

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**POTENCIAL DE REDUÇÃO DE TEMPERATURA DO AR EM
AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE DURANTE
EXTREMOS DE CALOR**

TESE DE DOUTORADO

Maurício Portella dos Santos

**Santa Maria, RS, Brasil
2019**

**POTENCIAL DE REDUÇÃO DE TEMPERATURA DO AR EM
AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE DURANTE
EXTREMOS DE CALOR**

Maurício Portella dos Santos

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração Produção Animal, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor em Zootecnia.**

Orientador: Prof. Dr. Paulo Santana Pacheco

Coorientador: Prof. Dr. Marcos Martinez do Vale

**Santa Maria, RS, Brasil
2019**

Santos, Maurício

POTENCIAL DE REDUÇÃO DE TEMPERATURA DO AR EM AVIÁRIOS
DE FRANGOS DE CORTE DURANTE EXTREMOS DE CALOR / Maurício
Santos.- 2019.

71 p.; 30 cm

Orientador: Paulo Santana Pacheco

Coorientador: Marcos Martínez do Vale

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Zootecnia, RS, 2019

1. : Ambiência 2. Conforto Térmico 3. Estresse por
Calor 4. Risco 5. Vulnerabilidade I. Santana Pacheco,
Paulo II. Martínez do Vale, Marcos III. Título.

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

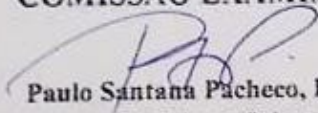
A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Tese de Doutorado

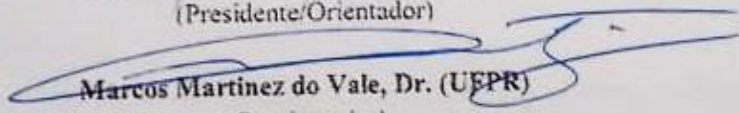
**POTENCIAL DE REDUÇÃO DE TEMPERATURA DO AR
EM AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE DURANTE
EXTREMOS DE CALOR**

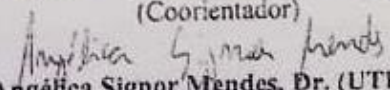
Elaborada por
Maurício Portella dos Santos

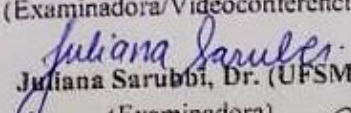
Como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Zootecnia

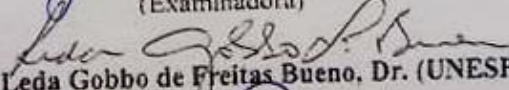
COMISSÃO EXAMINADORA:

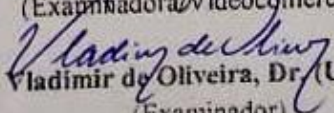

Paulo Santana Pacheco, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)


Marcos Martinez do Vale, Dr. (UEPR)
(Coorientador)


Angélica Signor Mendes, Dr. (UTFPR)
(Examinadora/Videoconferência)


Juliana Sarubbi, Dr. (UFSM)
(Examinadora)


Leda Gobbo de Freitas Bueno, Dr. (UNESP)
(Examinadora/Videoconferência)


Vladimir de Oliveira, Dr. (UFSM)
(Examinador)

Santa Maria, 25 de fevereiro de 2019

AGRADECIMENTOS

O fim de uma etapa é apenas o início de outra. E olha só! Aqui estou eu escrevendo mais uma página de agradecimentos. Graduação, mestrado e agora o doutorado, como sou grato a Deus por estas conquistas e pelas pessoas que estiveram ao meu lado. Muito além de um mérito individual, é uma conquista coletiva.

Agradeço a Universidade Federal de Santa Maria onde fui acolhido e estudei desde a graduação. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro do projeto.

Ao Programa de Pós-Graduação da Zootecnia e a todo quadro de professores que contribuíram para minha formação. Obrigado Marcos Gentil Mendes, pela parceria e pelo excelente trabalho na secretaria, que sempre me ajudou quando cheguei perdido por lá.

Ao prof. Paulo Santana Pacheco que aceitou e me acolheu no meio a tantas turbulências. Ao prof. Marcos Martinez do Vale e aos colegas do grupo de pesquisa Daniela Klein, Tatiane Branco, Jaime Augusto de Oliveira, João Paulo Aquino Santos e Paola Feltrin. Foi muito bom estar junto e ver a evolução de cada um e poder colher os frutos do nosso trabalho em equipe.

Agradeço aos meus amigos e a minha família por acreditarem em mim, por todo apoio e incentivo que tive. Obrigado Carmen, por ser minha companheira nestes quatro anos, por toda ajuda e compreensão.

Posso não saber para onde vou, mas sei de onde eu vim, e jamais me esquecerei daqueles que me ajudaram a chegar até aqui. A vocês dedico esta conquista.

OBRIGADO!

RESUMO

Tese de Doutorado
Programa de Pós-Graduação em Zootecnia
Universidade Federal de Santa Maria

POTENCIAL DE REDUÇÃO DE TEMPERATURA DO AR EM AVIÁRIOS DE FRANGOS DE CORTE DURANTE EXTREMOS DE CALOR

AUTOR: Maurício Portella dos Santos
ORIENTADOR: Paulo Santana Pacheco

Santa Maria, 25 de fevereiro de 2019

As condições climáticas representam um risco que pode impactar a produção de frangos de corte dependendo da vulnerabilidade das instalações e das aves. A eficiência dos sistemas de resfriamento evaporativo é limitada pelas condições meteorológicas externas que são previsíveis. A probabilidade de ocorrência de mudanças climáticas, ondas de calor e temperaturas mais elevadas nos próximos anos, representam maiores riscos para as regiões produtoras de frango de corte. Sistemas de suporte à previsão de eventos meteorológicos permitem a tomada de decisão e emissão de alertas aos produtores e integradoras de aves. Os resultados que fazem parte desta tese estão apresentados sob forma de artigos científicos. O primeiro artigo é uma revisão bibliográfica que caracteriza a vulnerabilidade das instalações e dos frangos de corte. O segundo artigo quantifica a eficiência de resfriamento evaporativo em aviários de frango de corte em dias de calor. O terceiro artigo prediz a vulnerabilidade de instalações de frangos de corte frente ao risco de extremos de calor criando um modelo *fuzzy* que possa ser utilizado em um sistema de alerta. Com previsões de mudanças climáticas e aumento na ocorrência de ondas de calor, as condições de criação de frango de corte podem enfrentar riscos ainda maiores dos que já enfrentados. As características construtivas influenciaram no conforto ambiental de frangos de corte em condições de calor. Em dias com temperaturas acima de 30 °C, os potenciais de redução de temperatura em sistemas de resfriamento evaporativo permitem atenuar o desconforto térmico, mas não garantem manter as temperaturas dentro da zona de conforto. O sistema *fuzzy* desenvolvido para a predição da vulnerabilidade do ambiente térmico de criação, pode auxiliar na tomada de decisão mitigatória e na construção de sistemas de alerta personalizados que indique qual grau de vulnerabilidade de aviário está sujeito a impacto em determinado evento de calor.

Palavras chave: Ambiência. Conforto Térmico. Estresse por Calor. Risco. Vulnerabilidade.

ABSTRACT

Doctoral Thesis

Graduate Program in Animal Science
Federal University of Santa Maria

TEMPERATURE REDUCTION POTENTIAL IN BROILER FACILITIES DURING HEAT EXTREMES

Author: Maurício Portella dos Santos

Advisor: Paulo Santana Pacheco

Santa Maria, February 25, 2019.

Climatic conditions mean a risk that may impact the production of broilers depending on the vulnerability of facilities and birds. The efficiency of evaporative cooling systems is limited by predictable external weather conditions. The probability of climate change, heat waves and high temperatures, in the coming years, resulting in greater risks to broiler producing regions. Decision support systems for predicting of weather events allow decision making and emit alerts to farmers and poultry integrations. The results found in this thesis are presented in scientific articles. The first article is a bibliographic review that seeks to characterize the vulnerability of facilities and broilers at high temperatures; the second article seeks to quantify the evaporative cooling efficiency in broiler facilities on hot days; the third article seeks to predict the vulnerability of broiler facilities to the risk of extreme heat creating a fuzzy model that can be used in an alert systems. With predictions of climate change and increase in heat waves, conditions for broilers farming may face greater risks. The constructive characteristics influence the broiler environmental comfort in hot conditions. On days with temperatures above 30 °C, the temperature reduction potential in evaporative cooling systems can attenuate the thermal discomfort but do not guarantee to maintain the temperatures inside the comfort zone. The fuzzy system developed for the prediction of the vulnerability of farming thermal environment can help in decision making for mitigation and construction of personalized alert systems which indicate the vulnerability degree from the facility in hot events.

Keywords: Ambience. Heat Stress. Risk. Thermal Comfort. Vulnerability.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	7
Artigo de revisão	9
VULNERABILIDADE DE FRANGOS DE CORTE E INSTALAÇÕES A EXTREMOS DE CALOR	9
RESUMO	10
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO	11
PREVISÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O RISCO DAS ONDAS DE CALOR.....	11
PREVISÃO METEOROLÓGICA	14
VULNERABILIDADE DOS FRANGOS DE CORTE.....	15
VULNERABILIDADE CLIMÁTICA DAS INSTALAÇÕES.....	17
RECURSOS PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E MITIGAÇÃO DE EXTREMOS DE CALOR.....	22
CONSIDERAÇÕES	24
AGRADECIMENTOS.....	25
REFERÊNCIAS	25
Artigo 2	33
EFICIÊNCIA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO EM AVIÁRIOS DE FRANGO DE CORTE EM DIAS DE CALOR	33
RESUMO:	34
ABSTRACT:	35
INTRODUÇÃO	35
MATERIAL E MÉTODOS.....	37
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
CONCLUSÕES	46
AGRADECIMENTOS.....	46
REFERÊNCIAS	46
Artigo 3	51
SISTEMA DE SUPORTE À CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE INSTALAÇÕES DE FRANGOS DE CORTE A EXTREMOS DE CALOR	51
RESUMO	52
ABSTRACT	52
INTRODUÇÃO	53
MATERIAL E MÉTODOS.....	54
Variáveis de entrada:.....	55
Variável de saída:.....	56
Inferência:.....	56
Validação:.....	58
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
CONCLUSÃO.....	66
AGRADECIMENTOS.....	66
REFERÊNCIAS	66
DISCUSSÃO GERAL	70
CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS	73

INTRODUÇÃO

A mudança climática é mais do que um risco, é um desafio para tomar medidas eficazes e desenvolver soluções para mitigar seus efeitos e adaptar-se às suas consequências inevitáveis (FAO, 2009). Os países precisarão realizar avaliações de impacto com base em avaliações abrangentes de riscos e oportunidades, benefícios e custos. A adaptação às alterações climáticas deve tornar-se uma parte integrante das estratégias para melhorar a preparação para desastres e desenvolvimento sustentável. Em locais de maiores vulnerabilidades é necessário investir em maior resiliência contra o risco de desastres causado por eventos climáticos extremos (FAO, 2009).

Modelos climáticos projetam diferenças em características climáticas regionais, dentre elas está, o aumento na temperatura média na maioria das terras e oceanos e extremos quentes nas regiões mais habitadas. O aumento médio da temperatura global é realidade, e o objetivo é limitá-lo a 1,5 grau Celsius acima dos níveis pré-industriais (1880-1900), até o ano de 2052 (IPCC, 2018). Entre os problemas do aquecimento global estão os impactos negativos na produção de alimentos. Com o aumento da população humana, atender à demanda atual de alimentos, em quantidade e qualidade suficientes, é desafiadora. O Brasil destaca-se neste cenário por ter grande potencial de produção de alimento sendo um dos maiores produtores e exportadores mundiais.

Entre as produções brasileiras do agronegócio, a carne de frango tem destaque. O Brasil é o maior exportador e o segundo maior produtor mundial de frango (ABPA, 2018a). A produção de carne de frango brasileira no ano de 2019 deverá totalizar 12,82 milhões de toneladas, volume 1,7% inferior às 13,05 milhões de toneladas produzidas no ano passado. As expectativas para o ano de 2019 são de aumento da produção devido a novas parcerias comerciais com outros países e a abertura de novas plantas de abate habilitadas à exportação (ABPA, 2018a). A produção de carne de frango está crescendo a nível mundial e há projeções de que deverá superar a produção de carne suína, tornando-se o tipo de carne mais produzido no mundo (OCDE/FAO, 2012).

Para o aumento de produtividade e expansão da avicultura serão necessárias novas tecnologias de produção e intensificação dos modelos atuais. As mudanças na temperatura média global e temperaturas extremas representam maiores riscos para as regiões produtoras de frango de corte (KNUTTI & SEDLÁČEK, 2013). As aves respondem negativamente ao aumento das temperaturas gerando perdas produtivas (PETRACCI, 2006; BOIAGO et al.,

2013; ALJUOBORI et al., 2016). O controle do ambiente em dias de condições fora da zona de conforto das aves, deve ser suprido pelos aviários (NASCIMENTO et al., 2014), porém, os aviários também possuem suas limitações e vulnerabilidades distintas diante de situações de risco.

O resfriamento evaporativo direto é o sistema mais utilizado na avicultura para o condicionamento térmico das instalações. Fazendo uso do processo físico de transferência de energia na mudança de estado físico da água, o processo de evaporação utiliza calor do ambiente reduzindo a temperatura do ar, alterando as relações psicrométricas com a aproximação da temperatura de bulbo seco (Tbs) à de bulbo úmido (Tbu). O potencial de redução da temperatura pode ser medido e utilizado como forma de comparação entre os sistemas (DAGTEKIN et al., 2009). Há modelos distintos de sistemas que fazem uso do resfriamento evaporativo nos aviários como sistemas de nebulização e placas evaporativas. A eficiência destes equipamentos e as condições dos aviários podem configurar vulnerabilidades distintas entre as instalações.

Este estudo tem como hipótese que o conhecimento da capacidade máxima para a redução de temperatura do ar em condições de extremos de calor frente a diferentes graus de vulnerabilidades individuais das aves alojadas e das instalações, possa gerar a base para o desenvolvimento de um sistema de alerta meteorológico para produtores de frangos de corte.

Os resultados que fazem parte desta tese estão apresentados sob a forma de artigos científicos. O primeiro artigo é uma revisão bibliográfica que caracteriza a vulnerabilidade de frangos de corte e instalações a extremos de calor; O segundo artigo quantificou a eficiência de resfriamento evaporativo em aviários de frango de corte em dias previstos como de calor e com aves de idade acima de 28 dias; O terceiro artigo propôs modelo de predição da vulnerabilidade de instalações de frangos de corte ao risco de extremos de calor criando um modelo *fuzzy* aplicável em um sistema de alerta meteorológico para frangos de corte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e apoio financeiro do projeto do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 483001/2013-9).

ARTIGO DE REVISÃO

**VULNERABILIDADE DE FRANGOS DE CORTE E INSTALAÇÕES A
EXTREMOS DE CALOR**

VULNERABILIDADE DE FRANGOS DE CORTE E INSTALAÇÕES A EXTREMOS DE CALOR

Vulnerability of broilers and facilities to extreme heat

**Maurício Portella Dos Santos; Paulo Santana Pacheco; Marcos Martinez do Vale;
Tatiane Branco; Daniela Klein; João Paulo Aquino Santos; Jaime Augusto de Oliveira.**

-REVISÃO BIBLIOGRÁFICA-

RESUMO

As mudanças climáticas globais aumentam a ocorrência de ondas de calor e eventos de temperaturas mais elevadas, representando maiores riscos para as regiões produtoras de frango de corte. A consequência dos riscos em uma determinada região depende de vulnerabilidades individuais das aves e das instalações que estão associadas à capacidade de resposta, propensão ou predisposição em ser ou não afetadas por um determinado evento. Diante das mesmas condições de risco, lotes de frangos de corte com suas respectivas idades e aviários possuem vulnerabilidades distintas que se somam. É possível modificar a vulnerabilidade das instalações com o uso de sistemas capazes de controlar as condições térmicas e também com estruturas que melhorem o isolamento térmico. Quanto mais próximo à idade de abate, mais vulnerável é um frango. O desenvolvimento e aplicação de ferramentas computacionais na zootecnia de precisão é uma alternativa para a melhoria do ambiente de produção. Esta revisão discute a vulnerabilidade das instalações e dos frangos de corte diante dos riscos de condições de temperaturas elevadas e mudanças climáticas.

Palavras-chave: Bem-estar. Conforto Térmico. Sistema de Suporte a Decisão (SSD).

ABSTRACT

Global climate change increases the occurrence of heatwaves and higher temperatures bringing great risks for the broiler producing regions. The consequence of risks in a region depends on individual vulnerabilities associated with responsiveness, propensity or predisposition to be or not affected. In view of the same risk conditions, broilers flocks, different ages, and facilities have distinct vulnerabilities that add to one another. It is possible

to modify the vulnerability of facilities using thermal control systems and thermal insulation constructive materials, however, when the broiler is closer to slaughter age, more vulnerable it is. The development and application of computational tools in precision livestock farming is an alternative for improving the production environment. This review discusses the vulnerability of facilities and broilers in face of the risks of high temperature conditions and climate change.

Keywords: Decision Support System (DSS). Thermal Comfort. Welfare.

INTRODUÇÃO

Os modelos de projeções climáticas indicam que a temperatura média global será mais elevada nos próximos anos (KNUTTI & SEDLÁČEK, 2013). Estas condições representam maiores riscos para as regiões produtoras de frango de corte devido a suas vulnerabilidades. As previsões meteorológicas podem auxiliar na criação de sistemas de alerta de riscos, mas a os danos em uma localidade depende das vulnerabilidades individuais das aves e das instalações.

A vulnerabilidade do sistema produtivo está associada à capacidade de resposta, à propensão ou predisposição para ser afetado negativamente. Diante das mesmas previsões de risco, como exemplo baixas ou altas temperaturas, consequências negativas dependerão das vulnerabilidades dos animais e das estruturas dos aviários.

O uso de sistemas capazes de controlar as condições térmicas, estruturas com melhores isolamentos são alternativas que devem ser estudadas para reduzir a vulnerabilidade das instalações. O desenvolvimento e aplicação de ferramentas computacionais na Zootecnia de Precisão é um caminho para o estudo dos ambientes como um todo e não o estudo de variáveis isoladas.

Esta revisão discute características que definem a vulnerabilidade de instalações e de frangos de corte diante dos riscos de condições de temperaturas elevadas.

