



DANIELLE APARECIDA ALCÂNTARA

**SISTEMA *FUZZY* PARA ESTIMATIVA DO
COMPORTAMENTO DE PINTINHOS
SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES
E DURAÇÕES DE EXPOSIÇÃO TÉRMICA NA
SEGUNDA SEMANA DE VIDA**

LAVRAS – MG

2017

DANIELLE APARECIDA ALCÂNTARA

**SISTEMA *FUZZY* PARA ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DE
PINTINHOS SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES E
DURAÇÕES DE EXPOSIÇÃO TÉRMICA NA SEGUNDA SEMANA DE
VIDA**

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

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Orientador

Prof. Dr. Alessandro Torres Campos

Prof. Dr. Lucas Henrique Pedrozo Abreu

Coorientadores

LAVRAS - MG

2017

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

Alcântara, Danielle Aparecida.

Sistema *fuzzy* para estimativa do comportamento de pintinhos submetidos a diferentes intensidades e durações de exposição térmica na segunda semana de vida / Danielle Aparecida Alcântara. - 2016.
53 p.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Coorientadores: Alessandro Torres Campos, Lucas Henrique Pedrozo Abreu,

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2016.

Bibliografia.

1. Modelo *fuzzy*. 2. Frangos de corte. 3. Desconforto térmico. 4. Bem estar. I. Yanagi Junior, Tadayuki. II. Campos, Alessandro Torres. III. Abreu, Lucas Henrique Pedrozo. IV. Título.

DANIELLE APARECIDA ALCÂNTARA

**SISTEMA *FUZZY* PARA ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DE
PINTINHOS SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES E
DURAÇÕES DE EXPOSIÇÃO TÉRMICA NA SEGUNDA SEMANA DE
VIDA**

***FUZZY APPROACH FOR ESTIMATING THE BEHAVIOR OF CHICKS
SUBMITTED TO DIFFERENT INTENSITIES AND DURATIONS OF
THERMAL CHALLENGE ON THE SECOND WEEK OF LIFE***

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

APROVADA em 16 de setembro 2016.

Prof. Dr. Lucas Henrique Pedrozo Abreu	UFLA
Prof. Dr. Alessandro Torres Campos	UFLA
Prof. Dr. Flávio Alves Damasceno	UFLA
Prof. Dr. Pedro Luiz Terra Lima	UNILAVRAS

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

LAVRAS - MG

2017

Aos meus pais, Eliane e João, que me apoiaram nesta caminhada.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Início agradecendo a Deus, por me guiar e iluminar durante todos os momentos desta caminhada.

Aos meus pais, Eliane e João, pelo incondicional amor e carinho.

Aos meus irmãos, Emanuelle e João Paulo, e minhas sobrinhas, Maria Clara e Alice, pelo apoio, incentivo.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso de mestrado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), CAPES, e FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

Ao meu orientador, Professor Doutor Tadayuki Yanagi Junior pelo apoio, ensinamentos e as valiosas contribuições para este estudo.

Ao meu coorientador, Professor Doutor Lucas Henrique Pedrozo Abreu, pela ajuda na condução deste trabalho.

A todos os meus familiares e amigos que torceram por mim.

Por fim, o meu profundo agradecimento a todas as pessoas que contribuíram para a concretização desta dissertação.

“Se um dia tiver que escolher entre o mundo e o amor... Lembre-se: Se escolher o mundo, ficará sem o amor, mas se escolher o amor, com ele conquistará o mundo.”

Albert Einstein

RESUMO GERAL

O comportamento de frangos de corte constitui em uma forma não invasiva de avaliação de sua condição de conforto em relação ao ambiente térmico. Dessa forma, objetivou-se, com o presente trabalho, desenvolver um sistema de inferência *fuzzy* para predição de comportamentos de frangos de corte em função do ambiente térmico e da duração da exposição térmica. Duzentos e quarenta frangos de corte, na segunda semana de vida, foram submetidos a 4 temperaturas do ar (t_{ar} : 24, 27, 30 e 33 °C) e 4 durações da exposição térmica (DET: 1, 2, 3 e 4 dias) em túneis de vento climatizados. Os comportamentos, presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em áreas intermediárias (AI) foram avaliados continuamente (24 h dia⁻¹) entre o 8º e 11º dia de vida. Um sistema de inferência *fuzzy* foi desenvolvido para prever a PC, PB, AG e AI em função de t_{ar} (°C) e DET (dias). Curvas de pertinência triangulares foram usadas para representar dos dados de entrada e de saída. Os métodos de Mamdani e centro de gravidade foram usados para a inferência e defuzzificação, respectivamente. O sistema de inferência *fuzzy* mostrou-se adequado para a predição do comportamento (PC, PB, AG e AI) de frangos de corte com idades variando de 8 a 11 dias.

Palavras chave: Modelo *fuzzy*. Frangos de corte. Desconforto térmico. Bem-estar.

GENERAL ABSTRACT

The behavior of broiler chickens constitute a non-invasive form of evaluating the comfort conditions in relation to the thermal environment. Thus, we aimed at developing a fuzzy inference system for predicting the behavior of broiler chicken in function of the thermal environment and the duration of thermal exposure. Two hundred and forty broiler chicken, in the second week of life, were submitted to 4 air temperatures (t_{air} : 24, 27, 30 and 33°C) and 4 durations of thermal exposure DET: 1, 2, 3 and 4 days) in acclimatized wind tunnels. The behaviors, presence in the feeder (PF), presence in the drinking fountain (PD), grouping (G) and presence in intermediate areas (IA) were continuously evaluated (24 h day⁻¹) between the 8th and 11th day of life. A fuzzy inference system was developed to predict PF, PD, G and IA in function of t_{air} (°C) and DET (days). Triangular pertinence curves were used to represent the entry and output data. The Mamdani and gravity center methods were used for inference and defuzzification, respectively. The fuzzy inference was adequate for predicting the behavior (PF, PD, G and IA) of broiler chicken with ages ranging from 8 to 11 days.

Keywords: Fuzzy model. Broiler chicken. Thermal discomfort. Wellbeing.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 - Desenvolvimento computacional *fuzzy*.....21

SEGUNDA PARTE - ARTIGO 1

Figura 1. Estrutura do sistema de inferência *fuzzy*. t_{ar} : temperatura do ar e DET: duração da exposição térmica.49

Figura 2. Curvas de pertinência das variáveis de entrada, (a) temperatura do ar (t_{ar}) e (b) duração da exposição térmica (DET).....49

Figura 3. Curvas de pertinência das variáveis de saída, (a) presença no comedouro (PC), (b) presença no bebedouro (PB), (c) em agrupamento (AG) e (d) presença em áreas intermediárias (AI), expressas na forma de notas de 0 a 10.50

Figura 4. Relação funcional entre os valores simulados pelo sistema de inferência *fuzzy* e observados para as variáveis de saída (a) presença no comedouro (PC), (b) presença no bebedouro (PB) e frequências de ocorrência (FO) de erros absolutos.....51

Figura 5. Relação funcional entre os valores simulados pelo sistema de inferência *fuzzy* e observados para as variáveis de saída (a) em agrupamento (AG) e (b) presença em área intermediária (AI) e, frequências de ocorrência (FO) de erros absolutos.52

Figura 6. Simulação dos comportamentos de frangos de corte entre o 8° e 11° dia de vida, (a) presença no comedouro (PC), (b) presença no bebedouro (PB), (c) em agrupamento (AG) e (d) presença em áreas intermediárias (AI) em função da temperatura do ar (t_{ar}) e duração da exposição térmica (DET).53

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGO 1

Tabela 1. Conjuntos das variáveis de entrada	36
Tabela 2. Conjuntos das variáveis de saída presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em área intermediária (AI).....	36
Tabela 3. Regras do sistema de inferência <i>fuzzy</i> para presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em áreas intermediárias (AI).....	38
Tabela 4. Comparação entre as notas atribuídas (0-10) aos comportamentos de frangos de corte do 8° ao 11° dia, para as variáveis presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em áreas intermediária (AI).....	40

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	13
1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	Avicultura	15
2.2	Comportamento de frangos	16
2.3	Inteligência artificial	18
2.4	Lógica <i>fuzzy</i>	18
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
	REFERENCIAS	25
	SEGUNDA PARTE – ARTIGO	29
	ARTIGO 1 - APROXIMAÇÃO <i>FUZZY</i> PARA ESTIMATIVA DO COMPORTAMENTO DE PINTINHOS SUBMETIDOS A DIFERENTES INTENSIDADES E DURAÇÕES DE DESAFIO TÉRMICO	29

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

No cenário competitivo atual, construir e gerenciar conhecimento de apoio à tomada de decisão de especialistas nas mais diversas áreas de atuação pode ser útil e torna-se um diferencial no mercado. Diante desse contexto, o campo do conhecimento denominado inteligência artificial merece destaque. Conforme Fernandes (2005), a inteligência artificial é a parte da ciência da computação que estuda o desenvolvimento de sistemas computacionais com características que podem ser associadas à inteligência no comportamento humano, tais como: compreensão da linguagem, aprendizado, raciocínio, resolução de problemas, dentre outros. Sellitto (2002) define a inteligência artificial como sendo o campo de conhecimento que oferece modelos de apoio à decisão e ao controle, com base em fatos reais e conhecimentos empíricos e teóricos.

