



PABLO TEIXEIRA LEAL DE OLIVEIRA

**AMBIENTE TERMO-LUMÍNICO E PRODUÇÃO
DE OVOS DE CODORNAS JAPONESAS EM
AVIÁRIOS EQUIPADOS COM DIFERENTES
LÂMPADAS: AVALIAÇÃO E MODELAGEM
COMPUTACIONAL**

**LAVRAS – MG
2019**

PABLO TEIXEIRA LEAL DE OLIVEIRA

**AMBIENTE TERMO-LUMÍNICO E PRODUÇÃO DE OVOS DE
CODORNAS JAPONESAS EM AVIÁRIOS EQUIPADOS COM
DIFERENTES LÂMPADAS: AVALIAÇÃO E MODELAGEM
COMPUTACIONAL**

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

Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

Dr. Alessandro Torres Campos
Dra. Daniela Duarte de Oliveira
Dra. Priscilla Abreu Pereira Ribeiro
Dra. Silvia Helena Nogueira Turco
Dr. Vasco Fitas da Cruz
Coorientadores

**LAVRAS – MG
2019**

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

Oliveira, Pablo Teixeira Leal de.

Ambiente termo-lumínico e produção de ovos de codornas japonesas em aviários equipados com diferentes lâmpadas: avaliação e modelagem computacional / Pablo Teixeira Leal de Oliveira. – 2019.

145 p. : il.

Orientador: Tadayuki Yanagi Junior.

Coorientadores: Alessandro Torres Campos; Daniela Duarte de Oliveira; Priscilla Abreu Pereira Ribeiro; Silvia Helena Nogueira Turco; Vasco Fitas da Cruz.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Coturnicultura. 2. Lâmpadas. 3. Produção de ovos. I. Yanagi Junior, Tadayuki. II. Campos, Alessandro Torres. III. Oliveira, Daniela Duarte de, IV. Ribeiro, Priscilla Abreu Pereira. V. Turco, Silvia Helena Nogueira. VI. Cruz, Vasco Fitas da. VII. Título.

PABLO TEIXEIRA LEAL DE OLIVEIRA

**AMBIENTE TERMO-LUMÍNICO E PRODUÇÃO DE OVOS DE
CODORNAS JAPONESAS EM AVIÁRIOS EQUIPADOS COM
DIFERENTES LÂMPADAS: AVALIAÇÃO E MODELAGEM
COMPUTACIONAL**

**THERMO-LUMINOUS ENVIRONMENT AND PRODUCTION OF
JAPANESE QUAIL EGGS IN AVIARIES EQUIPPED WITH
DIFFERENT LAMPS: EVALUATION AND COMPUTATIONAL
MODELING**

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

APROVADO em 22 de fevereiro de 2019.

Dr. Édson José Fassani	UFLA
Dr. Flávio Alves Damasceno	UFLA
Dra. Silvia Helena Nogueira Turco	UNIVASF
Dr. Vasco Fitas da Cruz	UEVORA

Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior
Orientador

**LAVRAS – MG
2019**

Dedico este trabalho à minha esposa Sarah Rachel e às minhas filhas Luisa e
Letícia Leal.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de poder vivenciar esse crescimento profissional e pessoal.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sertão Pernambucano, campus Petrolina Zona Rural, em especial à Pró-reitoria de Pesquisa, Inovação e Pós-Graduação, pela consagrada Política de Incentivo à Qualificação Profissional e por todos os recursos disponibilizados para possibilitar a qualificação dos servidores dessa instituição.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realizar o curso de doutorado e pelo acolhimento durante todo o período de curso.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior, por sua confiança, amizade, dedicação e orientação, essenciais para a realização deste trabalho.

A todos os professores do programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola e funcionários que muito contribuíram para o meu crescimento intelectual e profissional, em especial aos Professores Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz, Dr. Francisco Carlos Gomes, Dr. Renato Ribeiro de Lima,

Aos meus coorientadores, Daniela Duarte de Oliveira, Vasco Fitas da Cruz, Priscilla Abreu Pereira Ribeiro, Silvia Helena Nogueira Turco e Alessandro Torres Campos, pelos créditos depositados, apoio e, sobretudo, pelas contribuições e ensinamentos dedicados.

Ao grupo Aviário Santo Antônio - ASA, em especial ao Sr. Benedito Lemos de Oliveira e à Dra. Daniela Duarte de Oliveira, por disponibilizarem suas instalações para a realização do experimento. Aos Aparício, Euzébio, Angélica e a todos os funcionários da granja, pela disponibilidade e presteza durante o período experimental.

Aos amigos do doutorado, Lucas, Dian e Bruna, por toda ajuda e incentivos prestados. Ao Pedro e Marcelo, estudantes de graduação em Engenharia Agrícola – UFPA, pela valorosa ajuda na coleta dos dados.

Aos meus pais, pelos ensinamentos e valores a mim concedidos. A minha amada esposa, Sarah Rachel Lino Duarte Teixeira, que sempre acreditou no meu potencial, dedicando todo o seu companheirismo, carinho e compreensão em mais este desafio; você é a maior responsável por nossas vitórias.

Aos meus irmãos Tarcio e Samira, pela amizade, palavras de incentivo e encorajamento nas horas mais difíceis.

Ao colégio UNILAVRAS, pelo acolhimento caloroso às nossas filhas e aos grandes amigos com os quais Minas Gerais nos presenteou, vocês tornaram nossa estadia na cidade de Lavras-MG muito mais leve, calorosa e prazerosa.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO GERAL

Objetivou-se, com o presente estudo, avaliar os ambientes térmico e lumínico sobre o desempenho produtivo de codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) em aviários comerciais equipados com sistemas de iluminação com lâmpadas fluorescente compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Foram avaliados dois aviários comerciais, o primeiro equipado LFC e o segundo com LED. As iluminâncias, ambiente térmico e parâmetros produtivos das codornas japonesas nos aviários foram analisadas, por meio de estatística descritiva, estatística convencional, distribuição espacial, por meio de geoestatística e desenvolvimento dos modelos *fuzzy* e *neuro-fuzzy*. Os parâmetros de produção de ovos de codornas japonesas foram afetados negativamente pela condição de estresse moderado por frio, sendo necessário ajustes no aviário que permitam condições térmicas mais adequadas à produção de ovos, nessas condições experimentais. As codornas japonesas foram condicionadas a situação de estresse moderado por frio durante o período experimental, sendo necessários ajustes no manejo das cortinas, de forma a garantir melhores condições do ambiente térmico à produção de ovos. Nenhum dos sistemas de iluminação avaliados (LED e LFC) apresentou homogeneidade de iluminâncias para os perfis horizontais e verticais estudados. Sendo que, o sistema equipado com LFC apresentou maiores valores de iluminância no ambiente produtivo. Dessa forma, apesar dos sistemas de iluminação equipados com lâmpadas LFC e LED terem atendido à necessidade de iluminância necessárias ao estímulo reprodutivo das codornas japonesas em fase de produção, são necessárias intervenções nas distribuições e nas alturas das lâmpadas para proporcionar maior uniformidade de iluminação às aves e, consequentemente, garantindo melhor estabilidade de produção de ovos.

Palavras-chave: Coturnicultura. Lâmpadas. Produção de ovos. Geoestatística. Inteligência artificial.

GENERAL ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate the thermal and luminous environments on the performance of Japanese quail (*Coturnix coturnix japonica*) in commercial aviaries equipped with lighting systems with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode lamps (LED). Two commercial aviaries were evaluated, the first one equipped with CFLs and the second one with LEDs. The illuminance, thermal environment, and productive parameters of Japanese quails in aviaries were analyzed through descriptive statistics, conventional statistics, spatial distribution via geostatistics and development of fuzzy and neuro-fuzzy models. The egg production parameters of Japanese quails were negatively affected by the cold stress condition, and adjustments in the aviary are necessary to allow more adequate thermal conditions to the production of eggs under these experimental conditions. None of the evaluated lighting systems (LED and CFL) presented illuminance homogeneity for the horizontal and vertical studied profiles. Thus, the system equipped with CFL presented higher illuminance values in the productive environment. Therefore, although lighting systems equipped with CFL and LED have fulfilled the need of illuminance necessary for the reproductive stimulation of Japanese quails in production, interventions in the lamps distributions and heights are required to provide illuminance homogeneity for the birds, ensuring better egg production stability.

Keywords: Quail farming. Lamps. egg production. Geostatistics. Artificial intelligence.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 - Evolução do efetivo e produção de ovos de codorna nos últimos 12 anos no Brasil. Effective and production of quail eggs evolution in the last 12 years in Brazil. 18
- Figura 2 - Evolução do efetivo e produção de ovos de codornas, em Minas Gerais, nos últimos 15 anos. Effective and production of quail eggs evolution in Minas Gerais of quails throughout the last 15 years. 19

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

- Figura 1. Desenho esquemático do aviário com pontos de coletas para o perfil horizontal (a), Corte AA do aviário (b) e detalhamento da distribuição da malha de pontos de medição da iluminância nos perfis verticais (c), sem escala definida. Unidade das cotas: m. 52
- Figura 2. Frequência de ocorrência de níveis de iluminação horizontal para aviários de codornas japonesas equipados com lâmpadas LED e LFC. 58
- Figura 3. Gráficos *Box Plot* para iluminância nos perfis horizontais (a) e perfis verticais P1, P2 e P3 (b), respectivamente, em aviários de codornas japonesas equipados com lâmpadas LED e LFC. 60
- Figura 4. Distribuição espacial dos níveis de iluminância para os perfis horizontais equipados com iluminação LED (a) e LFC (b). 65

Figura 5. Distribuição espacial dos níveis de iluminância para os perfis verticais P1 LED (a), P1 LFC (b), P2 LED (c), P2 LFC (d), P3 LED (e) e P3 LFC (f) dos aviários para produção de codornas japonesas.	66
---	----

ARTIGO 2

Figura 1. A) Imagem de satélite do aviário com detalhe de marcação em vermelho para o utilizado em experimento, fonte: Google Earth, B) Vista oblicua do aviário e C) Fachada leste-oeste.....	80
Figura 2. Desenho esquemático do aviário (A). Corte AA do aviário (B) e pontos de coleta das iluminâncias (C), sem escala definida. Unidade das cotas: m.....	84
Figura 3. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e entalpia (H) médios em função do horário do dia em aviário para produção de ovos de codornas japonesas	92

ARTIGO 3

Figura 1. Desenho esquemático do aviário (A) e Corte AA do aviário (B), sem escala definida. Unidade das cotas: m.	117
Figura 2. Desenho esquemático do aviário (A) e elevação (B) ilustrando detalhadamente os pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida).....	121
Figura 3. Funções de pertinência para as variáveis de entrada: (a) Entalpia diurna, (b) Entalpia noturna, (c) Iluminância diurna e (d) Iluminância complementar.	123
Figura 4. Funções de pertinência para as variáveis de saída: (a) percentagem de postura, (b) percentagem de ovos viáveis e (c) mortalidade.....	125

Figura 5. Relações funcionais entre os valores observados e simulados por meio de sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy* para percentagem de ovos (PP), percentagem de ovos viáveis (POV) e mortalidade (M)..... 132

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

ARTIGO 1

Tabela 1. Parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as iluminâncias LED e LFC nos diferentes perfis horizontais e verticais de aviários para produção de codornas japonesas.....63

ARTIGO 2

Tabela 1. Valores médios e desvios-padrões (entre parênteses) dos indicadores do ambiente térmico t_{bs} , UR, ITGU e H diurno e noturno de aviários para codornas japonesas em fase de postura.....87

Tabela 2. Valores médios e desvios padrões (entre parênteses) das variáveis do ambiente térmico de aviário para codornas japonesas91

Tabela 3. Valores médios e desvios padrões (entre parênteses) das iluminâncias natural e complementar medidos dentro e fora das gaiolas em aviário para produção de ovos de codornas japonesas.97

Tabela 4. Valores médios e desvios padrões (entre parênteses) das variáveis produtivas percentagem de postura (PP), percentual de ovos viáveis (OV) e mortalidade (M) de codornas japonesas. 100

ARTIGO 3

Tabela 1. Valores medianos de entrada (entalpia diurna – HD, entalpia noturna – HN, iluminância diurna – ID e iluminância complementar – IC) e saída (percentagem de postura – PP,

percentagem de ovos viáveis – POV e mortalidade – M) observados experimentalmente.	131
Tabela 2. Indicadores estatísticos para verificação da adequação do ajuste e a precisão dos sistemas <i>fuzzy</i> e <i>neuro-fuzzy</i> para percentagem de postura (PP), percentagem de ovos viáveis (POV) e mortalidade (M).....	134

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	15
1	INTRODUÇÃO	15
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Produção de ovos de codorna no Brasil	17
2.2	Conforto ambiental na criação de codornas poedeiras	20
2.2.1	Ambiente térmico	21
2.2.2	Ambiente lumínico	23
2.3	Ambiência e a produção de ovos	25
2.3.1	Efeitos sobre a produção	25
2.4	Lâmpadas e consumo de energia elétrica	27
2.5	Distribuição espacial da iluminância	28
2.6	Inteligência artificial aplicada à ambiência	29
3	CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
	REFERÊNCIAS	35
	SEGUNDA PARTE - ARTIGOS	43
	ARTIGO 1 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ILUMINÂNCIAS COMPLEMENTARES EM AVIÁRIOS PARA CODORNAS JAPONESAS EQUIPADOS COM LÂMPADAS FLUORESCENTES E DE LED	43
	ARTIGO 2 - COMPORTAMENTO TÉRMICO E LUMÍNICO DE AVIÁRIO PARA PRODUÇÃO DE OVOS DE CODORNAS JAPONESAS	75
	ARTIGO 3 - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À PREDIÇÃO DE ÍNDICES PRODUTIVOS DE CODORNAS JAPONESAS EM FUNÇÃO DO AMBIENTE TERMOLUMÍNICO	109

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A coturnicultura vem alcançando posição de destaque no setor agropecuário brasileiro, uma vez que vem apresentando crescimento significativo nos últimos anos, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014). Esse crescimento pode ser atribuído a uma série de características zootécnicas favoráveis, tais como: o rápido crescimento, maturidade sexual precoce, alta produtividade, pequeno espaço para implantação da granja, longevidade na produção, baixo investimento inicial e, conseqüentemente, o rápido retorno financeiro (ALBINO; BARRETO, 2012; RIBEIRO et al., 2016).

Entretanto, apesar das qualidades zootécnicas mencionadas, ainda é baixo o número de informações científicas relacionadas à ambiência e suas implicações sobre a produtividade para codornas de postura, na literatura, sendo que, a maioria dos trabalhos encontrados são na área de nutrição e melhoramento genético.

O ambiente térmico, no sistema de criação intensivo de codornas de postura, influencia diretamente o conforto animal. O estresse decorrente das temperaturas acima ou abaixo da zona de conforto térmico desses animais é uma das principais causas de perdas na indústria de produção de ovos. Essas situações de estresse térmico comprometem o desempenho de codornas de postura, interferindo na ingestão de alimentos e causando perdas na produção, tais como: redução do número de ovos produzidos, incremento do número de ovos com má-formação ou defeitos de casca e, em condições mais extremas, aumento da mortalidade das aves.

A quantidade e qualidade da luz disponibilizada para as aves de postura, no ambiente produtivo, influenciam diretamente a produtividade de ovos desses animais, uma vez que, programas de iluminação associando luz artificial e luz natural, ou mesmo, utilizando somente a luz artificial, podem estabilizar o fotoperíodo permitindo a regularização na produção de ovos. Assim, a iluminação influencia a produção das aves, tendo em vista que controla o ciclo circadiano, equilibrando as funções alimentares, reprodutivas, secreção de hormônios, atividades metabólicas e, conseqüentemente, a produção de ovos.