PREVISÕES DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E O RISCO DAS ONDAS DE CALOR

Condições climáticas da região Sul:

O Brasil tem um grande território quando comparado a outros países do mundo e além disso, vários sistemas meteorológicos influenciam no clima local. Com o avanço tecnológico, recursos computacionais, capacidade de registro e armazenamento de dados e o número de estações meteorológicas distribuídas no território nacional, as possibilidades de gerar um estudo aprofundado e confiável sobre o clima específico do país foram facilitadas. A partir das definições de Köppen, Alvares et al., (2014) definiram um mapa climático para o Brasil com alta resolução em escala de hectares, permitindo destacar os diferentes climas em toda a paisagem nacional, com informações atualizadas e precisas (Figura 1).



Fonte: Alvares et al., 2014.

Figura 1: Classificação climática atualizada do Brasil.

A região Sul do Brasil que é a maior produtora de frangos de corte do país (ABPA, 2018). Possui duas classificações de climas, Cfa e Cfb. O clima Cfa ocorre em área contínua do Sudoeste de São Paulo até o Sul do Rio Grande do Sul, é caracterizado por ser um clima

subtropical úmido com estações bem definidas, sem estação de seca, precipitação bem distribuída durante o ano e verões com temperaturas maiores que 22 °C (ALVARES et al., 2014). Com menor área, o clima Cfb abrange as regiões mais frias do Brasil, ocorre em locais de maior altitude que criam condições de verão temperado com temperatura média no mês mais quente menores que 22 °C (ALVARES et al., 2014).

As condições climáticas da região Sul fazem parte dos fatores considerados para o estabelecimento da avicultura, considerando as necessidades de temperaturas mais baixas para o melhor desenvolvimento das aves.

Risco Climático:

O risco pode ser compreendido como a probabilidade de ocorrência de um evento e suas consequências negativas em uma localidade (UNISDR, 2009). O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) alerta para um aumento do risco de eventos climáticos extremos (IPCC, 2007; IPCC, 2012; WMO, 2013). A 10 anos atrás era comentado sobre o aquecimento global e as confirmações estão acontecendo. Os últimos cinco anos foram os mais quentes já registrados. O ano de 2018 foi o quarto ano mais quente, os recordes são de 2016, 2015 e 2017 (NASA/NOAA, 2019).

As mudanças climáticas afetam a criação de animais e produção vegetal (ASSAD et al., 2004). Entre estes eventos climáticos extremos está a ocorrência de ondas de calor.

Ondas de calor:

Ao pesquisar sobre ondas de calor, Smith et al. (2013) relatam que não há consenso sobre a definição de uma onda de calor, devido a diversidade de razões pelas quais elas são estudadas. Em sua pesquisa bibliográfica encontraram 16 métodos para chegar a definição de onda de calor.

O Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) define onda de calor como um período de tempo desconfortável e excessivamente quente. Pode durar vários dias ou várias semanas. O The Weather Channel, defini onda de calor quando a temperatura está acima de 32° C em pelo menos 10 estados e, pelo menos, cinco graus acima do normal durante pelo menos dois dias (INMET, 2005).

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) define onda de calor como sendo um período de tempo anormal e desconfortavelmente quente (IPCC, 2014). O

CPTEC/INPE define onda de calor como: período de tempo desconfortável e excessivamente quente que pode durar vários dias ou várias semanas (CPTEC, 2010). As definições anteriores citam os termos desconfortável, excessivamente quente, que não são medidas meteorológicas exatas e sim condições de conforto térmico que normalmente estão vinculadas ao conforto térmico de humanos.

O INMET incorporou o conceito do Weather Channel que usa critérios de temperaturas acima de 32° C, e na mesma definição comunica que devem ocorrer pelo menos, cinco graus acima da Normal Climatológica na área em questão. Entre as metodologias definidas, o uso dá temperatura de 32 °C para a caracterização das ondas de calor é recorrente.

Por mais que as ondas de calor sejam definidas para conforto térmico para humanos, devido a consideração da temperatura de 32 °C é possível estender o conceito para condições de estresse térmico para frangos de corte. As temperaturas acima de 32 °C estão associadas a condições de estresse por calor em frangos de corte, geralmente constadas em metodologias científicas como condição aguda de estresse (GU et al., 2012; BOIAGO et al., 2013; ALJUOBORI et al., 2016).

Apesar das ondas de calor serem definidas como vários dias com temperaturas elevadas, para frangos de corte um único dia de onda, um extremo de calor, é suficiente para desencadear alta mortalidade em aviários (VALE et al., 2010).

PREVISÃO METEOROLÓGICA

O uso de previsões meteorológicas precisas é útil para melhorar a produtividade, por permitir aplicação em sistemas de suporte à tomada de decisão (CARDOSO et al., 2010). Modelos indicam que a frequência e a intensidade de ondas de calor podem ser maiores devido ao aquecimento global (KOPPE et al., 2004), de modo que o desenvolvimento e utilização de modelos de previsão tornam-se ferramentas importantes para a emissão de alertas meteorológicos (PAPANASTASIOU et al., 2010).

Pode ocorrer variabilidade na previsão devido às características locais da superfície, como tipo de cobertura, orografia e proximidade a obstáculos (ACEVEDO & FITZJARRALD, 2003). O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) anuncia em seu glossário que atualmente as previsões de tempo são geradas para até 15 dias, com 98% de acerto para as 48 h, chegando a 70% com cinco dias.

Em Portugal, um sistema de alerta identifica ondas de calor com base na previsão das temperaturas máximas com três dias de antecedência constituindo uma ferramenta importante para os setores de saúde pública (MARTO, 2005).

A previsão do tempo permite a mensuração dos riscos meteorológicos para uma determinada localidade, mas as instalações e os animais estão sujeitos ao risco em maior ou menor grau de acordo com a vulnerabilidade. A vulnerabilidade abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos ou falta de capacidade para enfrentar ou se adaptar (IPCC, 2014).



Figura 2: O dano como resultado da interação entre risco e vulnerabilidade.

Quanto maior for a vulnerabilidade maiores serão as possibilidades de o risco gerar dano (Figura 2). Por maior que seja o risco o dano só ocorrerá aos indivíduos expostos a ele e com maiores vulnerabilidades para serem afetados (Figura 2). Um dos alertas do IPCC é para grupos de produtores com sistemas produtivos mais tradicionais podem ser os mais afetados por serem os de maiores vulnerabilidades, com menor capacidade de resposta e maior predisposição a serem afetados pelas mudanças climáticas (IPCC, 2007).

VULNERABILIDADE DOS FRANGOS DE CORTE

A vulnerabilidade às condições ambientais se altera no decorrer do ciclo de vida dos frangos e com as condições ambientais que estão expostos desde a fase embrionária. As aves nas primeiras semanas de vida são vulneráveis ao frio (CORDEIRO et al., 2010). Os valores de temperatura ambiente que proporcionam o maior ganho de peso para o período inicial de criação de frangos de corte são 31,3, 25,5 e 21,8 °C, respectivamente na primeira, segunda e terceira semana de vida dos animais (CASSUCE et al., 2016).

Após a primeira semana, frangos de corte apresentam aumentos graduais de perdas produtivas com o aumento da temperatura do ar (PETRACCI, 2006; BOIAGO et al., 2013; ALJUOBORI et al., 2016). As temperaturas de conforto recomendadas após os 28 dias de vida dos frangos estão entre 21 a 23 °C (COBB, 2008; ALJUOBORI et al., 2016). As aves criadas dos 15 dias até 42 dias de vida em temperaturas entre 32 e 33 °C apresentam o menor consumo de ração e menor ganho de peso quando comparadas às aves criadas em temperaturas entre 16 e 18 °C (BOIAGO et al., 2013).

Aves acima de 28 dias são as mais atingidas pelo estresse térmico (VALE et al., 2008; CHEPETE et al., 2005; MARCHINI, 2007; ABREU et al., 2012). Próximo aos 30 dias de idade o empenamento completo dificulta as trocas térmicas devido ao maior isolamento térmico e redução da capacidade de trocar calor (CANGAR et al., 2008; NÄÄS et al., 2010).

À medida que a ave ganha peso e produz calor, reduz a área superficial para troca de calor em relação à massa corporal (SALLVIK, 1999; CANGAR et al., 2008; NÄÄS et al., 2010; SANTOS et al., 2017). A melhoria no ganho de peso não foi associada ao crescimento de órgãos viscerais, sendo a provável consequência uma menor capacidade de lidar com temperaturas ambientais extremas (HAVENSTEIN et al., 2003).

Frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada apresentam aumento na frequência respiratória e na temperatura cloacal que pode resultar em alcalose respiratória, provocando piora de desempenho zootécnico (BORGES, 2003; MARCHINI et al, 2007). A extensão ou a intensidade do estresse pode originar respostas variáveis, efeitos e consequências distintas (BROSSI et al, 2009).

A eficiência do animal em perder calor latente diminui com o aumento da umidade relativa do ar independente da temperatura do ambiente (GENÇ & PORTIER, 2005). Exposições prolongadas fora da zona de conforto, com temperatura e umidade relativa do ar elevada, causam desequilíbrios fisiológicos e bioquímicos desencadeando um aumento da mortalidade das aves (PETRACCI, 2006). Condições ideais de umidade relativa do ar para as aves variam entre 60 e 70% (ABREU et al., 2011).

Algumas estratégias podem ser tomadas para minimizar a vulnerabilidade das aves ao estresse por calor. O condicionamento térmico durante a incubação pode melhorar a capacidade do frango para termotolerância pós-eclosão (MORAES et al, 2003; YAHAV et al., 2004; LOYAU et al, 2013). A manipulação térmica durante a embriogênese, quando o eixo tireoidiano e adrenal se desenvolve e amadurece, melhora a termotolerância de frangos de corte (PIESTUN et al, 2008). Entre o terceiro e o quinto dia de vida é possível induzir no organismo uma “memória fisiológica” através da exposição a temperaturas extremas (35 a 38°C) por cerca de 24 horas, que atua como um fator epigenético, para responder menos intensamente a novas exposições ao calor (NICHELMANN, 2004; NICHELMANN & TZSCHENTKE, 2002).

A idade das matrizes também desempenha um papel na habilidade de termorregulação dos frangos de corte (YALÇIN et al, 2005). Espécies que evoluíram naturalmente em ambientes com exposição a condições fora da zona de conforto térmico e linhagens com níveis de empenamento menores são menos vulneráveis às condições de estresse por calor devido ao desenvolvimento de fatores genéticos adaptativos (SILVA et al., 2001; FLEMING et al., 2017).

VULNERABILIDADE CLIMÁTICA DAS INSTALAÇÕES

O clima da região Sul apresenta temperaturas no verão, em média, superiores a 22 °C e podem ultrapassar os 32 °C, afetando o consumo de ração e o ganho de peso (BOIAGO et al., 2013). Dias com temperatura do ar entre 30 e 35 °C e umidade relativa de 90% representam um maior risco para as aves, pois a eficiência em perder calor latente diminui podendo ser nulas (GENÇ & PORTIER, 2005).

O controle do ambiente em dias de condições fora da zona de conforto das aves, deve ser suprido pelos aviários (NASCIMENTO et al., 2014). Mas, os aviários também possuem suas limitações e vulnerabilidades distintas diante de situações de risco.

A variação térmica enfrentada na região Sul do Brasil pode ser grande e as instalações devem ser projetadas para enfrentar riscos em dias com baixas e com altas temperaturas. O controle do conforto térmico nos aviários deve priorizar características estruturais que influenciam no isolamento térmico e nos sistemas de climatização. Ao longo dos anos, na medida em que o progresso tecnológico propiciou maior controle produtivo e galpões

climatizados, a avicultura industrial passou por mudanças significativas no ganho de produtividade (BELUSSO & HESPANHOL, 2010).

Há tendências no aumento de reforma dos aviários existentes com predomínio de galpões climatizados sendo o resfriamento evaporativo direto o mais utilizado para o controle da temperatura do ar de aviários (ABREU et al., 1999; CAMPOS et al., 2002; BELUSSO & HESPANHOL, 2010; HANAUER et al., 2018). Diferentes sistemas de resfriamento evaporativo direto são utilizados para a redução da temperatura do ar em aviários. De acordo com a eficiência no potencial de redução de temperatura do ar (PRT) podem ser configurados níveis distintos de vulnerabilidade das instalações (DAGTEKIN et al., 2009).

A diferença entre temperatura de bulbo úmido (T_{bu}) e temperatura de bulbo seco (T_{bs}) é definida como a depressão do bulbo úmido (DBU), equivalente ao potencial total (100%) de resfriamento evaporativo que pode ocorrer em um sistema físico (DAGTEKIN et al., 2009). O resfriamento evaporativo tem limites físicos e, para efeito prático, a capacidade de um sistema em reduzir a temperatura do ar é, em média, de 80% da depressão do termômetro de bulbo úmido (ABREU et al., 1999).

Como consequência da rápida introdução de tecnologias na modernização dos aviários e na tentativa de diferenciá-los, várias denominações de sistemas foram surgindo no setor (ABREU & ABREU, 2011). O aprimoramento dos aviários e o desenvolvimento de novas técnicas, ocasionou em um grande número de possibilidades construtivas. Apesar de não abranger toda gama de tipologias construtivas e suas regionalidades, as instalações podem ser classificadas com base no sistema de ventilação e de resfriamento evaporativo, devido ao grau de influência no ambiente interno do galpão.

Para efeito de vulnerabilidade das instalações para aves ao clima e do ponto de vista da climatização, os aviários podem ser classificados entre ambientes de alta vulnerabilidade com mínima capacidade de controle das variáveis térmicas do ambiente; instalações com algum grau de mitigação, agrupados como de média vulnerabilidade; e aviários mais tecnificados com baixa vulnerabilidade às condições climáticas externas ao galpão.

Aviários de alta vulnerabilidade:

São instalações que não possuem sistemas de resfriamento evaporativo, são incapazes de controlar artificialmente a redução da temperatura do ar e, com o uso de ventiladores em sistema de pressão positiva de ventilação, podem melhorar de forma limitada o conforto das aves. Este tipo de aviário é caracterizado pelo baixo grau de isolamento térmico, são

instalações abertas, com manejo de cortinas laterais (Figura 3). Estes aviários ainda são muito utilizados em algumas regiões (FURTADO et al., 2005; CRAVO, 2012). Permite boas condições de alojamento desde que as temperaturas externas estejam próximas da zona de conforto das aves (SANTOS et al., 2015). Alguns aviários de alta vulnerabilidade podem inclusive não disporem dos sistemas de ventilação mecânica.



Figura 3: Aviários (a e b) de alta vulnerabilidade, sem sistemas de resfriamento evaporativo, dotados de ventilação mecânica em pressão positiva.

Estes aviários resultam em uma alta vulnerabilidade ao risco da ocorrência de dias com temperaturas elevadas. Devido ao baixo isolamento térmico, conforme a temperatura do ar se eleva durante o dia, a temperatura do ar interna responde na mesma proporção, ou até mesmo acima, devido a influência do calor gerado pelas aves (ABREU et al., 2007). O mesmo ocorre no inverno, quando as temperaturas baixam, a temperatura interna também diminui (CORDEIRO et al., 2010).

A condição térmica no interior dos aviários é influenciada por características como localização geográfica, tipos de cobertura, pintura externa da cobertura, sombreamento arbóreo, forro no teto entre outros, tornando-as mais independentes das condições externas (ALVES et al., 2004; LIMA et al., 2009; SARMENTO et al., 2005). A combinação entre ventiladores axiais e nebulizadores em sistemas de ventilação mecânica positiva é uma alternativa para melhorar as condições internas (SARTOR et al., 2001; WELKER et al., 2008). Estas variações entre os aviários deste grupo resultam em uma vulnerabilidade alta ao clima, porém, ocorrendo em vários graus.

Aviários de média vulnerabilidade:

Os aviários de média vulnerabilidade também apresentam uma gama de variação sobre o sistema de ventilação mecânica, podendo variar entre os de pressão positiva até os de pressão negativa, sendo normalmente adaptações de aviários convencionais e com falhas de vedação.

Alternativas estruturais são insuficientes para manter a temperatura interna do aviário dentro da zona de conforto de acordo com as exigências das aves em muitos casos, principalmente em regiões quentes, sendo necessário promover o resfriamento do ar (ABREU, 1999). O resfriamento evaporativo pode propiciar conforto satisfatório em períodos quentes e, dependendo das condições climáticas da região, é possível diminuir da temperatura do ar dez ou mais graus Celsius (ABREU, 1999).

Um modelo de aviário com resfriamento evaporativo é o realizado por meio de acionamento de nebulizadores localizados nas entradas de ar. Os exaustores geram uma pressão negativa forçando o ar entrar em uma extremidade do aviário e sair na outra (Figura 4).



Figura 4: Aviários de média vulnerabilidade com sistema de resfriamento evaporativo por nebulização (a) e exaustão por ventilação mecânica de pressão negativa (b).

O acionamento dos nebulizadores ocorre com aspersão voltada da parte externa para a parte interna, havendo a entrada de ar externo, ocorrendo o resfriamento por evaporação da água adicionada à massa de ar ao entrar na área interna da instalação. Problemas como a vedação colaboram para a menor eficiência destes sistemas que podem não ser suficientes para evitar situação de desconforto térmico em horários mais quentes do dia (FURTADO et al., 2006).

Este grupo também apresenta diferentes graus da vulnerabilidade havendo incerteza na transição das classificações entre os grupos que podem ser denominados como conjuntos de classes. Esta incerteza entre as classificações dos conjuntos pode ser matematicamente modelada por intermédio da teoria dos conjuntos nebulosos (ZADEH, 1965).

Aviários de baixa vulnerabilidade:

Os aviários de baixa vulnerabilidade englobam os de ventilação mecânica por pressão negativa, dotados de placas evaporativas e apresentando igualmente diferentes graus de eficiência na climatização, dependente principalmente do isolamento e capacidade de vedação.

São aviários com controle da ventilação e acionamento de placas evaporativas para o resfriamento do ar. Nestes aviários, o ambiente interno é controlado por ventilação mecânica funcionando em exaustão e um sistema de resfriamento evaporativo realizado por placas de celulose, posicionadas na entrada de ar (Figura 5). Para que funcione com eficiência, existe a necessidade de que o aviário esteja bem isolado e vedado. Fatores como a estrutura e qualidade do material da placa, também podem influenciar na eficiência do resfriamento evaporativo (AL-SULAIMAN, 2002; ABREU & ABREU, 2011).



a



b

Figura 5: Aviários com placas de resfriamento evaporativo na entrada do ar (a) e sistema de ventilação mecânica com exaustores em extremidade oposta à entrada de ar (b).

