que se enquadra no limite aceitável obtidos pelos equipamentos de medição, que apresentam precisão em torno de $0,20^{\circ}\text{C}$.

Sistemas de ventilação são comumente usados na agricultura para manter o ambiente interior dos galpões avícolas perto das condições desejadas. Chao *et al.* (2000) e Gates *et al.* (2001) desenvolveram um sistema de inferência fuzzy para estudar um sistema de controle da ventilação em galpões. Foram feitas comparações entre o controlador fuzzy e o sistema convencional de controle da ventilação e os resultados encontrados por Chao *et al.* (2000) demonstraram que o controle baseado na lógica fuzzy proporcionou melhorias no controle da ventilação e pode ser facilmente implementada em controladores eletrônicos modernos. Gates *et al.* (2001) indicaram que sistemas de controle que utilizam microprocessadores poderiam melhorar significativamente o monitoramento dos ambientes por meio de modificações simples de software para incorporar o método controlador fuzzy. Além disso, o trabalho concluiu que a técnica de controle pela lógica fuzzy mostrou vantagens, tais como: simples utilização das variáveis de entrada para controlar o sistema, a supervisão dos controles pelo usuários não exige conhecimento de detalhes de implementação, o sistema funciona bem para diferentes tamanhos de construções, entre outros, confirmando a eficiência da utilização da lógica fuzzy no controle da ventilação em galpões para aves.

Pereira *et al.* (2008) desenvolveram um sistema de suporte à decisão com base na teoria dos conjuntos fuzzy para a estimativa do bem-estar de matrizes pesadas em função de frequências e duração dos

comportamentos expressos pelas aves que foi considerado eficiente e possível de ser atualizado facilmente. O grau de explicação do sistema fuzzy relaciona-se diretamente com a quantidade de regras do mesmo. O sistema possui o total de 169 regras e demonstrou nos testes realizados, aderência de 77,8% com resultados preditos por especialistas. Os autores concluíram que esse sistema fuzzy de estimativa do bem-estar de matrizes pesadas pode auxiliar a tomada de decisão no acionamento de sistemas de climatização em aviários, estimando o bem-estar de matrizes pesadas em função de situações comportamentais e ambientais observadas no galpão.

Amendola *et al.* (2004) analisaram como a composição das variáveis climáticas temperatura e umidade relativa do ar influenciam o conforto térmico de matrizes de frangos de corte por meio da lógica fuzzy. Os autores concluíram que essa metodologia permitiu a flutuação de parâmetros com resultados que concordam com as regras estabelecidas por especialistas. Além disso, os resultados encontrados podem auxiliar no suporte a decisão do controle da climatização do galpão para garantir uma melhor produção.

Owada *et al.* (2007) estimaram o bem-estar de frangos de corte com relação à concentração de amônia e grau de luminosidade em galpão de produção com densidade entre 13-15 aves m^{-2} . Nesse experimento foram simuladas distintas situações entre as variáveis: concentração de amônia e grau de luminosidade para obter resposta da variável de saída: bem estar das aves. Esses autores concluíram a melhor situação possível para o nível de bem-estar de frangos de corte, no valor de 0,89 (escala: 0-1), mostrando que esses valores de concentração de amônia e luminosidade no galpão geraram condições de bem-estar aproximadamente 90% do ideal. Dentro desse escopo, os melhores valores de bem-estar foram encontrados nas condições que associam o ambiente térmico ideal com valores de concentração de amônia no ambiente abaixo de 5 ppm, e com

luminosidade ambiente próxima de 1 hora 1 vez por dia. Os autores observaram que segundo os resultados obtidos neste trabalho, que para o bem estar das aves os teores de amônia e grau de luminosidade deveriam ser inferiores aos preconizados por Wathes *et al.* (1997) e Lin *et al.* (2006).

HARDWARES E SOFTWARES

Nos últimos anos, houve um enorme avanço tecnológico em termos computacionais. Diversos softwares e hardwares foram criados com o objetivo de otimizar as atividades nas mais diversas áreas. Esses recursos que anteriormente além de muito dispendiosos, eram encontrados em poucas e privilegiadas instalações, hoje fazem parte da realidade das empresas e tendem a aumentar sua utilização nos próximos anos.

Do ponto de vista de suporte de software, um grande número de ambientes de desenvolvimento encontra-se hoje disponível no mercado. A maioria deles implementa recursos para edição de funções de pertinência, com suporte gráfico, linguagens dedicadas

para descrição de regras, pré-compiladores para uma vasta gama de processadores e micro-controladores e geração de código automática para linguagens de alto nível (Gomide, *et al.*, 1995).