Em galpões abertos, a iluminação complementar é ofertada no período noturno, sendo instalados, nos galpões, sistemas de iluminação artificial composta, na sua maioria, por lâmpadas fluorescentes tubulares ou compactas. A substituição desse sistema de iluminação por outros mais eficientes pode proporcionar uma significativa redução no consumo de energia elétrica, reduzindo o custo de produção de ovos e, conseqüentemente, melhorando a competitividade da propriedade perante o mercado.

Nesse contexto, o conforto termolumínico constitui um dos principais responsáveis pelo desempenho produtivo de codornas de postura, sendo que, em decorrência da escassez de informações oriundas de pesquisas, observa-se um vasto campo de pesquisa científica e tecnológica para ser desenvolvido.

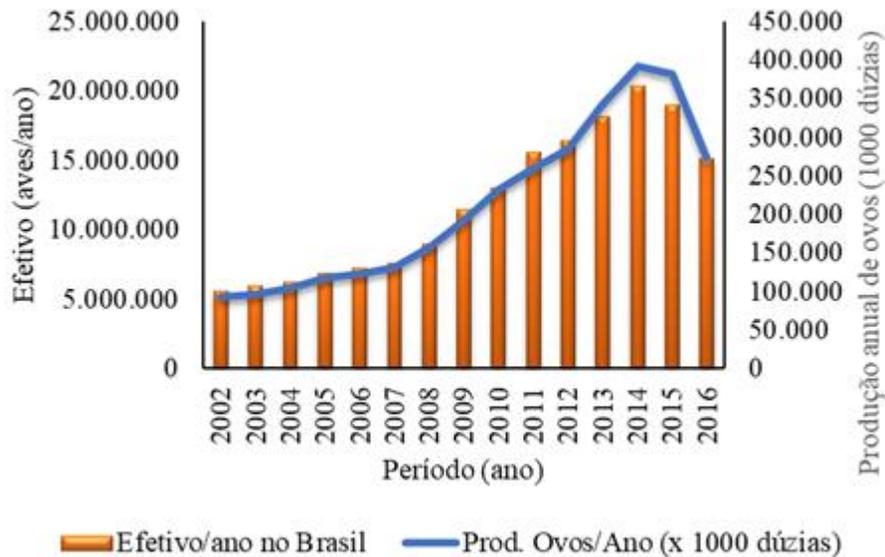
2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Produção de ovos de codorna no Brasil

A crescente demanda no consumo de ovos de codorna, estimulada pela atual mudança de hábitos da população brasileira pela busca por uma alimentação mais saudável, vem impulsionando o crescimento da produção nos últimos anos. Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Figura 01), entre os anos de 2002 a 2014 houve crescimento de 165% do efetivo no Brasil e um aumento da produção de, aproximadamente, 225%, nesse mesmo período (IBGE, 2014). Porém, os dois anos seguinte (2015 e 2016) foram marcados por consecutivas reduções no efetivo e produção de ovos na ordem de 26 e 30%, respectivamente. Essa redução pode ser atribuída à mudança de hábito da população que, em períodos de crise, reduz o consumo, além de uma considerável elevação nos custos com a alimentação dessas aves.

Apesar da evidente queda do número de codornas e de sua produção de ovos, nos últimos dois anos, o Brasil registrou, em 2016, efetivo de aproximadamente 15,1 milhões de unidades de codornas de postura e uma produção de ovos de 273,301 milhões de dúzias. Fazendo uma análise da produção nas diferentes regiões do Brasil pode-se observar que, no ano de 2016, a região sudeste detém cerca de 67% do efetivo existente no país, com destaque para o Estado de São Paulo, responsável por 56,5% do efetivo nacional, seguido pelos Estados do Espírito Santo (25,4%) e Minas Gerais (15,6%) (IBGE, 2016).

Figura 1 - Evolução do efetivo e produção de ovos de codorna nos últimos 12 anos no Brasil. Effective and production of quail eggs evolution in the last 12 years in Brazil.



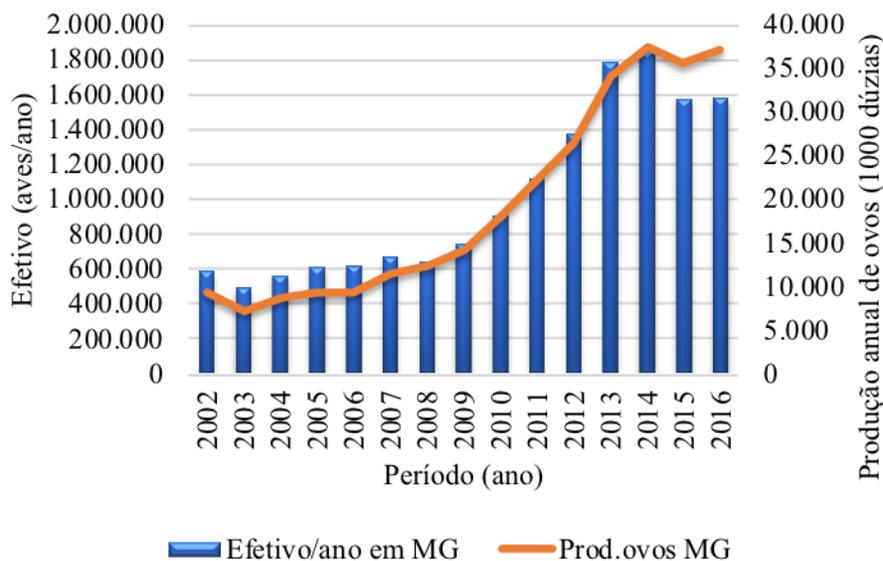
Fonte: Adaptado do IBGE (2016).

Esse crescimento pode ser atribuído, segundo Pastore, Oliveira e Muniz (2012), à adequação das unidades produtivas às novas tecnologias, na qual, a atividade outrora de subsistência, passou a ocupar um cenário de atividade altamente tecnificada, além dos atributos genéticos da espécie, que, segundo Albino e Barreto (2012), Lemos et al. (2014) e Pastore, Oliveira e Muniz (2012), reúnem características zootécnicas bastante atraentes para o setor produtivo, como: rápido crescimento, precocidade na produção, maturidade sexual (35 a 42 dias), alta produtividade (média de 300 ovos ano⁻¹), pequenos espaços para grandes populações e a grande longevidade em alta produção (14 a 18 meses).

Analisando o sistema produtivo de codornas de postura para o estado de Minas Gerais pode-se observar crescimento do efetivo e produção de

aproximadamente 115 e 198%, respectivamente, entre os anos de 2002 a 2014. Porém, apesar da curva de crescimento da produção nacional ter apresentado seguidas quedas nos últimos dois anos, o efetivo e a produtividade do estado de Minas Gerais tiveram uma queda de aproximadamente 15 e 5,4%, respectivamente, no ano de 2015 (IBGE, 2015), apresentando uma retomada do seu crescimento no ano de 2016.

Figura 2 - Evolução do efetivo e produção de ovos de codornas, em Minas Gerais, nos últimos 15 anos. Effective and production of quail eggs evolution in Minas Gerais of quails throughout the last 15 years.



Fonte: Adaptado do IBGE (2016).

A crescente produção de ovos de codorna no país deve-se também à popularização do consumo de ovos atribuída, principalmente, ao aumento dos investimentos nas agroindústrias de processamento. Segundo Bertechini (2010) e Jácome et al. (2012), os ovos em conserva são considerados o principal

estimulante ao consumo, uma vez que, a distribuição em toda a cadeia alimentar fica mais fácil, bem como, democratiza e facilita o acesso ao produto processado em todos os segmentos do setor alimentício do país. Segundo o mesmo autor, traçando um comparativo do consumo de ovos de galinha com os ovos de codorna, percebe-se a ingestão anual de 7.280 g (140 ovos ano⁻¹) para os de galinha e apenas 140 g (14 ovos ano⁻¹) para o de codornas, representado 1,9% apenas em relação ao total consumido. Esses dados indicam grande possibilidade para o crescimento do consumo dos ovos de codornas.

2.2 Conforto ambiental na criação de codornas poedeiras

Ao levar-se em consideração a produção animal, pode-se entender o ambiente como o conjunto de fatores que afetam direta ou indiretamente os animais, com exceção da alimentação e de patógenos (BAÊTA; SOUZA, 2010). Nesse contexto, quando se leva em consideração a produção de codornas japonesas, diversos são os fatores que interferem na oferta de um ambiente adequado para a produção de ovos, tais como, a temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs}), umidade relativa (UR), velocidade (V) e qualidade do ar (concentração de gases como NH₃, O₂, CO₂; de poeira e entre outras), luminosidade e nível sonoro (TINÔCO, 2001).

Apesar de todos os avanços tecnológicos alcançados no setor agropecuário, especialmente no que tange à produção animal, o ambiente, nos sistemas de criação intensivos, ainda influencia negativamente o conforto e bem-estar animal (PANDORFI; SILVA; PIEDADE, 2008), promovendo dificuldade na manutenção do balanço térmico no interior das instalações (NAZARENO et al., 2009) e na expressão de seus comportamentos naturais (NAZARENO et al., 2009; SILVA; PANDORFI; PIEDADE, 2008), afetando o desempenho produtivo das aves (NAZARENO et al., 2009). Dessa forma, torna-se necessária

a oferta de um ambiente adequado aos animais, propiciando a obtenção do máximo de produção com o mínimo de custo.

2.2.1 Ambiente térmico

Dentre os fatores ambientais, os fatores térmicos representados pela temperatura do ar, umidade relativa, radiação térmica e movimentação do ar exercem maior influência (BAÊTA; SOUZA, 2010), afetando diretamente as aves, pois podem promover dificuldade do balanço térmico, no interior das instalações, influenciando o comportamento natural das aves e, conseqüentemente, afetando o seu desempenho produtivo (NAZARENO et al., 2009).

As aves são animais homeotermos, ou seja, possuem habilidades para manter a temperatura do corpo aproximadamente constante, por meio de um sistema termorregulador. O sistema de termorregulação controla os processos de aumento e dissipação das taxas de calor, mediante as variações ocorridas no ambiente externo, para que seus órgãos vitais possam funcionar normalmente. Logo, as aves estão continuamente em troca térmica com o ambiente (BAÊTA; SOUZA, 2010).

Na zona termoneutra as aves despendem pouca energia para manter sua temperatura corporal, sendo assim, quase toda energia assimilada da dieta é destinada aos processos produtivos (VERCESE, 2010).

Por sua vez, o estresse térmico altera o sistema fisiológico das aves, diminui a quantidade e a qualidade de ovos produzidos, além de aumentar a conversão alimentar, o número de ovos com má-formação e podendo levar a ave ao óbito em condições mais extremas (FERREIRA, 2005; JÁCOME et al., 2007; NAKANO, 1979; OLIVEIRA, 2002; OLIVEIRA et al., 2014; SILVA et al., 2012; VITORASSO; PEREIRA, 2009). O estresse térmico é considerado um

dos principais agentes causadores de perdas na indústria de produção de ovos, tornando necessário o desenvolvimento de estudos para avaliar o efeito desses fatores ambientais no desempenho e qualidade de ovos de codornas de postura.

Para que as codornas, na fase de postura, possam expressar suas melhores características produtivas, torna-se necessário que o ambiente térmico de criação esteja na zona de termoneutralidade, em que, segundo recomendações da literatura, a t_{bs} deve variar de 23 a 26 °C e a UR de 65 a 70% (ALBINO; BARRETO, 2012; MEDEIROS et al., 2005; OLIVEIRA, 2004, 2007; SANTOS et al., 2017; SOUSA et al., 2014).

Ferreira (2005) relatou os efeitos da t_{bs} nas galinhas de postura: quando submetidas à temperatura ambiente até 10°C, ocorre a queda na produção de ovos e no ganho de peso com impacto negativo sobre a conversão alimentar; entre 10 e 15°C as aves apresentam piora na conversão alimentar e a umidade relativa apresenta menor interferência sobre a termólise, que é em sua maioria, da forma sensível; na faixa entre 15 e 25°C ocorre a máxima produção de ovos; para a temperatura ambiente entre 25 e 30°C, até 26°C não ocorrem grandes interferências na produção, entretanto, a partir de 25°C ocorre diminuição no consumo de ração; a partir de 26°C o número e o tamanho dos ovos poderão diminuir e a qualidade da casca é influenciada; por volta dos 27°C ocorre queda no número e no tamanho dos ovos, ao mesmo tempo que o consumo de ração por quantidade de ovos produzidos aumenta, gerando redução na eficiência reprodutiva; acima de 30°C verifica-se redução no consumo de ração, tamanho do ovo e a qualidade de casca dos ovos se deteriora; aos 32°C o consumo de água poderá ser superior ao dobro, nesse momento, a termorregulação fica comprometida; aos 35°C medidas emergenciais de resfriamento devem ser tomadas, pois a sobrevivência é o interesse maior; aos 40°C a temperatura corporal das aves poderá facilmente atingir o limite máximo, podendo ocorrer a morte por hipertermia.

Segundo Vercese (2010), as altas temperaturas induzem a redução no consumo de ração, no peso e na massa dos ovos, além da qualidade interna e externa dos ovos serem afetados.

Para melhor quantificar e classificar as condições térmicas do ambiente, alguns índices têm sido propostos ou aprimorados e utilizados com o objetivo de prever, por meio de um único valor, as condições térmicas de um determinado ambiente. Um dos índices de conforto térmico mais utilizados é o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), proposto por Buffington et al. (1981), a partir do índice de temperatura e umidade (ITU) desenvolvido por Thom (1958). Esse índice considera, em um único valor, os efeitos da temperatura do ar, da umidade relativa, da radiação incidente e da velocidade do vento, e tem sido usado para avaliar as condições de conforto animal. A grandeza física, entalpia, também tem sido usada com a mesma finalidade dos índices térmicos, sendo responsável por indicar a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor de água em kJ por kg de ar seco (BARBOSA FILHO et al., 2007; NÄÄS; MOURA; LAGANÁ, 1995).

2.2.2 Ambiente lumínico

Ambiente lumínico pode ser compreendido como a luz fornecida de forma natural (luz solar), artificial (lâmpadas) ou por meio da combinação de ambas. A iluminação natural está sujeita às variações meteorológicas do tempo (nebulosidade) e do manejo de cortinas, o que pode ser observado em aviários comerciais abertos para alojamento de codornas poedeiras.

As aves, em geral, são afetadas pelo fornecimento de luz, que interfere em suas respostas fisiológicas e atividades comportamentais (MENDES et al., 2013). O estímulo luminoso recebido pelas aves, através do olho (retina) e pelo crânio, é transformado em impulso nervoso por meio de cones e bastonetes e

chegam até o hipotálamo, que, por sua vez, libera o hormônio liberador de gonadotrofina (GnRH), que atua na hipófise ou pituitária, produzindo o hormônio folículo-estimulante (FSH) e o hormônio luteinizante (LH). Esses hormônios atuarão diretamente no ovário e oviduto, estimulando o crescimento folicular, a ovulação, formação do ovo e oviposição (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013). Segundo Rocha (2008), o estímulo luminoso através da via transcraniana é considerado a forma mais aceita em relação ao estímulo à reprodução das aves.

Com a maturidade sexual da ave, o oviduto se desenvolve, propiciando a formação do ovo. No ovário existe uma série de folículos que entram em crescimento para a ovulação. Pela ação do FSH os óvulos começam a receber os nutrientes que compõem a gema. Uma vez que a gema esteja formada no oviduto, inicia-se a formação do albúmen. Em seguida, o conjunto albúmen e gema recebe as membranas internas e, posteriormente, inicia-se a formação da casca. Enquanto que, a formação da casca dura aproximadamente 20 horas, a formação completa do ovo leva em torno de 24 h (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013). Geralmente, a codorna começa a pôr o ovo a partir do final do dia ao início da noite.