A uniformidade das variáveis ambientais é mais eficiente em sistemas de pressão negativa (BUENO & ROSSI, 2006). Aviários do tipo *Darkhouse*, diminuem o desconforto

térmico e quando comparados aos sistemas convencionais, obtiveram menores percentuais de frangos mortos e melhores índices zootécnicos (OLIVEIRA & GAI, 2016; ANDREAZZI et al., 2018).

Estruturas de aviários de cortina dupla, parede lateral em alvenaria ou ainda com painéis isotérmicos, podem gerar vulnerabilidades distintas dentro do conjunto de baixa vulnerabilidade. Não foi proposta uma classe invulnerável, considerando que até mesmo os melhores sistemas de controle de temperatura podem não ser suficientes para manter condições ideais em dias com temperaturas externas elevadas (CURI et al., 2014).

O monitoramento eficiente do ambiente e o estudo da distribuição de variáveis ambientais no interior da instalação auxilia a tomada de decisão para controlar as perdas produtivas (NÓBREGA et al., 2011; CARVALHO et al., 2016). A otimização da coleta de variáveis ambientais deve ser mais detalhada e a aplicação de tecnologias como os sensores, banco de dados, modelos matemáticos e a geoestatística, contribuem para a adequação do ambiente de produção (CURI et al., 2014). As classificações propostas, estabelecidas com modelos *fuzzy*, podem ser uma ferramenta auxiliar em sistemas de alerta meteorológico, permitindo julgar a susceptibilidade de uma instalação ao evento meteorológico.

RECURSOS PARA AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE E MITIGAÇÃO DE EXTREMOS DE CALOR

A homogeneidade das variáveis ambientais em ambientes de produção de aves é fundamental para a interpretação da capacidade de atingimento do conforto de uma instalação. Os mapas de variabilidade espacial de dados revelam que a análise de um único ponto de medição deve ser feita com cautela, para que um valor sub ou superestimado não seja relatado como uma condição representante do fenômeno em estudo (MILES et al., 2008). A avaliação da vulnerabilidade nas instalações avícolas pode ser auxiliada com a técnica da geoestatística, permitindo modificar posicionamento de sensores de parâmetros ambientais e maximizar a tomada de decisões (CORKERY et al., 2013).

A geoestatística é uma ferramenta que permite a interpretação da variabilidade espaciais natural e o entendimento de fenômenos dentro das instalações avícolas permitindo estabelecer relações entre as variáveis internas e a sua distribuição espacial (MIRAGLIOTTA et al., 2006; NÄÄS, 2011; CARVALHO et al., 2012). A análise da variabilidade espacial e sua modelagem

permite visualização gráfica em mapas precisos (VIEIRA, 2000), permitindo estimar valores de pontos nos locais onde não foram coletados (GOOVAERTS, 1997).

A variabilidade espacial das características ambientais, dos galpões de frangos de corte é fator preponderante na tomada de decisões quanto ao manejo a ser utilizado (SILVA et al., 2013). Esta técnica de avaliação auxilia em tomada de decisões estratégicas nos sistemas de manejo adotados, principalmente a relação entre os fatores do ambiente produtivo e sua variação espacial, configurando uma ferramenta eficiente para avaliação da distribuição das condições ambientais nos aviários (YANAGI JUNIOR et al., 2011; CARVALHO et al., 2016).

A ambiência de frangos de corte envolve inúmeros fatores entre estes podem ser citados: condições climáticas (GOMES et al., 2011), dias com baixas temperaturas (CORDEIRO et al., 2010); altas temperaturas (BOIAGO et al., 2013; ALJUOBORI et al., 2016); umidade relativa do ar (GENÇ & PORTIER, 2005); qualidade do ar e concentração de amônia no interior dos aviários (CORKERY et al., 2013); tipologias construtivas, isolamento térmico e ventilação (CURI et al., 2014). As pesquisas focam em um ponto principal e discutem sobre ele, mas diariamente os produtores estão envolvidos com todas as variáveis citadas e necessitam tomar decisões de manejo para manter a ambiência nos aviários, de acordo com as suas disponibilidades de recursos. As inúmeras combinações e alternativas possíveis de materiais e características construtivas dos aviários ampliam o grau de incertezas sendo possível considerar cada instalação como única.

Trabalhar com todos os tipos de aviários possíveis aumentaria o grau de certeza nas classificações tipológicas, porém, demandaria maiores investimentos em pesquisa e tempo, dependendo das condições favoráveis para as coletas de dados como idade dos lotes, desafio ambiental, equipe de trabalho e disponibilidade de equipamentos. Porém, a medição de alguns aviários em condições de desafio, pode auxiliar nas classificações e no desenvolvimento de modelos decisórios baseados na teoria fuzzy de conjuntos.

A teoria de conjuntos fuzzy foi introduzida por Lotfi Zadeh, em 1965, como uma teoria matemática de conjuntos aplicada a conceitos difusos ou imprecisos, permitindo trabalhar com informações imprecisas e transformá-las em uma linguagem matemática de fácil interpretação. Uma vantagem desta modelagem é assumir valores transitórios de pertinência entre as variáveis de um conjunto, considerando pontos intermediários e, às vezes, pertencentes a mais de um grupo ou conjunto (ZADEH, 1965).

Através de modelagem matemática baseada no conhecimento intuitivo humano, é possível resolver problemas complexos e compostos por variáveis cuja informação contida é

incerta, de uma maneira organizada e com a máxima confiabilidade possível (JANÉ, 2004). Este sistema tem contribuído em diversas áreas de pesquisas agropecuárias (PANDORFI et al., 2007; PERISSINOTTO et al., 2009; FERREIRA et al., 2012).

Com o avanço de novas tecnologias, câmeras termográficas, filmadoras, microfones, celulares, registradores automáticos, estações meteorológicas automáticas, capacidade computacional, capacidade de armazenamento de dados entre outras, o aumento da capacidade de registro gerando grandes volumes de dados foi facilitado. As informações tratadas de forma individual não representam todo o sistema de produção e as interações entre os dados podem gerar novos conhecimentos aplicáveis (FROST et al., 1997). Ferramentas envolvendo sistemas especialistas, uma modalidade da inteligência artificial, vêm sendo utilizadas com a finalidade de reduzir perdas e melhorar o bem-estar no sistema produtivo zootécnico.

Um modelo MISO (Multiple Input and Single Output) na lógica fuzzy, permite a entrada de inúmeras variáveis que podem influenciar no ambiente e reúne a informação em um único valor de saída que pode ser, um sinal de alerta devido a condição de vulnerabilidade da instalação. Modelos fuzzy podem ser utilizados para auxiliar na detecção e prever condições de risco e gerar mecanismos de alerta e mitigação de impactos na produção (SILVA et al, 2011, VIEIRA et al, 2014). Através de combinações de variáveis de risco ou da probabilidade de um evento climático ocorrer, vulnerabilidade dos frangos e da instalação, é possível gerar um sistema de alerta específico para as condições reais dos aviários de frangos de corte.

Um sistema de alerta permite a antecipação de estratégias de manejo de alimentação e fornecimento de água, que podem diminuir o desafio e ampliar o conforto das aves. Mas, o investimento em sistemas que diminuam a vulnerabilidade das instalações é essencial pois em situações de temperaturas extremas e deficiências no sistema de climatização dificilmente essas medidas evitarão a morte dos frangos, no máximo, elas ajudarão a diminuir a mortalidade (ABREU e ABREU, 2011).

CONSIDERAÇÕES

A ocorrência de temperaturas elevadas é um problema para a produção de frangos de corte que pode ser agravado pelas ondas de calor. A intensidade que o calor afeta a produção é dependente de fatores associados às instalações e aos animais. É possível categorizar os aviários e as aves de acordo com a sua vulnerabilidade ao calor. A classificação das

instalações pode levar em consideração os sistemas e equipamentos para o controle de temperatura do ar. É possível agrupar um grande conjunto de variáveis usando programas computacionais com o objetivo de aprimorar a caracterização do ambiente de criação e sistemas de suporte a decisão.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e apoio financeiro do projeto do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 483001/2013-9).

REFERÊNCIAS

ABPA, Associação brasileira de proteína animal. Relatório anual, 2018. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/setores/avicultura/publicacoes/relatorios-anuais> acesso em: outubro de 2018

ABREU, P. G. et al. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 795–801, 2012.

ABREU, P. G., ABREU, V. M. N., & MAZZUCO, H. Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte. *Embrapa Suínos e Aves-Documentos (INFOTECA-E)*, 1999.

ABREU, P.G. et al. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007

ABREU, PG de; ABREU, VMN. Estresse calórico-como ocorre e o que fazer. *Produção Animal: Avicultura*, v. 4, n. 35, p. 24-25, 2010.

ABREU, V. M. N., & ABREU, P. G. D. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 256, p. 1-14, 2011.

ACEVEDO, O. C.; FITZJARRALD, D. R. In the core of the night - effects of intermitente mixing on a horizontally heterogeneous surface. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 106, p. 1-33, 2003.

ALJUOBORI, A. et al. Higher inclusion rate of canola meal under high ambient temperature for broiler chickens. *Poultry science*, v. 23, 2016.

- AL-SULAIMAN, F. Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. *Energy Conversion and Management*, v. 43, n. 16, p. 267-2273, 2002.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- ALVES, S. P.; RODRIGUES, E. H. V. Sombreamento arbóreo e orientação de instalações avícolas. *Engenharia Agrícola*, v. 24, n. 2, p. 241-245, 2004.
- ANDREAZZI, M. A. et al. Desempenho de frangos de corte criados em aviário convencional e dark-house. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 16, n. 1, 2018.
- ASSAD, E. D. et al. Impacto das mudanças climáticas no zoneamento agroclimático do café no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 39, n. 11, p. 1057-1064, 2004.
- BELUSSO, D.; HESPANHOL, A. N. A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais. *Revista Percurso*, v. 2, n. 1, p. 25-51, 2010.
- BOIAGO, M. M. et al. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.
- BORGES, S. A., MAIORKA, A., & SILVA, A. V. F. D. Fisiologia do estresse calórico e a utilização de eletrólitos em frangos de corte. *Ciência Rural*, v. 33, n. 5, p. 975-981, 2003.
- BROSSI, Camila et al. Estresse térmico durante o pré-abate em frangos de corte. *Ciência Rural*, v. 39, n. 4, p. 1284-1293, 2009.
- BUENO, L. G. F.; ROSSI, L. A. Comparação entre tecnologias de climatização para criação de frangos quanto a energia, ambiência e produtividade. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, p. 497-504, 2006.
- CAMPOS, A. T. et al. Estudo do potencial de redução da temperatura do ar por meio do sistema de resfriamento adiabático evaporativo na região de Maringá, Estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy*, v. 24, p. 1575-1581, 2002.
- CANGAR, Ö. et al. Quantification of the spatial distribution of surface temperatures of broilers. *Poultry Science*, v. 87, p. 2493-2499, 2008.
- CARDOSO A. O. et al. Extended time weather forecasts contributes to agricultural productivity estimates. *Theoretical and Applied Climatology*, 2010, v. 102, n. 3-4, p. 343-350, 2010.
- CARVALHO, T. M. R. C. et al. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, n. 1, p. 194-202, 2012.

CARVALHO, T. M. R. et al. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. *Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 6, 2016.

CASSUCE, D. C. et al. Atualização das temperaturas de conforto térmico para frangos de corte de até 21 dias de idade. *Engenharia Agrícola*, v. 33, n. 1, 2016.

CHEPETE, H.J.; CHIMBOMBI, E.M.; TSHEKO, R. Production performance and temperature humidity index of broilers reared in naturally ventilated houses in Botswana. *Botswana Journal of Agriculture and Applied Sciences*, v. 1, n. 1, p. 19-28, 2005.

COBB. Manual de manejo de frango de corte. Cobb vantress, 2008.

CORDEIRO, M. B. et al. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CORKERY, G. et al. Monitoring Environmental Parameters in Poultry Production Facilities. *Computer Aided Process Engineering*, v. 1, p. 1-10, 2013.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Teixeira, L; Tavares, A. P; Araújo M. Glossário. “Desenvolvimento de material de estudo dos princípios de meteorologia e meio ambiente para estudantes, professores e meios de comunicações”. Acesso em: out. 2018 Disponível em: <https://www.cptec.inpe.br/glossario.shtml#2>

CRAVO, J. C. M. et al. Caracterização tipológica de aviários em uma integradora do Estado de São Paulo. *Revista de Ciências Agrárias/Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v. 55, n. 2, p. 154-158, 2012.

CURI, T. M. R. C. et al. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 6, p. 1062-1074, 2014.

DAGTEKIN, M.; KARACA, C.; YILDIZ, Y. Performance characteristics of a pad evaporative cooling system in a broiler house in a Mediterranean climate. *Biosystems Engineering*, n. 103, p. 100-104, 2009.

FERREIRA, L. et al. Sistema fuzzy para a predição da temperatura cloacal de frangos de corte. *Ciência Rural*, v. 42 n. 1, 2012.

FLEMING D.S. et al. Genomic comparison of indigenous African and Northern European chickens reveals putative mechanisms of stress tolerance related to environmental selection pressure. *G3: Genes, Genomes, Genetics*, v. 7, n. 5, p. 1525-1537, 2017.

FROST, A. R. et al. A review of livestock monitoring and the need for integrated systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 17, p. 139-159, 1997.

FURTADO, D. A. et al. Caracterização das instalações avícolas na mesorregião do agreste paraibano. *Engenharia Agrícola*, n. 3, p. 831-840, 2005.

FURTADO, D. A. et al. Efeitos de diferentes sistemas de acondicionamento ambiente sobre o desempenho produtivo de frangos de corte. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 10, n. 2, p. 484-489, 2006.

GENÇ, L. & PORTIER, K. M. Sensible and Latent Heat Productions from Broilers in Laboratory Conditions. *Turkish Journal of Veterinary e Animal Sciences*, n. 29, p. 635-643, 2005.

GOMES, R. C. C. et al. Predição do índice de temperatura do globo negro e umidade e do impacto das variações climáticas em galpões avícolas climatizados. *Ciência Rural*, v. 41, n. 9, 2011.

GOOVAERTS, P. *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York: Oxford University Press, p. 476, 1997.

GU, X. H.; HAO, Y.; WANG, X. L. Overexpression of heat shock protein 70 and its relationship to intestine under acute heat stress in broilers: Intestinal oxidative stress. *Poultry Science*, v. 91, p. 790-799, 2012.

HANAUER, F. M. A.; FREITAS, E. S. Sistemas de resfriamento evaporativo em aviários de frango de corte. *Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária FAG*, v. 1, n. 1, 2018.

HAVENSTEIN, G. B.; FERKET, P. R.; QURESHI, M. A. Carcass composition and yield of 1957 versus 2001 broilers when fed representative 1957 and 2001 broiler diets. *Poultry Science*, n. 82, p.1509–1518, 2003.

INMET, INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA, BR. Glossário 2005. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/informacoes/glossario/glossario.html>. Acesso em: fev. de 2017.

IPCC - Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C. B. Field et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press/IPCC, 2014.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC Mudança do Clima 2007: A Base das Ciências Físicas: Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima. 25 p., 2007. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/pdf/reports-nonUN-translations/portuguese/ar4-wg1-spm.pdf>. Acesso em: jan. 2015.

IPCC - Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Special report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, p. 582, 2012.

JANÉ, D. A. Uma introdução ao estudo da lógica fuzzy. *Hórus – Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas*, n. 2, 2004.

KNUTTI, R. & SEDLÁČEK, J. Robustness and uncertainties in the new CMIP5 climate model projections. *Nature Climate Change*, v. 3, p. 369–373, 2013.

KOPPE, C. et al. Heat- -waves: risks and responses. In: Organização Mundial de Saúde, ed. Health and Global Environmental Change Series, Nº 2. Copenhaga: WHO Regional Office for Europe 2004.

LIMA, K. R. S. et al. Avaliação do ambiente térmico interno em galpões de frango de corte com diferentes materiais de cobertura na mesorregião metropolitana de Belém. Revista Ciência Agrária, n. 51, p. 37-50, 2009.

LOYAU, T. et al. A manipulação térmica do embrião modifica a fisiologia e a composição corporal de frangos de corte criados em cercados sem afetar a qualidade do processamento da carne. Journal of animal science, v. 91, n. 8, p. 3674-3685, 2013.

MARCHINI, C.F.P. et al. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. Archives of Veterinary Science, v. 12, n. 1, p. 41- 46, 2007.

MARCHINI, C. F. P. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. Archives of Veterinary Science, v. 12, n. 1, p. 41- 46, 2007

MARTO, N. Ondas de calor: Impacto sobre a saúde. Acta Médica Portuguesa, v. 18, n. 6, p. 467-474, 2005.

MILES, D.M.; ROWE, D. E.; OWENS, P. R. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: Temporal and spatial trends. Atmospheric environment, v. 42, n. 14, p. 3351-3363, 2008.

MIRAGLIOTTA, M.Y. et al. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. Scientia Agrícola, v. 63, n. 5, p.426-432, 2006.

MORAES, V. M. B. et al. Efeito do condicionamento térmico durante o desenvolvimento embrionário em aspectos de respostas fisiológicas de frangos de corte ao estresse térmico. Journal of Thermal Biology, v. 28, n. 2, p. 133-140, 2003.

NÄÄS, I, A. Uso de técnicas de precisão na produção animal. Revista Brasileira de Zootecnia, v. 40, p. 258-364, 2011.

NÄÄS, I. de A. et al. Broiler surface temperature distribution of 42 day old chickens. Scientia Agrícola, v. 67, p. 497-502, 2010.

NASCIMENTO, G. R. et al. Termografia infravermelho na estimativa de conforto térmico de frangos de corte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 6, p. 658-663, 2014.

NICHELMANN M. & TZSCHENTKE B. Ontogeny of thermoregulation in precocial birds. Comparative Biochemistry and Physiology, v. 131, p. 751–763, 2002.

NICHELMANN M. Perinatal epigenetic temperature adaptation in avian species: comparison of turkey and Muscovy duck. Journal of Thermal Biology, v. 29, p. 613–619, 2004.