Dentre as técnicas mais comumente utilizadas, destaque-se a lógica *fuzzy*, que se caracteriza pelo fato de que, partindo de informações e dados imprecisos permite auxiliar na tomada de decisão. A teoria dos conjuntos *fuzzy* é uma técnica de inteligência artificial baseada no conhecimento heurístico, geralmente representado por um conjunto de expressões condicionantes para representar os fenômenos e os processos, com base no conhecimento de especialista dos mesmos (BARBALHO, 2001).

O comportamento apresentado pela lógica *fuzzy* tem grandes semelhanças à forma humana de processar as informações, não sendo booleana, mas sim trazendo consigo inferências e aproximações. Essa característica faz com que a lógica *fuzzy* seja amplamente utilizada em modelos de inteligência artificial onde se busca sempre essa proximidade do comportamento humano (ÖREN; GHASEM-AGHAEI, 2003).

Aplicações de lógica *fuzzy* podem ser encontradas nas mais variadas áreas. Nessa perspectiva, o setor avícola apresenta-se como um importante potencial de estudo para a utilização dessa técnica. Portanto, a avicultura tem se constituído numa relevante atividade econômica e social, em que os produtos, oriundos do setor, chegam ao mercado consumidor dotados de qualidade e de preços competitivos, permitindo o acesso a diferentes classes sociais. O Brasil vem se destacando no cenário mundial como produtor de carne de frango. Sendo assim, o país deve acompanhar as rápidas mudanças de mercado, no qual os consumidores além do preço demandam por qualidade (DINIZ; MELLO; GRANJA-SALCEDO, 2015).

Dessa forma, a preocupação em se atingir níveis ideais de bem-estar animal relacionado ao comportamento das aves nos sistemas de criação avícola, para que a produção seja maximizada, vem ganhando maior importância pela complexidade com que os fatores de produção estão correlacionados.

Nesse sentido, o estudo do comportamento animal assume papel importante na produção animal, uma vez que, para racionalizar os métodos de criação tem-se desenvolvido técnicas de manejo, alimentação e instalações que interferem, e também dependem do comportamento animal. Assim, objetiva-se com o presente trabalho, analisar e modelar o comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de exposição térmica durante a segunda semana de vida.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão de literatura abordará a inteligência artificial, bem como a técnica de lógica *fuzzy*. Será apresentada também a importância e contexto do setor de avicultura de corte.

2.1 Avicultura

No Brasil, o setor avícola está crescendo, a produção de carne de frango atingiu, em 2015, 13,15 milhões de toneladas, resultado que colocou o país no segundo lugar entre os maiores produtores mundiais, ultrapassando a China e sendo superado apenas por Estados Unidos, que atingiu 17,97 milhões de toneladas. Em relação às exportações, estas representam em torno de 40% nas vendas no mercado internacional, 3,9 milhões de toneladas, posicionando o Brasil como o maior exportador mundial (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL, 2016).

As aves, assim como os mamíferos, são animais homeotérmicos, o que significa que eles conseguem manter a temperatura corporal dentro de limites estreitos, apesar da grande variação na temperatura ambiente. Entretanto, o metabolismo normal das aves e as atividades de produção geram certa quantidade de calor, o qual deve ser dissipado, caso contrário, a temperatura corporal se elevaria a um nível indesejável, prejudicando o desenvolvimento dos processos vitais e produtivos desses animais (CURTIS, 1983).

O ambiente de produção exerce papel fundamental na avicultura moderna, que busca alcançar alta produtividade, em espaço físico e tempo relativamente reduzidos. Assim, essa influência no desenvolvimento e crescimento das aves.

Dentre outros fatores do ambiente, os térmicos, representados pela temperatura, umidade relativa, velocidade do ar e radiação são os que mais

afetam os animais, pois comprometem a função vital mais importante das aves, que é a homeotermia (AMARAL et al., 2011).

Nesse contexto, a avicultura enfrenta o desafio de manter e melhorar os índices de produtividade alcançados, em condições climáticas menos favoráveis, para aumentar a produção de carne de frango. Diante disso, destaca-se a necessidade de se investir em monitoramento dos processos relacionados à ambiência, de modo a melhorar a qualidade da informação de suporte à decisão e poder atuar com precisão no controle da ambiência.

2.2 Comportamento de frangos

É importante ressaltar que as aves, em situação de estresse por calor, apresentam comportamento atípico, que deve ser conhecido pelo meio produtivo, funcionando como indutor de ações no sentido de minimizar ou mitigar os efeitos que promovem o desconforto (CARVALHO et al., 2013).

Aves submetidas a condições ambientais desfavoráveis apresentam comportamentos alimentar e físico característicos. A exposição de frangos a altas temperaturas causa redução na ingestão de alimentos, prejudicando a taxa de crescimento, o rendimento do peito e a qualidade da carne, além de provocar desperdício de energia da produção para promover a perda de calor (DOZIER; PURSWELL; BRANTON, 2006; LU; WEN; ZHANG, 2007).

De acordo com Silva et al. (2013), quando as aves são submetidas a temperaturas ambientais fora da zona de termoneutralidade, ao elevar a temperatura corporal, em função do aumento na temperatura ambiental, as aves aumentam a frequência respiratória e reduzem o consumo de ração, na tentativa de manter a temperatura corporal dentro de limites fisiológicos, restringindo o consumo ideal de nutrientes. Sabe-se que o consumo médio de água geralmente corresponde a duas vezes o consumo alimentar. Contudo, essa relação aumenta em condições de temperaturas extremamente altas.

As aves, na segunda semana de vida, tendem a se agrupar quando submetidas às condições de estresse por frio. Esse comportamento ameniza a perda de calor sensível (radiação, convecção e condução), fazendo com que as aves mantenham sua homeostase. A dispersão das aves em condições de estresse por calor permite a melhor ventilação da superfície corporal e evita o recebimento de calor das outras aves, melhorando a perda de calor por radiação (CORDEIRO et al., 2011).

Em pintos, durante a fase pré-inicial, o estresse por frio diminui o consumo de alimento, gastando reservas para a termogênese e influenciando negativamente no desenvolvimento anatômico-fisiológico. Isso reflete no desenvolvimento dos animais durante as demais fases de criação, resultando em queda de produtividade, lotes desuniformes, perda de peso e piora na conversão alimentar (ALMEIDA, 2010).

Pereira et al. (2007) avalia que durante o estresse térmico, as aves alteram seu comportamento para auxiliar na manutenção da temperatura corporal dentro de limites normais. Ajustes de comportamento podem ocorrer rapidamente e a custo menor do que os ajustes fisiológicos.

O comportamento das aves é um parâmetro que pode mostrar o caminho para o desenvolvimento dos sistemas intensivos de produção no que se refere aos recentes padrões de bem-estar exigidos pelos principais países importadores de carne de frango (CORDEIRO et al., 2011).

O estudo do comportamento assume papel importante dentro da produção animal, uma vez que, para racionalizar os métodos de criação, têm-se desenvolvido técnicas de manejo, alimentação e instalações que interferem no comportamento animal (TUYTTENS et al., 2008).

2.3 Inteligência artificial

A inteligência artificial é talvez a área onde a lógica seja mais usada, visto que ela é o principal formalismo de representação do conhecimento. Portanto, é muito útil no desenvolvimento de sistemas inteligentes, em especial os especialistas e os multiagentes.

De acordo com Konar (2000) e Luger (2005), a representação e a inteligência são o real desafio da inteligência artificial. Millington (2006) avalia a inteligência artificial como a capacidade de programar o computador para desempenhar tarefas que o pensamento humano e animal são capazes de fazer naturalmente.

Segundo Negnevitsky (2005), o processo de evolução histórica da inteligência artificial abrange as seguintes etapas: surgimento da inteligência artificial (1943-1956), ascensão da inteligência artificial (1956-1960), impacto da realidade (1960-1970), a tecnologia de sistemas especialistas (1970-1980) e renascimento de redes neurais (meados dos anos 1980 em diante).

A inteligência artificial (IA) compreende os métodos, metodologias e sistemas para solucionar problemas que normalmente requerem o uso da inteligência humana. Não somente os humanos podem resolver problemas complexos, mas todos os seres orgânicos também apresentam métodos avançados de solução de problemas complexos e uma capacidade de reação adaptativa. Sendo assim, pode-se expandir o termo “inteligência artificial” à tentativa de sistematizar a resolução de problemas, a partir da observação dos sistemas complexos existentes na natureza viva (COSTA, 2009).