O processo de formação do ovo atende a um ritmo biológico, com duração de, aproximadamente, 24 horas chamado de “ritmo circadiano”. Segundo Kennaway (2004), essa ritmicidade acontece mesmo em situações de ambiente constante (iluminação, temperatura), sendo de forma endógena ao invés de uma reação ao ambiente externo. Entretanto, apesar de ser um mecanismo endógeno, a sincronidade do ritmo circadiano ajusta-se ao ambiente (MOLINO, 2013). Esse sistema temporal permite ao organismo antecipar e se preparar para mudanças físicas no ambiente que estão associadas com a noite e o dia. Assim, o organismo se adapta tanto comportamental como fisiologicamente para deparar-se com desafios associados com essas mudanças,

resultando em uma sincronização entre o organismo e o ambiente externo (TUREK, 1998).

Considerando que, o estímulo reprodutivo das aves, em geral, está condicionado à necessidade de oferta de um fotoperíodo mínimo, estudos relacionados à iluminação artificial estão se tornando cada vez mais importantes (JÁCOME; ROSSI; BORILLE, 2014). Nesse contexto, a adoção de um programa de luz adequado é importante para estabelecer a idade apropriada para que as aves atinjam a maturidade sexual, aumentando a taxa de postura, eficiência alimentar e, conseqüentemente, assegurando melhores condições de saúde ao plantel (BORILLE et al., 2013; MENDES et al., 2010), além de propiciar o desenvolvimento de um lote mais homogêneo e o melhor desempenho econômico da atividade (MORAES et al., 2008). Molino et al. (2015) recomendaram para codornas japonesas um programa de luz de 16 horas diárias com intensidade luminosa mínima de 5 lux.

2.3 Ambiência e a produção de ovos

As codornas são muito susceptíveis a alterações ambientais estressantes, resultando na redução na produção de ovos, aumento na taxa de ovos quebrados e redução do consumo de ração (OLIVEIRA, 2002). Essas situações de estresse são características da criação intensiva ou comercial (SILVA; PANDORFI; PIEDADE, 2008).

2.3.1 Efeitos sobre a produção

A busca constante por uma situação de conforto térmico no ambiente de produção de codornas de postura é de fundamental importância, quando se deseja alcançar elevada eficiência produtiva, uma vez que temperaturas baixas

ou altas podem comprometer seu comportamento, bem como o desempenho e produção de ovos (RIBEIRO et al., 2016; SANTOS et al., 2017; VERCESE et al., 2012).

Em condições de estresse térmico por altas temperaturas, a ave aciona seus mecanismos termorregulatórios para auxiliar a dissipação do calor corporal para o ambiente, uma vez que, nessas condições, a taxa de produção de calor metabólico normalmente aumenta, podendo ocorrer, também, aumento da temperatura corporal (ABREU; ABREU, 2004; GUIMARÃES et al., 2014). Caso a exposição à condição de alta temperatura se prolongue, a dificuldade na dissipação de calor desses animais se agrava, tendo em vista que as aves não possuem glândulas sudoríparas (SHIMMURA et al., 2007), o que dificulta as trocas de calor na forma latente (evaporação).

Nas aves, o calor latente é transferido por meio da respiração, entretanto, para condições de estresse térmico mais intensas, o aumento da frequência respiratória pode não ser suficiente, resultando no aumento da temperatura corporal. Essa indução à hiperventilação dos pulmões, durante a respiração para dissipação do calor, numa situação de estresse prolongado, promove a perda excessiva de dióxido de carbono (CO_2) do sangue, fator importante na formação do carbonato de cálcio para a casca (JÁCOME et al., 2007).

A perda de CO_2 do sangue pode afetar o equilíbrio ácido básico, causando um desequilíbrio eletrolítico e mineral que pode resultar em ovos pequenos e de casca fina (FURLAN, 2009). Segundo Jácome et al. (2012), dentre os fatores ambientais que levam a produção de ovos com casca fina, a temperatura ambiente é o mais importante. Ressalta-se ainda, que a casca com espessura e resistência adequadas protege o ovo de possíveis contaminações (CARVALHO; FERNANDES, 2013; HUNTON, 2005).

As codornas de postura apresentaram evidências de estresse térmico, a partir de 27°C , com redução no consumo de ração, peso e massa dos ovos, sendo

que, a elevação cíclica de 36°C, na temperatura ambiente, afeta negativamente o percentual de ovos viáveis e o percentual de postura (ALBINO; BARRETO, 2012; EL-TARABANY, 2016; SANTOS et al., 2017; SOUSA et al., 2013; VERCESE, 2010).

Redução do consumo de ração de, aproximadamente, 5,9% foi observada, quando as codornas eram submetidas a flutuações térmicas semanais entre 14,0 e 30,6°C (PINTO et al., 2003b), quando comparado ao estudo realizado com flutuação de temperatura entre 23,19 a 30,5°C (PINTO et al., 2003a).

2.4 Lâmpadas e consumo de energia elétrica

A redução dos custos de produção no setor avícola, sem que haja perdas na produtividade e qualidade do produto final, é uma demanda evidente do mercado. Atualmente, os custos com nutrição das codornas são responsáveis por mais de 60% dos valores investidos no setor de produção (NUNES et al., 2005; RIBEIRO et al., 2015), os sistemas de refrigeração, iluminação e distribuição da ração, por sua vez, representam as maiores demandas de energia elétrica, ao longo do ano, nos aviários (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2010). Turco, Ferreira e Furlan (2002), verificaram que 55% do total de energia consumida, em 40 dias, em um aviário, foram decorrentes do sistema de iluminação.

Visando a atender a essa demanda de redução dos custos de produção em função da elevação da eficiência do uso da energia elétrica no setor de produção, os sistemas agropecuários têm preconizado o uso de lâmpadas de maior eficiência energética (BORILLE et al., 2013; JÁCOME et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; ROSSI et al., 2010). Resultados experimentais indicam reduções no consumo da energia elétrica na ordem de 54,14% a 76% (JÁCOME,

2009; JORDAN; TAVARES, 2005) quando lâmpadas de vapor de sódio (70 W) são usadas para substituir lâmpadas incandescentes (100 W).

A substituição de lâmpadas incandescentes (100 W) por lâmpadas fluorescentes compactas (23 W) e por lâmpadas fluorescentes tubulares T5 (28 W) podem resultar em reduções, neste consumo, de 73,76% e de 90,62% (JÁCOME, 2009; PEREIRA et al., 2012), respectivamente.

Recentemente, as lâmpadas fluorescentes compactas têm sido substituídas por lâmpadas de LED (Diodo emissor de luz), que apresentam alta eficiência luminosa e elevada vida útil (50.000 horas), enquanto as lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas possuem vidas úteis de 1.000 e 8.000 horas, respectivamente (JÁCOME, 2009). A maior vida útil das lâmpadas de LED proporciona redução do custo de manutenção do sistema de iluminação artificial (BORILLE et al., 2013; GONGRUTTANANUN, 2011).

O uso de lâmpadas de LED em galpões de postura pode substituir as lâmpadas incandescentes sem influenciar negativamente a produção e qualidade de ovos de galinhas poedeiras e codornas de postura (BORILLE et al., 2013; GONGRUTTANANUN, 2011; JÁCOME et al., 2012).

Considerando a disponibilidade no mercado de tecnologias de iluminação com maiores eficiências energéticas, tomam-se necessários o desenvolvimento de estudos aplicados ao setor avícola, possibilitando o aumento da competitividade da produção (JÁCOME et al., 2012), além da necessidade eminente de redução da demanda por energia da matriz energética brasileira.

2.5 Distribuição espacial da iluminância

A avaliação dos níveis de iluminâncias nos galpões de produção de codornas de postura é importante para um planejamento adequado do programa de iluminação às necessidades desses animais. Entre as metodologias

disponíveis para a avaliação do ambiente lumínico, a geoestatística se destaca, pois possibilita o estudo da variabilidade espacial do nível de iluminância nos galpões por meio da interpolação por krigagem. Dessa forma, é possível obter mapas de isolinhas para compreender a distribuição espacial, auxiliando no planejamento e controle da iluminação (MORRIL, 2014; YANAGI JUNIOR et al., 2011).

Segundo Yanagi Junior et al. (2011), a espacialização das variáveis relacionadas ao ambiente produtivo proporciona a obtenção de informações mais detalhadas sobre o sistema estudado, sendo que, com a análise geoestatística é possível se obter modelos de semivariogramas e seus parâmetros. Além disso, por meio da geoestatística, é possível prever valores em pontos não amostrados, modelos de semivariogramas e seus parâmetros (GOMES et al., 2007).

2.6 Inteligência artificial aplicada à ambiência

A inteligência artificial pode ser considerada a área onde a lógica seja mais usada, visto que ela é o principal formalismo de representação do conhecimento e, portanto, é muito útil no desenvolvimento de sistemas inteligentes, em especial os especialistas e os multiagentes, visto que, de acordo com Konar (2000) e Luger (2005), a representação e a inteligência são o real desafio da inteligência artificial. Millington (2006) avalia a inteligência artificial como a capacidade de programar o computador para desempenhar tarefas que os pensamentos humanos e animais são capazes de fazer naturalmente.

Segundo Sellitto (2002), a inteligência artificial é um campo de conhecimento que oferece modelos de apoio à decisão e ao controle com base em fatos reais e conhecimentos empíricos e teóricos.

Dentre as técnicas mais comumente utilizadas merece destaque a lógica *fuzzy* que se caracteriza pela capacidade de, partindo de informações e dados imprecisos, inferir a tomada de decisões.

Segundo Pandorfi et al. (2007), a teoria de conjuntos *fuzzy* foi introduzida por Lotfi Asker Zadeh, em 1965, como uma teoria matemática aplicada a conceitos difusos. A partir daí, a pesquisa e a aplicação dessa teoria em sistemas de informação têm crescido. Uma área de aplicação da teoria *fuzzy* é o chamado raciocínio aproximado, semelhante à forma do pensamento humano. Nesses casos, variáveis linguísticas são representadas por conjuntos *fuzzy*, interpretando uma variável linguística como uma variável cujos valores são palavras ou sentenças em linguagem natural, além da existência de variação nas opções e graus de pertinência e regras entre os elementos (ZADEH, 1965).

Apesar de todas as vantagens, a lógica *fuzzy* apresenta um ponto de vulnerabilidade na elaboração da base de regras, uma vez que, segundo Ferreira et al. (2010), a construção do sistema pode ser inviabilizada em função da quantidade de variáveis a serem modeladas com os seus conjuntos *fuzzy*.

A rede neural artificial (RNA), por sua vez, trata-se de um sistema baseado no sistema nervoso biológico, é constituído de uma estrutura matemática com número finito de unidades individualizadas (neurônios) organizados em camadas (SILVA, 2006). O sistema tem maior otimização da capacidade de aprendizado, uma vez que, segundo Tsoukalas e Uhrig (1997), cada neurônio processa os sinais de entrada da rede, os quais são controlados por pesos sinápticos que se adaptam, durante o treinamento, por um algoritmo de aprendizado. Essa capacidade de adaptação confere, a RNA, a habilidade para aprender, reaprender e generalizar a partir de dados e padrões treinados (FERREIRA et al., 2010).

Tanto os modelos *fuzzy* quanto as RNAs são técnicas que possibilitam descrição de sistemas complexos com comportamentos não lineares. Assim, a

fusão desses dois sistemas em um sistema híbrido, *neuro-fuzzy*, permite a obtenção de um sistema mais eficiente na predição, aprendizado, estimação de parâmetros e na capacidade de generalização (SILVA et al., 2014).

Os modelos *fuzzy* e as redes neurais são técnicas que possibilitam a descrição de sistemas complexos com comportamentos não lineares. Assim, a integração dos dois sistemas, *fuzzy* e redes neurais, formando os sistemas híbridos ou *neuro fuzzy*, visa à obtenção de um sistema mais eficiente na predição, aprendizado, estimação de parâmetros e na capacidade de generalização.

As metodologias *fuzzy* e a *neuro-fuzzy* têm sido utilizadas em várias áreas, como bem-estar animal (PANDORFI et al., 2007), desempenho produtivo de frangos de corte (FERREIRA et al., 2010; PONCIANO et al., 2012; SCHIASSI et al., 2015), análises de custo de produção (NÄÄS et al., 2010), sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica (ALMEIDA; KAGAN, 2010), produção vegetal (ARAÚJO JÚNIOR et al., 2016) e detecção de cio em vacas leiteiras (FERREIRA et al., 2007). Dessa forma, pode-se vislumbrar o potencial real da utilização da teoria dos conjuntos *fuzzy* no auxílio de estabelecimento de critérios mais objetivos para a tomada de decisão dos sistemas de produção.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A correlação entre o ambiente termolumínico e a produção de aves de postura vem sendo estudada há muitos anos, conforme observado na literatura mundial, todavia, ainda são encontrados poucos trabalhos científicos que conduzam a um ajuste no manejo do ambiente térmico e de iluminação específicos para codornas japonesas, abrindo assim, um vasto campo de trabalho pela busca por uma maior eficiência produtiva e bem-estar desses animais.

A utilização de metodologias computacionais, como a geoestatística e sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy*, associadas ao conhecimento das variáveis do ambiente termolumínico e dos parâmetros fisiológico e comportamental dos animais podem contribuir na adequação dos sistemas de produção de codornas de postura, melhorando as condições de bem-estar e, conseqüentemente, elevando a eficiência produtiva do sistema.

REFERÊNCIAS

- ABREU, P. G.; ABREU, V. M. N. **Conforto térmico para aves**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 2004. (Comunicado Técnico, 365).
- ALBINO, L. F. T.; BARRETO, S. L. T. **Criação de codornas para produção de ovos e carne**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2012. 289 p.
- ALMEIDA, C. F. M.; KAGAN, N. Aplicação de algoritmos genéticos e teoria dos conjuntos Fuzzy no dimensionamento de sistemas de monitoração para redes de transmissão de energia elétrica. **Revista Controle & Automação**, Campinas, v. 21, p. 363-378, 2010.
- ARAÚJO JÚNIOR, C. A. et al. Modelling and forecast of charcoal prices using a *neuro-fuzzy* system. **Cerne**, Lavras, v. 22, n. 2, p. 151-158, 2016.
- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais conforto animal**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2010. 269 p.
- BARBOSA FILHO, J. A. et al. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 93-99, 2007.
- BERTECHINI, A. G. Situação atual e perspectivas para a coturnicultura no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL, 4.; CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 3., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras, 2010. 1 CD-ROM.
- BORILLE, R. et al. The use of light-emitting diodes (LED) in commercial layer production. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 135-140, 2013.
- BUFFINGTON, D. E. et al. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981.
- CARVALHO, L. S. S.; FERNANDES, E. A. Formação e qualidade da casca de ovos de reprodutoras e poedeiras comerciais. **Medicina Veterinária**, Recife, v. 7, n. 1, p. 35-44, 2013.

EL-TARABANY, M. S. Impact of temperature-humidity index on egg-laying characteristics and related stress and immunity parameters of Japanese quails. **International Journal of Biometeorology**, Lisse, v. 60, p. 957-964, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Custos de produção de frangos de corte 2010**. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.cnpsa.embrapa.br>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

FERREIRA, L. et al. Desenvolvimento de uma rede neuro-fuzzy para predição da temperatura retal de frangos de corte. **Revista de Informática Teórica e Aplicada**, Porto Alegre, v. 17, n. 2, p. 221-233, 2010.

FERREIRA, L. et al. Development of algorithm using fuzzy logic to predict estrus in dairy cows: part I. **Agricultural Engineering International: The CIGR Ejournal**, Beijing, v. 9, p. 1-16, 2007.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2005. 371 p.

FURLAN, R. L. Produtividade vs comportamento animal. In: CONGRESSO DE PRODUÇÃO, COMERCIALIZAÇÃO E CONSUMO DE OVOS, 7., 2009, São Pedro. **Anais...** São Pedro: APA, 2009. p. 124-141.

GOMES, N. M. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 427-435, 2007.