- NÓBREGA, G. H. et al. A produção animal sobre a influência do ambiente nas condições do semiárido nordestino. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, v. 6, p. 67-73, 2011.
- OLIVEIRA, L. P.; GAI, V.F. Desempenho de frango de corte em aviários Convencional e aviários DarkHouse. *Revista Cultivando o Saber*, v. 9, p. 93 – 101. 2016.
- PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, p. 83-92, 2007.
- PAPANASTASIOU, D. K.; MELAS, D.; LISSARIDIS, I. Study of wind field under sea breeze conditions; an application of WRF model. *Atmospheric Research*, v. 98, n. 1, p. 102-117, 2010.
- PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Ciência Rural*, v. 39, n. 5, p.1492-1498, 2009.
- PETRACCI, M. et al. Preslaughter mortality in broiler chickens, turkeys and spent hens under commercial slaughtering. *Poultry Science*, v. 85, p.1660-1664, 2006.
- PIESTUN, Y. et al. Manipulações térmicas durante a embriogênese de frangos de corte: efeito na aquisição de termotolerância. *Avicultura*, v. 87, n. 8, p. 1516-1525, 2008.
- SALLVIK, K. Animal Environment Requirements. In: *CIGR Handbook of Agricultural Engineering – Animal Production e Aquacultural Engineering*. ASAE Publisher, p.31-41, 1999.
- SANTOS, M. P. et al. Heat stress in broilers and the need of climatization systems. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, v. 11, n. 3, p. 265-272, 2017.
- SANTOS, P. A. et al. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. *Ceres*, v. 56, n. 2, 2015.
- SARMENTO, L. G. V. et al. Efeito da pintura externa do telhado sobre o ambiente climático e o desempenho de frangos de corte. *Agropecuária Técnica*, v. 26, n. 2, p. 117-122, 2005.
- SARTOR, V. et al. Sistemas de resfriamento evaporativo e o desempenho de frangos de corte. *Scientia Agrícola*, v. 58, n. 1, p. 17-20, 2001.
- SILVA, E. G. et al. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. *Rev. Bras. Saúde Prod. Anim.*, Salvador, v. 14, n. 1, p. 132-141, 2013.
- SILVA, M. A. et al. Previsão do risco de escorregamentos de taludes a partir de um modelo fuzzy. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, v. 27, n. 1, p. 59-75, 2011.
- SILVA, M. et al. Resistência ao Estresse Calórico em Frangos de Corte de Pescoço Pelado. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 3, n. 1, 2001.

SMITH, T. T.; ZAITCHIK, B. F.; GOHLKE, J. M. Heat waves in the United States: definitions, patterns and trends. *Climatic change*, v. 118, n. 3-4, p. 811-825, 2013.

UNISDR – UNITED NATIONS OFFICE FOR DISASTER RISK REDUCTION. *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction: Risk and poverty in a changing climate*. Geneva, Switzerland: UNISDR, 2009.

VALE, M. M. et al. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *Scientia Agricola*, v. 65, n. 3, p. 223-229, 2008.

VALE, M.M.et al. Heat waves characterization with impact over broilers mortality rates between 29 days old at the slaughter. *Brazilian Journal of Poultry Science*, v. 12, p. 279-285, 2010.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R (Eds.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-53, 2000.

VIEIRA, S. O. et al. Método fuzzy na classificação da zona de convergências do atlântico sul no sul da Amazônia. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 29, n. 4, 2014.

WELKER, J. S. et al. Temperatura corporal de frangos de corte em diferentes sistemas de climatização. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, p. 1463-1467, 2008.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. *The Global Climate: 2001–2010 a Decade of Climate Extremes*. Geneva: Switzerland, n. 1103, 2013.

YAHAV, S., A. COLLIN, D. SHINDER, AND M. PICARD. Thermal manipulations during broiler chick embryogenesis: Effect of timing and temperature. *Poultry Science*, v. 83, p. 1959–1963, 2004.

YALÇIN, S. et al. Pre-and postnatal conditioning induced thermotolerance on body weight, physiological responses and relative asymmetry of broilers originating from young and old breeder flocks. *Poultry Science*, v. 84, n. 6, p. 967, 2005.

YANAGI JUNIOR, T. et al. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 31, n. 1, p. 1-12, 2011.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338—353, 1965.

ARTIGO 2

**EFICIÊNCIA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO EM AVIÁRIOS
DE FRANGO DE CORTE EM DIAS DE CALOR**

**EFICIÊNCIA DE RESFRIAMENTO EVAPORATIVO EM AVIÁRIOS DE FRANGO
DE CORTE EM DIAS DE CALOR**

**EFFICIENCY OF EVAPORATIVE COOLING IN THE BROILERS FACILITIES IN HEAT
DAYS**

**Maurício Portella Dos Santos; Paulo Santana Pacheco; Marcos Martinez do Vale;
Tatiane Branco; Daniela Klein; João Paulo Aquino Santos; Jaime Augusto de Oliveira.**

RESUMO:

As condições climáticas representam um risco que pode impactar a produção de frangos de corte dependendo da vulnerabilidade das instalações e das aves. A eficiência dos sistemas de resfriamento evaporativo é limitada pelas condições meteorológicas externas que são previsíveis. O objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de redução de temperatura (PRT) em aviários de frangos de corte orientados por previsões meteorológicas. O PRT foi calculado obtendo a percentagem da redução de temperatura do ar externo em relação a depressão de bulbo úmido. Aviários comerciais de frangos de corte foram monitorados e avaliados para a eficiência de redução da temperatura e da vulnerabilidade das instalações em dias com temperaturas superiores a 30 °C. A dependência espacial e a variabilidade da condição térmica no interior dos aviários foram analisadas por meio da geoestatística. A média do PRT nos aviários com uso do resfriamento evaporativo na entrada de ar foram entre 80,7 (aspersão) e 81,6% (Placa). O aviário convencional do tipo túnel teve uma redução máxima de 33,93%, as condições internas foram prejudicadas por problemas de isolamento e a falta do resfriamento evaporativo na entrada de ar. Na mesma condição de risco meteorológico externo, a instalação com mais vulnerabilidade foi a convencional apresentando um PRT de 1,87%. A distribuição espacial das variáveis não foi homogênea, resultando de problemas no isolamento, que interferem no PRT e criam áreas de maior risco de estresse térmico no aviário. Para as tipologias dos aviários estudados com aves acima de 28 dias de idade alojadas, o resfriamento evaporativo permitiu o enfrentamento de condições de temperaturas elevadas diminuindo a vulnerabilidade das instalações, mas não garantiu a manutenção das temperaturas dentro da zona de conforto das aves em dias com temperaturas acima de 30 °C.

Palavras chave: Ambiência. Geoestatística. Mudanças Climáticas. Risco. vulnerabilidade

ABSTRACT:

Climatic conditions mean a risk that can affect the broilers production depending on the vulnerability of facilities and poultry. The limitations in the efficiency of evaporative cooling systems is guided by the external weather conditions. The objective of this work was to evaluate the temperature reduction potential (TRP) in broiler facilities oriented by meteorological forecasts. The TRP was calculated obtaining the percentage of external air temperature reduction as a function of wet bulb depression. Commercial broiler facilities were monitored and evaluated for the efficiency of Temperature reduction and construction vulnerability in days with temperatures above 30 °C. The spatial dependence and the variability of the thermal condition inside the facilities were analyzed through geostatistics. The average TRP in facilities using evaporative cooling at the air inlet was between 80.7% (sprinkler system) and 82.6% (cooling panels). The conventional tunnel-type facility had 33.93% of reduction and, internal conditions were impaired by insulation problems and the lack of evaporative cooling at the air inlet. In the same condition of meteorological risk, the facility with more vulnerability was the conventional presenting a TRP of 1.87%. The spatial distribution of the variables was not homogeneous, resulting from insulation problems, which interfere in the TRP and create areas with more thermal stress risk. For the studied facility typologies for broilers over 28 days of age, the evaporative cooling allowed mitigate high temperature conditions reducing the vulnerability of the facilities, but did not guarantee temperatures inside the comfort zone in days with temperatures above 30 °C.

Keywords: Ambience. Climate Change. Geostatistics. Poultry. Risk. Vulnerability.

INTRODUÇÃO

As condições climáticas locais são impactantes na produção e economicidade da criação de frangos de corte. Modelos climáticos projetam diferenças em características regionais que incluem aumentos de temperatura média na maioria das terras e oceanos e extremos quentes nas regiões mais habitadas (IPCC, 2018). Semelhante a outras atividades humanas, a produção de frangos está exposta a riscos que dependem da taxa de aquecimento, localização geográfica, níveis de desenvolvimento e vulnerabilidade (IPCC, 2018).

A vulnerabilidade climática abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo a sensibilidade ou suscetibilidade a danos ou falta de capacidade para enfrentar ou se adaptar aos eventos climáticos (IPCC, 2014). Tendo em vista os alertas do IPCC em função de diferentes cenários climáticos, as condições de adaptação da avicultura podem ser variáveis apresentando diferentes vulnerabilidades (IPCC, 2007, 2012; WMO, 2013).

O risco de exposição ao estresse por calor em frangos de corte tem exigido melhores eficiências nos aviários para manter suas condições de conforto térmico (MENDONÇA, 2006). As melhoras na produtividade dos frangos de corte a partir da seleção genética tornaram as aves mais vulneráveis ao estresse por calor (ZUIDHOF et al., 2014), principalmente os frangos de corte em idade superior a 28 dias, necessitando maiores controles no sistema de climatização dos aviários (VALE et al., 2008; CHEPETE et al., 2005; MARCHINI, 2007; ABREU et al., 2012; CASSUCE et al., 2013; COUMOU, et al 2013).

Os investimentos em tecnologia nas instalações de frango de corte permitem exercer interferência no ambiente de criação e sobre a produtividade animal (NAZARENO et al., 2009; MOURA et al., 2010). Para atingir bons índices zootécnicos na produção de frangos de corte, os sistemas de arrefecimento são cada vez mais necessários e estão em constante aprimoramento. As temperaturas de conforto recomendadas após os 28 dias de vida dos frangos estão entre 21 a 23 °C e umidade relativa do ar variam entre 60 e 70% (ABREU et al., 2011; ALJUOBORI et al., 2016). Diferentes sistemas de resfriamento evaporativo são utilizados para a redução da temperatura interna do ar em aviários, aproximando a temperatura do ar seco à temperatura de bulbo úmido, obtendo níveis distintos de eficiência para a redução da vulnerabilidade das instalações.

Uma das formas de medir a eficiência do sistema de resfriamento evaporativo pode ser através do potencial de redução da temperatura do ar (PRT), a qual consiste na relação entre a temperatura e a umidade relativa do ar, no processo de evaporação da água (DAGTEKIN, et al., 2009). Ao classificar os aviários de acordo com sua tipologia construtiva e avaliando a eficiência dos sistemas de resfriamento evaporativo, é possível quantificar a eficiência percentual de redução da temperatura do ar e modelar a resposta térmica dos galpões em função das temperaturas externas. Esta mensuração pode auxiliar na implantação e na melhoria das instalações para a mitigação de perdas produtivas e desenvolver sistemas de alerta para extremos de calor baseados em previsões meteorológicas.

O estudo da distribuição das condições ambientais no interior da instalação por meio da geoestatística, possibilita avaliar o grau de homogeneidade frente às diferentes condições

climáticas, verificar a eficiência de sistemas de climatização e permite a compreensão de algumas relações entre variáveis aéreas e térmicas e a sua variabilidade espacial (MIRAGLIOTTA et al. 2006; CARVALHO et al., 2016). Avaliar a homogeneidade dos fatores climáticos no interior do aviário é uma forma de assegurar a qualidade do manejo térmico e aéreo (BOURNET & BOULARD, 2010; CURI et al. 2014). O objetivo deste trabalho foi avaliar a vulnerabilidade de diferentes tipologias de aviários de frangos de corte em dias com temperaturas externas potencialmente estressoras.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi realizado em quatro aviários de frango de corte localizados nos Estados do Rio Grande do Sul e Paraná considerados vulneráveis, em período de temperatura externa superior a 30 °C. Foram coletados dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar externa e internamente aos galpões, a fim de calcular o potencial de redução da temperatura do ar (PRT) e a distribuição de variáveis ambientais no interior das instalações. Os aviários possuíam orientação Leste-Oeste, cama com reutilização de maravalha e frangos da linhagem Cobb[®] com idade superior a 28 dias.

Os aviários deste estudo foram classificados de acordo com o sistema de ventilação e resfriamento evaporativo (Figura 1), sendo:

a) Placa evaporativa: aviário *Dark House* com sistema de ventilação mecânica do tipo túnel de pressão negativa com 9 exaustores, isolamento lateral por cortinas, dimensão de 16x124x3 m, sistema de resfriamento com placa evaporativa de celulose, aves com idade de 35 dias, densidade de 13 aves m⁻²;

b) Aspersão: aviário *Blue House* com sistema de ventilação mecânica do tipo túnel de pressão negativa com 7 exaustores, com isolamento lateral por cortinas, sendo o sistema de resfriamento do tipo aspersão-pad na entrada de ar e com o uso de tela sombrite de 15x2,80m de malha 50% de retenção de luz ao invés de placa evaporativa, equipada com 20 aspersores de baixa pressão nas duas laterais, dimensão de 12x120x3 m, frangos com 28 dias de idade e densidade de 18,0 aves m⁻²;

c) Nebulização: aviário *Blue House* com sistema de ventilação mecânica do tipo túnel de pressão negativa com 8 exaustores, isolamento lateral por cortinas, sem sistema de resfriamento para entrada de ar equipado com nebulizadores de baixa pressão no seu interior, dimensão de 14x100x3m, aves de 35 dias de idade e densidade de 14,5 aves m⁻²;

d) Ventilação: aviário convencional com sistema de ventilação mecânica do tipo de pressão positiva equipado com 10 ventiladores axiais em duas linhas longitudinais, manejo de cortinas, desprovido de sistema de resfriamento evaporativo para entrada de ar, dimensão de 14x90x3m, idade das aves de 36 dias e densidade de 11 aves m⁻².

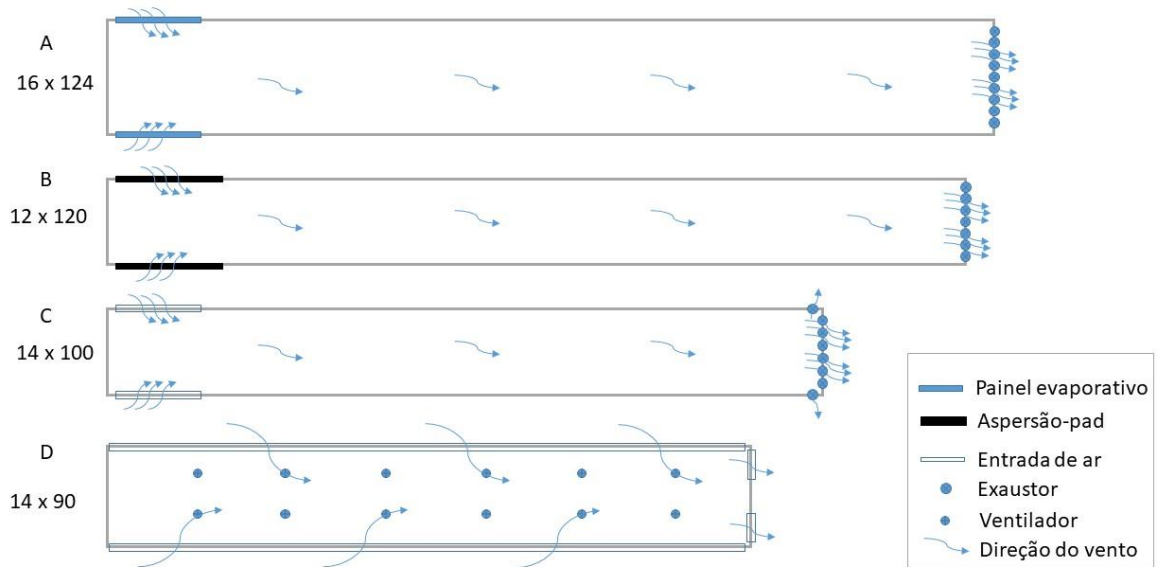


Figura 1: Aviários com sistemas de resfriamento evaporativo, com placa evaporativa de celulose (a) e, do tipo aspersão em sombrite (b); aviário sem sistema de resfriamento para entrada de ar e equipado com nebulizadores no seu interior (c), e; aviário com sistema de ventilação mecânica desprovido de resfriamento evaporativo (d).

Os dias para as coletas das variáveis ambientais foram orientadas pelas previsões meteorológicas da temperatura máxima do dia, disponíveis na rede mundial de computadores pelo Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil - INMET, para que as coletas fossem realizadas em dias com temperaturas superiores a 30 °C. A condição de clima foi combinada com a da idade mínima do lote de frangos ser maior que 28 dias, condições de alto risco de estresse térmico e potencialmente a máxima capacidade de arrefecimento de cada instalação.

As variáveis registradas foram temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), registradas por meio de *Dataloggers (Instrutherm HT-500)*, entre 13h:00min e 15h:00min, período previsto para a ocorrência da máxima temperatura do dia e expectativa do momento

de valor máximo, entre 12h00min e 14h00min (FIORELLI et al., 2012; ALMEIDA & PASSANI, 2013; MELO et al., 2014); com registros dos dados a cada 10 min.

Os *dataloggers* foram instalados em tripés protegidos por difusores de radiação direta sendo, um em ponto externo, afastado da instalação e livre de interferência de radiação refletida; e outros dois em pontos internos localizados nas entradas de ar dos aviários. Para avaliar a eficiência do sistema de resfriamento de cada aviário, o potencial de redução de temperatura do ar (PRT) foi calculado através da equação 1 (DAGTEKIN et al. 2009). O Valor de PRT foi calculado da mesma forma para o aviário sem resfriamento evaporativo.

$$PRT = (T_{bse} - T_{bsi}) / (T_{bse} - T_{bue}) \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

PRT - potencial de redução da temperatura do ar entre o ar externo e interno de aviários de frangos de corte; T_{bse} - temperatura de bulbo seco que entra na placa; T_{bsi} - temperatura de bulbo seco que sai da placa; T_{bue} - temperatura de bulbo úmido que entra.

Os pontos de coleta para a análise de geoestatística foram distribuídos em 3 pontos equidistantes, de acordo com a largura dos aviários, e a cada 6 m no comprimento do aviário, com o uso de *datalogger* registrador de temperatura e umidade relativa do ar, sendo calculadas as temperaturas de bulbo úmido para cada ponto, conforme metodologia proposta por Stull (2011).

Foi realizada a correção numérica para os dados de temperatura a partir da adaptação da metodologia proposta por Gabriel Filho et al. (2011), com o intuito de corrigir a defasagem de tempo entre a coleta do primeiro e último ponto, em decorrência da coleta manual dos dados. A dependência espacial foi analisada por meio de ajustes de semivariogramas (VIEIRA, 2000) conforme equação abaixo, para cada uma das variáveis medidas.

$$\gamma^*(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(\mathbf{h})} [Z(\mathbf{x}_i) - Z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})]^2 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

$N(\mathbf{h})$ é o número de pares experimentais; $z(\mathbf{x}_i)$ e $z(\mathbf{x}_i + \mathbf{h})$ observações separados por uma distância h (m).