2.4 Lógica *fuzzy*

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 *fuzzy* é o chamado raciocínio aproximado, semelhante à forma do pensamento humano. Nesses casos, variáveis linguísticas são representadas por conjuntos *fuzzy*, interpretando uma variável linguística como uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural, além da existência de variação nas opções (ZADEH, 1965).

O modelo *fuzzy* fornece ao tomador de decisão, planos com decisão alternativa para diferentes graus de satisfação (VERDEGAY, 2015). O principal objetivo da lógica *fuzzy* é a modelagem computacional do raciocínio humano, impreciso, ambíguo e vago (SOUSA; BOENTE, 2016).

Os modelos *fuzzy* utilizam-se de termos linguísticos e podem obter o conhecimento a partir de especialistas (MEDEIROS, 2001). A construção de um controlador *fuzzy* é caracterizada, inicialmente, pela definição das variáveis de entrada e saída, e suas funções de pertinência associadas. É necessária também a definição de um método de inferência e um processador de saída. Por fim, é necessário o auxílio de técnicos e especialistas para a construção de uma base de regras, composta por respostas que esses profissionais fornecem em função das características das variáveis de entrada (CREMASCO; GABRIEL FILHO; CATANEO, 2010). Cornelissen et al. (2002) propuseram uma metodologia para a escolha dos especialistas.

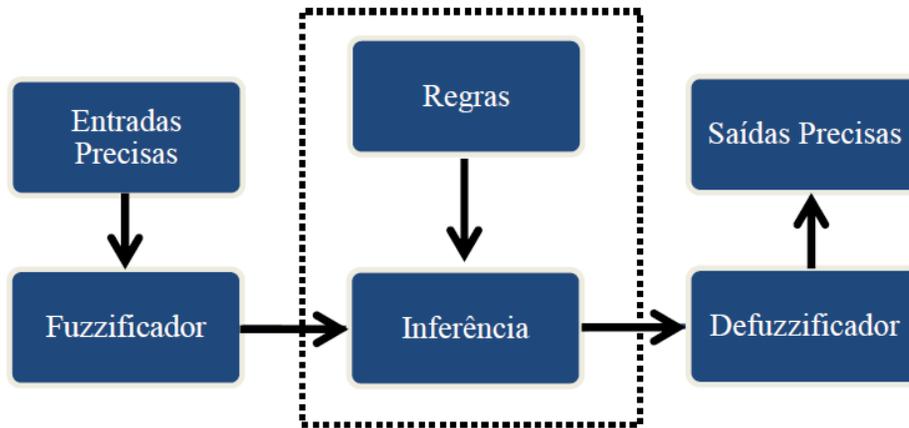
O processo de fuzzificação é responsável por atribuir a cada conjunto difuso os respectivos valores de pertinência (POSSELT; MOLZ; HORN, 2009). É o processo pelo qual os valores de entrada do sistema são convertidos em conjuntos *fuzzy*. A participação do especialista é de extrema relevância, pois a fuzzificação nada mais é que um mapeamento do domínio de números reais para o domínio *fuzzy*, a cada variável de entrada devem ser atribuídos termos linguísticos que representam os estados dessa variável e, a cada termo linguístico, deve ser associado um conjunto *fuzzy* por uma função de pertinência (ZORZELLA, 2015).

Com aplicação da lógica *fuzzy* é possível criar condições de tratar as informações lógicas seguindo regras naturais de raciocínio (SIMÕES, 1999). A inferência é onde se definem quais são os conectivos lógicos usados para se estabelecer a relação *fuzzy* que modela a base de regras. É desse módulo que depende o sucesso do sistema *fuzzy*, logo que ele fornecerá a saída (controle) *fuzzy* a ser adotado pelo controlador, a partir de cada entrada *fuzzy* (ZORZELLA, 2015). As regras são estruturadas da seguinte forma:

Regra: SE x é A E y é B ENTÃO z é C

em que, A, B e C são conjuntos *fuzzy* (OLIVEIRA; AMENDOLA; NÄÄS, 2005; SCHIASSI et al., 2008).

No processo de “defuzzificação”, o resultado *fuzzy* é transformado em uma saída discreta (MATTOS; COELHO, 2015). De acordo com Zorzella (2015), a defuzzificação consiste no valor da variável linguística de saída, inferida pelas regras *fuzzy*, é transformada em valor real, cujo objetivo é obter um único número real que melhor represente os valores *fuzzy* inferidos da variável de saída. Ou seja, a inferência *fuzzy* é um método que interpreta os valores do vetor de entrada, baseado em um conjunto de regras, atribui valores de saída. Na Figura 1, ilustra-se o processo de desenvolvimento computacional *fuzzy* adotado na condução do estudo.

Figura 1 - Desenvolvimento computacional *fuzzy*

Fonte: (ABREU, 2015).

Nesse sentido, a modelagem *fuzzy* pode auxiliar na tomada de decisão em relação ao manejo ou controle do ambiente de criação de frangos de corte, diante de situações de variação térmica.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O setor avícola brasileiro tem contribuído de forma significativa para o fortalecimento da estrutura produtiva do país, tanto no aspecto econômico quanto social.

Ressalta-se, ainda, o reconhecimento da avicultura brasileira, atualmente, como uma das mais desenvolvidas aviculturas do mundo, graças aos investimentos nas áreas de genética, nutrição, manejo e à implementação de programas de qualidade que incluem o bem-estar animal e a preservação do meio ambiente. Diante disso, para manter e consolidar a produtividade do setor, o estudo de ambiência, relacionado ao comportamento animal surge como uma importante estratégia no processo de tomada de decisão na produção de frangos.

Nesse contexto, a modelagem *fuzzy* do comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico no período de 8 a 11 dias de idade de frangos de corte, poderá fornecer informações fundamentais para o apropriado manejo das aves, buscando a maximização da produtividade.

REFERENCIAS

ABREU, L. H. P **Inteligência artificial na avaliação de respostas produtivas e fisiológicas de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de estresse térmico.** 2015. 163 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

ALMEIDA, E. U. **Níveis de lisina digestível e planos de nutrição para frangos de corte machos de 1 a 42 dias de idade.** 2010. 47 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Centro Universitário de Vila Velha, Vila Velha, 2010.

AMARAL, A. G. et al. Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.63, n.3, p.649-658, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatório anual.** São Paulo: ABPA, 2016. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais/2016>>. Acesso em: 22 jul. 2016.

BARBALHO, V. M. S. **Sistemas baseados em conhecimento e lógica difusa para simulação do processo chuva vazão.** 2001. 94 p. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

CARVALHO, G. B. D. et al. Comportamento de frangos de corte criados em condições de estresse térmico alimentados com dietas contendo diferentes níveis de selênio. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 14, n. 4, p. 785-797, out./dez. 2013.

CORDEIRO, M. B. et al. Análise de imagens digitais para a avaliação do comportamento de pintainhos de corte. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 3, p. 418-426, maio/jun. 2011.

CORNELISSEN, A. M. G. et al. Eliciting expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. **Erasmus Research Institute of Management**, Netherlands, 2002. (Report, ERS-2002-108-LIS).

COSTA, E. Inteligência artificial aplicada à Zootecnia. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 38, nesp., p. 390-396, jul. 2009.

CREMASCO, C. P.; GABRIEL FILHO, L. R. A.; CATANEO, A. Metodologia de determinação de funções de pertinência de controladores *fuzzy* para a avaliação energética de empresas de avicultura de postura. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 1, p. 21-39, 2010.

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

DINIZ, T. T.; MELLO, J. L. M.; GRANJA-SALCEDO, Y. T. Temperatura do ambiente e reutilização da cama no desempenho e qualidade da carne de frango. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB, Jaboticabal**, v. 7, n. 1, p. 47-62, 2015.

DOZIER, W. A.; PURSWELL, J. L.; BRANTON, S. L. Growth responses of male broilers subjected to high air velocity for either twelve or twenty-four hours from thirtyseven to fifty-one days of age. **The Journal of Applied Poultry Research**, Oxford, v. 15, n. 3, p. 362-366, Oct. 2006.

FERNANDES, A. M. R. **Inteligência artificial: noções gerais**. Florianópolis: Visual Books, 2005. 160 p.

KONAR, A. **Artificial Intelligence and soft computing: behavioral and cognitive modeling of the human brain**. New York: CRC Press, 2000. 816 p.

LU, Q.; WEN, J.; ZHANG, H. Effect of chronic heat exposure on fat deposition and meat quality in two genetic types of chicken. **Poultry Science**, Champaign, v. 86, n. 6, p. 1059–1064, June 2007.