GONGRUTTANANUN, N. Influence of red light on reproductive performance, eggshell ultrastructure, and eye morphology in Thai-native hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 90, n. 12, p. 2855-2863, 2011.

GUIMARÃES, M. C. C. et al. Efeito da estação do ano sobre o desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 231-237, 2014.

HUNTON, P. Research on eggshell structure and quality: an historical overview. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 7, n. 2, p. 67-71, 2005.

INSTITUTO BRASILEIRA DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sala de Imprensa: produção da pecuária nacional 2014**. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1499>. Acesso em: 5 fev. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sala de Imprensa:** produção da pecuária nacional 2015. Rio de Janeiro, 2015.

Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1499>. Acesso em: 5 fev. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sala de Imprensa:** produção da pecuária nacional 2016. Rio de Janeiro, 2016.

Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1499>. Acesso em: 12 mar. 2018.

JÁCOME, I. M. T. D. **Diferentes sistemas de iluminação artificial usados no alojamento de poedeiras leves.** 2009. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

JÁCOME, I. M. T. et al. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 5, p. 527-531, 2007.

JÁCOME, I. M. D. T. et al. Desempenho produtivo de codornas alojadas em diferentes sistemas de iluminação artificial. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 61, n. 235, p. 449-456, 2012.

JÁCOME, I. M. T. D.; ROSSI, L. A.; BORILLE, R. Influence of artificial lighting on the performance and egg quality of commercial layers: a review. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 16, n. 4, p. 337-344, out./ dez. 2014.

JORDAN, R. A.; TAVARES, M. H. F. Análise de diferentes sistemas de iluminação para aviários de produção de ovos férteis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 420-423, 2005.

KENNAWAY, D. J. The role of circadian rhythmicity in reproduction. **Human Reproduction Update**, Oxford, v. 11, p. 91-101, 2004.

KONAR, A. **Artificial intelligence and soft computing:** behavioral and cognitive modeling of the human brain. Boca Raton: CRC, 2000. 816 p.

LEMOS, M. J. et al. Níveis de prebiótico na dieta sobre o desempenho e a qualidade de ovos de codornas japonesas. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 15, n. 3, p. 613-625, 2014.

LUGER, G. F. **Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving**. 5th ed. Hoboken: Pearson Education/Addison Wesley, 2005. 784 p.

MEDEIROS, C. M. et al. Efeitos da temperatura, umidade relativa e velocidade do ar em frangos de corte. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, p. 277-286, 2005.

MENDES, A. S. et al. Performance and preference of broiler chickens exposed to different lighting sources. **The Journal Applied Poltry Research**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 62-70, 2013.

MENDES, A. S. et al. Visão e iluminação na avicultura moderna. **Revista Brasileira Agrocência**, Pelotas, v. 16, n. 1/4, p. 5-13, jan./dez. 2010.

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

MOLINO, A. B. **Iluminação para codornas japonesas na fase de produção**. 2013. 76 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2013.

MOLINO, A. B. et al. Photostimulation of japanese quail. **Poultry Science**, Champaign, v. 94, n. 2, p. 156-161, Feb. 2015.

MORAES, D. T. et al. Efeitos dos programas de luz sobre o desempenho, rendimento de abate, aspectos econômicos e resposta imunológica em frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v. 60, n. 1, p. 201-208, 2008.

MORRIL, W. B. B. **Iluminação por diodo emissor de luz e sua influência na produção de frangos de corte**. 2014. 82 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2014.

NÄÄS, I. A. et al. Impact of global warming on beef cattle production cost in Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, p. 1-8, 2010.

NÄÄS, I. A.; MOURA, D. J.; LAGANÁ, C. A. Utilização da entalpia como variável física de avaliação do conforto térmico na avicultura de corte. In: CONFERÊNCIA APINCO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E AVÍCOLAS, 1., 1995, Curitiba. **Anais...** Campinas: Facta, 1995. p. 201-202.

NAKANO, M. Problemas da avicultura no verão. **Avicultura Industrial**, Porto Feliz, v. 2, p. 22-27, 1979.

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**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 802-808, 2009.

NUNES, R. V. et al. Valores energéticos de subprodutos de origem animal para aves. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1217-1224, 2005.

OLIVEIRA, B. L. Importância do manejo na produção de ovos de codornas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 2.; CONGRESSO BRASILEIRO DE COTURNICULTURA, 1., 2004, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. UFLA, 2004. p. 91.

OLIVEIRA, B. L. Manejo em granjas automatizadas de codornas de postura comercial. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 3., 2007, Lavras. **Anais...** Lavras: Núcleo de Estudos em Ciência e Tecnologia Avícolas, 2007. p. 11-16.

OLIVEIRA, B. L. Manejo racional e produtividade das codornas (*Coturnix coturnix japonica*). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE COTURNICULTURA, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: Ed. UFLA, 2002. p. 77-84.

OLIVEIRA, D. D.; OLIVEIRA, B. L. **Qualidade e tecnologia de ovos**. Lavras: Ed. UFLA, 2013. 223 p.

OLIVEIRA, D. L. et al. Desempenho e qualidade de ovos de galinhas poedeiras criadas em gaiolas enriquecidas e ambiente controlado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 11, p. 1186-1191, 2014.

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

PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; PIEDADE, S. M. S. Conforto térmico para matrizes suínas em fase de gestação, alojadas em baias individuais e coletivas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, p. 326-332, 2008.

PASTORE, S. M.; OLIVEIRA, W. P.; MUNIZ, J. C. L. Panorama da coturnicultura no Brasil. **Revista Eletrônica Nutritime**, Belo Horizonte, v. 9, n. 6, p. 2041-2049, 2012.

PEREIRA, P. A. et al. Technical evaluation of artificial lighting systems for broiler houses. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1011-1024, 2012.

PINTO, R. et al. Exigência de lisina para codornas japonesas em postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1181-1189, 2003a.

PINTO, R. et al. Exigência de metionina mais cistina para codornas japonesas em postura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 32, n. 5, p. 1166-1173, 2003b.

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

RIBEIRO, J. S. et al. Suplementação de enzimas amilase, fitase e protease para codornas japonesas em postura. **Boletim Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 72, n. 2, p. 163-169, 2015.

RIBEIRO, T. L. A. et al. Diferentes níveis de proteína e energia sobre o comportamento fisiológico e desempenho de codornas europeias no semiárido brasileiro. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, São Paulo, v. 4, p. 76-83, 2016.

ROCHA, D. C. C. **Características comportamentais de emas em cativeiro submetidas a diferentes fotoperíodos e diferentes relações macho:fêmea**. 2008. 392 p. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

ROSSI, L. A. et al. Viabilidade técnico-econômica do uso de diferentes tecnologias de iluminação para indução de fotoperíodo na produção de mudas de crisântemo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 811-818, set./out. 2010.

SANTOS, T. C. et al. Behavior of Japanese quail in different air velocities. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 52, n. 5, p. 344-354, maio 2017.

SCHIASSI, L. et al. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frangos de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 2, p. 140-146, 2015.

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

SHIMMURA, T. et al. Behavior, physiology, performance and physical condition of layers in conventional and large furnished cages in a hot environment. **Animal Science Journal**, Berlin, v. 78, p. 314-322, 2007.

SILVA, A. A. V. et al. Estimativa da produtividade de trigo em função da adubação nitrogenada utilizando modelagem neuro fuzzy. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 2, p. 180-187, fev. 2014.

SILVA, G. V. M. **Controlo não linear**: edição digital. 3. ed. Lisboa: Fxs, 2006. 219 p.

SILVA, I. J.; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S. Influência do sistema de alojamento no comportamento e bem-estar de matrizes suínas em gestação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v. 37, n. 7, p. 1319-1329, 2008.

SILVA, R. C. et al. Força de ruptura da casca do ovo em função das temperaturas da água e do ambiente. **Revista Educação Agrícola Superior**, Campina Grande, v. 27, p. 13-18, 2012.

SOUSA, M. S. et al. Determinação de limites superiores da zona de conforto térmico para codornas de corte aclimatizadas no Brasil de 22 a 35 dias de idade. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 15, n. 2, p. 350-360, 2014.

SOUSA, M. S. et al. Qualidade do ambiente aéreo na criação de codornas de corte mantidas em diferentes temperaturas. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v. 7, p. 1-6, 2013.

THOM, E. C. Cooling degrees - days air conditioning, heating, and ventilating. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 55, p. 65-72, 1958.

TINÔCO, I. F. F. Avicultura industrial: novos conceitos de materiais, concepções e técnicas construtivas disponíveis para galpões avícolas brasileiros. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, p. 1-26, 2001.

TSOUKALAS, L. H.; UHRIG, R. E. **Fuzzy and neural approaches in engineering**. New York: J. Wiley, 1997. 600 p.

TURCO, J. A. P.; FERREIRA, L. F. S. A.; FURLAN, R. L. Consumo e custo de energia elétrica em equipamentos utilizados em galpões de frango de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 519-522, 2002.

TUREK, F. W. Circadian rhythms. **Hormone Research in Paediatrics**, Basel, v. 49, p. 109-113, 1998.

VERCESE, F. **Efeito da temperatura sobre o desempenho e qualidade dos ovos de codornas japonesas**. 2010. 59 p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Botucatu, 2010.

VERCESE, F. et al. Performance and egg quality of Japanese quails submitted to cyclic heat stress. **Brazilian Journal of Poultry Science**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 37-41, 2012.

VITORASSO, G.; PEREIRA, D. P. Análise comparativa do ambiente de aviários de postura com diferentes sistemas de condicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 6, p. 788-794, 2009.

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

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, London, v. 18, p. 338-353, 1965.

SEGUNDA PARTE - ARTIGOS

**ARTIGO 1 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ILUMINÂNCIAS
COMPLEMENTARES EM AVIÁRIOS PARA CODORNAS JAPONESAS
EQUIPADOS COM LÂMPADAS FLUORESCENTES E DE LED**

(VERSÃO PRELIMINAR)

**Artigo redigido conforme normas da Revista Anais da Academia Brasileira
de Ciências.**

**DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ILUMINÂNCIAS
COMPLEMENTARES EM AVIÁRIOS PARA CODORNAS JAPONESAS
EQUIPADOS COM LÂMPADAS FLUORESCENTES E DE LED**

**SPATIAL DISTRIBUTION OF COMPLEMENTARY ILLUMINANCES
IN JAPANESE QUAIL AVIARIES EQUIPPED WITH FLUORESCENT
AND LED LAMPS**

Pablo Teixeira Leal de Oliveira^{1,5}, Tadayuki Yanagi Junior², Daniela Duarte de Oliveira³, Gabriel Araújo e Silva Ferraz², Bruna Pontara Vilas Boas Ribeiro⁵

¹Doutorando, Câmpus Petrolina Zona Rural, IF Sertão-PE, Petrolina - PE

²Doutor, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG

³Doutora, Veterinária, ASA – Aviário Santo Antônio, Nepomuceno – MG

⁴Doutorando(a), Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG

RESUMO

A uniformidade e a intensidade de iluminação afeta a produção comercial de ovos de codornas. Objetivou-se neste estudo, avaliar sistemas de iluminação em aviários comerciais para produção de ovos de codorna, equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED), por meio da geoestatística. Foram avaliados dois aviários comerciais, o primeiro equipado com LFC e o segundo, com LED. As iluminâncias nos aviários foram analisadas por meio de estatística descritiva e distribuição espacial por meio de geoestatística. Nenhum dos sistemas de iluminação avaliados (LED e LFC) apresentou homogeneidade de iluminâncias para os perfis horizontais e verticais estudados. Sendo que, o sistema equipado com LFC apresentou maiores valores de iluminância no ambiente produtivo. O sistema de iluminação composto por LED apresentou fornecimento de luz superior ao mínimo recomendado na literatura para codornas japonesas em fase de produção de ovos.

Palavras-chave: iluminação artificial, geoestatística, ambiência, coturnicultura

ABSTRACT

Lighting availability and intensity affect the commercial production of quail eggs. The aim of this study was to evaluate lighting systems in commercial aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode (LED) lamps for the production of quail eggs through geostatistics. The illuminations in the aviaries were analyzed by descriptive statistics and spatial distribution by geostatistics. Two commercial aviaries were evaluated, the first one equipped with CFL and the second one with LED. None of the evaluated lighting systems (LED and CFL) presented illuminance uniformity for the horizontal and vertical profiles studied. Thus, the system equipped with CFL presented higher values of illuminance in the productive environment. The LED lighting system presented a light supply higher than the minimum recommended in the literature for Japanese quails in the egg production phase.

Keywords: artificial lighting, geostatistic, ambience, quail farming

INTRODUÇÃO

As últimas décadas foram marcadas pela modernização tecnológica dos ambientes de produção avícola e, mais recentemente, pôde-se observar a transição dos sistemas de iluminação com lâmpadas incandescentes, fluorescentes compactas e tubulares por diodos emissores de luz (LED) nas granjas, aumentando a eficiência no uso da energia elétrica, uma vez que, segundo Molino et al. (2015), os LEDs consomem menos energia elétrica, possuem vida útil mais longa e comprimento de onda que permite a fotoestimulação em diversos tipos de aves.

A iluminação, dentro de um sistema de produção de ovos de codornas japonesas, é considerada uma tecnologia decisiva para a melhoria dos índices produtivos dessas aves, uma vez que, o fornecimento de iluminação com a fonte de luz, intensidade luminosa, duração e fotoperíodo adequados a espécie e fase produtiva desses animais podem proporcionar a regularização da produção de ovos por meio do equilíbrio das funções alimentares, reprodutivas, atividade metabólica, produção e secreção hormonal (Jacomé et al., 2012; Molino et al., 2015; Nunes et al., 2016).

Entretanto, devido à ausência de informações e as semelhanças entre codornas e galinhas poedeiras, a literatura ainda direciona os produtores comerciais de codornas japonesas a utilizarem as recomendações de produção para galinhas poedeiras em suas propriedades, adotando fotoperíodo entre 16 e 17 h diários e intensidade luminosa mínima de 5 lux (Jacomé et al., 2012; Molino et al., 2015).

Quando se considera o sistema de iluminação em um aviário comercial para produção de ovos de codornas japonesas, outro aspecto relevante a ser observado é a homogeneidade das iluminâncias ao longo de toda a unidade de produção, possibilitando as mesmas condições para todo o plantel produzir uniformemente. Estas e outras variáveis podem ser dimensionadas com a ajuda da espacialização e geoestatística (Yanagi Junior et al., 2011; Pereira et al., 2012; Massari et al., 2016; Ribeiro et al., 2016).

Nesse contexto, objetivou-se com o presente estudo avaliar sistemas de iluminação em aviários comerciais para produção de ovos de codorna, equipados com LFC e LED, utilizando metodologias da geoestatística e consumo de energia elétrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Características do aviário e coleta de dados

O experimento foi conduzido em uma granja comercial para produção de ovos de codornas no município de Lavras-MG durante as estações de outono e inverno, totalizando 92 dias de coleta de dados. O projeto teve aprovação do Comitê de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Universidade Federal de Lavras (UFLA), protocolo 013/2016.

Foram avaliados separadamente dois aviários comerciais com as mesmas dimensões (9,00 m x 45,00 m), pé direito de 2,80 m e orientação leste oeste. Os aviários possuíam cobertura de telha de fibrocimento com inclinação de 25%, beirais com dimensão de 1,00 m, fechamentos laterais de cortinas de lona na cor azul, sendo elevado 2,15 m em relação à superfície do solo, para facilitar a coleta dos dejetos, e caixa d'água com capacidade para 500 litros (Figura 1a).

O primeiro aviário foi equipado com 30 lâmpadas LFC (10W) e o segundo com 30 lâmpadas LED (7 W), ambos com distribuição central de rede elétrica individual. As LFCs avaliadas possuíam fluxo luminoso de 590 lm, com distribuição difusa e temperatura de cor de 6.500 K (branco).