Os dados foram analisados utilizando o software GS+ (ROBERTSON, 1998) para verificar a dependência espacial e variabilidade da condição térmica no interior dos aviários. Para elaboração dos mapas de distribuição espacial das variáveis foi utilizado o programa Surfer (Golden Software, 2009).

Para análise das possíveis diferenças entre as variáveis foi utilizado o teste de análise de variância (ANOVA), seguida do teste de Tukey-Kramer com o nível de significância estatística de 5% ($P < 0,05$). As análises foram realizadas utilizando o Statistical Analysis System (SAS).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As temperaturas máximas registradas no local dos aviários (Tabela 1) foram superiores às previstas para o dia da coleta (entre 32 e 33 °C). O aviário com sistema de climatização ‘Nebulização’ obteve uma diferença de 4 °C acima da temperatura externa prevista para o dia. Para a temperatura do ar e a umidade relativa do ar externa, sistemas de climatização ‘Placa’ e ‘Ventilação’ não se diferiram estatisticamente. O conforto térmico para frangos de corte, nestes aviários, estava fora da zona de conforto térmico (NASCIMENTO et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2006; BORGES et al., 2003).

Tabela 1- Temperaturas máximas previstas (T_{maxp}) e médias das temperaturas de bulbo seco (T_{bs}), bulbo úmido (T_{bu}) e umidade relativa do ar (UR), nos pontos externos (e) e internos (i) aos galpões.

Sistema de climatização	Temperaturas °C				UR %	
	T_{maxp}	$T_{bse \pm \sigma}$	$T_{bue \pm \sigma}$	$T_{bsi \pm \sigma}$	$UR_e \pm \sigma$	$UR_i \pm \sigma$
Placa	32	32,8±1,12 ^a	25,6±0,46 ^b	26,9±0,32 ^c	55,1±3,3 ^a	83,1±1,4 ^a
Aspersão	32	32,1±0,57 ^a	24,5±0,25 ^c	26,0±0,82 ^d	52,4±1,8 ^b	79,0±3,6 ^b
Nebulização	33	37,1±0,47 ^b	26,8±0,35 ^a	34,6±0,92 ^a	42,7±1,9 ^c	49,2±2,8 ^c
Ventilação	32	32,7±0,41 ^a	25,5±0,45 ^b	32,5±0,61 ^b	55,2±0,47 ^a	59,2±1,8 ^d

Letras diferentes nas colunas diferem significativamente pelo teste Tukey-Kramer com $P < 0,05$. σ – Desvio Padrão.

A mínima, média e máxima do PRT no aviário Placa foram de 72,72%, 81,66 ± 4,68% e 89,38% respectivamente. A mínima, média e máxima do PRT no aviário Aspersão foram de 55,44%, 80,72 ± 11,04% e 91,67% respectivamente. A mínima, média e máxima do PRT no aviário Nebulização foram de 13,36%, 23,86 ± 7,96% e 33,93% respectivamente. A mínima, média e máxima do PRT no aviário Ventilação foram de -9,88%, 1,87 ± 5,85% e 8,46% respectivamente. Não há diferença entre as médias do PRT para os aviários Aspersão e Placa

(Figura 2a). Apenas o sistema de ventilação não foi capaz de reduzir a temperatura do ar significativamente, não havendo diferença entre a temperatura externa e interna (figura 2 b).

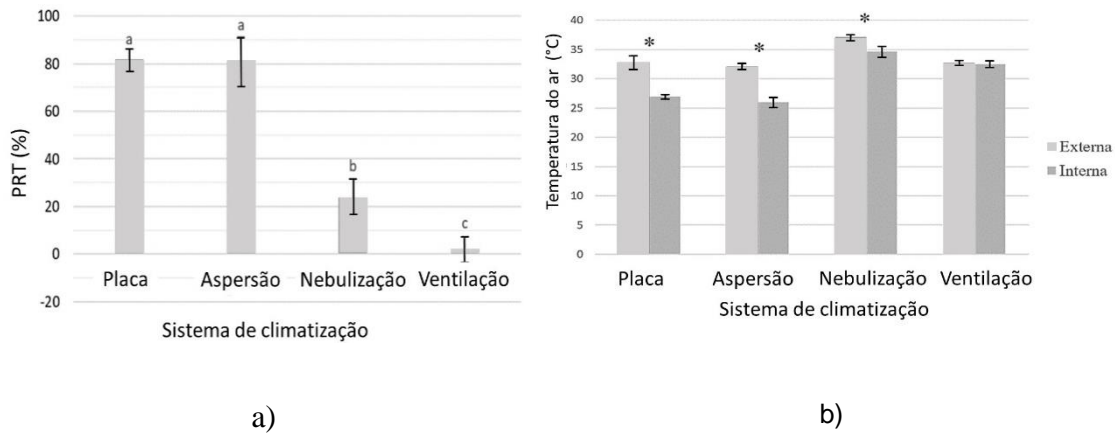


Figura 2: a) Comparação de médias do potencial de redução de temperatura do ar (PRT) na entrada de ar dos aviários; letras diferentes nas barras diferem significativamente pelo teste Tukey-Kramer com $P < 0,0001$. b) Comparação de médias das temperaturas externas e internas; * Temperatura do ar externa difere da interna significativamente pelo teste Tukey-Kramer com $P < 0,0001$.

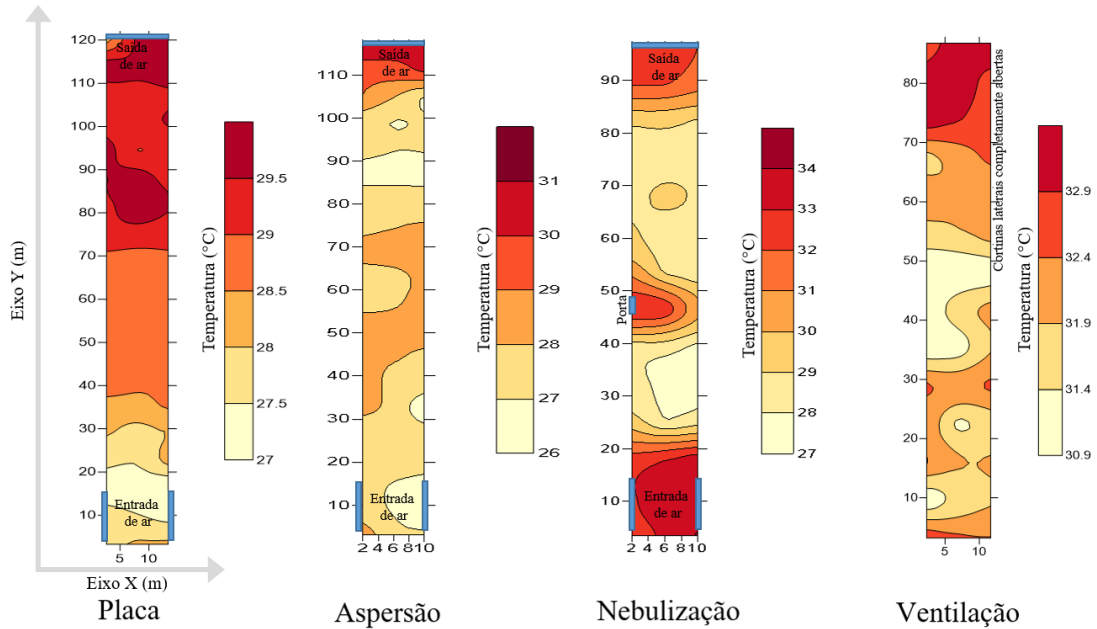
O PRT indicador da condição interna dos aviários e a eficiência do sistema em reduzir as temperaturas e mantê-las até o final do aviário é representada pela distribuição espacial das variáveis internas, caracterizada pelo ajuste dos modelos teóricos de semivariogramas (Tabela 2). Os coeficientes de determinação dos semivariogramas apresentaram índices elevados para as variáveis, com os modelos ajustados explicando 80% da variabilidade nos valores estimados do semivariograma. As distribuições da temperatura e umidade relativa do ar no espaço não foram aleatórias, uma vez que todos apresentaram valores fortes para o grau de dependência espacial (CARVALHO et al., 2012).

Tabela 2: Modelos e parâmetros dos semivariogramas para a temperatura e umidade relativa do ar.

Variável	Av	Modelo	EP	Pat	A	GDE	R ²	SQR
Temperatura	I	Gaussiano	0,195	1,06	23,71	0,81	0,99	1,807-E03
	II	Gaussiano	0,010	5,07	18,25	0,99	0,96	0,764
	III	Esférico	0,026	0,65	42,09	0,96	0,91	0,026
	IV	Gaussiano	0,08	1,06	105,30	0,91	0,99	2,233E-03
Umidade	I	Gaussiano	1,72	26,34	56,27	0,93	0,99	2,10
	II	Gaussiano	1,80	171,30	37,37	0,98	0,99	25,3
	III	Gaussiano	1,97	6,74	102,01	0,70	0,85	0,74
	IV	Gaussiano	0,90	72,8	62,18	0,98	0,99	9,20

Av = aviário (I= Placa; II= Aspersão; III= Nebulização; IV= Ventilação); EP =efeito pepita; Pat = Patamar; A = alcance, m; GDE = Grau de Dependência Espacial; R² = coeficiente de determinação; SQR = Soma dos Quadrados dos Resíduos.

A variação da temperatura no aviário com placa evaporativa foi de 3 °C. A maior diferença de temperatura registrada ocorreu na parte inicial do aviário e a temperatura aumentou no sentido da saída de ar (Figura 3, Placa). No aviário com sistema de Aspersão, na entrada de ar, a variação da temperatura foi de 4 °C, a redução da temperatura pode ser observada em dois pontos: o primeiro logo após a entrada de ar e outro na porção do meio ao final, sendo as maiores temperaturas registradas na porção final do aviário.

Mapas de krigagem para temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$)

Mapas de krigagem para umidade relativa do ar (%)

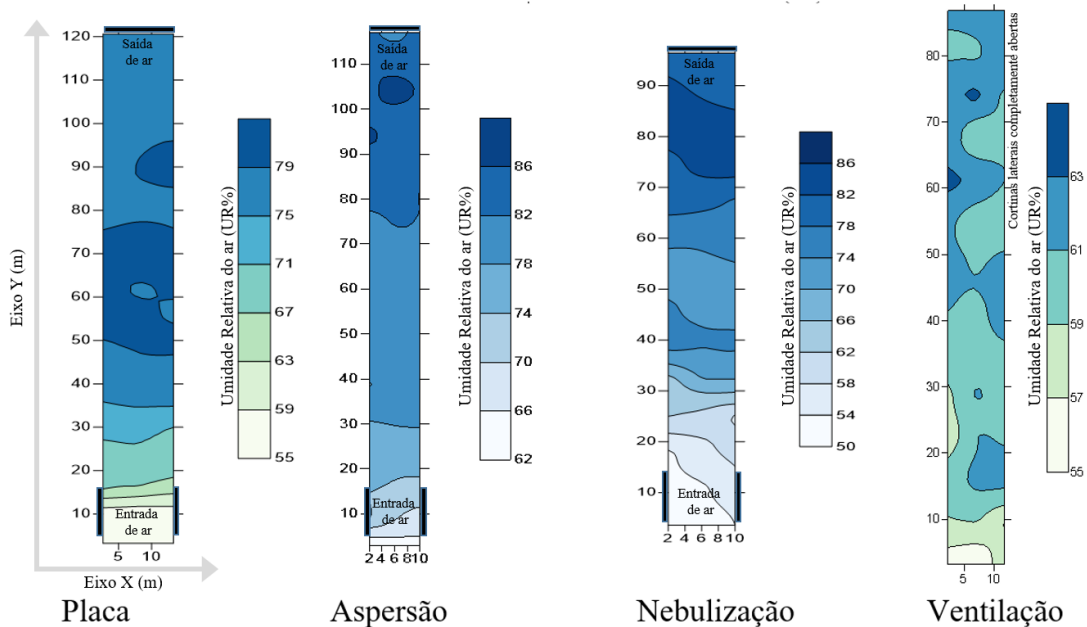


Figura 3: Mapas de krigagem para temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$) e para umidade relativa do ar (%) para cada sistema de climatização nos aviários equipados com placa evaporativa (Placa), sistema de aspersão (Aspersão), sistema de nebulizadores (Nebulização) e sistema de ventiladores (Ventilação).

As maiores variações de temperatura foram registradas no aviário com sistema de nebulização sendo 7 °C (Figura 3, Nebulização). A menor variação de temperatura foi observada no aviário convencional equipado com ventiladores, em que não houve diferença significativa entre as temperaturas internas e externas.

Ocorreu aumento de umidade relativa do ar do início em direção ao final do aviário com placa evaporativa. Os usos do sistema evaporativo na entrada de ar combinado com os nebulizadores internos deixaram as condições de umidade relativa do ar superiores a 70% na maior parte do aviário com aspersão, e superior a 80% na parte final. A menor variação de umidade ocorreu no aviário com ventilação.

Todos os dias de coleta tiveram valores observados próximos ou superiores ao da previsão meteorológica para condições de alta temperatura e baixa precipitação (Tabela 1). A variabilidade que ocorre na previsão meteorológica não inviabiliza o seu uso para a aplicação no planejamento das produções e em sistemas de alerta com antecedência (ACEVEDO & FITZJARRALD, 2003; MARTO, 2005; CARDOSO et al, 2010). Da mesma forma em que as previsões viabilizaram os dias de coleta em condições de maior risco, o acesso a estas informações pode contribuir no planejamento para enfrentá-las. A escolha dos dias de maior risco ($T > 30$ °C) e de aves com maior vulnerabilidade (idade > 28 dias) permitiu o registro de informações sobre uma condição em que todo o sistema de resfriamento das instalações estava acionado em sua capacidade máxima.

As temperaturas de conforto recomendadas após os 28 dias de vida dos frangos estão entre 21 a 23 °C (ALJUOBORI et al., 2016). Estas condições de temperatura do ar ideais não foram atingidas, mas a atenuação da temperatura do ar externo foi perceptível entre os aviários com sistemas de arrefecimento da temperatura (figura 2b). Diante das mesmas condições de temperatura e umidade o aviário com apenas sistema de ventilação teve um PRT aproximadamente dez vezes menor que a do aviário equipado com placa evaporativa (PRT máximos de 8,46% e 89,38% respectivamente), evidenciando a sua maior vulnerabilidade (Tabela 2). Estas condições reforçam os alertas do IPCC (2001, 2007) de que a vulnerabilidade é alta, especialmente para produtores que dependem de sistemas agrícolas mais tradicionais.

A máxima da temperatura coincide com a mínima da umidade relativa do ar, sendo vantajoso para a troca térmica de calor latente e exploração do resfriamento evaporativo direto em aviários (SANTOS et al., 2009). Como a média do PRT nos aviários com uso do

resfriamento evaporativo foram entre 80,7 (Aspersor) e 82,6% (Placa), (Tabela 2), os valores estão condizentes com os estimados de 80% para calcular a eficiência média da redução de temperatura sugeridos por Abreu (1999). As variações do PRT podem ser devido a condições como materiais construtivos, estado de conservação, fluxo de água, entre outros (AL-SULAIMAN, 2002; LIAO & CHIU, 2002; VIGODERIS et al, 2007).

Os mapas de variabilidade espacial de dados evitam a análise de um único ponto de medição, para que valores sub ou superestimados não sejam relatados como condição representante do fenômeno em estudo (MILES et al., 2008). Os mapas de dependência espacial mostraram a distribuição da temperatura e da umidade do ar no interior dos aviários e também permitiram a visualização de falhas do isolamento térmico.

Nos aviários do tipo túnel com resfriamento evaporativo na entrada de ar e bom isolamento, as temperaturas são mais constantes ocorrendo o resfriamento do ar ao longo do aviário, características já apontadas por Curi et al., (2014). O aviário tipo túnel, equipado com nebulizadores, teve problemas de isolamento térmico resultando em maior variação de temperatura.

O sistema de nebulização teve pouca interferência na redução da temperatura na proximidade da entrada de ar do aviário (máxima de 33,93%), onde ocorre grande volume de entrada de ar quente. Através dos mapas (Figura 3, Nebulização) foi possível identificar os locais de maior interferência do sistema de nebulização na redução das temperaturas. As temperaturas externas impactam na temperatura interna das instalações de frangos de corte devido a baixas condições de isolamento térmico (SILVA & ALMEIDA, 2003; SAMPAIO et al., 2011). Em melhores condições de isolamento térmico o PRT seria maior com variáveis térmicas mais distribuídas homogeneamente.

A ocorrência de PRT mínimo negativo (-9,88%) no aviário com ventilação é devido a temperatura interna em algumas observações ser maior do que a externa. As temperaturas aumentam no interior da instalação com a geração de calor das aves e da cama do aviário. O aviário convencional equipado apenas com ventiladores está exposto aos fatores exógenos e não tem capacidade de manter condições de conforto para as aves em dias com temperaturas elevadas, sendo definido como o mais vulnerável entre os sistemas analisados.

A combinação de altas temperaturas acima de 30 °C e à umidade relativa do ar maior que 70% encontradas da porção final dos aviários Aspersão e Nebulização (Figura 3) formam pontos críticos para o conforto térmico por dificultar as perdas de calor das aves (OLIVEIRA et al., 2016; ROCHA et al., 2010). Áreas com temperaturas distintas no interior das

instalações causam variações no peso vivo das aves que quando expostas a condições fora da zona de conforto ganham menos peso (SILVA et al., 2013).

O estudo do PRT associado com a geoestatística permitiu melhor compreensão das condições internas dos aviários e colaborou na identificação da vulnerabilidade das instalações.

CONCLUSÕES

As características construtivas influenciaram no conforto ambiental de frangos de corte. A ausência de sistemas de resfriamento evaporativo nos aviários foi determinante para a vulnerabilidade da instalação ao clima. O resfriamento evaporativo permitiu o enfrentamento de condições de maior risco de temperaturas elevadas diminuindo a vulnerabilidade das instalações.

Em dias com temperaturas acima de 30 °C os sistemas de resfriamento evaporativo permitem atenuar o desconforto térmico, mas não garantem manter as temperaturas dentro da zona de conforto de frangos de corte com idades superiores a 28 dias.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e apoio financeiro do projeto do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 483001/2013-9).

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. et al. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 795–801, 2012.

ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N.; MAZZUCO, H. Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA (EMBRAPA-CNPSA. Documentos, 59), 50 p., 1999.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. D. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 256, p. 1-14, 2011.

ACEVEDO, O. C.; FITZJARRALD, D. R. In the core of the night - effects of intermitente mixing on a horizontally heterogeneous surface. *Boundary-Layer Meteorology*, v. 106, p. 1–33, 2003.

ALJUOBORI, A. et al. Higher inclusion rate of canola meal under high ambient temperature for broiler chickens. *Poultry science*, v. 23, 2016.

ALMEIDA, E.A. & PASSINI, R. Thermal comfort in reduced models of broilers' houses, under different types of roofing materials. *Engenharia Agrícola*, v.33, n.1, p. 19-27, 2013.

AL-SULAIMAN, F. Evaluation of the performance of local fibers in evaporative cooling. *Energy Conversion and Management*, v. 43, n. 16, p. 267-2273, 2002.

BORGES, S. A. et al. Dietary electrolyte balance for broiler chickens exposed to thermoneutral or heat-stress environments. *Poultry Science*, v. 82, n. 3, p. 428-435, 2003.

BOURNET, P.E.; BOULARD, T. Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies. *Computers and Electronics in Agriculture*, Amsterdam, n. 74, p. 195–217, 2010.

CARDOSO A. O. et al. Extended time weather forecasts contributes to agricultural productivity estimates. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 102, n. 3-4, p. 343-350, 2010.

CARVALHO, T. M. R. C. et al. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 41, n. 1, p. 194-202, 2012.

CARVALHO, T. M. R. et al. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 6, 2016.

CASSUCE, D. C. et al. Thermal comfort temperature update for broiler chickens up to 21 days of age. *Engenharia Agrícola*, v. 33, p. 28-36, 2013.

CHEPETE, H.J.; CHIMBOMBI, E.M.; TSHEKO, R. Production performance and temperature humidity index of broilers reared in naturally ventilated houses in Botswana. *Botswana Journal of Agriculture and Applied Sciences*, v. 1, p. 19-28, 2005.

COUMOU, D. & ROBINSON, A. Historic and future increase in the global land area affected by monthly heat extremes. *Environmental Research Letters*, v. 8, 2013.

CURI, T. M. R. C. et al. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 6, p. 1062-1074, 2014.

DAGTEKIN, M.; Karaca, C.; Yildiz, Y. Performance characteristics of a pad evaporative cooling system in a broiler house in a Mediterranean climate. *Biosystems Engineering*, n. 103, p. 100-104, 2009.

FIGLIOLI, J.; SCHMIDT, R. et al. Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. *Ciência Rural*, v. 42, n. 1, p. 64-67, 2012.

GABRIEL FILHO, L. R. et al. Method of numerical correction of errors occasioned by delay of records during the monitoring of environmental variables of interest for animal production. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 5, p. 835-846, 2011.

GOLDEN SOFTWARE INC. Surfer for windows: release 7.0, contouring and 3D surface mapping for scientist's engineers user's guide. New York: Golden software, 619 p., 1999.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C. B. Field et al. Cambridge/New York, Cambridge University Press/IPCC, 2014.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p., 2007.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the IPCC. Cambridge University Press, 582 p., 2012.

IPCC- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2001: the scientific basis. [S.l.]: Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, 944 p., 2001.

IPCC- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 p., 2018.

LIAO, C. M., & CHIU, K. H. Wind tunnel modeling the system performance of alternative evaporative cooling pads in Taiwan region. *Building and Environment*, v. 37, n. 2, p. 177-187, 2002.

MARCHINI, C.F.P.; SILVA, P.L.; NASCIMENTO, M. R. B. M; TAVARES, M. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. *Archives of Veterinary Science*, v. 12, p. 41- 46, 2007.

MARTO, N. Ondas de calor. Impacto sobre a saúde. *Acta Médica Portuguesa*, v. 18, n. 6, p. 467-474, 2005.

MELO, T. V. et al. Evaluation of roof slope and exposure with different roofing materials in reduced models of animal production facilities in spring and summer. *Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 6, p. 1030-1038, 2014.

MENDONÇA, F. Aquecimento global e suas manifestações regionais e locais: alguns indicadores da região sul do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 2, p. 71-86, 2006.

- MIRAGLIOTTA, M.Y. et al. Spatial analysis of stress conditions inside broiler house under tunnel ventilation. *Scientia Agrícola*, v. 63, n. 5, p. 426-432, 2006.
- MOURA, D. J. et al. Strategies and facilities in order to improve animal welfare. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, sup. Especial, p. 311-316, 2010.
- NASCIMENTO, G. R. et al. Infrared thermography in the estimation of thermal comfort of broilers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 6, p. 658-663, 2014.
- NAZARENO, A. C. et al. Avaliação do conforto térmico e desempenho de frangos de corte sob regime de criação diferenciado. *Revista brasileira de engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, n. 6, p. 802-808, 2009.
- OLIVEIRA, L. P.; GAI, V.F. Desempenho de frango de corte em aviários Convencional e aviários DarkHouse. *Revista Cultivando o Saber*, v. 9, p. 93 – 101, 2016.
- OLIVEIRA, R.F.M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, p. 797-803, 2006.
- ROBERTSON, G.P. GS+: geostatistics for the environmental sciences (version 5.1 for windows). Plainwell: Gamma Design Software, 152p., 1998.
- ROCHA, H.P. et al. Índices bioclimáticos e produtivos em diferentes galpões avícolas no semiárido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 12, p. 1330-1336, 2010.
- SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 2, p. 230-236, 2011.
- SANTOS, P.A. et al. Ventilação em modos túnel e lateral em galpões avícolas e seus efeitos no conforto térmico, na qualidade do ar e no desempenho das aves. *Revista CERES*, v. 56, p. 172-180, 2009.
- SILVA, S. M.; ALMEIDA M. G. Avaliação do Impacto Energético e Económico de Diferentes Soluções Construtivas. *Engenharia Civil*, n. 18, 2003.
- SILVA, E. G. et al. Variabilidade espacial das características ambientais e peso de frangos de corte em galpão de ventilação negativa. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, v. 14, n. 1, 2013.
- STULL, R. Wet-Bulb Temperature from Relative Humidity and Air Temperature. *American Meteorological Society*, v. 50, p. 2267-2269, 2011.
- VALE, M. M. et al. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *ScientiaAgricola*, v. 65, p. 223-229, 2008.

VIEIRA, S.R. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R.F.; ALVARES, V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R(Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v. 1, p. 1-53, 2000.

VIGODERIS, R. B. et al. Construção de túnel de vento reduzido, visando à avaliação de argila expandida em sistemas de resfriamento adiabático evaporativo para arrefecimento térmico em galpões de produção animal. Engenharia na Agricultura, v. 15, n. 3, p. 191-199, 2007.

WMO – WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. The Global Climate: 2001–2010 a Decade of Climate Extremes. Geneva: Switzerland, n. 1103, 188p., 2013.

ZUIDHOF, M. J. et al. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. Poultry Science, n. 93, p. 2970-2982, 2014.

ARTIGO 3

**SISTEMA DE SUPORTE À CLASSIFICAÇÃO DA
VULNERABILIDADE DE INSTALAÇÕES DE FRANGOS DE CORTE A
EXTREMOS DE CALOR**

**SISTEMA DE SUPORTE À CLASSIFICAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE
INSTALAÇÕES DE FRANGOS DE CORTE A EXTREMOS DE CALOR
DECISION SUPPORT SYSTEM TO CLASSIFY THE BROILER FACILITIES
VULNERABILITY TO THE HEAT EXTREMES**

**Maurício Portella Dos Santos; Paulo Santana Pacheco; Marcos Martinez do Vale;
Tatiane Branco; Daniela Klein; João Paulo Aquino Santos; Jaime Augusto de Oliveira.**

RESUMO

A previsão do tempo viabiliza a mensuração de riscos climáticos, mas as instalações e os animais estão sujeitos a ele de acordo com sua vulnerabilidade. As mudanças climáticas afetam o sistema de produção de frangos de corte e sistemas de suporte à decisão, que envolvem previsões meteorológicas e permitem a emissão de alertas aos produtores e integrações de aves. O objetivo dessa pesquisa foi desenvolver um sistema *fuzzy* de suporte a decisão para classificar a vulnerabilidade da unidade de produção de frangos de corte a eventos meteorológicos de calor. Foi desenvolvido um modelo MISO (Multiple Input and Single Output), com as variáveis de entrada: potencial de redução de temperatura – PRT, temperatura do ar – T, idade das aves – I e umidade relativa do ar – UR; e a variável de saída representando o grau de vulnerabilidade do sistema de produção de frangos – V. O modelo desenvolvido para a predição da vulnerabilidade gerou valores satisfatórios quando comparado a diferentes cenários com base em artigos científicos e dados de previsão do tempo, podendo constituir componente de um sistema de alerta meteorológico de acordo com as vulnerabilidades individuais da unidade de produção.

Palavras-chave: *Fuzzy*. Inteligência Artificial. Sistema Especialista. Zootecnia de Precisão.

ABSTRACT

Weather forecast makes possible to measure climate risks, but facilities and animals are subject to it according to their vulnerability. Climate change greatly affects broiler production and decision support systems for weather forecast events allow decision making and emit alerts to farmers and poultry integrations. The goal of this research was developing a fuzzy

decision support system to classify facilities and broilers vulnerability to meteorological heat events. A MISO (Multiple Input and Single Output) model was developed, with input variables: temperature reduction potential - TRP, air temperature - T, poultry age - A and, air relative humidity - RH; and the output variable representing the degree of broiler production system vulnerability - V. The model developed for the prediction of vulnerability generated satisfactory indication of vulnerability when compared to different scenarios based on scientific articles and weather forecast data and, could constitute a component of a weather alert system according to individual poultry farm vulnerabilities.

Keywords: Artificial Intelligence. Fuzzy. Expert System. Precision Livestock Farming.

INTRODUÇÃO

A previsão do tempo viabiliza a mensuração de riscos para uma determinada localidade, mas as instalações e os animais estão sujeitos a diferentes graus de vulnerabilidade. A vulnerabilidade abrange uma variedade de conceitos e elementos, incluindo sensibilidade ou suscetibilidade a danos ou falta de capacidade para enfrentar ou se adaptar (IPCC, 2014). Modelos de previsão meteorológicos geram resultados que, integrados como entradas em sistemas de suporte à tomada de decisão, permitem a emissão de alertas com certa confiabilidade (MARTO, 2005; PAPANASTASIOU et al., 2010; CARDOSO et al, 2010).

A vulnerabilidade das instalações está relacionada com o tipo construtivo dos aviários que definem o seu grau de isolamento térmico e os sistemas de controle da temperatura. O potencial de redução de temperatura do ar (PRT) define a capacidade física de um sistema de resfriamento evaporativo adiabático de atenuar a temperatura interna em relação as condições externas do aviário e, a partir dele, podem ser criados níveis distintos de vulnerabilidade das instalações (DAGTEKIN, et al. 2009).

Além das instalações e sua capacidade de resfriamento existe a vulnerabilidade individual dos frangos de corte relacionada com a idade. Nas primeiras semanas de vida as aves são vulneráveis ao frio enquanto que acima de 28 dias são mais atingidas pelo estresse ao calor (CHEPETE et al., 2005; MARCHINI, 2007; VALE et al., 2008; CORDEIRO et al., 2010; ABREU et al., 2012). Após a quarta semana as condições de conforto estão entre temperaturas do ar de 21 a 23 °C e umidade relativa do ar entre 60 e 70%, exposições

prolongadas fora da zona de conforto geram perdas produtivas (PETRACCI, 2006; ABREU et al., 2011; BOIAGO et al., 2013; ALJUOBORI et al., 2016).

Ferramentas como a modelagem *fuzzy*, uma modalidade da inteligência artificial, vêm sendo utilizadas em diversas áreas de pesquisa agropecuária (PANDORFI et al., 2007; PERISSINOTTO et al., 2009; FERREIRA et al., 2012). Entre as vantagens desta técnica está a possibilidade de assumir valores intermediários entre um conjunto de informações e às vezes, pertencentes a mais de um grupo ou conjunto (ZADEH, 1965). Através de um modelamento matemático baseado no conhecimento de especialista, é possível resolver problemas complexos e compostos por variáveis cuja informação contida possui um certo grau de incerteza, de uma maneira organizada e com a máxima confiabilidade possível (JANÉ, 2004).

As mudanças climáticas ampliam o risco de ocorrência eventos climáticos extremos de calor que impactam o sistema de produção animal e exigem estratégias de mitigação (FAO, 2009; IPCC, 2018). Um modelo MISO (Multiple Input and Single Output) na lógica *fuzzy*, permite combinar inúmeras variáveis em um único valor de saída que pode ser, um sinal de alerta. A integração de dados de temperatura e umidade relativa do ar, com os PRT das instalações e idade dos frangos de corte geram um conjunto de informações que permitam estimativas da vulnerabilidade específica para um determinado lote de frangos de corte em um aviário específico. O objetivo desse estudo foi desenvolver um sistema *fuzzy* de alerta meteorológico para a predição da vulnerabilidade de sistemas de produção de frangos de corte mediante condições meteorológicas previsíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

A análise do sistema *fuzzy* foi desenvolvida utilizando o software livre Fispro versão 3.5, concebido em um modelo MISO (Multiple Input and Single Output). As variáveis de entrada foram: Potencial de redução de temperatura (PRT), temperatura do ar (T), umidade relativa do ar (UR) e idade das aves (I). A variável de saída foi a vulnerabilidade (V) de frangos de corte em suas respectivas instalações e idade. Os conjuntos de entrada e saída foram representados com a definição dos valores de mínimo e máximo [$x_{\text{mínimo}}$; $y_{\text{máximo}}$]. O método de inferência do sistema *fuzzy* foi o de Mandani com a etapa de defuzzificação utilizando a conjunção de mínimo e o método de área para a definição da variável de saída.

Variáveis de entrada:

A variável de entrada PRT foi definida pela tipologia construtiva dos aviários e o sistema de controle de temperatura com intervalo entre -10% a 100% (Tabela 1). A depressão do termômetro de bulbo seco foi definida como a capacidade percentual do sistema de resfriamento evaporativo (PRT) em reduzir a temperatura do ar. Os conjuntos de entrada do PRT foram organizados em seis, que representam diferentes níveis de vulnerabilidade das instalações (Figura 1a).

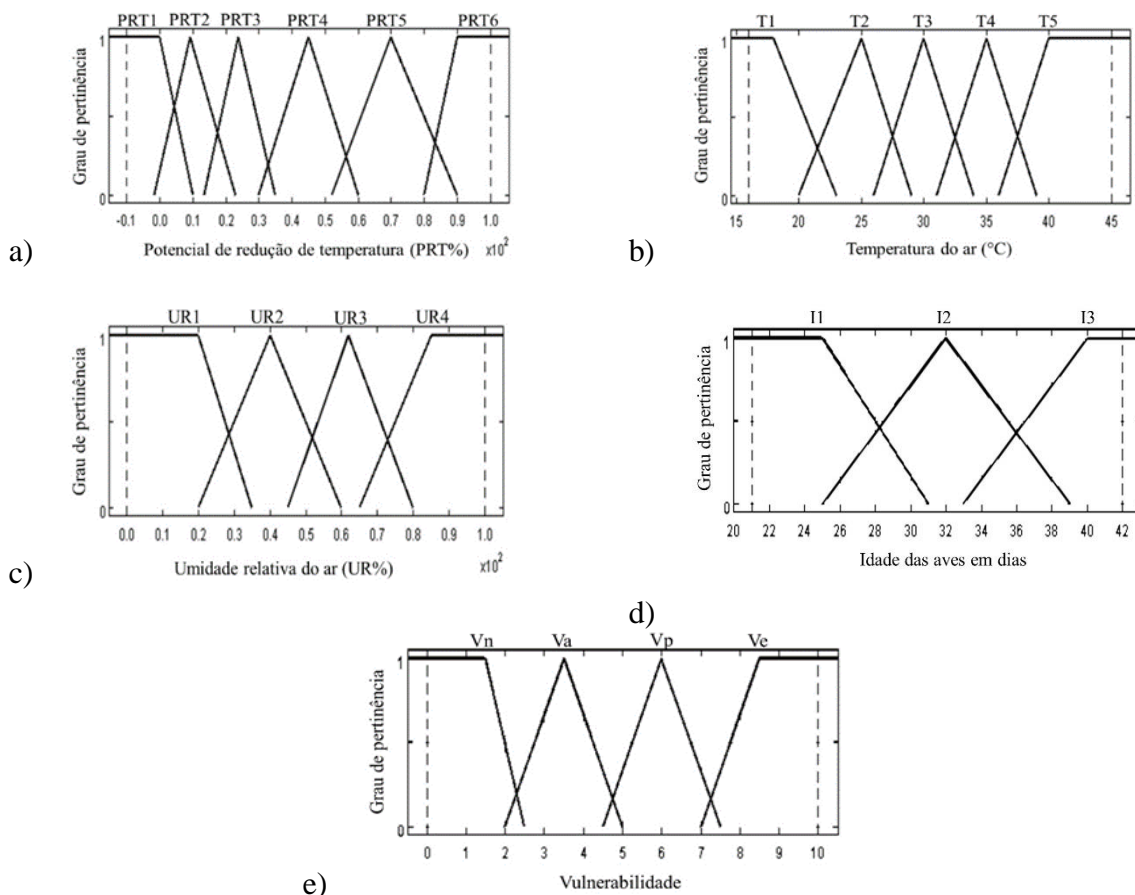


Figura 1: Curvas de pertinência para as variáveis dos conjuntos de entrada do potencial de redução de temperatura (a); temperatura do ar (b); umidade relativa do ar (c); idade dos frangos (d). E o conjunto da variável de saída da vulnerabilidade (e).

Foi assumido para a temperatura do ar (T) o intervalo de 16°C até 45°C, organizado em quatro conjuntos de entrada para condições de conforto térmico e a ocorrência das temperaturas (Tabela 1; Figura 1b). Para a umidade relativa do ar (UR) o intervalo considerado foi entre 0% e 100% organizado em quatro conjuntos, definidos como

agravadores do desconforto térmico e redutor do potencial de resfriamento evaporativo (Tabela 1; Figura 1c).