LUGER, G. F. **Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving**. 5. ed. Oxford: Pearson Education, 2005. 784 p.

MATTOS, V. L. D. E.; COELHO, L. C. Propriedades de controladores fuzzy: um estudo de caso. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 11, n. 8, p. 1-7, 2015.

MEDEIROS, C. M. **Ajustes de modelos e determinação de índice térmico ambiental de produtividade para frangos de corte**. 2001. 125 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

MILLINGTON, I. **Artificial intelligence for games**. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2006. 856 p.

NEGNEVITSKY, M. **Artificial intelligence: a guide to intelligent systems**. 2. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2005. 416 p.

OLIVEIRA, H. L.; AMENDOLA, M.; NÄÄS, I. A. Estimativa das condições de conforto térmico para avicultura de postura usando a teoria dos conjuntos fuzzy. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 300-307, maio/ago. 2005.

ÖREN, T. I.; GHASEM-AGHAEI, N. Personality representation processable in fuzzy logic for human behavior simulation. In: SUMMER COMPUTER SIMULATION CONFERENCE, 2003, Montreal. **Proceedings...** Montreal: [s.n.], 2003. p. 11-18.

PEREIRA, D. F. et al. Efeitos da temperatura do ar, linhagem e período do dia nas frequências de ocorrências e tempos de expressão comportamental de matrizes pesadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 596-610, set./dez. 2007.

POSSELT, E. L.; MOLZ, R. F.; HORN, F. Uso de lógica *fuzzy* para a otimização de sistemas energéticos baseados em energia limpa. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29., 2009, Salvador. **Anais...** Salvador: ENEGEP, 2009. p. 1-14.

SCHIASSI, L. et al. Metodologia fuzzy aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 180-191, abr./jun. 2008.

SELLITTO, M. A. Inteligência artificial: uma aplicação em uma indústria de processo contínuo. **Gestão & Produção**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 363-376, dez. 2002.

SILVA, M. C. M. et al. Densidades nutricionais para frangos de corte estressados por calor cíclico. **PUBVET**, Londrina, v. 7, n. 6, p. 1-15, mar. 2013.

SIMÕES, M. G. **Controle e modelagem fuzzy**. São Paulo: Blücher, 1999. 165 p.

SOUSA, A.; BOENTE, A. Metodologia de avaliação de desempenho baseada em lógica fuzzy: avaliação de desempenho de uma instituição estadual de ensino superior em Duque de Caxias. **Revista Científica Digital da FAETEC**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p. 1-16, jan. 2016.

TUYTTENS, F. et al. Broiler chicken health, welfare and fluctuating asymmetry in organic versus conventional production systems. **Livestock Production Science**, Amsterdam, v. 113, n. 2-3, p. 123-132, Feb. 2008.

VERDEGAY, J. Progress on fuzzy mathematical programming: a personal perspective. **Fuzzy Sets and Systems**, Amsterdam, v. 281, p. 219-226, Dec. 2015.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, United Kingdom, v. 8, n. 3, p. 338-53, June 1965.

ZORZELLA, M. **Modelagem matemática da análise da dor no pós-operatório de cadelas ovariectomizadas**. 2015. 82 p. Dissertação. (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

**ARTIGO 1 - APROXIMAÇÃO *FUZZY* PARA ESTIMATIVA DO
COMPORTAMENTO DE PINTINHOS SUBMETIDOS A DIFERENTES
INTENSIDADES E DURAÇÕES DE DESAFIO TÉRMICO**

(VERSÃO PRELIMINAR)

**ARTIGO FORMATADO CONFORME A NORMA PARA SUBMISSÃO
DO PERIODICO *EXPERT SYSTEMS WITH APPLICATIONS***

To Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) and
to Conselho Nacional de Desenvolvimento e Tecnológico (CNPq).

RESUMO: O comportamento de frangos de corte constitui em uma forma não invasiva de avaliação de sua condição de conforto em relação ao ambiente térmico. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho desenvolver um sistema de inferência *fuzzy* para a predição de comportamentos de frangos de corte em função do ambiente térmico e da duração da exposição térmica. Duzentos e quarenta frangos de corte, com idades variando de 8 a 11 dias, foram submetidos a 4 temperaturas do ar (t_{ar} : 24, 27, 30 e 33 °C) e 4 durações da exposição térmica (DET: 1, 2, 3 e 4 dias) em túneis de vento climatizados. Os comportamentos, presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em áreas intermediárias (AI) foram avaliados continuamente (24 h) entre o 8º e 11º dia de vida. Um sistema de inferência *fuzzy* foi desenvolvido para prever a PC, PB, AG e AI em função de t_{ar} (°C) e DET (dias). Curvas de pertinência triangulares foram usadas para representar os dados de entrada e de saída. Os métodos de Mamdani e centro de gravidade foram usados para a inferência e defuzzificação, respectivamente. O sistema de inferência *fuzzy* mostrou-se adequado para a predição do comportamento (PC, PB, AG e AI) de frangos de corte com idades variando de 8 a 11 dias.

Palavras chave: modelo *fuzzy*, frangos de corte, desconforto térmico, bem-estar

Fuzzy approach for estimating the behavior of chicks submitted to different intensities and durations of thermal challenge

ABSTRACT: The behavior of broiler chickens constitute a non-invasive form of evaluating the comfort conditions in relation to the thermal environment. Thus, we aimed at developing a fuzzy inference system for predicting the behavior of broiler chicken in function of the thermal environment and the duration of thermal exposure. Two hundred and forty broiler chicken, with ages ranging from 8 to 11 days, were submitted to 4 air temperatures (t_{air} : 24, 27, 30 and 33°C) and 4 durations of thermal exposure DET: (1, 2, 3 and 4 days) in acclimatized wind tunnels. The behaviors, presence in the feeder (PF), presence in the drinking fountain (PD), grouping (G) and presence in intermediate areas (IA) were continuously evaluated (24 h) between the 8th and 11th day of life. A fuzzy inference system was developed to predict PF, PD, G and IA in function of t_{air} (°C) and DET (days). Triangular pertinence curves were used to represent the entry and output data. The Mamdani and gravity center methods were used for inference and defuzzification, respectively. The fuzzy inference was adequate for predicting the behavior (PF, PD, G and IA) of broiler chicken with ages ranging from 8 to 11 days.

Keywords: Fuzzy model, broiler chicken, thermal discomfort, wellbeing.

1 Introdução

O ambiente de produção exerce papel fundamental na avicultura moderna, que busca alcançar alta produtividade, em espaço físico e tempo relativamente reduzido. Dentre outros fatores do ambiente, os térmicos são os que mais afetam os animais, pois comprometem a função vital mais importante das aves, que é a homeotermia (Amaral et.al., 2011).

Frangos de corte, durante as primeiras semanas de vida, são considerados peilotérmicos (Mujahid, 2010), sendo dessa forma, mais sensíveis ao desconforto térmico (Chowdhury et.al., 2012). Condições térmicas desconfortáveis podem causar alterações no comportamento desses animais.

O estudo do comportamento animal é uma forma não invasiva de avaliação da condição de conforto ou desconforto térmico, no qual o próprio animal é o biosensor. Frangos de corte submetidos a condições térmicas adversas apresentam comportamentos atípicos, tais como aumento do consumo de água e redução da alimentação, assim maior agrupamento ou dispersão das aves, evidenciando a importância do seu estudo.

O estudo do comportamento assume papel importante dentro da produção animal, uma vez que, para racionalizar os métodos de criação, têm-se desenvolvido técnicas de manejo, alimentação e instalações que interferem no comportamento animal (Tuyttens et.al., 2008).

A inteligência artificial é um campo de conhecimento que oferece modelos de apoio à decisão e ao controle com base em fatos reais e conhecimentos empíricos e teóricos (Sellitto, 2002). Dentre as técnicas mais comumente utilizadas merece destaque a lógica *fuzzy*.

A teoria de conjuntos *fuzzy* foi introduzida por Lotfi Asker Zadeh, em 1965, como uma teoria matemática aplicada a conceitos difusos (Zadeh, 1965). Uma área de aplicação da teoria *fuzzy* é o chamado raciocínio aproximado, semelhante à forma do pensamento humano (Stefano et.al., 2015). Nesses casos, variáveis linguísticas são representadas por conjuntos *fuzzy*, interpretando uma variável linguística como uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural, além da existência de variação nas opções (Zadeh, 1965). A lógica *fuzzy* trata do raciocínio aproximado e valores linguísticos. Essa técnica aborda o conceito de valor verdade com graus variando entre o totalmente verdadeiro e o totalmente falso (Suganthi et.al., 2015).

Objetivou-se, com o presente estudo, avaliar e modelar matematicamente o comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes intensidades e durações de exposição térmica.