As lâmpadas LED tinham fluxo luminoso de 550 lm, direcionadas para

baixo com ângulo de abertura de 120° e 6.400 K (branco), de acordo com as especificações do fabricante.

O programa de iluminação consistiu em 16 horas de luz e 8 horas de escuridão contínuas (16L: 8D). A iluminação natural e artificial forneceu o total de 16 horas de luz, e para o período de avaliação, em média, foram oferecidas 12 horas de luz natural e 4 de iluminação artificial. A iluminação artificial era ligada no período das 18h às 22h.

Cada linha de bateria de gaiolas tinha 10 pontos de iluminação artificial, enquanto a distância entre os pontos era de 4,50m. A altura de instalação das lâmpadas foi de 2,25m, em relação ao piso do aviário, para as lâmpadas posicionadas nas extremidades direita e esquerda do aviário e, 3,25m em relação ao piso do aviário, para as lâmpadas posicionadas no corredor central.

As gaiolas foram dispostas em duas baterias contendo oito linhas cada, montadas em esquema de pirâmide, nas alturas de 0,40 m, 0,65 m, 0,90 m e 1,15 m em relação ao piso do aviário, respectivamente, da primeira à quarta prateleira de gaiolas (Figura 1b). Ao longo de cada linha foram dispostas 164 gaiolas ladeadas contendo entre oito e dez aves por gaiola. A capacidade por linha foi de 1.563 aves, em média, e a densidade de

aproximadamente 85 a 106,25 cm² por ave, totalizando uma média de 25.000 aves por aviário. As codornas alojadas nos aviários eram da linhagem Fujikura, no início da fase produtiva. Os aviários possuíam sistemas automatizados para distribuição de água e ração e coleta de ovos manual.

Análise de distribuição da iluminação

Para avaliar a distribuição da iluminância fornecida pelas diferentes lâmpadas, foram realizadas medidas de iluminância horizontal (Figura 1a) e vertical (Figura 1c) nos aviários com luxímetro, (modelo SKLD-400, precisão $\pm 3\%$ para lâmpadas incandescentes e $\pm 5\%$ para o restante), a cada 15 dias, totalizando seis dias de medição da iluminação. Estas medições quinzenais permitiram o cálculo dos valores médios de iluminância que foram utilizados na análise geoestatística, fornecendo assim dados mais representativos. As medidas foram realizadas simultaneamente em ambos os aviários, no período de iluminação complementar (entre as 18 e 22 horas), quando não houve interferência da luz natural ou de outras fontes externas de luz.

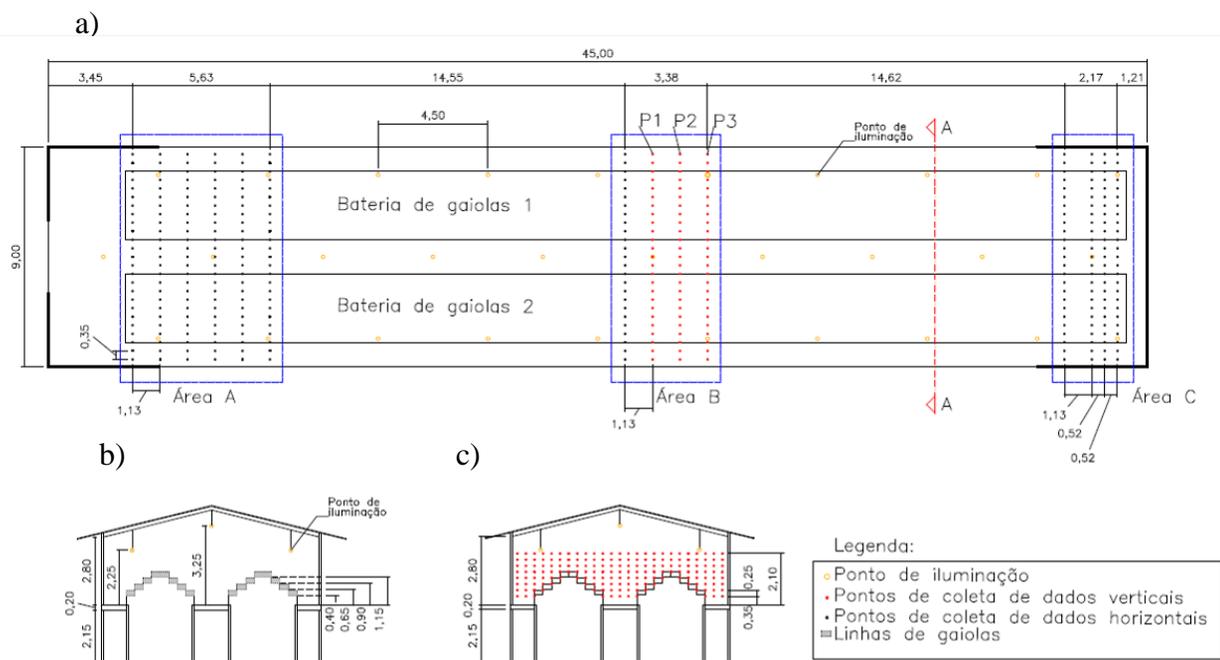


Figura 1. Desenho esquemático do aviário com pontos de coletas para o perfil horizontal (a), Corte AA do aviário (b) e detalhamento da distribuição da malha de pontos de medição da iluminância nos perfis verticais (c), sem escala definida.

Unidade das cotas: m.

Para a coleta de dados da iluminância nos perfis horizontais dos aviários foram determinadas três áreas amostrais (Áreas A, B e C) para coleta de dados, duas nas extremidades e uma no meio do aviário (Figura 1a). Em cada uma dessas áreas, os dados foram coletados atendendo a uma sequência amostral que contemplasse as áreas abaixo dos pontos de iluminação laterais e central, além da área intermediária (entre os pontos de iluminação), totalizando 350 pontos amostrais.

Para a representação do comportamento vertical das iluminações, nos dois aviários, foram realizadas coletas de iluminância em três perfis verticais (P1, P2 e P3), localizados na Área B, conforme ilustrado na Figura 1A, de forma a representar o comportamento das iluminâncias abaixo da lâmpada central posicionada no corredor central do aviário (P1), área intermediária entre lâmpadas (P2) e área abaixo das lâmpadas laterais (P3). Em cada um desses perfis foi estabelecida uma malha de 168 pontos amostrais distribuídos com espaçamento de 0,25 x 0,35 m, conforme representado na Figura 1C.

Determinação da variabilidade espacial da iluminância

Para as análises geoestatísticas foi realizado o estudo da dependência espacial das variáveis em estudo por meio de ajustes de semivariogramas. Para tal, a dependência das iluminâncias das lâmpadas do tipo LFC e LED foram analisadas por meio de ajustes de semivariogramas, clássico e interpolação por Krigagem ordinária. O semivariograma clássico foi estimado pela Equação 1.

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

sendo: $N(h)$ é o número de pares experimentais de observações $Z(x_i)$ e $Z(x_i + h)$ separados por uma distância h . O semivariograma é representado pelo gráfico $\hat{\gamma}(h)$ versus h . Do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de $\hat{\gamma}(h)$, são estimados os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma denominado de efeito pepita, C_0 ; contribuição, C_1 ; patamar, $C_0 + C_1$; e o alcance, a , conforme descrito por Bachmaier e Backes (2008).

O ajuste dos semivariogramas foi realizada por meio do método dos mínimos quadrados ordinários (OLS – *Ordinary least square*) e pelo modelo esférico. De acordo com Webster e Oliver (2007), o modelo

matemático esférico é o mais frequentemente utilizado em Geoestatística. Em estudos de variabilidade espacial em galpão de criação animal este modelo tem sido utilizado por diversos autores (Ferraz et al., 2014; Ferraz et al., 2016; Oliveira et al., 2017; Ribeiro et. al., 2016; Ferraz et. al., 2017).

A interpolação dos dados foi realizada pela krigagem ordinária de forma a possibilitar a visualização dos padrões de distribuição espacial das variáveis nos perfis verticais e horizontais dos aviários para codornas de postura equipados com lâmpadas LFC e LED.

Os graus da dependência espacial dos atributos em estudo foram analisados por meio da classificação de Cambardella et al. (1994), em que são considerados de dependência espacial forte os semivariogramas que têm um efeito pepita $< 25\%$ do patamar, moderada quando está entre 25 e 75% e fraca $> 75\%$.

De acordo com Isaaks e Srivastava (1989), a validação é a técnica de avaliação de erros de estimativa que permite comparar valores preditos com os amostrados. O valor da amostra, em certa localização $Z(s_i)$, é temporariamente descartado do conjunto de dados e, então, é feita uma previsão por krigagem (ordinária) no local $\hat{Z}(s_i)$, usando-se as amostras

restantes. Desta forma, é possível retirar alguns valores que serão muito úteis para a observação dos erros apresentados por cada malha, tais como o erro médio (EM), o desvio padrão do erro médio (S_{EM}), erro reduzido (ER) e o desvio padrão do erro reduzido.

Os critérios de escolha baseados na validação devem atender ao valor do EM, Equação 2, mais próximo de zero, o valor do S_{EM} , Equação 3, deve ser o menor possível, o ER, Equação 4, mais próximo a zero e o S_{ER} , Equação 5, deve ser o mais próximo a um.

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^1 (Z(S_i) - \hat{Z}(S_{(i)})) \quad (2)$$

$$S_{EM} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^1 (Z(S_i) - \hat{Z}(S_{(i)}))^2} \quad (3)$$

$$ER = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^1 \frac{(Z(S_i) - \hat{Z}(S_{(i)}))}{\sigma(\hat{Z}(S_{(i)}))} \quad (4)$$

$$S_{ER} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^1 \left\{ \frac{(Z(S_i) - \hat{Z}(S_{(i)}))}{\sigma(\hat{Z}(S_{(i)}))} \right\}^2} \quad (5)$$

sendo: n é o número de dados; $Z(s_i)$, valor observado no ponto s_i ; e $\hat{Z}(s_{(i)})$ valor predito por krigagem ordinária no ponto s_i , sem considerar a observação $Z(s_i)$.

As análises geoestatísticas foram realizadas por meio do sistema computacional estatístico R e sua biblioteca geoR (Ribeiro Junior e Diggle, 2001) e para a confecção dos mapas foi utilizado o *software* Surfer, versão 14.0.599.

Para coleta dos dados de consumo de energia, foi instalado em cada um dos aviários um medidor de energia (medidor monofásico *Nansen electronic vector* MD. 120.240V - 15 (100) A - 60 Hz - 2 fios - 1 el - 1 fase) independente apenas para medir o consumo de energia do sistema de iluminação. Foram realizadas duas leituras do consumo de energia elétrica em kWh durante o período experimental, uma no início e outra no final do experimento, representando um consumo de eletricidade de 92 dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando-se as frequências de ocorrência dos níveis de iluminâncias entre os aviários equipados com LED e LFC nos perfis horizontais

(Figura 2), percebe-se que o percentual de ocorrência de iluminâncias abaixo de 5 lux foram inferiores a 1% e nulos, respectivamente. Sendo que, a maior ocorrência de iluminação para o aviário equipado com LED (55,5%) apresentou-se na faixa entre 10 e 15 lux, por sua vez, o aviário equipado com LFC apresentou uma faixa de ocorrência de 46,2% das iluminâncias entre 15 e 20 lux. Considerando que, segundo Molino et al. (2015), a recomendação de iluminância suficiente para codornas japonesas em fase de produção de ovos deve ser de 5 lux, o aviário equipado com iluminação LED apresentou melhor distribuição na faixa entre 5 e 20 lux (92,4%).

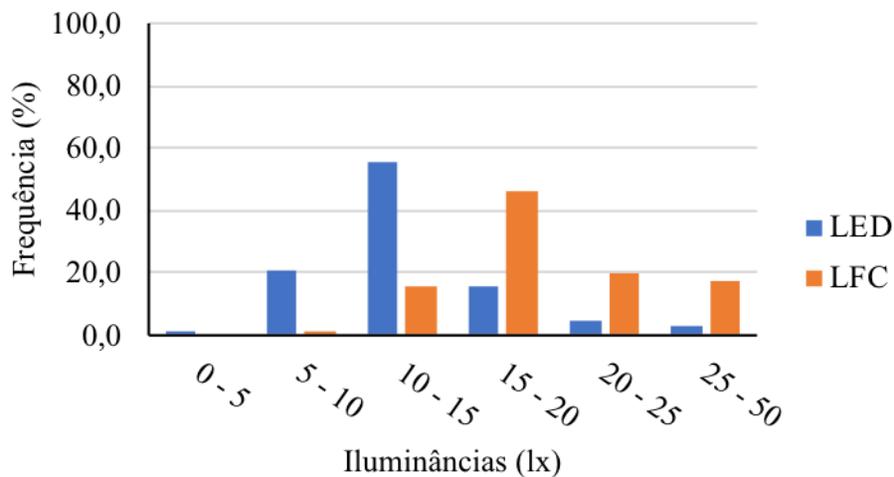


Figura 2. Frequência de ocorrência de níveis de iluminação horizontal para aviários de codornas japonesas equipados com lâmpadas LED e LFC.

Na Figura 3a observou-se o comportamento dos níveis de iluminância nos perfis horizontais LED e LFC, no qual, o aviário equipado com LFC apresentou maior variabilidade das iluminâncias, além de ter proporcionado iluminância cerca de 23,3% maior que o aviário equipado com iluminação LED. Estes resultados diferem dos encontrados por Ribeiro et al. (2016) que, em seu trabalho com aviários comerciais, encontraram maior variabilidade nos aviários equipados com iluminação LED, uma vez que, as lâmpadas utilizadas nesse estudo apresentavam fluxo de luz voltado para baixo, dificultando a sobreposição das iluminâncias e, conseqüentemente, uma melhor distribuição.

Ao avaliar-se os diferentes perfis verticais (P1, P2 e P3) nos aviários equipados com lâmpadas LED e LFC (Figura 3b), verifica-se maior variação das iluminâncias nos perfis P3 LED e LFC, este comportamento pode ser atribuído a maior proximidade, neste perfil, dos pontos de iluminação posicionadas nas laterais direita e esquerda do aviário, conforme ilustrado na Figura 1b.

A partir da avaliação das análises geoestatísticas, para os diferentes perfis horizontais (H LED e H LFC), além dos perfis verticais P1, P2 e P3 (LED e LFC) pode-se perceber que os sistemas de iluminação LED e LFC não

apresentaram homogeneidade em sua distribuição espacial, uma vez que, houve variabilidade espacial da iluminância (Tabela 1) para os dois sistemas de iluminação e em todos os perfis avaliados.

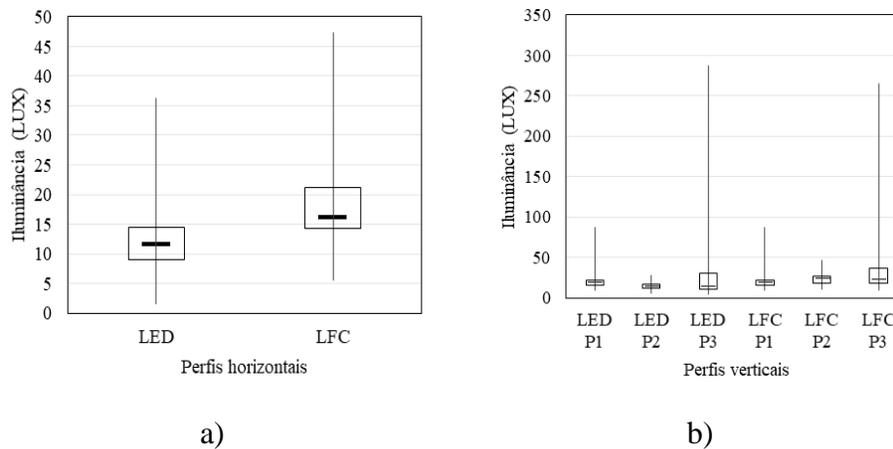


Figura 3. Gráficos *Box Plot* para iluminância nos perfis horizontais (a) e perfis verticais P1, P2 e P3 (b), respectivamente, em aviários de codornas japonesas equipados com lâmpadas LED e LFC.