Para a idade (I) foi considerado o intervalo de 21 a 42 dias, dividido em três conjuntos de diferentes vulnerabilidades dos frangos de corte (Tabela 1; Figura 1d). Idades abaixo de 21 dias não foram consideradas devido à pequena vulnerabilidade ao estresse por calor. As maiores sobreposições dos conjuntos de idade indicam o maior grau de incerteza em afirmar a idade exata em que ocorrem as mudanças de capacidade de resistência ao calor. Ao crescer, a ave ganha peso e produz mais calor e a área superficial em relação a seu volume corporal diminui. A capacidade de aclimatação também está envolvida, pois a exposição ao estresse por calor durante a criação pode determinar mudanças na termotolerância das aves (GUERREIRO et al, 2004).

Variável de saída:

A variável de saída Vulnerabilidade (V) considera o intervalo de 0 até 10 (Tabela 1), sendo zero a instalação nada vulnerável e dez a instalação totalmente vulnerável. Quatro conjuntos foram organizados para definir o grau de vulnerabilidade combinada das anes e das instalações (Figura 1e).

Inferência:

Todas as possibilidades de combinação entre as variáveis de entrada geraram um sistema com o total de 360 regras de associação. As regras utilizaram expressões que são funções lineares das variáveis linguísticas (Faria, 2006). Cada regra é composta de conectivos lógicos (SE, E, OU, ENTÃO) e partes antecedentes e consequentes do tipo Mandani. As regras foram criadas de acordo com o modelo: **SE** (PRT= PRT_n) **E** (Temperatura= T_n) **E** (Idade=I_n) **E** (Umidade= UR_n) **ENTÃO** (Vulnerabilidade=V_n).

A edição do sistema de regras foi construída com base na opinião de especialistas com experiência na área de ambiência animal. Os especialistas foram selecionados assumindo o critério de ter no mínimo dois anos de experiência em produção de frangos de corte, conhecimentos de ambiência e conforto de aves e da tipologia construtiva de aviários de frangos de corte disponíveis no Brasil.

Tabela 1: Descrição dos conjuntos de entrada e saída do sistema fuzzy de alerta de vulnerabilidade de aviários de frangos de corte a extremos de calor.

Variáveis de Entrada:	
Conjuntos ¹	Descrição
PRT	Poder de Redução da temperatura do ar por sistema de resfriamento evaporativo adiabático
PRT1 [-10%; 10%]	Aviários convencionais com sistema de ventilação mecânica do tipo de pressão positiva com ventiladores axiais sem resfriamento evaporativo;
PRT2 [0%; 23%]	Aviários convencionais com sistema de ventilação mecânica do tipo de pressão positiva com ventiladores axiais e resfriamento evaporativo por sistema de nebulização;
PRT3 [13,3%; 35%]	Aviários do tipo túnel com sistema de ventilação mecânica por exaustores em pressão negativa, isolamento lateral por cortinas e com sombreamento;
PRT4 [30%; 50%]	Aviários com resfriamento evaporativo com nebulizadores, mas com baixo isolamento térmico;
PRT5 [52%; 90%]	Aviários do tipo túnel com sistema de ventilação mecânica por exaustores em pressão negativa, sem falhas no isolamento lateral com sistema de resfriamento por nebulizadores, painel evaporativo na entrada de ar;
PRT6 [80%; 100%]	Aviários com painel evaporativo e bom isolamento, representando o melhor PRT possível a ser atingido 100%.
T	Conjunto das temperaturas e condições de conforto
T1 [16 °C; 23 °C]	Próxima ao conforto para aves acima de 28 dias;
T2 [20 °C; 29 °C]	Estresse térmico moderado;
T3 [26 °C; 34 °C]	Estresse térmico de moderado a severo;
T4 [31 °C; 39 °C]	Alto grau de estresse térmico;
T5 [36 °C; 45 °C]	Estresse severo, condição potencial de perda do lote.
UR	Conjunto das umidades relativas do ar e condição
UR1 [0%; 30%]	Faixa altamente propícia ao resfriamento evaporativo adiabático;
UR2 [20%; 60%]	Faixa propícia ao resfriamento evaporativo adiabático;
UR3 [45%; 80%]	Faixa intermediária propícia ao resfriamento evaporativo adiabático;
UR4 [65%; 100%]	Faixa pouco propícia ao resfriamento evaporativo adiabático.
I	Idade da ave, relacionada à capacidade de regulação térmica da ave.
I1 [21; 31]	Período em que as possibilidades de estresse térmico iniciam, portanto, idades abaixo destas não foram consideradas devido à baixa vulnerabilidade ao estresse por calor;
I2 [25; 39]	Vulnerabilidade mediana e necessidade de controle térmico;
I3 [33; 42]	Alto grau de dependência dos sistemas de resfriamento evaporativo e alta vulnerabilidade ao estresse por calor.
Variável de Saída:	
V	Conjuntos dos ranques de propensão das instalações a sofrer impacto do calor
Vn [0; 2,5]	Vulnerabilidade normal (V_n), ao estresse térmico e temperatura resultante dentro da instalação de até 2°C acima da zona de conforto;
Va [2; 5]	Vulnerabilidade alta (V_a), temperatura entre 2 e 5°C acima da zona de conforto;
Vp [4,5; 7,5]	Vulnerabilidade de perigo (V_p), temperatura entre 5 e 10°C acima da zona de conforto;
Ve [7; 10]	Vulnerabilidade de emergência (V_e), temperaturas superiores a 10 °C acima da zona de conforto.

¹ – [x; y]: definição do domínio do conjunto *fuzzy* entre x e y, sendo mínimo e máximo respectivamente

Validação:

Foram utilizados dois processos de validação, sendo um baseado nos registros de literatura científica e outro em previsões meteorológicas.

Para a validação baseada na literatura foram utilizados artigos científicos, publicados em revistas indexadas e as recomendações dos manuais de linhagens comerciais de frangos de corte. A partir desses dados foram criados possíveis cenários com variáveis de entrada, temperatura do ar e umidade relativa do ar, simulando condições reais de vulnerabilidade para serem comparados com os resultados de vulnerabilidade estimados pelo sistema *fuzzy*.

A segunda validação foi realizada com dados reais de previsão meteorológica. A previsão da vulnerabilidade do conjunto de produção foi simulada a partir de dados de previsão meteorológica disponíveis para 15 dias, período de 8 a 22 de dezembro de 2018, para a cidade de Teutônia - RS (Climatempo, 2018). O cálculo teve como base duas tipologias de aviários com PRT de 0 e 80%. As previsões foram geradas para cada dia de previsão ajustada com a idade das aves. Foram testados valores para três idades iniciais de acompanhamento de lote 21-35 dias, 25-39 dias e 28-42 dias.

Para comparação entre os PRT foram considerados os riscos para condições sem PRT (igual a zero) simulando aviários sem sistema de resfriamento e baixo isolamento térmico e condição de risco para PRT = 80%, característico de aviários com resfriamento evaporativo eficiente e bem isolado.

Para análise de sensibilidade do sistema fuzzy desenvolvido e para visualizar as variações e combinações das variáveis de entrada em relação a variável de saída, foram criados gráficos tridimensionais.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi construído modelo de alerta de vulnerabilidade para a produção de frangos de corte em função de condições de previsão meteorológica indicando o grau de submissão do sistema de produção de frangos ao impacto climático. O resultado de vulnerabilidade foi modelado com valor de saída no escore entre zero e dez, representando respectivamente as condições nada vulnerável e totalmente vulnerável. A validação do modelo preditor da vulnerabilidade foi realizado e simulado a partir da literatura em diferentes cenários. Para

cenários em que houve condições de conforto, ocorreram variações de temperatura entre 18 e 25°C e umidade relativa entre 57% e 69%, para as idades de 28, 35 e 42 dias.

As respostas de indicação de vulnerabilidade dos sistemas de produção para as condições verificadas em literatura foram satisfatórias, indicando condição Normal para o sistema, ou seja, sendo não vulnerável às condições climáticas independentemente da idade (Tabela 2). Entre os potenciais de redução de temperatura do ar (PRT) de 80% e o de 0%, houve pouca interferência sobre o resultado de vulnerabilidade nestas condições. As respostas do modelo foram próximas de zero para a vulnerabilidade (Tabela 2, validação 1,2 e 3).

Tabela 2: Validação do modelo fuzzy com base em cenários para o conforto térmico de frangos de corte simulados com as variáveis de entrada potencial de redução de temperatura (PRT %), temperatura do ar (T °C), umidade relativa do ar (UR%), idade das aves em dias, e a vulnerabilidade (V) como variável resposta.

Validação	T °C	UR%	Idade dias	Vulnerabilidade para PRT 0%	Vulnerabilidade para PRT 80%
1	22	57	28	Vn= 0,9	Vn= 0
2	20	60	35	Vn= 0,5	Vn= 0,2
3	18	60	42	Vn= 0,1	Vn= 0,1
4	25	68	28	Vn= 1,4	Vn= 0,6
5	22	68	35	Vn= 2,4	Vn= 1,3
6	21	69	42	Vn= 2,2	Vn= 2,1
7	24	60	28	Vn= 1,2	Vn= 0
8	22	57	35	Vn= 1,0	Vn= 0,5
9	22	58	42	Vn= 1,6	Vn= 1,4

Validação com base em: 1-3 Cobb, 2008; 4 Nascimento et al. (2014); 5 e 6 Oliveira et al. (2006); 7-9 Borges et al. (2003). Vn: vulnerabilidade normal.

Para os cenários de condições de desconforto encontrados a variação da temperatura foi entre 24 e 30 °C e umidade relativa entre 50 e 81 %, para as idades de 28, 35 e 42 dias. Para todos os cenários, além da validação 1 (Tabela 3), o modelo foi satisfatório ao indicar Va e Vp (Tabela 3).

As validações de 4 a 11 foram baseados em aviários que não foram capazes de manter o conforto térmico (CURI et al., 2014). Em cenários iguais, a vulnerabilidade pode ser Va ou Vp para PRT 0% e ser Vn para PRT 80%, desde que as condições de umidade sejam baixas (Tabela 3, validações 2, 3, 6). Em alguns casos o PRT 80% pode atenuar condições de risco mudando de Vp para Va (Tabela 2, validações 8 e 10). Não houve mudança da vulnerabilidade para condições em que a UR estava entre 79 e 81% (Tabela 3, validações 4, 5, 7, 9 e 11).

Tabela 3: Validação do modelo fuzzy com base em cenários para desconforto térmico de frangos de corte simulados com as variáveis de entrada potencial de redução de temperatura (PRT %), temperatura do ar (T °C), umidade relativa do ar (UR%), idade das aves em dias, e a vulnerabilidade (V) como variável resposta.

Validação	T °C	UR%	Idade dias	Vulnerabilidade para PRT 0%	Vulnerabilidade para PRT 80%
1	27	51	28	Vn= 2,1	Vn= 0,9
2	26	52	42	Va= 4,0	Vn= 1,6
3	26	53	35	Va= 4,3	Vn= 0,9
4	26	79	28	Va= 2,8	Va= 2,9
5	27	81	28	Va= 4,5	Va= 4,6
6	29	50	28	Vp= 4,7	Vn= 1,4
7	24	78	35	Va= 4,4	Va= 3,5
8	29	53	35	Vp= 6	Va= 4,3
9	27	80	35	Vp= 6,8	Vp= 6,6
10	30	45	42	Vp= 6	Va= 3,5
11	24	81	42	Vp= 6	Vp= 6

Validação com base em: 1-3 Borges et al. (2003); 4-11 Curi et al. (2014). Vn= vulnerabilidade normal; Va= vulnerabilidade alta; Vp= vulnerabilidade perigo.

Para os cenários encontrados para condições de desconforto e menor capacidade de trocas térmicas de frangos de corte, ocorreram variações de temperatura entre 32 e 36 °C, umidade relativa entre 70% e 90%, para as idades de 28, 32, 35 e 42 dias (Tabela 4).

Tabela 4: Validação do modelo fuzzy com base em cenários para desconforto térmico e menor capacidade de trocas térmicas de frangos de corte simulados com as variáveis de entrada potencial de redução de temperatura (PRT %), temperatura do ar (T °C), umidade relativa do ar (UR%), idade das aves em dias e a vulnerabilidade (V) como variável resposta.

Validação	T °C	UR%	Idade Em dias	Vulnerabilidade para PRT 0%	Vulnerabilidade para PRT 80%
1	36	70	32	Ve= 10	Ve= 8,5
2	30	90	42	Ve= 9,9	Ve= 9,8
3	30	82	42	Ve= 9,9	Ve= 9,8
4	32	75	42	Ve= 9,3	Ve= 9,4
5	32	90	28	Ve= 8,7	Ve= 8,4
6	32	90	35	Ve= 9,1	Ve= 9,0
7	32	90	42	Ve= 10	Ve= 9,9

Validação com base em: 1 Aljuobori et al. (2016); 2-4 Manno et al. (2011); 5-7 Genç&Portier, (2005). Ve= vulnerabilidade emergência.

A sensibilidade do modelo para as combinações entre T, PRT e V, gerados pelas operações lógicas do sistema *fuzzy* com a idade travada em 32 dias e UR em 50%, mostram

que a vulnerabilidade é agravada com o acréscimo da temperatura do ar e o decréscimo do PRT (Figura 1a). O PRT minimiza o acréscimo da vulnerabilidade e é afetado com o aumento da temperatura. Em PRT menores, a influência da temperatura é maior e contribui para o aumento da vulnerabilidade (Figura 1a).

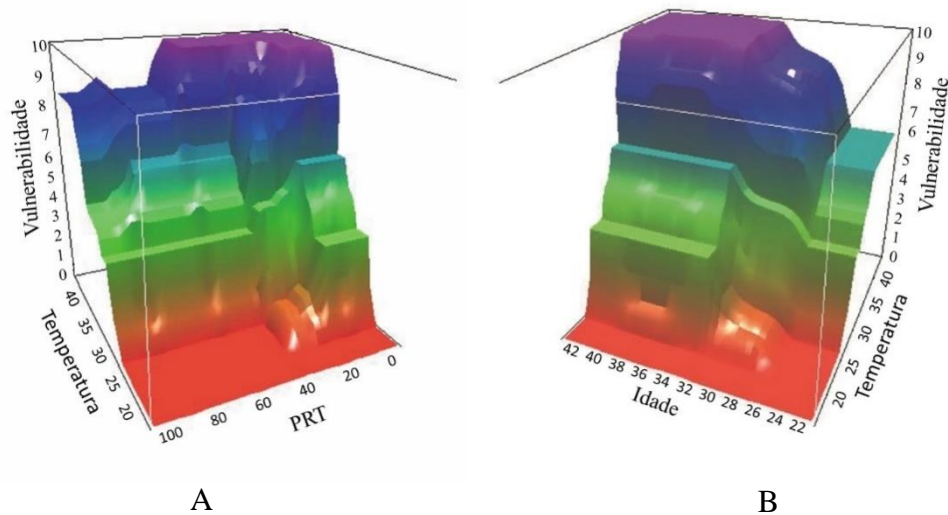


Figura 2: A- superfície resposta da vulnerabilidade em função do potencial de redução de temperatura (PRT) e a Temperatura do ar (°C); B- superfície resposta da vulnerabilidade em função da idade em dias e a Temperatura do ar (°C).

O modelo responde com vulnerabilidades condizentes quando relacionadas às diferentes idades das aves em relação a temperatura. A superfície resposta não tem interferência do PRT, pois foi criada com PRT travado em 0% e umidade relativa em 50%. A vulnerabilidade é agravada com o acréscimo da temperatura do ar e o acréscimo da idade das aves (Figura 2b). Em condições de temperaturas iguais, a idade das aves é o principal agravante da vulnerabilidade (Figura 2b).

Foi modelada a vulnerabilidade a partir da previsão do tempo com 15 dias de antecedência. O modelo gerou valores de vulnerabilidade distintos para cada condição de previsão meteorológica, PRT e idade das aves (Tabela 5). Ocorrem 20 dias na condição Vn para um PRT de 80% enquanto que ocorreram apenas cinco para o PRT de 0%. Para o PRT 80% ocorrem 20 dias com Va enquanto que o PRT 0% indica 12 dias. Para o PRT 80% ocorrem 5 dias com Vp enquanto que o PRT 0% indica 17 dias. As condições de Ve só ocorrem para o PRT 0% em 11 dias.

Tabela 5: Previsão da vulnerabilidade para 15 dias, em aviários com potencial de redução de temperatura PRT 0 e 80%, para três idades de frangos de corte.

Previsão 15 dias				PRT0%			PRT80%		
Nº	Dia	T	UR	Idade em dias					
				21-35	25-39	28-42	21-35	25-39	28-42
1-	8/12/2018	24	38	Vn	Vn	Vn	Vn	Vn	Vn
2-	9/12/2018	30	28	Va	Va	Va	Vn	Vn	Vn
3-	10/12/2018	33	34	Vp	Vp	Ve	Vn	Vn	Va
4-	11/12/2018	34	31	Vp	Ve	Ve	Vn	Vn	Va
5-	12/12/2018	33	36	Vp	Ve	Ve	Vn	Vn	Va
6-	13/12/2018	26	63	Vn	Vn	Va	Vn	Vn	Vn
7-	14/12/2018	28	61	Va	Vp	Va	Vn	Vn	Va
8-	15/12/2018	29	46	Va	Vp	Vp	Vn	Va	Va
9-	16/12/2018	31	53	Vp	Vp	Ve	Vn	Va	Va
10-	17/12/2018	31	52	Vp	Ve	Ve	Va	Va	Va
11-	18/12/2018	33	40	Ve	Ve	Ve	Vp	Vp	Vp
12-	19/12/2018	28	69	Va	Vp	Vp	Va	Va	Vp
13-	20/12/2018	26	78	Va	Vp	Vp	Va	Va	Vp
14-	21/12/2018	29	38	Vp	Vp	Vp	Va	Va	Va
15-	22/12/2018	26	65	Va	Va	Va	Vn	Va	Va

Vn – vulnerabilidade normal; Va – vulnerabilidade alta; Vp – vulnerabilidade perigo; Ve- vulnerabilidade emergência.

Com as mesmas previsões de temperatura e umidade relativa do ar o modelo responde às individualidades das variáveis de entrada, PRT da instalação e idade das aves. A vulnerabilidade é maior no aviário com PRT 0% independentemente da idade dos frangos (Figura 3).