2 Metodologia

2.1 Dados experimentais

O comportamento de duzentos e quarenta frangos de corte machos e fêmeas da linhagem COBB 500[®] foram monitorados ininterruptamente (24 h dia⁻¹), durante a segunda semana de vida das aves, do 8^o ao 11^o dia, em túneis de vento climatizados instalados em laboratório (SCHIASI et.al., 2014).

Os frangos de corte foram submetidos às temperaturas do ar (t_{ar}) de 24, 27, 30 e 33°C e, quatro durações da exposição térmica (1, 2, 3 e 4 dias). A t_{ar} de 30°C é considerada como de conforto para a segunda semana de vida (Cony & Zocche, 2004). A umidade relativa do ar foi

mantida em $60 \pm 1\%$ e a velocidade do ar em $0,2 \pm 0,1 \text{ m s}^{-1}$, caracterizadas como de conforto para frangos de corte (Medeiros et.al., 2005). A luminosidade foi ajustada, por meio de um luxímetro (LDR-380, precisão de $\pm 3\%$), com intensidades de 25 e 10 lux, para a segunda semana de vida, respectivamente (COBB, 2008).

As avaliações consistiram em análises visuais de amostras de 10 minutos de cada hora avaliada. De acordo com a pesquisa desenvolvida por Cordeiro et.al. (2011), os principais comportamentos observados foram: frequência de agrupamento (aves juntas de forma a não ser possível diferenciá-las), presença nos bebedouros (aves realizando movimento de bicagem no bebedouro), presença nos comedouros (aves realizando movimento de bicagem no comedouro) e presença de aves nas áreas intermediárias (aves dispersas pela gaiola e/ou que não esteja realizando os comportamentos anteriores).

Os critérios adotados para a quantificação do comportamento foram adaptados da proposta de Medeiros et.al. (2005), na qual: [0,1[- Nenhuma manifestação, [1, 2] - Pouquíssima manifestação; [3, 4] - Pouca manifestação; [5, 6] - Manifestação normal; [7, 8] - Muita manifestação; [9, 10]- MUITÍSSIMA manifestação.

Para a atribuição das notas em função dos comportamentos: presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em áreas intermediárias (AI), se adotou o cálculo presente da Equação 1.

$$\text{Nota} = \frac{n}{N} \cdot t$$

[1]

em que:

n = número de animais realizando a atividade;

N = número total de animais;

t = tempo no desempenho da atividade (min).

2.2 Sistema de inferência *fuzzy*

O sistema de inferência *fuzzy* (Figura 1) foi desenvolvido com base em dados experimentais para a predição do comportamento de frangos de corte submetidos a diferentes ambientes térmicos, na segunda semana de vida. Definiram-se como variáveis de entrada a temperatura do ar (t_{ar} , °C) no ambiente de criação das aves e a duração da exposição térmica (DET, dias) dessas aves em determinada t_{ar} . As variáveis de saída, comportamentos dos frangos de corte, foram expressas na forma de notas de 0 a 10 para PC, PB, AG e AI, conforme metodologia adotada por Cordeiro et.al. (2011).

Curvas de pertinência triangulares (Figura 2) foram usadas para as variáveis de entrada (Figura 2) e de saída (Figura 3), por melhor representarem o comportamento das variáveis estudadas, corroborando com diversos autores (Santos et.al., 2014b; Abreu et.al., 2015; Kocadagli & Keskin, 2015; Silva et.al., 2015; Lima Junior et.al., 2016). Na Tabela 1, apresentam-se os conjuntos das variáveis de entrada duração de exposição térmica (dias) e temperatura (°C).

Tabela 1. Conjuntos das variáveis de entrada

Duração de exposição térmica (dias)					Temperatura (°C)			
D0	D1	D2	D3	D4	T1	T2	T3	T4
[0;1]	[0;2]	[1;3]	[2;4]	[3;4]	[24;27]	[24;30]	[27;33]	[30;33]

A partir das variáveis de entrada, o sistema de inferência *fuzzy* prediz as variáveis PC, PB, AG e AI (Figura 3) na forma de notas variando de 0 a 10, conforme metodologia adotada por Medeiros (2005). Na Tabela 2, são apresentadas os valores da curva de pertinência (Figura 3) que representam as notas dos comportamentos correspondente ao grau de pertinência igual a 1

Tabela 2. Conjuntos das variáveis de saída presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em área intermediária (AI).

Presença no comedouro (notas)								
C1	C2	C3	C4	C5	C6			
[1;1,217]	[1,1;1,48]	[1,4;1,69]	[1,61;1,9]	[1,8;3,29]	[2,62;5,5]			
Presença no bebedouro (notas)								
B1	B2	B3	B4	B5	B6			
[0,14;0,31]	[0,28;0,49]	[0,47;0,67]	[0,57;0,79]	[0,712;1,093]	[0,825;1,307]			
Em agrupamento (notas)								
A1	A2	A3	A4	A5	A6			
[0;0,689]	[0,486;3,21]	[2,5;4,5]	[4,01;6,21]	[5,83;7,43]	[6,8;7,8]			
Presença em área intermediária (notas)								
I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9
[0,5;1,1]	[0,7;1,7]	[1,4;2,2]	[2;3,3]	[2,6;4,3]	[4;4,8]	[4,6;6,7]	[5,9;8]	[7,5;8,5]

O método de inferência de Mamdani (Mamdani & Assilian, 1975) foi usado na fuzzificação em consonância com diversos autores (Leite et.al., 2010; Ponciano et.al., 2012; Campos et.al., 2013; Santos et.al., 2014a; Camastra et.al. 2015; Rudnik & Deptuła, 2015; Torres-García et.al., 2016; Vesely, 2016). O método de Mamdani traz como resposta um conjunto *fuzzy* originado da combinação dos valores de entrada com os seus respectivos graus de pertinência, por meio do operador mínimo e em seguida, pela superposição das regras por meio do operador máximo.

O sistema de regras *fuzzy* (TABELA 3), desenvolvido na forma de sentenças linguísticas, foi criado com base no banco de dados de comportamento das aves e por meio do auxílio de quatro especialistas com mais de 10 anos de experiência (Ayyub & Klir, 2006), selecionados de acordo com a proposta de Cornelissen et.al. (2002) e utilizada por outros autores (Yanagi Junior, 2012; Schiassi et.al., 2014).

Tabela 3. Regras do sistema de inferência *fuzzy* para presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em áreas intermediárias (AI).

Regra	
1	Se (DET é D0) e (t_{ar} é T1) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
2	Se (DET é D0) e (t_{ar} é T2) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
3	Se (DET é D0) e (t_{ar} é T3) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
4	Se (DET é D0) e (t_{ar} é T4) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
5	Se (DET é D1) e (t_{ar} é T1) então (PC é C6)(PB é B6)(AG é A1)(AI é I5)
6	Se (DET é D1) e (t_{ar} é T2) então (PC é C3)(PB é B2)(AG é A4)(AI é I4)
7	Se (DET é D1) e (t_{ar} é T3) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
8	Se (DET é D1) e (t_{ar} é T4) então (PC é C2)(PB é B4)(AG é A5)(AI é I2)
9	Se (DET é D2) e (t_{ar} é T1) então (PC é C4)(PB é B3)(AG é A2)(AI é I7)
10	Se (DET é D2) e (t_{ar} é T2) então (PC é C4)(PB é B1)(AG é A5)(AI é I2)
11	Se (DET é D2) e (t_{ar} é T3) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
12	Se (DET é D2) e (t_{ar} é T4) então (PC é C3)(PB é B2)(AG é A6)(AI é I1)
13	Se (DET é D3) e (t_{ar} é T1) então (PC é C3)(PB é B5)(AG é A3)(AI é I6)
14	Se (DET é D3) e (t_{ar} é T2) então (PC é C5)(PB é B2)(AG é A4)(AI é I2)
15	Se (DET é D3) e (t_{ar} é T3) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
16	Se (DET é D3) e (t_{ar} é T4) então (PC é C3)(PB é B2)(AG é A5)(AI é I3)
17	Se (DET é D4) e (t_{ar} é T1) então (PC é C3)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I8)
18	Se (DET é D4) e (t_{ar} é T2) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A4)(AI é I3)
19	Se (DET é D4) e (t_{ar} é T3) então (PC é C4)(PB é B2)(AG é A1)(AI é I9)
20	Se (DET é D4) e (t_{ar} é T4) então (PC é C1)(PB é B2)(AG é A6)(AI é I2)

A defuzificação, que consiste na tradução do valor linguístico em valor numérico, foi realizada aplicando-se o método do centro de gravidade, o qual considera todas as possibilidades de saída, transformando o conjunto *fuzzy*, resultante da inferência, em valor numérico, conforme adotado por diversos autores (Bilobrovec et.al. 2004; Barros & Bassanezi, 2006; Schiassi et.al. 2015; Santos et.al., 2014a; Matos & Coelho, 2015).