Ademais, visando a portabilidade e redução de custos de sistemas de controle, modelos fuzzy podem ser embarcados em microcontroladores, propiciando assim, maior facilidade de operação, tendo em vista que o sistema é dedicado exclusivamente a uma função específica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A lógica fuzzy é uma metodologia aplicável na predição de variáveis que afetam o conforto dos frangos de corte, apresentando erros inferiores a outras metodologias usualmente empregadas, fazendo com que, os resultados obtidos sejam mais realísticos. Portanto, esta metodologia pode ser usada no controle de sistemas de climatização, propiciando melhores condições de bem estar animal e consequentemente, maior produtividade.

BIBLIOGRAFIA

- Abreu, P.G., Abreu, V.M.N., Coldebella, A., Jaenisch, F.R.F. e Paiva, D. P. 2007. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 59: 1014-1020.
- Aerts, J.M., Berckmans, D. and Schummans, B. 1996. On-line measurement of bioresponses for climate control in animal production units. In: International Conference on Computers in Agriculture. Michigan. Proceedings... American Society of Agricultural and Biological Engineering. St Joseph. 6: 147-53.
- Alencar, M.C.B., Nääs, I. de A. and Gontijo, L.A. 2004. Respiratory risks in broiler production workers. *Rev. Bras. Ciência Avíc.*, 6: 23-29.
- Amendola, M., Castanho, M.J., Naas, I. e Souza, A.L. 2004. Análise matemática de condições de conforto térmico para avicultura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Biomatemática*, 14: 87-92.
- Amendola, M., Souza, A.L. e Barros, L.C. 2005. Manual do uso da teoria dos conjuntos fuzzy no MATLAB 6.5. *Biomatemática*, 1: 1-46.
- Baêta, F.C. e Souza, C.F. 1997. *Ambiência em edificações rurais, conforto animal*. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG. 246 pp.
- Barros, L.C. e Bassanezi, R.C. 2006. *Tópicos de lógica fuzzy e biomatemática*. UNICAMP/IMECC. Campinas. 354 pp.
- Bellman, R.E. and Zadeh, L.A. 1970. Decision-making in a fuzzy environment. *Manage. Sci.*, 17: 141-64.
- Bessei, W. 2006. Welfare of broilers. *World's Poult. Sci. J.*, 62: 455-466.
- Cadenas, J.M., Pelta, D.A., Pelta, H.R. and Verdegay, J.L. 2004. Application of fuzzy optimization to diet problems in Argentinean farms. *Europ. J. Operat. Res.*, 158: 218-228.
- Campos, E.J. 2003. O comportamento das aves.