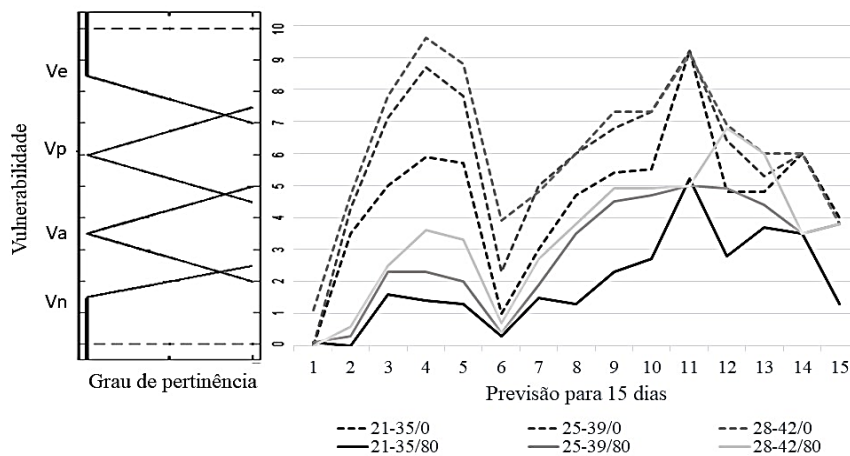


Figura 3: Grau de pertinência da vulnerabilidade entre zero e dez em função de 15 dias de previsão meteorológica, em aviários com potencial de redução de temperatura (PRT) do ar de 0 e 80%, para três conjuntos de fuzzy de idades de frangos de corte com 21-35, 25-39 e 28-42 dias de idade.

Nascimento et al. (2014) relatam não haver condições de estresse nas condições da validação 4, e o modelo estimou corretamente a condição normal (Vn) ou de conforto (Tabela 2, validação 4). Oliveira et al. (2006) realizaram pesquisa de ganho de peso e rendimento de cortes com frangos da linhagem Ross e as condições de conforto obtiveram os melhores resultados. Os resultados do modelo foram para vulnerabilidade Vn, com valores de 2,4 e 2,2 (para PRT = 0% e PRT = 80%, respectivamente), que são valores de transição entre o Vn e Va, estas condições podem representar o limite do conforto térmico (Tabela 2, validação 5 e 6). As validações 7, 8 e 9 têm base no trabalho de Borges et al. (2003) que caracteriza o conforto térmico para frangos de corte da linhagem Ross com idades de 28, 35 e 42 dias. A resposta do modelo foi Vn condição esperada.

Borges et al. (2003) tratam as condições de temperatura de 27 °C e umidade relativa do ar com 51% como desconforto térmico para idade de 28 dias, o modelo resultou risco de Vn = 2,1 (Tabela 3, validação 1) para PRT 0%. A condição de pertinência (2,1) está na transição limite de Vn e início de Va (Figura 1e), sem oferecer risco para condições de PRT 80%. Outras duas condições com base em Borges et al. (2003) foram classificadas como Va para idades de 42 e 35 dias (Tabela 2, validação 2 e 3). Condições de alta temperatura do ar e umidade relativa do ar são reportadas como condições de alto risco, estresse agudo, perda de peso e mortalidade elevada, sendo que o modelo acerta ao classificá-las com a maior vulnerabilidade Ve (Tabela 3; ALJUOBORI et al., 2016; MANNO et al., 2011; GENÇ & PORTIER, 2005).

Os conjuntos de vulnerabilidade correspondem satisfatoriamente com as condições especificadas na literatura e os resultados podem ser utilizados para representar níveis de vulnerabilidade do sistema de produção de frangos de corte. O modelo responde para diferentes idades (Figura 2b) e a estimativa do modelo realizada com previsão do tempo (Figura 3) permite comparar a variação entre idades diferentes com valores iguais de temperatura e umidade relativa do ar.

O modelo reage corretamente com as variações de umidade relativa do ar. Os dias com temperatura do ar e umidade relativa elevadas representam um maior risco para as aves e para as instalações, pois a eficiência em perder calor latente diminui podendo ser nula (GENÇ & PORTIER, 2005). Para fins de teste foram comparadas condições opostas de PRT, 0% e 80%, e a diferenciação entre a resposta do modelo e as variações de outros níveis de PRT podem ser observadas na Figura 2a. O resultado positivo em responder a diferentes vulnerabilidades das instalações justificam a orientação do modelo de acordo com o PRT e as tipologias construtivas propostas na metodologia.

As principais variáveis de entrada para o funcionamento do modelo são temperatura e umidade relativa do ar. O nível de acerto do sistema de alerta em prever condições de vulnerabilidade está relacionado com o nível de acerto da previsão meteorológica. O Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), anuncia em seu glossário que hoje as previsões de tempo são geradas para até 15 dias, com 98% de acerto para as 48 h, chegando a 70% com cinco dias. Quanto mais próximo do dia do evento previsto, maiores as chances de o modelo acertar, devendo ser atualizado diariamente com informações da previsão e idade das aves.

O sistema tem a capacidade de operar em condições de incerteza, onde a definição de uma condição pode ser ou não de estresse e oscilar devido fatores como a idade, umidade e PRT. Com o sistema de alerta com base na vulnerabilidade das aves e da instalação é possível gerar alertas diários para cada produtor e cada lote alojado, permitindo ampliar a gama de ações protetoras para as aves. O desenvolvimento de aplicativos de sistema de alerta conectados a previsões meteorológicas podem ampliar a gama de ações potenciais e até mesmo o gerenciamento do investimento em melhorias construtivas dos aviários.

CONCLUSÃO

O sistema *fuzzy* desenvolvido para a predição da vulnerabilidade do ambiente térmico de criação, caracterizado pelo potencial de redução de temperatura (PRT), temperatura do ar (T), umidade relativa (UR) e idade dos frangos (I), gerou escore de vulnerabilidade compatível, podendo auxiliar na tomada de decisão mitigatória e na construção de sistemas de alerta personalizados.

Este modelo pode atender à demanda da necessidade de sistemas de redução da vulnerabilidade da produção de frangos de corte aos extremos climáticos e as alterações decorrentes de mudanças climáticas, permitindo um nível de ação mitigatória local.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e apoio financeiro do projeto do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq, processo 483001/2013-9).

REFERÊNCIAS

ABREU, P. G. et al. Medidas morfológicas em função do peso e da idade da ave, por meio de imagens. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, p. 795–801, 2012.

ABREU, V. M. N.; ABREU, P. G. D. Os desafios da ambiência sobre os sistemas de aves no Brasil. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, n. 256, p. 1-14, 2011.

ALJUOBORI, A. et al. Higher inclusion rate of canola meal under high ambient temperature for broiler chickens. *Poultry science*, v. 23, 2016.

BOIAGO, M. M. et al. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.

BORGES, S. A. et al. Dietary electrolyte balance for broiler chickens exposed to thermoneutral or heat-stress environments. *Poultry Science*, v. 82, n. 3, p. 428-435, 2003.

CARDOSO A. O. et al. Extended time weather forecasts contributes to agricultural productivity estimates. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 102, n. 3-4, p. 343-350, 2010.

CHEPETE, H.J.; CHIMBOMBI, E.M.; TSHEKO, R. Production performance and temperature humidity index of broilers reared in naturally ventilated houses in Botswana. *Botswana Journal of Agriculture and Applied Sciences*, v. 1, n. 1, p. 19-28, 2005.

COBB. Manual de manejo de frango de corte. Cobb vantress, 2008.

CORDEIRO, M. B. et al. Conforto térmico e desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 1, p. 217-224, 2010.

CURI, T. M. R. C. et al. Geoestatística para a avaliação do controle ambiental do sistema de ventilação em instalações comerciais para frangos de corte. *Revista Engenharia Agrícola*, v. 34, n. 6, p. 1062-1074, 2014.

DAGTEKIN, M.; KARACA, C.; YILDIZ, Y. Performance characteristics of a pad evaporative cooling system in a broiler house in a Mediterranean climate. *Biosystems Engineering*, n. 103, p. 100-104, 2009.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. How to feed the world in 2050. 2009.

FERREIRA, L. et al. Sistema fuzzy para a predição da temperatura cloacal de frangos de corte. *Ciência Rural*, v. 42 n. 1, 2012.

GENÇ, L. & PORTIER, K. M. Sensible and Latent Heat Productions from Broilers in Laboratory Conditions. *Turkish Journal of Veterinary e Animal Sciences*, n. 29, p. 635-643, 2005.

GUERREIRO, E. N. et al. Brain and hepatic Hsp70 protein levels in heat-acclimated broiler chickens during heat stress. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 6, n. 4, p. 201-206, 2004.

IPCC - ClimateChange 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Edited by C. B. Field et al. Cambridge/New York, Cambridge university Press/IPCC, 2014.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 p., 2018.

JANÉ, D. A. Uma introdução ao estudo da lógica fuzzy. *Hórus – Revista de Humanidades e Ciências Sociais Aplicadas*, n. 2, 2004.

MANNO, M. C. et al. Produção de amônia no interior de galpões avícolas com modificações ambientais. *Revista Ciências Agrárias*, v. 54, n. 2, p. 159-164, 2011.

MARCHINI, C.F.P. et al. Frequência respiratória e temperatura cloacal em frangos de corte submetidos à temperatura ambiente cíclica elevada. *ArchivesofVeterinary Science*, v. 12, n. 1, p. 41- 46, 2007.

MARTO, Natália. Ondas de calor. Impacto sobre a saúde. *Acta Médica Portuguesa*, v. 18, n. 6, p. 467-474, 2005.

NASCIMENTO, G. R. do et al. Infrared thermography in the estimation of thermal comfort of broilers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 6, p. 658-663, 2014.

OLIVEIRA, R.F.M. et al. Efeitos da temperatura e da umidade relativa sobre o desempenho e o rendimento de cortes nobres de frangos de corte de 1 a 49 dias de idade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 35, p. 797-803, 2006.

PANDORFI, H. et al. Uso da lógica fuzzy na caracterização do ambiente produtivo para matrizes gestantes. *EngenhariaAgrícola*, v. 27, n. 1, p. 83-92, 2007.

PAPANASTASIOU, D. K.; MELAS, D.; LISSARIDIS, I. Study of wind field under sea breeze conditions; an application of WRF model. *Atmospheric Research*, p. 102-117, 2010.

PERISSINOTTO, M. et al. Conforto térmico de bovinos leiteiros confinados em clima subtropical e mediterrâneo pela análise de parâmetros fisiológicos utilizando a teoria dos conjuntos fuzzy. *Ciência Rural*, v. 39, n. 5, p. 1492-1498, 2009.

PETRACCI, M. et al. Preslaughter mortality in broiler chickens, turkeys and spent hens under commercial slaughtering. *Poultry Science*, v. 85, p. 1660-1664, 2006.

VALE, M. M. et al. Data mining to estimate broiler mortality when exposed to heat wave. *ScientiaAgricola*, v. 65, n. 3, p. 223-229, 2008.

ZADEH, L. A. Fuzzy Sets. *Information and Control*, v. 8, p. 338—353, 1965.

DISCUSSÃO GERAL

A revisão classifica os aviários em 3 grandes grupos, o artigo 2 mostra que não há tanto problema com esta classificação quando se compara os aviários das extremidades, alta e baixa vulnerabilidade, mas aviários intermediários podem ser um problema com esta classificação exigindo um tratamento matemático difuso. O artigo *fuzzy* consegue abranger melhor esta classificação pois os sistemas podem sofrer inúmeras interferências. Um aviário que está no grupo de baixa vulnerabilidade mas possui um sistema defeituoso, problemas no painel evaporativo, cortina ou isolamento em geral, pode ser prejudicado a ponto de pertencer a outra classe, típico de uma condição imprecisa e difusa.

A média encontrada para os aviários com resfriamento evaporativo na entrada de ar testados foram de 80 e 81% a variação que ocorreu foi de 55 até 91% (Artigo 2). Outros trabalhos verificaram variações médias diárias de resfriamento evaporativo entre 74% e 81% (NETO e ZOLNIER, 2010) e 66 e 80% (LERTSATITTHANAKORN et al, 2006). Os resultados reforçam a indicação de média de 80% para fins de cálculos (ABREU et al., 1999). O PRT pode ser ajustado para cada aviário seguindo a metodologia do artigo 2 aplicando a equação 1 (Artigo 2) com resultados específicos é possível ajustar com maior precisão o sistema criado no artigo 3.

A Figura 3 (artigo 2) mostra uma diferença no aviário do tipo túnel devido problemas no isolamento térmico. Isso indica que o PRT de sistemas de climatização podem ser melhorados com ajustes no isolamento.

O PRT indica a percentagem que o sistema de climatização se aproxima da depressão de bulbo úmido. Quanto maior a diferença entre a temperatura de bulbo seco em relação a de bulbo úmido maior pode ser a redução na temperatura do ar. Quanto maior a umidade relativa do ar, menor é a depressão de bulbo úmido e por consequência, menores são as possibilidades de evaporação, reduzindo a capacidade de resfriamento dos aviários.

O sistema de auxílio à classificação da vulnerabilidade define quatro conjuntos de condições. Para condições de conforto o sistema de controle de temperatura não precisa ser acionado. A maior influência dos sistemas de resfriamento está nas condições de alta vulnerabilidade e condições de perigo. O PRT não é suficiente para manter condições de conforto para condições de emergência (V_e) devido a combinações de alta temperatura e umidade relativa do ar (Artigo 3, Tabela 4).

Melhores condições de isolamento amenizam as variações e não deixam a flutuação térmica acontecer de forma abrupta como nas áreas externas ocorrendo um comportamento térmico mais suave durante o dia (SAMPAIO et al., 2011). Estruturas com menor isolamento térmico respondem às condições externas de temperatura, conforme a temperatura se eleva e o mesmo ocorre dentro do aviário (ABREU et al, 2007). Este efeito pode ser percebido para o aviário convencional em que não há diferença entre as temperaturas externas e internas (Artigo 2, figura 2b). A vulnerabilidade para aviários convencionais com baixa capacidade de redução da temperatura do ar são maiores (artigo *fuzzy*, tabela 5). Aviários com menor PRT sofrem grande influência das condições externas e em dias com temperatura elevadas as condições de desconforto térmico são agravadas resultando em maiores valores de vulnerabilidade (Figura 2, Artigo 3).

Em locais de maiores vulnerabilidades é necessário investir em maior resiliência contra o risco de desastres causados por eventos climáticos extremos (FAO, 2009). Estas condições reforçam os alertas do IPCC (2001, 2007) de que a vulnerabilidade é alta, especialmente para produtores que dependem de sistemas agrícolas mais tradicionais. Os aviários convencionais são mais vulneráveis, mas condições de temperaturas de 32 °C características de onda de calor afetam aviários com PRT melhores.

A adaptação às alterações climáticas deve tornar-se uma parte integrante das estratégias para melhorar a preparação para desastres e desenvolvimento sustentável. Os países precisarão realizar avaliações de impacto com base em avaliações abrangentes de riscos e oportunidades, benefícios e custos (FAO, 2009). O uso de materiais com maiores valores de resistência e inércia térmica para minimizar as variações térmicas no interior dos aviários (LOURENÇONI et al., 2018). Além de prever condições de risco e identificar condições de maiores vulnerabilidades devem ser desenvolvidos novos sistemas para enfrentar as condições desfavoráveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os aviários respondem de forma diferente às condições externas do ambiente configurando vulnerabilidades distintas.

O sistema de alerta proposto neste estudo contribui na capacidade de oferecer oportunidade de preparação para enfrentar condições adversas e identificar estruturas com maiores vulnerabilidades.

Devem ser estudadas outras opções de controle da temperatura para os aviários considerando que as mudanças climáticas podem aumentar o número de dias com temperaturas elevadas e que, mesmo os sistemas mais eficientes, devido aos limites do PRT, não são capazes de manter condições de conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ABPA - Associação Brasileira de Proteína Animal. Produção de aves e de suínos será menor neste ano, aponta a ABPA. 13 de dezembro de 2018. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/noticia/producao-de-aves-e-de-suinos-sera-menor-neste-ano-aponta-a-abpa-2642>
Acesso em: 14/12/2018.

ABPA, Associação brasileira de proteína animal. Relatório anual, 2018.

ABREU, P. G., ABREU, V. M. N., & MAZZUCO, H. Uso do resfriamento evaporativo (adiabático) na criação de frangos de corte. Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E), 1999.

ABREU, P.G. et al. Condições térmicas ambientais e desempenho de aves criadas em aviários com e sem o uso de forro. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 59, n. 4, p. 1014-1020, 2007.

ALJUOBORI, A. et al. Higher inclusion rate of canola meal under high ambient temperature for broiler chickens. Poultry science, v. 23, 2016.

BOIAGO, M. M. et al. Desempenho de frangos de corte alimentados com dietas contendo diferentes fontes de selênio, zinco e manganês, criados sob condições de estresse térmico. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, v. 65, n. 1, p. 241-247, 2013.

DAGTEKIN, M.; KARACA, C.; YILDIZ, Y. Performance characteristics of a pad evaporative cooling system in a broiler house in a Mediterranean climate. Biosystems Engineering, n. 103, p. 100-104, 2009.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. How to feed the world in 2050. 2009.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Geneva, Switzerland, 104 p., 2007.

IPCC- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Climate change 2001: the scientific basis. [S.l.]: Contributions of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, 944 p, 2001.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An IPCC Special Report. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 p., 2018.

LERTSATITTHANAKORN, C.; RERNGWONGWITAYA, S.; SOPONRONNARIT, S. Field experiments and economic evaluation of an evaporative cooling system in a silkworm rearing house. *Biosystems Engineering*, v. 93, n. 2, p. 213-219, 2006.

LOURENÇONI, D. et al. Respostas produtivas de frangos de corte criados em diferentes sistemas comerciais de produção—parte II: Impacto das mudanças climáticas. *Engenharia Agrícola*, v. 39, n. 1, 2018.

NASA/NOAA - Global Climate Change. 2018 quarto ano mais quente na tendência de aquecimento contínuo, de acordo com a NASA, NOAA. LANÇAMENTO 19-002. 6 de fevereiro de 2019 Disponível em: climate.nasa.gov/news/2841/2018-fourth-warmest-year-in-continued-warming-trend-according-to-nasa-noaa/

NASCIMENTO, G. R. do et al. Infrared thermography in the estimation of thermal comfort of broilers. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 18, n. 6, p. 658-663, 2014.

NETO, A. J. S.; ZOLNIER, S. Desempenho de um sistema de resfriamento evaporativo do ar em casa-de-vegetação. *Irriga*, v. 15, n. 2, p. 140, 2010.

OCDE/FAO – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento-Organização das nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. *Agricultura Outlook 2012-2021*. 2012.

PETRACCI, M. et al. Preslaughter mortality in broiler chickens, turkeys and spent hens under commercial slaughtering. *Poultry Science*, v. 85, p. 1660-1664, 2006.

SAMPAIO, C. A. P.; CARDOSO, C. O.; SOUZA, G. P. Temperaturas superficiais de telhas e sua relação com o ambiente térmico. *Engenharia Agrícola*, v. 31, n. 2, p. 230-236, 2011.