A validação do sistema de inferência *fuzzy* foi realizada comparando os valores das variáveis de saída simulados com aqueles obtidos experimentalmente em laboratório, por meio da aplicação de estatística descritiva, tais como: desvio absoluto, desvio-padrão, erro

percentual, gráfico de frequência de erros e coeficiente de determinação.

3 Resultados e Discussão

Os desvios- padrão médios obtidos entre os dados preditos pelo sistema de inferência *fuzzy* e os observados foram de 0,03 para presença no comedouro, 0,01 para presença no bebedouro, 0,07 para em agrupamento e 0,04 para em área intermediária, com os respectivos erros percentuais de 2,52, 4,13, 2,16 e 2,92% (TABELA 4).

No modelo para predição de desempenho de produção de frango de corte desenvolvido por Ponciano et.al. (2012), os desvios- padrão médios para as variáveis consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar foram de 4,31 g, 4,76 g e 0,02 g, com erros percentuais, respectivamente de 2,38; 2,94; 2,16.

No estudo realizado por Schiassi et.al. (2015), os desvios-padrão médio das variáveis consumo de ração (CR), ganho de peso (GP) e conversão alimentar (CA) foram de 4,15 g; 3,10 g e 0,03 g g⁻¹, respectivamente correspondendo aos erros percentuais medidos de 2,12; 2,74 e 1,94%, sendo um modelo eficiente para diferentes cenários.

Portanto, o sistema *fuzzy* de inferência desenvolvido mostrou-se adequado para a predição do comportamento de frangos de corte submetidos às condições térmicas e durações da exposição térmica estudadas.

Tabela 4. Comparação entre as notas atribuídas (0-10) aos comportamentos de frangos de corte do 8° ao 11° dia, para as variáveis presença no comedouro (PC), presença no bebedouro (PB), em agrupamento (AG) e presença em áreas intermediária (AI).

t_{ar} (°C)	DET (Dias)	Dados observados				Simulação <i>fuzzy</i>			
		PC	PB	AG	AI	PC	PB	AG	AI
24	0	1,8	0,4	0,2	7,6	1,8	0,4	0,2	7,6
24	1	4,9	1,1	0,2	3,8	4,9	1,1	0,2	3,8
24	2	1,8	0,6	2,8	4,8	1,8	0,6	2,2	5,3
24	3	1,4	0,9	3,4	4,4	1,5	0,9	3,5	4,4
24	4	1,5	0,3	0,1	8,2	1,5	0,4	0,1	8,2
27	0	1,8	0,4	0,2	7,6	1,8	0,4	0,2	7,6
27	1	1,5	0,4	6	2,1	1,5	0,4	6	2,3
27	2	1,8	0,2	6,9	1,1	1,8	0,2	6,9	1,2
27	3	2	0,5	6,4	1,2	2,3	0,4	6	1,2
27	4	1,9	0,4	6,1	1,6	1,8	0,4	6	1,6
30	0	1,8	0,4	0,2	7,6	1,8	0,4	0,2	7,6
30	1	1,8	0,4	0,2	7,6	1,8	0,4	0,2	7,6
30	2	1,8	0,4	0,2	7,6	1,8	0,4	0,2	7,6
30	3	1,8	0,4	0,2	7,6	1,1	0,4	0,2	7,6
30	4	1,8	0,4	0,2	7,6	1,8	0,4	0,2	7,6
33	0	1,8	0,4	0,2	7,6	1,8	0,4	0,2	7,6
33	1	1,3	0,7	6,9	1,1	1,3	0,7	6,9	1,2
33	2	1,5	0,5	7,2	0,8	1,5	0,4	7,6	0,7
33	3	1,4	0,4	6,7	1,6	1,5	0,4	6,7	1,6
33	4	1,1	0,4	7,3	1,2	1,1	0,4	7,6	1,2
Desvio absoluto médio:						0,06	0,02	0,13	0,08
Desvio padrão médio:						0,03	0,01	0,07	0,04
Erro percentual médio:						2,52	4,13	2,16	2,92

Nas Figuras 4 e 5, ilustram a relação funcional entre os valores

observados e simulados de PC, PB, AG e AI, com os respectivos coeficientes de determinação de 0,9869; 0,9645; 0,9958 e 0,9981. Para todas as simulações, observa-se que as frequências de ocorrência de erros concentraram na classe inicial, que compreende o intervalo de maior ou igual a zero até menor que 0,2.

No estudo desenvolvido por Campos et.al. (2013), para predição da taxa de ocupação de baias em instalações para gado de leite, o coeficiente de determinação calculado foi de 75,45%.

No modelo proposto por Schiassi et.al. (2008), para prever o aumento da temperatura corporal (ATC) em frangos de corte ($2,8 \pm 0,1$ kg) aos 90 minutos de exposição térmica, sob diferentes condições de estresse térmico agudo, o coeficiente de determinação obtido foi de 84,7%.

No estudo conduzido por Tavares & Schiassi (2016) para a predição o ganho de peso diário (GPD) de frangos de corte, o coeficiente de determinação foi de 56,67%.

O sistema de inferência *fuzzy* mostrou-se adequado para a predição do comportamento de frangos de corte, com idades entre 8 e 11 dias, submetidos a diferentes t_{ar} e DET. Esse sistema possui potencial para ser embarcado em um sistema de aquisição e de análise imagens em tempo real para o controle do aquecimento de granjas comerciais. Nessas condições, o animal atua como um biosensor.

As manifestações dos comportamentos de frangos de corte do 8° ao 11° dia de vida são ilustradas na Figura 6, por meio da combinação entre t_{ar} e DET. O aumento da PB deve-se à necessidade das aves sujeitas a condições térmicas inferiores a de conforto de consumir mais ração para aumentar a produção de calor. Consequentemente, o aumento do consumo

de ração implica no aumento do consumo de água que auxilia no processamento da ração de organismos da ave.

Ademais, observou-se aumento do comportamento de agrupamento das aves para t_{ar} abaixo daquela estabelecida como de conforto ($t_{ar}= 30^{\circ}\text{C}$). Esse resultado corrobora com os obtidos por Schiassi et.al. (2015).

4 Conclusões

O sistema de inferência *fuzzy* mostrou-se adequado para a predição do comportamento de frangos de corte (presenças no comedouro, bebedouro e em áreas intermediárias e, agrupamento) com idades variando de 8 a 11 dias em função da temperatura do ar e duração da exposição térmica.

5 Referências

Abreu, L. H. P., Yanagi Junior, T., Fassani, E. J., Campos, A. T., & Lourençoni, D. (2015). Fuzzy modeling of broiler performance, raised from 1 to 21 days, subject to heat stress. *Engenharia Agrícola*, 35, 967-978.

Amaral, A. G., Yanagi Junior, T., Lima, R. R., Teixeira, V. M. H., & Schiassi L. (2011). Efeito do ambiente de produção sobre frangos de corte sexados criados em galpão comercial. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63, 649-658.

Ayyub, B. M., & Klir, G. J. (2006). *Uncertainty modeling and analysis in engineering and the sciences*. (1ª Edição). Boca Raton: Chapman & Hall/CRC.

Barros, L. C., & Bassanezi, R. C. (2006). *Tópicos de Lógica Fuzzy e Biomatemática*. Campinas: IMECC-UNICAMP.

Bilobrovec, M., Marçal, R. F. M., & Kovaleski, J. L. (2004). Implementação de um sistema de controle inteligente utilizando a lógica fuzzy. In: 11st Simpósio de Engenharia de Produção, 2004 (pp.1-7).

Camastra, F., Ciaramella, A., Giovannelli, V., Lener, M., Rastelli, V., Staiano, A., Staiano, G., & Starace, A. (2015). A fuzzy decision system for genetically modified plant environmental risk assessment using Mamdani inference. *Expert Systems with Applications*, 42, 1710-1716.

Campos, A. T., Castro, J. D. O., Schiassi, L., Yanagi Junior, T., Pires, M. D. F. Á. E., & Mattioli, C. C. (2013). Prediction of free-stall occupancy rate in dairycattle barns through fuzzy sets. *Engenharia Agrícola*, 33, 1079-1089.

Chowdhury, V. S., Tomonaga, S., Nishimura, S., Tabata, S., & Furuse, M. (2012). Physiological and Behavioral Responses of Young Chicks to High Ambient Temperature. *Journal of Poultry Science*, 49, 212-218.

Cobb. Broiler Management Guide. Arkansas: Cobb-Vantress. (2008).

<http://67.43.0.82/docs/default-source/guides/cobb-broiler-management-guide---english.pdf?sfvrsn=8> Accessed 01.08.16.

Cony, A. V., & Zocche, A. T. (2004). Manejo de frangos de corte. In A. Mendes, I. de A. Nääs, & M. Macari (Eds.), *Produção de frangos de corte* (pp. 118-136). Campinas: Facta.