ANÁLISE DO AMBIENTE PARA FRANGOS POR MEIO DA LÓGICA FUZZY: UMA REVISÃO

- Rev. Bras. Ciênc. Avic.*, 2: 93-113.
- Carvalho, V.R.C., Nääs, I.A., Mollo Neto, M. and Massafera Junior, V. 2005. Prediction of the occurrence of lameness in dairy cows using fuzzy-logic based expert system-Part I. *E-journal - CIGR*, Texas, USA. 7: 1-15. (9-11-2009).
- Chao, K., Gates, R.S. and Sigrimis, N. 2000. Fuzzy logic controller design for staged heating and ventilating systems. *Trans. ASAE*, 43: 1885-1894.
- CIGR. 1989. Commission Internationale du Génie Rural. Climatization of animal houses. 2nd Report of Working Group-Revision. Scottish Farm Buildings Investigation Unit. Aberdeen. 64 p.
- Duncan, I.J.H. and Mench, J.A. 1993. Behaviour as an indicator of welfare in various systems. In: Fourth European Symposium on Poultry Welfare, C.J. Savory and B.O. Hughes (ed.). Universities Federation for Animal Welfare. Potters Bar, UK. pp. 69-80.
- Ferreira, L. 2009. Aplicação de sistemas fuzzy e neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. 56 pp.
- Furtado, D.A., Azevedo, P.V. e Tinôco, I.F.F. 2003. Análise do conforto térmico em galpões avícolas com diferentes sistemas de acondicionamento. *Rev. Bras. Engenh. Agríc. Amb.*, 7: 559-564.
- Gates, R.S., Chao, K. and Sigrimis, N. 2001. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. *Comput. Eletron. Agríc.*, 31: 61-74.
- Gigli, A.C.S., Baracho, M. S. e Naas, I.A. 2006. Pontos críticos na cadeia avícola relacionados à incidência de fungos. In: Simpósio de Construções Rurais e Ambientes Construídos. SIMCRA 2006. Anais... FEAGRI-UNICAMP. Campinas. 1: 53-57
- Goedseels, V., Geers, R., Tryen, B., Wouters, P., Goossens, K., Ville, H. and Janssens, S. 1992. A data acquisition system for electronic identification, monitoring, and control of group-housed pigs. *J. Agric. Eng.*, 52: 25-33.
- Gomide, F., Gudwin, R. e Tanscheit, R. 1995. Conceitos fundamentais da teoria de conjuntos fuzzy, lógica fuzzy e aplicações. Proc. 6th IFSA Congress-Tutorials. São Paulo. Brasil. pp: 1-38.
- Hartung, J. and Seedorf, J. 1999. Characterization of airborne dust in livestock housing and its effects on animal and environment. In: International Symposium on Dust Control in Animal Production Facilities, 1. 1999. Proceedings... Danish Institute of Agricultural Sciences. Aarhus. pp. 140-53.
- Jones, E.K.M., Wathes, C.M. and Webster, A.J.F. 2005. Avoidance of atmospheric ammonia by domestic fowl and the effect of early experience. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 90: 293-308.
- Lacey, B., Hamrita, T.K. and McClendon, R. 2000. Feasibility of using neural networks for a real-time prediction of poultry deep body temperature responses to stressful changes in ambient temperature. *Appl. Eng. Agríc.*, 16: 303-308.
- Li, D.W. and Yang, C.S. 2004. Fungal contamination as a major contributor to sick building syndrome. *Adv. Appl. Microbiol.*, 55: 21-112.
- Lin, H., Jiao, H.C., Buyse, J. and Decuypere, F. 2006. Strategies for preventing heat stress in poultry. *World's Poult. J.*, 62: 71-85.
- Lopez, C.A.A., Baião, N.C. e Lara, L.J.C. 2007. Efeitos da forma física da ração sobre a digestibilidade dos nutrientes e desempenho de frangos de corte. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 59: 1006-1013.
- Lott, B. e Donald, J. 2005. Amônia: Grandes perdas mesmo quando você não percebe. Disponível em: <http://www.aviculturaindustrial.com.br/site/dinamica.asp?id=5098&tipo_tabela=cet&categoria=manejo> (12-2-2007).
- Macari, M., Furlan, R.L. e Maiorka, A. 2004. Aspectos fisiológicos e de manejo para manutenção da homeostase térmica e controle de síndromes metabólicas. In: Mendes, A.A., Nääs, I.A., Macari, M. Produção de Frangos de Corte. FACTA. Campinas. pp: 137-155.
- Medeiros, C.M. 2001. Ajuste de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa-UFV. Viçosa. 115 pp.
- Medeiros, C.M., Baêta, F.C., Oliveira, R.F.M., Tinôco, I.F.F., Albino, L.F.T. e Cecon, P.R. 2005. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Engenh. Agríc.*, 13: 277-286.
- Meirelles, M.S.P., Moreira, F.R. e Camara, G. 2007. Técnicas de inferência espacial. In: Meirelles, M.S.P., Camara, G. e Almeida, C.M. (Ed.).