Apesar de não haver uma definição concreta a respeito da intensidade de iluminação ideal para codornas japonesas em fase de produção de ovos, Molino et al. (2015), após testarem diferentes intensidades de iluminação, recomendam iluminância mínima de 5 lux e um fotoperíodo com

programação de luz intermitente de 15h de luz com uma hora de luz artificial na madrugada, duas horas antes do amanhecer.

O modelo esférico, utilizado na presente pesquisa para o ajuste do semivariograma é amplamente utilizado para o ajuste nos estudos de geoestatística que envolvem dados ambientais de instalações para animais de produção (Yanagi et al., 2011; Ponciano et al., 2013; Medeiros et al., 2014; Ferraz et al., 2016; Ribeiro et al., 2016).

O efeito pepita diferenciou-se do patamar em todos os perfis horizontais e verticais avaliados nos aviários para produção de codornas japonesas equipados com iluminação LED e LFC (Tabela 1), indicando menor variância da estimativa e, conseqüentemente, sua maior confiabilidade.

Este efeito influencia o grau de dependência espacial (GDE) dos semivariogramas, que, segundo classificação de Cambardella et al. (1994), o comportamento das iluminâncias do aviário equipado com iluminação de LED apresentou forte GDE e o perfil horizontal do aviário equipado com iluminação LFC apresentou moderado GDE (Tabela 1).

Os perfis verticais P1, P2 e P3 do aviário equipado com iluminação LED também apresentaram forte GDE para os semivariogramas. Por sua vez, o aviário equipado com iluminação LFC apresentou forte GDE para o P1 e

os perfis P2 e P3 apresentaram GDE moderados (Tabela 1). Estes resultados corroboram com Pereira et al. (2012) e Ribeiro et al. (2016), que, trabalhando com sistemas de iluminação em frango de corte e postura, também obtiveram forte dependência espacial na maioria dos sistemas analisados.

Para o alcance (a), pode-se observar uma variação pequena entre os perfis horizontais de 1,55m para 1,70m entre os perfis LED e LFC, respectivamente, e de 1,10m a 4,18m entre os diferentes perfis verticais LED e LFC. Segundo Vieira (2000), a dependência espacial deve ser considerada quando os pontos se encontram dentro do raio do alcance.

Tabela 1. Parâmetros estimados dos semivariogramas experimentais para as iluminâncias LED e LFC nos diferentes perfis horizontais e verticais de aviários para produção de codornas japonesas

Perfil	C ₀	C ₁	C ₀ + C ₁	a	GDE	EM	S _{EM}	ER	S _{ER}
H LED	0,57	15,86	16,43	1,55	3,49	-0,03	1,75	0,0058	0,70
H LFC	12,63	28,46	41,10	1,70	30,74	-0,01	3,34	0,0014	0,66
P1 LED	0,00	296,87	296,87	4,18	0,00	0,01	3,07	0,0012	0,61
P2 LED	0,78	24,82	25,59	2,13	3,04	-0,04	1,74	-0,0077	0,75
P3 LED	0,00	1735,31	1735,31	1,46	0,00	0,01	24,17	0,0004	1,09
P1 LFC	241,11	1580,62	1821,73	1,59	13,24	0,02	24,29	0,0005	0,90
P2 LFC	13,18	23,86	37,04	1,12	35,59	-0,06	3,69	-0,0062	0,75
P3 LFC	454,37	990,82	1445,19	1,10	31,44	-0,23	28,67	0,0037	0,96

C₀ - efeito de pepita; C₁ - Contribuição; C₀ + C₁ - Soleira; a - alcance; GDE - Grau de dependência espacial; EM - erro médio; S_{EM} - desvio padrão do erro médio; ER - erro médio reduzido; S_{ER} - desvio padrão de erro médio reduzido;

Outra forma de atestar a qualidade da estimativa e o ajuste dos semivariogramas é a avaliação dos erros de estimativas EM, S_{EM}, ER e S_{ER}, entre valores preditos e observados (Isaaks e Srivastava, 1989; Ferraz et al., 2014; Ferraz et al., 2016). Na Tabela 1, pode-se observar que os

erros de estimativas se encontram dentro dos limites toleráveis para todos os perfis horizontais e verticais analisados no presente estudo.

Na Figura 4a e 4b encontram-se os mapas de distribuição espacial nos perfis horizontais das iluminâncias LED e LFC, respectivamente, por meio das estimativas das iluminâncias por krigagem. Estas estimativas demonstram elevada variabilidade das iluminâncias no interior dos aviários iluminados com lâmpadas LED e LFC, com limites de bordadura bem definidos, sendo o ambiente com baixa luminosidade caracterizado pelos tons azulados e as áreas com maior luminosidade representadas pelos tons mais avermelhados. Estas variações das iluminâncias nos mapas ilustradas nas Figuras 4a e 4b indicam a ineficiência dos sistemas de iluminação LED e LFC para manter a uniformidade da propagação da luz nos aviários avaliados.

Observa-se também, a diferenciação na distribuição das iluminâncias entre os dois perfis horizontais avaliados, LED e LFC, que foi observado também por Pereira et al. (2016) ao avaliar aviários para produção de frangos de corte equipados com iluminação LED e LFC, todavia, diferente do observado por Pereira et al. (2016), neste trabalho, o aviário

equipado com iluminação de LFC apresentou maior disponibilização e uniformidade de distribuição das iluminâncias (Figura 4b).

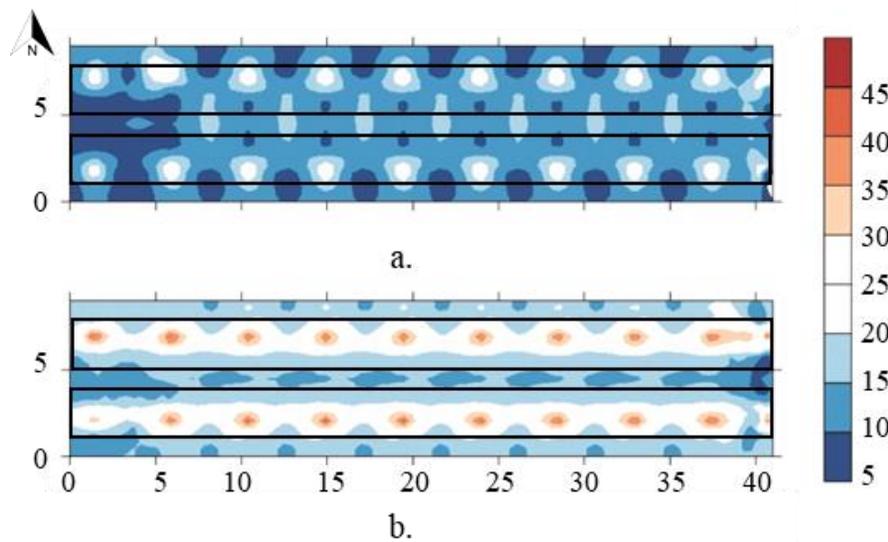


Figura 4. Distribuição espacial dos níveis de iluminância para os perfis horizontais equipados com iluminação LED (a) e LFC (b).

O aviário equipado com iluminação LED, por sua vez, apesar de ter resultado um ambiente com menores valores de iluminância, atendeu a recomendação de disponibilidade de iluminação mínima de 5 lux, segundo Molino et al. (2015). Os dois perfis horizontais avaliados apresentaram maior disponibilidade de iluminação nas laterais esquerda e

direita dos aviários de produção, este fato se deve aos pontos de luz estarem mais baixos nos corredores laterais do aviário, quando comparados ao ponto de iluminação do corredor central, como pode ser observado na Figura 1b.

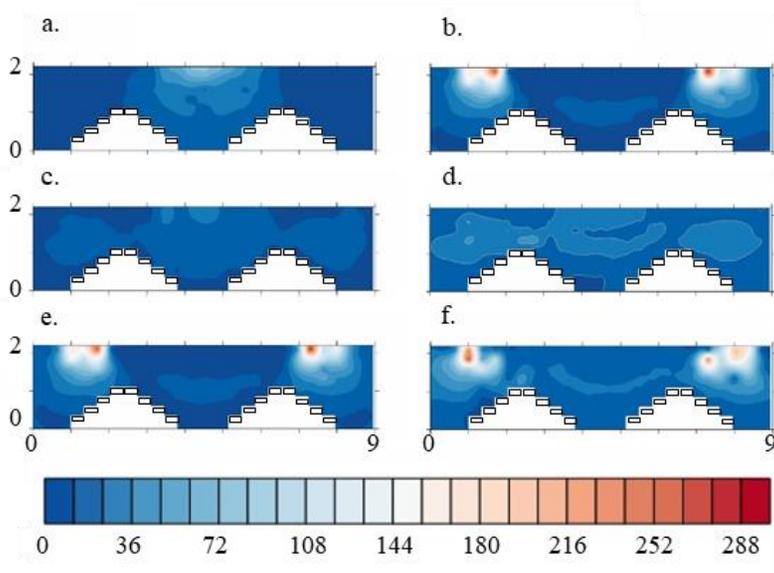


Figura 5. Distribuição espacial dos níveis de iluminância para os perfis verticais P1 LED (a), P1 LFC (b), P2 LED (c), P2 LFC (d), P3 LED (e) e P3 LFC (f) dos aviários para produção de codornas japonesas.

Ao analisar a distribuição das iluminâncias nos perfis verticais LED e LFC (Figura 5a, 5b, 5c, 5d, 5e e 5f) percebe-se o comportamento da propagação da luz, no interior dos aviários, conforme o posicionamento e

altura dos pontos de iluminação. Os diferentes perfis verticais analisados estabeleceram comportamentos semelhantes aos perfis LED e LFC horizontais, com elevada variabilidade das iluminâncias com variação de tons azulados para áreas de baixa luminosidade e as áreas com maior luminosidade representadas pelos tons mais avermelhados.

O Perfil 1 LFC, Figuras 5b, apresentou maior disponibilidade de iluminação nos corredores laterais direito e esquerdo do aviário quando comparado ao Perfil 1 LED, Figura 5a, ambos posicionados abaixo da lâmpada do corredor central do aviário, uma vez que a o Perfil 1 LFC foi equipado com lâmpadas que apresentam característica de distribuição da iluminação de forma difusa, que tende a se espalhar no ambiente minimizando os pontos de sombreamento. O Perfil 1 LED, por sua vez, apresentava fluxo luminoso direcionado para baixo, limitando propagação lateral da iluminação.

Nas Figuras 5c e 5d, Perfis 2 LED e LFC, respectivamente, observa-se redução da incidência luminosa, uma vez que estes perfis se encontram numa área intermediária entre a iluminação central do aviário (Figuras 4a e 4b) e a iluminação lateral (Figuras 5e e 5f). Para estes perfis, observa-

se, mais uma vez, maior incidência de iluminação na Figura 5d, que utilizou lâmpadas LFC.

Com lâmpadas posicionadas nas laterais esquerda e direita do aviário, a 2,25 m de altura, em relação ao piso dos aviários, os Perfis 3 LED e LFC (Figuras 5e e 5f) se destacam entre os perfis avaliados por apresentarem as áreas de maior disponibilidade de iluminação para as codornas japonesas, com médias de iluminância de 29,6 e 37,5 luxes para LED e LFC, respectivamente.

Entretanto, apesar das diferenças evidentes entre as características de propagação das iluminâncias para os aviários equipados com iluminação LED e LFC, os dois sistemas de iluminação apresentaram, em geral, comportamentos semelhantes, com maior concentração de luminosidade nas laterais esquerdas e direitas dos aviários, privilegiando as aves posicionadas próximo aos corredores laterais e mantendo a área central do aviário, que atende a 50% das codornas do lote, com menos aporte luminoso. Sendo necessário, desta forma, rever o posicionamento e altura dos pontos de luz no sistema de iluminação destes aviários para assegurar maior uniformidade na distribuição das iluminâncias no ambiente de produção.

Os aviários para produção de ovos de codornas japonesas equipados com LFC e LED apresentaram consumo de energia elétrica de 165 kWh e 104 kWh, respectivamente. Desta forma, evidenciou-se uma redução no consumo de energia elétrica na ordem de 37%, no período de 92 dias experimentais, somente com a substituição das lâmpadas fluorescentes compactas por LED. Este resultado corrobora com Pereira et al. (2016), que, trabalhando com frangos de postura, obteve uma redução no consumo de energia de 41,52% com a substituição de lâmpadas fluorescentes compactas por lâmpadas de LED.

CONCLUSÕES

Os sistemas de iluminação avaliados, diodo emissor de luz (LED) e lâmpada fluorescente compacta (LFC), não apresentaram homogeneidade de iluminâncias para os perfis horizontais e verticais estudados. Sendo que, o sistema equipado com LFC apresentou maior disponibilidade de iluminância no ambiente produtivo.

O sistema de iluminação composto por LED apresentou consumo de energia elétrica consideravelmente inferior ao aviário equipado com lâmpadas fluorescentes compactas, além de ter fornecido níveis de

iluminância mais próximos aos recomendados pela literatura para codornas japonesas em fase de produção de ovos.

LITERATURA CITADA

BACHMAIER M AND BACKES M. 2008, Variogram or semivariogram? Understanding the variances in a variogram. Precision Agriculture 9: 173-175.

CAMBARDELLA CA, MOORMAN TB, NOVAK JM, PARKIN TB, KARLEN DL, TURCO RF, KONOPKA AE. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, Madison 58: 1501-1511.

FERRAZ GAS, SILVA FM, OLIVEIRA MS, SILVA FC, BUENO RL. 2014. Variabilidade espacial da força de desprendimento de frutos do cafeeiro. Engenharia Agrícola 34: 1210-1223.

FERRAZ PFP, JUNIOR TY, ARAUJO G, FERRAZ S, DAMASCENO FA. 2017. Distribuição espacial do índice de temperatura do globo e umidade em galpão de frangos na primeira semana de vida aquecido por fornalha industrial. Energia na Agricultura 32: 356-363.

FERRAZ PFP, YANAGI JUNIOR T, FERRAZ GAS, SCHIASSI L, CAMPOS AT. 2016. Spatial variability of enthalpy in broiler house during the heating phase. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 20: 570-575.

ISAAKS EH AND SRIVASTAVA RM. 1989. An introduction to applied geostatistics. New York: Oxford University Press.

JÁCOME IMDT, BORILLE R, ROSSI LA, RIZZOTTO DW, BECKER JA, SAMPAIO CFR. 2012. Desempenho produtivo de codornas alojadas em diferentes sistemas de iluminação artificial. *Archivos de Zootecnia* 61: 449-456.

MASSARI JM, MOURA DJ, CURI TMRC, VERCELLINO RA, MEDEIROS BBL. 2016. Zoning of environmental conditions inside a wean-to-finish pig facility. *Engenharia Agrícola* 36: 739-748.

MEDEIROS BBL, MOURA DJ, MASSARI JM, CURI TMRC, MAIA A. 2014. Uso da geoestatística na avaliação de variáveis ambientais em galpão de suínos criados em sistema “wean to finish” na fase de terminação. *Engenharia Agrícola* 34: 800-811.

MOLINO AB, GARCIA EA, SANTOS GC, VIEIRA FILHO JA, BALDO GAA, ALMEIDA PAZ ICL. 2015. Photostimulation of Japanese quail. *Poultry Science* 94: 156-161.

NUNES KC, GARCIA RG, NÄÄS IA, EYNG C, CALDARA FR, SGAVIOLI S, RORIZ BC, AYALA C M. 2016. Effect of Led Lighting Colors for Laying Japanese Quails. *Brazilian Journal of Poultry Science* 18: 51-56.