Cordeiro, M. B., Tinôco, I. F. F., Mesquita Filho, R. M., & Sousa, F. C. (2011). Análise de imagens digitais para a avaliação do comportamento de pintainhos de corte. *Engenharia Agrícola*, 31, 418-26.

Cornelissen, A. M. G., Berg, J. V. D., Koops, W. J., & Kaymak, U. (2002). Eliciting expert knowledge for *fuzzy* evaluation of agricultural production systems. *Report*, ERS-2002-108-LIS, 38.

Kocadağlı, O., & Keskin, R. (2015). A novel portfolio selection model based on fuzzy goal programming with different importance and priorities. *Expert Systems with Applications*, 42, 6898-6912.

Leite, M. S., Fileti, A. M. F., & Silva, F. V. (2010). Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso. *Revista Controle & Automação*, 21, 147-158.

Lima Junior, F., Carvalho, G., & Carpinetti, L. (2016). Uma metodologia baseada no modelo scor® e em inferência fuzzy para apoiar a avaliação de desempenho de fornecedores. *Gestão & Produção*, 3, 1-20.

Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller. *International Journal of Man-Machine Studies*, 7, 1-13.

Mattos, V. L. D. E., & Coelho, L. C. (2015). Propriedades de controladores fuzzy: um estudo de caso. *Scientia Plena*, 11, 1-7.

Medeiros, C. M., Baêta, F. C., Oliveira, R. F. M., Tinôco, I. F. F., Albino, L. F. T., & Cecon, P. R. (2005). Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. *Revista Engenharia na Agricultura*, 13, 277-286.

Mujahid, A. (2010). Acute cold-induced thermogenesis in neonatal chicks (*Gallus gallus*). *Comparative Biochemistry Physiology - Part A*. 156, 34-41.

Perissinotto, M., Moura, D. J., Cruz, V. F., Souza, S. R. L., Lima K. A. O., & 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. *Ciência Rural*, 39, 1492-1498.

Ponciano, P. F., Yanagi Junior, T., Schiassi, L., Campos, A. T., & Nascimento, J. W. B. (2012). Sistema fuzzy para predição do desempenho produtivo de frangos de corte de 1 a 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola*, 32, 446-458.

Rudnik, K., & Deptuła, A. (2015). System with probabilistic fuzzy knowledge base and parametric inference operators in risk assessment of innovative projects. *Expert Systems with Applications*, 42, 6365-6379.

Santos, G. C., Thomaz, P. S., Ribeiro, F., Araújo, J. F., & Mattos, V. L. D. (2014a). Influência do método de defuzzificação em mensurações com controladores *fuzzy*. *Blucher Marine Engineering Proceedings*, 1, 845-852.

Santos, M. P., Cattelan, J., Vaz, M. A. B., Feltrin, P. F., Klein, D. R., Leal, W. S., Oliveira, J. A., Pacheco, P. S., & Vale, M. M. (2014b). Prediction of hot carcass yield in beef cattle using *fuzzy* expert system/predição do rendimento de carcaça quente em bovinos de corte por sistema especialista *fuzzy*. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 8, 158-165.

Schiassi, L., Yanagi Junior, T., Ferreira, L., Damasceno, F. A., & Yanagi, S. N. M. (2008). Metodologia *fuzzy* aplicada à avaliação do aumento da temperatura corporal em frangos de corte. *Engenharia na Agricultura*, 16, 180-191.

Schiassi, L., Yanagi Junior, T., Damasceno, F. A., Saraz, J. A. O., & Amaral, A. G. (2014). Thermal-acoustic comfort index for workers of poultry houses using fuzzy modeling. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 4, 60-64.

Schiassi, L., Yanagi Junior, T., Reis, G. M., Abreu, L. H. P., Campos, A. T., & Castro, J. O. (2015). Modelagem *Fuzzy* aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, *19*, 140-146.

Sellitto, M. A. (2002). Inteligência Artificial: Uma Aplicação em uma Indústria de Processo Contínuo. *Gestão & Produção*, *9*, 363-376.

Silva, A., Miranda, R., & Marins, F. (2015). Um modelo fuzzy-dea-game para estratégias de produção sob incerteza. *Revista de Administração de Empresas*, *55*, 78-94.

Stefano, N. M., Casarotto Filho, N., & Barichello, R. (2015). Management of Electronic Journals using Fuzzy AHP Methodology. *IEEE Latin America Transactions*, *13*, 330-336.

Suganthi, L., Iniyar, S., & Samuel, A. (2015). Applications of fuzzy logic in renewable energy systems – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *48*, 585-607.

Tavares, G. F., & Schiassi, L. (2016). Modelagem fuzzy como ferramenta para predição do ganho de peso diário para frangos de corte. Modelagem fuzzy como ferramenta para predição do ganho de peso diário para frangos de corte. *Journal of Animal Behaviour and Biometeorology*, *4*, 32-38.

Torres-García, A. A., Reyes-García, C. A., Villaseñor-Pineda, L. E., &

García-Aguilar, G. (2016). Implementing a fuzzy inference system in a multi-objective EEG channel selection model for imagined speech classification. *Expert Systems with Applications*, 59, 1-12.

Tuytens, F., Heyndrickx, M., Boeck, M., Moreels, A., Nuffel, A. V., Poucke, E. V., Coillie, E. V., Dongen, S. V., & Lens, L. (2008). Broiler chicken health, welfare and fluctuating asymmetry in organic versus conventional production systems. *Livestock Production Science*, 113, 123-132.

Vesely, S., Klöckner, C., & Dohnal, M. (2016). Predicting recycling behaviour: Comparison of a linear regression model and a fuzzy logic model. *Waste Management*, 49, 530-536.

Yanagi Junior, T., Schiassi, L., Abreu, L. H. P., Barbosa, J. A., & Campos, A. T. (2012). Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. *Engenharia Agrícola*, 32, 423-434.

Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 18, 338-353.

Figuras

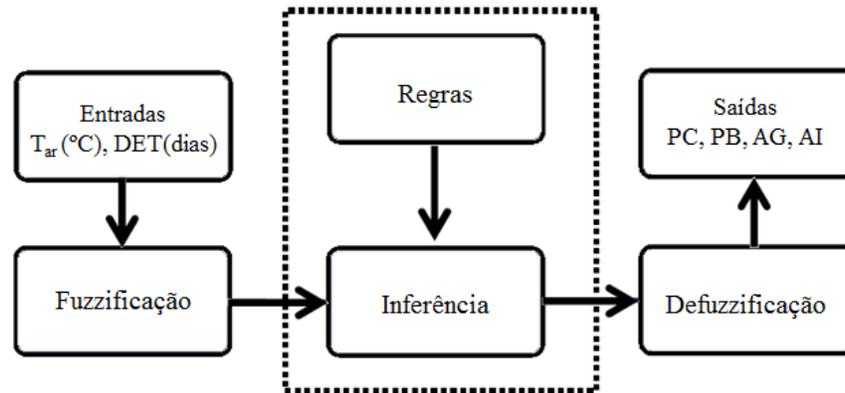


Figura 1. Estrutura do sistema de inferência *fuzzy*. t_{ar} : temperatura do ar e DET: duração da exposição térmica.

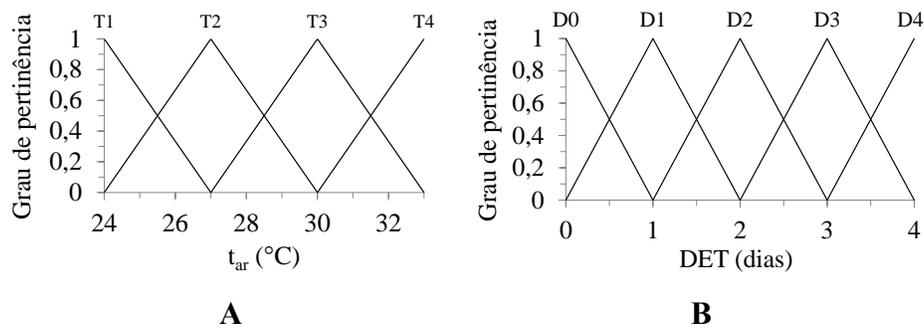


Figura 2. Curvas de pertinência das variáveis de entrada, (a) temperatura do ar (t_{ar}) e (b) duração da exposição térmica (DET).