- Geomática: Modelos e aplicações ambientais. Embrapa. Brasília, DF. 593 pp.
- Melo, G.J.A. de. 2009. Princípios de extensão de Zadeh aplicado a funções não monótonas com dois parâmetros fuzzy. 2009. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. 69 pp.
- Mendel, J.M. 1995. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. *Proceedings of IEEE*, 83: 345-377.
- Miragliotta, M.Y., Naas, I. de A., Manzione, R.L. e Nascimento, F.F. do. 2006. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. *Sci. Agric.*, 63: 426-432.
- Moraes, D.T., Lara, L.J.C., Baião, N.C., Cançado, S.V., Aguilár, C.A.L. e Lana, A.M.Q. 2008. Efeitos dos programas de luz sobre desempenho, rendimento de carcaça e resposta imunológica em frangos de corte. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, 60: 201-208.
- Moura, D.J., Nääs, I.A., Pereira, D.F., Silva, R.B.T.R. e Camargo, G.A. 2006. Animal welfare concepts and strategy for poultry production: a review. *Rev. Bras. Ciênc. Avíc.*, 8: 137-148.
- Nääs, I.A., Ferreira, L. e Yanagi Jr, T. 2007a. Development of a decision making system using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows. *E-journal - CIGR*, 9: 1-16. (28-10-2009).
- Nääs, I. A., Queiroz, M.P.G., Moura, D.J de e Brunassi, L.A. 2008. Estimativa de estro em vacas leiteiras utilizando métodos quantitativos preditivos. *Ciênc. Rural*, 38: 2383-2387.
- Nääs, I. de A., Miragliotta, M.Y., Baracho, M. dos S. e Moura, D.J. de. 2007b. Ambiência aérea em alojamento de frangos de corte: poeira e gases. *Engenh. Agríc.*, 27: 326-335.
- Navares, E.T.U. 2007. Conjuntos fuzzy na avaliação do estado de conservação de sistemas de uso da terra na Amazônia ocidental, usando besouros (Scarabaeidae) como bioindicadores. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras. 69 pp.
- Nazareno, A.C., Pandorfí, H., Almeida, G.L.P., Giongo, P.R., Pedrosa, E. M.R. e Guiselini, C. 2009. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. *Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient.*, 13: 802-808.
- Oliveira, H.L., Amendola, M. e Nääs, I. A. 2005. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Engenh. Agríc.*, 25: 300-307.
- Oliveira, R.F.M., Donzele, J.L., Abreu, M.L.T., Ferreira, R.A., Vaz, R.G.M.V. e Cella, P. S. 2006. 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. *Rev. Bras. Zootec.*, 35: 797-803.
- OSHA. Occupational Safety and Health Administration. 1994. Particulates not otherwise regulated, respirable 0600. Manual of analytical methods (NMAM). 4th ed. USA: NIOSH. Disponível em <http://www.cdc.gov/niosh/nmam/nmamenu.html>. (7-5-2002).
- Owada, A.N., Nääs, I. de A., Moura, D.J. de e Baracho, M. dos S. 2007. Estimativa de bem-estar de frango de corte em função da concentração de amônia e grau de luminosidade no galpão de produção. *Engenh. Agríc.*, 27: 611-618.
- Pandorfí, H., Silva, I.J.O., Guiselini, C. e Piedade, S.M.S.P. 2007. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. *Engenh. Agríc.*, 27: 83-92.
- Pereira, D.F., Bigli, C.A., Gabriel Filho, L.R. e Gabriel, C.P.C. 2008. Sistema fuzzy para estimativa do bem-estar de matrizes pesadas. *Engenh. Agríc.*, 28: 624-634.
- Perissinotto, M., Moura, D.J., Cruz, V.F. Da, Souza, S.R.L. de, Lima, K.A.O de e Mendes, A.S. 2009. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Ciênc. Rural*, 39: 1492-1498.
- Reece, F.N., Lott, B.D. and Deaton, J.W. 1980. Ammonia in the atmosphere during brooding affects performance of broiler chickens. *Poult. Sci.*, 59: 486-488.
- Rutz, F. e Bermudez, V.L. 2004. Fundamentos de um programa de luz para frangos de corte. In: Mendes, A.A., Naas, I.A. e Macari, M. (Eds). Produção de frangos de corte. FACTA. Campinas. pp: 157-168.
- Salgado, D.D., Nääs, I.A., Pereira, D.F. e Moura, D.J. 2007. Modelos estatísticos indicadores de comportamentos associados a bem-estar térmico para matrizes pesadas. *Eng. Agríc.*, 27: 619-629.
- Schiassi, L., Yanagi Junior, T., Ferreira, L.,

ANÁLISE DO AMBIENTE PARA FRANGOS POR MEIO DA LÓGICA FUZZY: UMA REVISÃO

- Damasceno, F.A. e Yanagi, S.N.M. 2008. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. *Engenh. Agric.*, 16: 180-191.
- Silva, M.A.N., Hellmeiste Filho, P., Rosário, M. F., Coelho, A.A.D., Savino, V.J.M., Garcia, A.A.F., Silva, I.J.O. e Menten, J.F.M. 2003. Influência do sistema de criação sobre o desempenho, condição fisiológica e o comportamento de linhagens de frango de corte. *Rev. Bras. Zootecn.*, 32: 208-213.
- Simões, M.G. 1999. Controle e modelagem fuzzy. Edgard Blücher. São Paulo. 165 pp.
- Tao, X. and Xin, H. 2003. Acute synergistic effects of air temperature, humidity, and velocity on homeostasis of market-size broilers. *Trans. ASAE*, 46: 491-497.
- Tinôco, I.F.F. 2001. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. *Rev. Bras. Ciênc. Avíc.*, 3: 1-26.
- Tolon, Y.B., Baracho, M.S., Nääs, I.A., Rojas, M. e Moura, D.J. 2010. Ambiências térmica, aérea e acústica para reprodutores suínos. *Eng. Agric.*, 30: 1-13.
- Wathes, C.M. 1999. Strive for clean air in your poultry house. *World Poult.*, 15: 17-19.
- Wathes, C.M., Holden, M.R., Sneath, R.W., White, R.P. and Phillips, V.R. 1997. Concentrations and emissions rates of aerial ammonia, nitrous oxide, methane, carbon dioxide, dust and endotoxin in UK broiler and layer houses. *Brit. Poul. Sci.*, 38: 14-28.
- Yanagi Junior, T., Xin, H., Gates, R.S. and Ferreira, L. 2006. Fuzzy logic model to predict laying hen body temperature rise during acute heat stress. In: Congresso Brasileiro De Engenharia Agrícola, 35, João Pessoa. Anais... SBEA. João Pessoa. 1: 1-4.
- Zadeh, L.A. 1975. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning-I. *Information sciences*, 8: 199-249.