OLIVEIRA CEA, DAMASCENO FA, ARAÚJO G, FERRAZ S, do NASCIMENTO JAC, SILVA E, FERREIRA MR. 2017. Geoestatística aplicada a distribuição espacial das condições térmicas e ruído em instalações Compost Barn com diferentes sistemas de ventilação. *Ciência ET Praxis* 9: 41-48.

PEREIRA PA, YANAGI JUNIOR T, SILVA JP, LIMA RR, CAMPOS AT, ABREU LHP. 2012. Technical evaluation of artificial lighting systems for broiler houses. *Engenharia Agrícola*, 32: 1011-1024.

PONCIANO PF, YANAGI JUNIOR T, FERRAZ GAS, SCALON JD, SCHIASSI L. 2013. Spatial variability of air dry-bulb temperature and black globe humidity index in a broiler house during the heating phase. *Engenharia Agrícola*, 33: 433-444.

RIBEIRO JUNIOR PJ AND DIGGLE PJ. 2001. GeoR: a package for geostatistical analysis. R-News, New York, 1: 14-18.

RIBEIRO PAP, YANAGI JUNIOR T, OLIVEIRA DD, FERRAZ GAS, LOURENÇONE D. 2016. Spatial illuminances variability and energy consumption in aviaries for laying hens equipped with compact fluorescent lamps and light emitting diode. Engenharia Agrícola 36: 11-21.

VIEIRA, S. R. 2000. Geoestatística em estudos de variabilidade espacial do solo. In: NOVAIS, R. F. et al (Ed). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBGS. v.1, cap.1, 1-54 p.

WEBSTER R AND OLIVER M. 2007 Geostatistics for Environmental Scientists. Chichester: John Wiley and Sons. Brisbane, Australia.

YANAGI JÚNIOR T, AMARAL AG, TEIXEIRA VH, LIMA RR. 2011. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. Engenharia Agrícola 31: 1-12.

**ARTIGO 2 - COMPORTAMENTO TERMICO E LUMÍNICO DE
AVIÁRIO PARA PRODUÇÃO DE OVOS DE CODORNAS JAPONESAS**

(VERSÃO PRELIMINAR)

Artigo redigido conforme normas da Revista de Engenharia Agrícola.

COMPORTAMENTO TERMICO E LUMÍNICO DE AVIÁRIO PARA PRODUÇÃO DE OVOS DE CODORNAS JAPONESAS

RESUMO: Considerada uma atividade produtiva bastante atrativa, a criação de codornas japonesas para produção de ovos vem sinalizando a necessidade de geração de tecnologias que possibilitem o fortalecimento da atividade frente ao mercado consumidor. Neste sentido, objetivou-se com o presente estudo avaliar as condições térmicas e lumínicas de aviários comerciais para a produção de ovos de codornas japonesas. Para tanto, foi avaliado o comportamento térmico a partir da coleta da temperatura de bulbo seco (t_{bs}), temperatura de globo negro (t_{gn}) e umidade relativa do ar (UR), a cada 15 min, durante todo o período experimental. O ambiente lumínico diurno e complementar foi avaliado a partir de 96 pontos distribuídos em três áreas do aviário. As codornas japonesas foram condicionadas a uma situação de frio moderado influenciando negativamente a produção de ovos, sendo necessário ajustes no aviário que permitam condições térmicas mais adequadas a produção no período de outono-inverno. O sistema de iluminação do aviário apresentou distribuição desuniforme das iluminâncias, apesar de ter atendido ao requerimento mínimo necessário ao estímulo reprodutivo das codornas japonesas. Para propiciar maior uniformidade de iluminação dentro do aviário, garantindo maior disponibilidade de luz e estabilidade de produção de ovos, intervenções no dimensionamento do sistema de iluminação devem ser realizados.

Palavras-chave: estresse, iluminação, coturnicultura, produção de ovos

ABSTRACT: Japanese quail farming for egg production is considered a very attractive productive activity and, it is showing a need for generation of technologies that enable the activity strengthening against the consumer market. Thus, the objective of the present study was to evaluate the thermal and luminous conditions of commercial aviaries for Japanese quail eggs production. The thermal profile was evaluated from the data collection of the air dry-bulb temperature (DBT), black globe temperature (BGT) and relative humidity (RH), every 15 minutes, throughout the experimental period. The daytime and complementary luminous environment was evaluated from 96 points distributed in three areas of the aviary. The Japanese quail have been conditioned to a moderate cold situation affecting egg production negatively, requiring adjustments in the aviary to allow most appropriate thermal conditions to the production in the autumn-winter period. The aviary lighting system presented an uneven distribution of illuminance, despite having met the minimum requirement needed to reproductive stimulation of Japanese quails. In order to propitiate greater uniformity of illumination within the aviary, ensuring greater availability of light and egg production stability, interventions in the design of the lighting system must be performed.

Keywords: stress, lighting, coturniculture, egg production

INTRODUÇÃO

A criação de codornas japonesas é considerada uma atividade atrativa devido a diversas características desejáveis da espécie, como a alta produção e produtividade, resistência a doenças e necessidade de pequenos espaços para a produção (Guimarães et al., 2014; Umigi et al., 2012).

Entretanto, a oferta de um ambiente produtivo adequado é fundamental para a expressão dessas características, uma vez que, segundo Oliveira et al. (2007), a faixa de temperatura ideal para codornas japonesas em fase produtiva está entre 18 e 22 °C e umidade relativa do ar entre 65 e 70%. Ambientes térmicos estressantes pelo frio ou calor, por sua vez, podem provocar redução do consumo de ração, queda na produção de ovos e elevação da taxa de ovos quebrados, sujos e malformados (Guimarães, 2014).

O ambiente lumínico também apresenta grande influência sobre as respostas fisiológicas e atividades comportamentais das aves (Mendes et al., 2013), uma vez que, o estímulo reprodutivo das codornas está condicionado a disponibilização de uma intensidade luminosa e

fotoperíodo mínimos (Jácome et al., 2014), que, segundo Molino et al. (2015), a recomendação para codornas japonesas em fase de produção de ovos deve ser de um programa de luz com fotoperíodo de 16 horas diárias com intensidade luminosa entre 5 e 20 lux.

A busca por alternativas que possibilitem alcançar maior eficiência produtiva em aviários comerciais por meio de melhorias no ambiente térmico e lumínico, elevando a eficiência produtiva de codornas japonesas em fase de postura apresenta um importante campo de pesquisa para geração de informações científicas confiáveis que possibilitem um pacote tecnológico específico para a espécie. Desta forma, objetivou-se com o presente estudo avaliar as condições térmicas e lumínicas de aviários comerciais para a produção de ovos de codornas japonesas.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo teve aprovação da Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Federal de Lavras, protocolo n° 013/16.

O ambiente termolumínico foi avaliado durante 120 dias (durante o período de outono/inverno) em um aviário comercial com dimensões 9,00

m x 45,00 m, pé direito de 2,80 m, sendo elevado 2,15 m em relação à superfície do solo para facilitar a coleta dos dejetos e com orientação leste-oeste (Figura 1A). O galpão possuía cobertura de telha de fibrocimento com 6 mm de espessura, inclinação de 25% e beirais com 1,00 m. Os fechamentos laterais do aviário eram de cortinas de lona de polietileno, na cor azul, na área superior e elevação do aviário (Figura 1B), além de ser equipado com caixa d'água com capacidade para 500 litros.

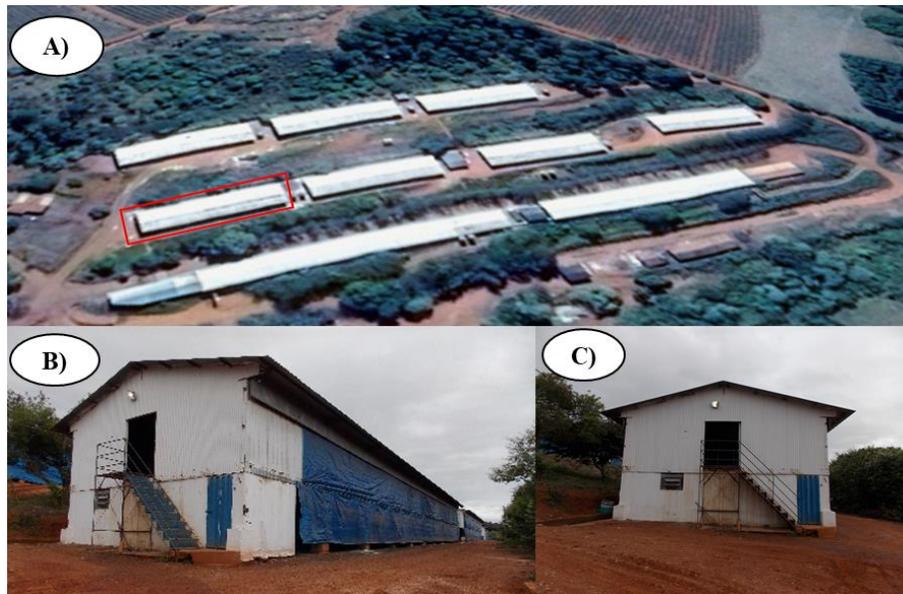


Figura 1. A) Imagem de satélite do aviário com detalhe de marcação em vermelho para o utilizado em experimento, fonte: Google Earth, B) Vista obliqua do aviário e C) Fachada leste-oeste

No aviário estavam alojadas codornas japonesas (*Coturnix coturnix* japônica), da linhagem Fujikura, no início da fase de produção de ovos. Estes animais foram distribuídos em gaiolas dispostas em quatro andares, montadas em esquema piramidal, com duas baterias no galpão, formando três corredores para manutenção ao longo de cada instalação (Figura 2A, B e C).

As gaiolas de arame possuíam dimensões de 25 x 34 x 18 cm (largura, comprimento e altura), sendo que, em cada gaiola foram alojadas de oito a dez aves. As baterias de gaiolas ocuparam uma extensão de 41 m. Ao longo de cada linhas existiam 164 gaiolas ladeadas em cada um dos 4 andares da pirâmide, totalizando 8 linhas de gaiolas por bateria, a capacidade média de aves por linhas de gaiola era de 1.563 aves, e a densidade de aproximadamente 85 a 106,25 cm² por ave. O número total de aves alojada em cada aviário foi de 25.000.

O manejo das codornas seguiu a rotina de trabalho da granja onde foi realizado o experimento. A coleta dos ovos foi realizada diariamente, de forma manual, sempre no período da manhã. Durante o período experimental, as aves receberam água e ração ad libitum com formulação

de dieta isoproteica e isocalórica considerando o requerimento nutricional estabelecido na Tabela Brasileira de Nutrição de Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2011).

O manejo das cortinas era realizado diariamente com a abertura total no início da manhã, horário de chegada dos funcionários à granja, e o seu fechamento total era realizado no final do expediente dos funcionários. Rotina seguida durante todo o período experimental.

O ambiente térmico foi avaliado a partir da coleta da temperatura de bulbo seco (t_{bs}), temperatura de globo negro (t_{gn}) e umidade relativa do ar (UR), a cada 15 min, durante todo o período experimental. Para isso, foram instalados 16 sensores registradores (Onset HOBO® TEMP/RH/2 ext channels/precisão de $\pm 3\%$ da leitura e acurácia de $\pm 1^\circ\text{C}$ para temperatura e $\pm 5\%$ para umidade relativa), distribuídos em todos os andares das gaiolas do aviário (Figura 2A).

A partir dos dados mensurados foram calculados o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU), por meio da equação proposta por Buffington et al. (1981), a carga térmica de radiação (CTR),

pela expressão citada por Esmay (1969) e a entalpia (H), por meio da equação proposta por Albright (1990).

Para avaliação do ambiente lumínico foram realizadas medições dos níveis de iluminância, de forma manual, a cada 15 dias durante o período experimental. As medições foram realizadas ao longo do período de fornecimento de iluminação natural e complementar em 96 pontos distribuídos em três regiões de amostragem (A, B e C), conforme observado na Figura 2A.

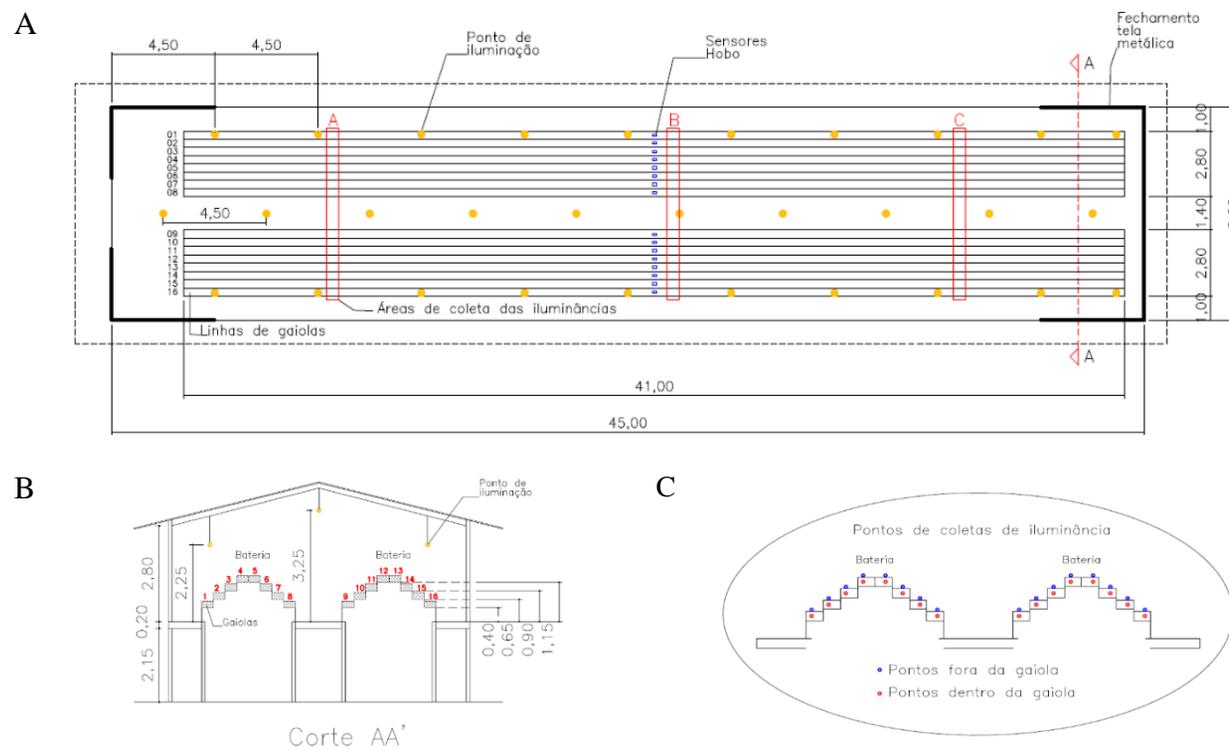


Figura 2. Desenho esquemático do aviário (A). Corte AA do aviário (B) e pontos de coleta das iluminâncias (C), sem escala definida. Unidade das cotas: m.

Em cada região foram coletados 32 pontos, sendo 16 pontos dentro das gaiolas (dentro) e 16 pontos imediatamente acima da gaiola (fora), em cada um dos quatro andares da pirâmide, em três repetições (Figura 1C).

As medições foram realizadas em sete intervalos de tempo (8:00 as 9:50, 10:00 as 11:50, 12:00 as 13:50, 14:00 as 15:50, 16:00 as 17:50, 18:00 as 19:50 e 20:00 as 21:50) e, posteriormente, realizou-se uma média diária para iluminação natural e complementar, dentro e fora da gaiola, para cada uma das 16 linhas de gaiolas do aviário. Utilizou-se para a coleta dos dados de iluminância um luxímetro digital (marca SKILL-TEC, modelo SKLD-400, precisão $\pm 3\%$ para lâmpadas incandescentes e $\pm 5\%$ para o restante).