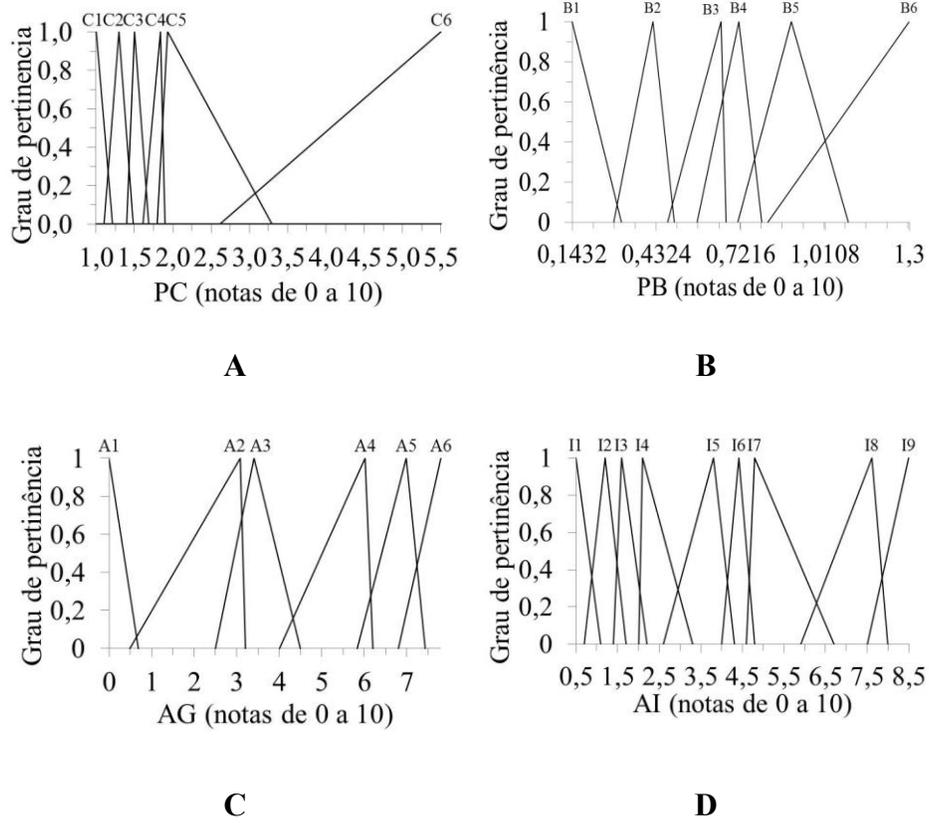
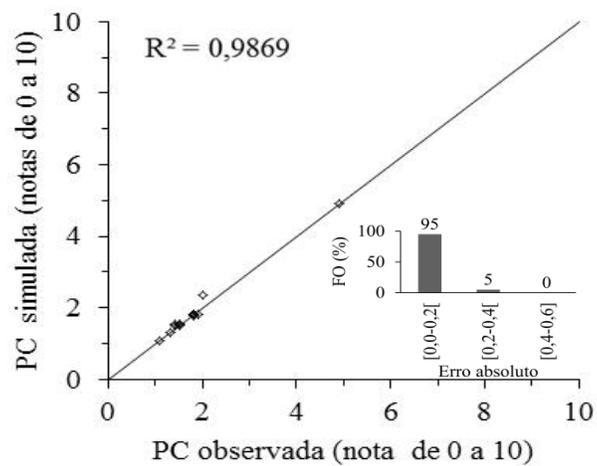
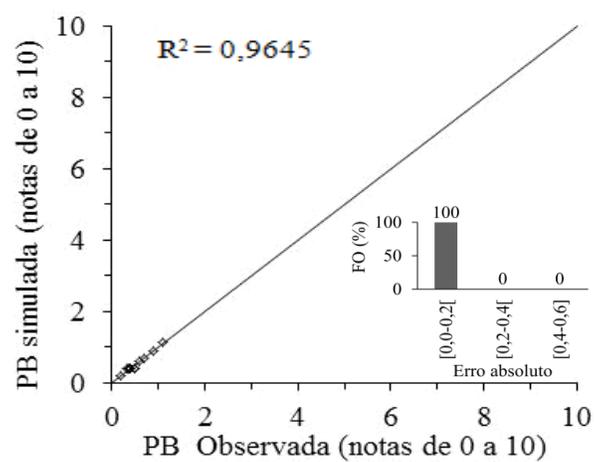


Figura 3. Curvas de pertinência das variáveis de saída, (a) presença no comedouro (PC), (b) presença no bebedouro (PB), (c) em agrupamento (AG) e (d) presença em áreas intermediárias (AI), expressas na forma de notas de 0 a 10.



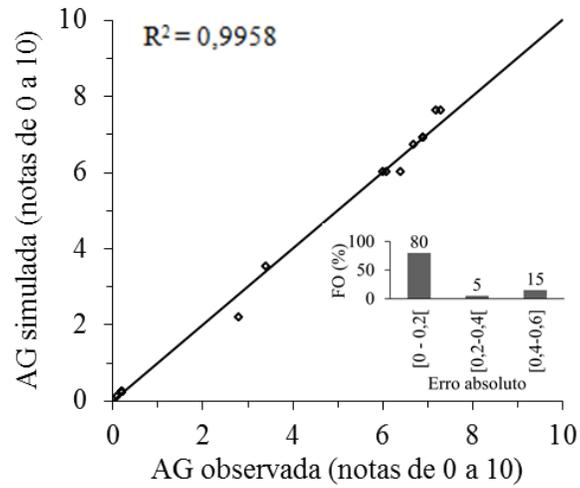
A



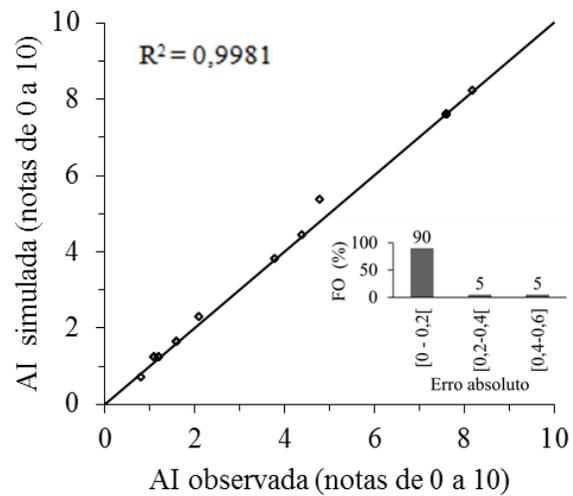
B

Figura 4. Relação funcional entre os valores simulados pelo sistema de inferência *fuzzy* e observados para as variáveis de saída (a) presença no

comedouro (PC), (b) presença no bebedouro (PB) e frequências de ocorrência (FO) de erros absolutos.



A



B

Figura 5. Relação funcional entre os valores simulados pelo sistema de inferência *fuzzy* e observados para as variáveis de saída (a) em agrupamento

(AG) e (b) presença em área intermediária (AI) e, frequências de ocorrência (FO) de erros absolutos.

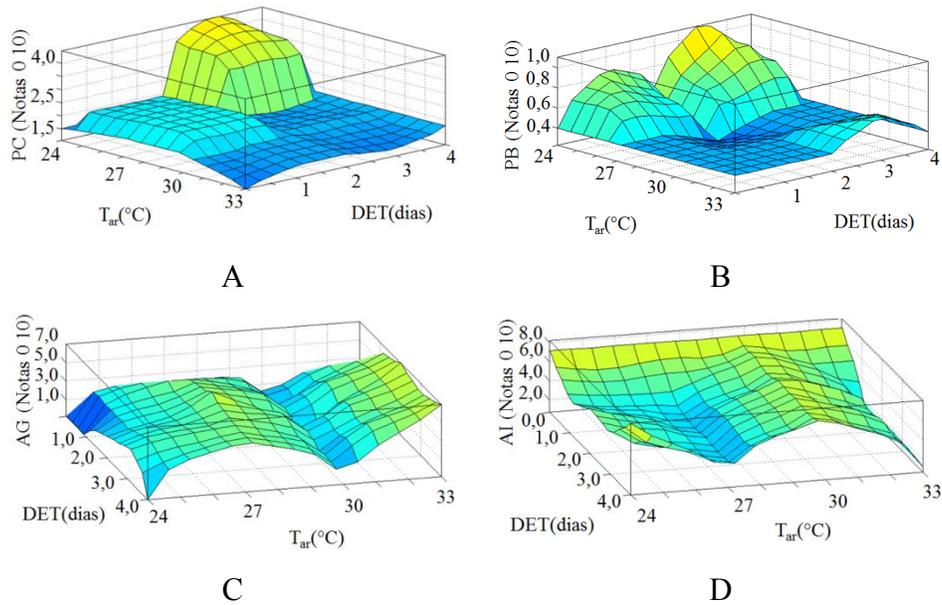


Figura 6. Simulação dos comportamentos de frangos de corte entre o 8° e 11° dia de vida, (a) presença no comedouros (PC), (b) presença no bebedouro (PB), (c) em agrupamento (AG) e (d) presença em áreas intermediárias (AI) em função da temperatura do ar (t_{ar}) e duração da exposição térmica (DET).