As avaliações de desempenho produtivo foram realizadas a partir da análise dos dados de percentagem de postura (PP), percentagem de ovos viáveis (OV) e mortalidade (M). A produção diária de ovos total, por linha de gaiolas, foi coletada por meio de esteiras semiautomáticas e separados manualmente, em ovos viáveis para consumo *in natura* e os ovos descarte (brancos, sujos, malformado e quebrados), sendo calculado o percentual posteriormente. O número de codornas mortas, por linha de

gaiolas, foi quantificado diariamente para posterior cálculo do percentual de mortalidade.

O ambiente térmico foi avaliado a partir de um delineamento em blocos casualizados (DBC), em esquema fatorial 16 x 2, correspondendo às 16 linhas de gaiolas e dois períodos do dia (diurno e noturno), com quatro repetições. Para o ambiente lumínico natural e complementar foi adotado um delineamento em blocos casualizados, experimento em faixa, com linhas de gaiolas na parcela (16 linhas de gaiolas) e pontos de coleta das iluminâncias (fora e dentro da gaiola) na subparcela, com quatro repetições. Para as variáveis produtivas (PP, OV e M) foi adotado um delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições. O programa estatístico utilizado foi o Sisvar (Ferreira, 2008), sendo as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott, ao nível de 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foi observada interação significativa ($p > 0,05$) entre os fatores período do dia e linhas de gaiolas para os dados do ambiente térmico, havendo diferenças estatísticas para cada um dos fatores isoladamente.

Pode-se verificar na Tabela 1 a diferença entre a t_{bs} diurna e noturna ($p < 0,05$) com valores superiores no período do diurno (22,3 °C). Embora tenha havido essa diferenciação, a t_{bs} manteve-se uma condição de estresse moderado por frio, uma vez que, segundo Sousa et al. (2014) e Santos et al. (2017), a faixa de temperatura do ar que melhor caracteriza a zona de conforto térmico (ZCT) para codornas adultas entre 23 e 26 °C. El-Tarabany (2016) também indicou como conforto térmico para codornas em postura a temperatura do ar de aproximadamente 23,8 °C.

Tabela 1. Valores médios e desvios-padrões (entre parênteses) dos indicadores do ambiente térmico t_{bs} , UR, ITGU e H diurno e noturno de aviários para codornas japonesas em fase de postura.

Variáveis	PERÍODO DO DIA	
	DIURNO	NOTURNO
t_{bs} (°C)	22,3 (1,0) a	19,0 (1,2) b
UR (%)	55,9 (6,5) b	67,3 (8,9) a
ITGU	69,7 (1,2) a	67,1 (1,8) b
H (kJ kg ⁻¹)	47,8 (2,0) a	44,6 (3,8) b

Letras minúsculas diferentes na linha diferem estatisticamente ($p < 0,05$)

pelo teste de média de Skott-knott. t_{bs} : temperatura de bulbo seco (°C),

UR: umidade relativa do ar (%), ITGU: índice de temperatura de globo

negro e umidade e H: entalpia (kJ kg⁻¹)

A amplitude térmica média para a t_{bs} dos períodos diurno e noturno foi de 2,7 °C, sendo considerada baixa. Esta situação possibilita mínima necessidade de esforço fisiológico para as codornas japonesas adaptasses a uma acentuada mudança de temperatura, em um curto espaço de tempo, conseqüentemente, reduz-se a demanda energética para manutenção da homeotermia dessas aves, favorecendo a produção. Segundo Baêta e Souza (2010), um ambiente térmico ideal para o animal de produção manter seu máximo potencial produtivo e sua temperatura corporal seja mantida com o uso mínimo dos mecanismos de termorregulação requer temperaturas dentro da ZCT e amplitude térmica restrita. Moura et al. (2010) também não observaram efeito significativo no desempenho e qualidade de ovos de codornas japonesas produzidas sob amplitudes térmicas de 6,5 °C no estado de Pernambuco, Brasil.

A umidade relativa do ar (UR) também foi diferente ($p < 0,05$) entre os períodos diurno e noturno, sendo maior no período noturno. Apesar de estatisticamente diferentes, a UR manteve uma baixa amplitude entre os períodos diurno e noturno se mantendo abaixo dos limites recomendados por Oliveira et al. (2007) e Rodrigues et al. (2016) no período diurno. Estes autores observaram maior produção de ovos quando as codornas

alojadas em ambientes com UR entre 65 e 70%, estabelecendo boas condições de conforto para a produção de ovos.

Em condições de temperatura de bulbo seco abaixo da faixa recomendada como confortável para criação de codornas japonesa, condição semelhante as observadas no presente estudo, a umidade relativa do ar baixa pode estimular ainda mais as trocas térmicas entre o animal e o ambiente, aumentando o gasto energético com mecanismos de termogênese para manutenção da temperatura corporal constante nestes animais. Consequentemente, esta condição pode influenciar negativamente a produção de ovos, uma vez que, um percentual considerável da energia proveniente do consumo do alimento, que seria destinado à produção de ovos, acaba sendo desviado para a manutenção do metabolismo basal destes animais.

O ITGU médio apresentou diferença estatística ($p < 0,05$) ao se comparar os períodos diurno e noturno do dia (Tabela 1), mas, para as condições experimentais observadas no presente estudo, apresenta-se com valores inferiores ao intervalo de 71 a 77, considerado confortável para codornas em fase de produção de ovos (Castro, 2014; Sousa et al., 2014; Santos et al., 2017).

Pode-se observar, ainda na Tabela 1, uma variação significativa ($p < 0,05$) da H de 47,8 a 44,6 kJ kg de ar seco⁻¹ para os períodos diurno e noturno, adotando-se como situação de conforto o intervalo de 54 a 67 kJ kg de ar seco⁻¹, calculados com base nas recomendações de t_{bs} e UR de 23-26 °C e 65-70%, respectivamente, estabelecidos por Castro (2014), Sousa et al. (2014) e Santos et al. (2017). Desta forma, reitera-se a condição de estresse moderado por frio ao qual as codornas japonesas foram submetidas no aviário avaliado.

Tabela 2. Valores médios e desvios padrões (entre parênteses) das variáveis do ambiente térmico de aviário para codornas japonesas

Linhas	Ambiente térmico			
	t_{bs} (°C)	UR (%)	ITGU	H (kJ kg ar seco ⁻¹)
1	19,1 (0,4) c	70,5 (2,8) a	66,8 (0,5) c	45,5 (0,8) b
2	19,7 (0,3) c	63,9 (3,1) a	66,9 (0,1) c	44,7 (0,6) b
3	20,8 (0,4) b	60,8 (3,1) b	68,9 (0,2) b	46,4 (0,3) b
4	21,8 (0,3) a	59,9 (2,0) b	69,6 (0,2) a	48,4 (0,8) a
5	21,8 (0,3) a	59,9 (2,0) b	69,6 (0,2) a	48,4 (0,8) a
6	20,7 (0,3) b	61,4 (2,0) b	68,8 (0,5) b	46,2 (1,0) b
7	20,5 (0,4) b	43,1 (15,3) c	65,5 (2,4) d	38,9 (5,0) c
8	20,0 (0,5) c	64,1 (2,5) a	68,1 (0,5) b	45,5 (1,1) b
9	20,1 (0,5) b	67,2 (3,0) a	68,2 (0,4) b	47,1 (0,9) a
10	20,3 (0,4) b	65,2 (2,6) a	67,6 (0,5) c	46,8 (1,0) a
11	20,7 (0,4) b	66,4 (4,1) a	69,6 (0,5) a	48,3 (1,3) a
12	21,7 (0,5) a	57,7 (2,0) b	69,5 (0,4) a	47,4 (0,8) a
13	21,7 (0,5) a	57,7 (2,0) b	69,5 (0,4) a	47,4 (0,8) a
14	21,4 (0,7) a	59,4 (3,0) b	69,6 (0,6) a	47,2 (1,2) a
15	20,3 (0,6) b	64,4 (3,2) a	68,1 (0,6) b	46,3 (1,2) b
16	19,6 (0,6) c	63,9 (3,1) a	68,2 (0,5) b	44,4 (1,3) b

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna diferem estatisticamente entre si ($P < 0,05$), pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade. Temperatura de bulbo seco (t_{bs}), umidade relativa do ar (UR), índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e entalpia (H)

Na Figura 3 pode-se observar o comportamento dos índices térmicos ITGU e H médios no interior do aviário ao longo do dia, no qual, apresentou uma queda brusca no ambiente térmico interno do aviário por volta das 7:00h da manhã. Esta redução de 2,8 e 4,7 do ITGU e H, respectivamente, pode ser atribuída ao manejo de cortinas adotado pela granja, com abertura completa das cortinas dos aviários as sete horas da manhã, com a chegada dos funcionários à granja.

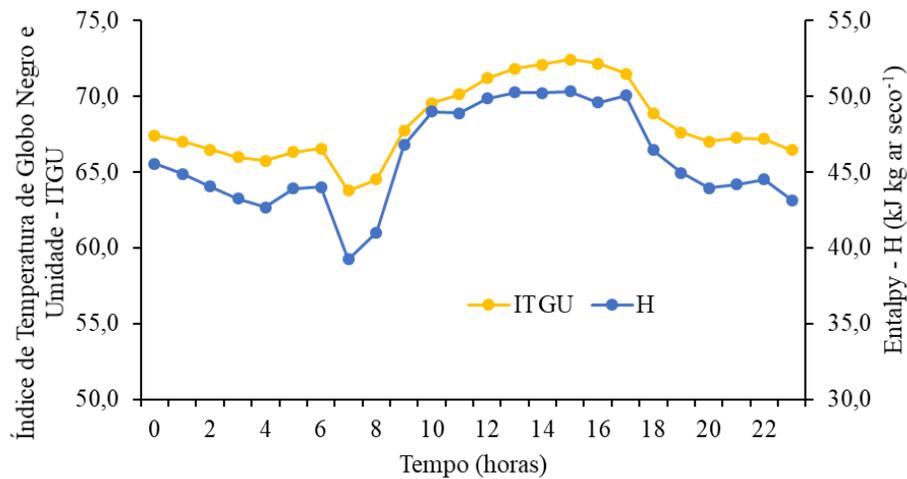


Figura 3. Índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e entalpia (H) médios em função do horário do dia em aviário para produção de ovos de codornas japonesas

A literatura evidencia a condição de estresse moderado pelo frio impostas a codornas japonesas na presente pesquisa, devendo-se buscar alternativas para aumentar o isolamento térmico entre os ambientes externo e interno do aviário através da escolha de materiais construtivos com baixa condutividade térmica e adoção de manejo de cortinas mais eficiente, com abertura gradativa ao amanhecer, para que não promova quedas bruscas de temperatura no ambiente interno do aviário, como os observados na Figura 3.

Um dos principais critérios para otimização da produção animal em um sistema de confinamento é proporcionar uniformidade de condições ambientais para melhor expressão das características produtivas do plantel. Entretanto, como pode ser observado na Tabela 2, o ambiente térmico apresentou variação dentro do aviário ($p < 0,05$), entre as 16 linhas de gaiolas, com maiores valores de t_{bs} , ITGU e H nas linhas de gaiolas 4, 5, 12, 13 e 14, localizadas nos andares superiores das duas baterias de gaiolas, como pode ser observado na Figura 1B.

Também é possível observar uma variação dos valores de ITGU e H entre as laterais norte e sul do aviário (Tabela 2), sendo que, o lado sul apresentou valores mais elevados destes índices. Este resultado reflete a

condição de localização do aviário avaliado, o qual, encontrava-se com a sua lateral norte a um nível de relevo inferior a barreira resultante de corte e aterros realizados no terreno da granja, além de uma camada de vegetação nativa ali existente, que possibilitou sombreamento nesta lateral do aviário, conforme pode ser observado nas Figuras 1A, B e C.

A UR, por sua vez, manteve-se mais elevadas nas linhas de gaiolas dos andares mais baixos das baterias de gaiolas, linhas 1, 2, 8, 9, 10, 11, 15 e 16 (Tabela 2), esta condição do ambiente térmico do aviário estudado reflete a capacidade de trocas térmicas por convecção da massa de ar, na qual, as camadas inferiores do ar no aviário ao se aquecerem, reduzem a sua densidade e sobem, forçando a renovação do ar, denso e frio, a entrarem pelas aberturas laterais, áreas de circulação de ar. Resultados semelhantes foram observados por Ferraz et al. (2019), que, avaliando galpões com e sem lanternim para cunicultura, constatou a importância das trocas convectivas para a manutenção de um ambiente térmico mais favorável a produção de coelhos.

A análise de variância para as iluminâncias natural apresentou efeito significativo entre as linhas de gaiolas e o ponto de coleta das iluminâncias nas gaiolas ($p < 0,05$), conforme listado na Tabela 3.

A adoção de sistemas de iluminação misto (iluminação natural e complementar), nos aviários para produção de codornas japonesas, é comumente observado nas unidades de produção brasileiras. Estes sistemas de iluminação são mais econômicos, entretanto, as aves são condicionadas as oscilações do ambiente lumínico local, influenciando no aporte luminoso. Esta situação pode ser observada quando se avalia a iluminância natural (Tabela 3), na qual, observou-se diferenciação na oferta de luz, ($p < 0,05$), entre as linhas de gaiolas quando coletadas fora e dentro da gaiola, com maior aporte luminoso na lateral norte do aviário (nascente), tendo a linha um recebendo maior intensidade luminosa, seguido da linha dois e tendo as demais linhas de gaiolas com intensidades de iluminação idênticas estatisticamente.

A posição de coleta das iluminâncias natural, fora e dentro das gaiolas, também demonstrou diferenças entre a disponibilização de luz para as codornas nas linhas de gaiolas 1, 2, 15 e 16 ($p < 0,05$), as reduções variaram entre 9,26% a 27,55%.

Segundo Mendes et al. (2013), o fornecimento de iluminação, sua intensidade e duração influenciam diretamente as respostas fisiológicas e comportamentais das aves, assim, a recomendação mínima para o

fornecimento de iluminação em aviários destinados a produção de codornas japonesas, na fase de produção de ovos, deve ser de 5 lux e um programa de luz contendo 16 horas de luz e 8 de escuro (Molino et al., 2015). A oferta de iluminação dentro do aviário analisado manteve-se acima da recomendação de 5 lux, tanto na iluminação natural quanto na complementar, garantindo o aporte luminoso necessário a liberação de hormônios fundamentais para o crescimento folicular, formação do ovo e oviposição (Oliveira e Oliveira, 2013).

Tabela 3. Valores médios e desvios padrões (entre parênteses) das iluminâncias natural e complementar medidos dentro e fora das gaiolas em aviário para produção de ovos de codornas japonesas.

Linhas	Iluminância diurna				Iluminância complementar			
	FORA (lux)		DENTRO (lux)		FORA (lux)		DENTRO (lux)	
1	3130,0 (981,3)	cA	2840,1 (1038,6)	cB	13,6 (0,4)	cA	11,6 (0,8)	dB
2	1896,6 (1145,7)	bA	1547,1 (1139,8)	bB	17,2 (1,1)	eA	14,1 (0,5)	gB
3	184,9 (11,6)	aA	148,0 (6,7)	aA	15,8 (0,8)	dA	13,5 (0,6)	fB
4	119,3 (29,6)	aA	76,9 (16,4)	aA	17,7 (0,5)	eA	13,3 (0,6)	fB
5	92,6 (15,1)	aA	59,0 (9,8)	aA	14,1 (0,8)	cA	9,9 (0,8)	cB
6	65,4 (13,7)	aA	45,7 (7,8)	aA	8,9 (0,4)	aA	7,4 (0,3)	aB
7	63,4 (10,0)	aA	57,3 (4,3)	aA	9,5 (0,3)	bA	7,7 (0,3)	bB
8	63,0 (11,6)	aA	61,3 (8,9)	aA	10,0 (0,5)	bA	8,3 (0,2)	bB
9	59,1 (13,4)	aA	51,7 (10,3)	aA	9,7 (0,5)	bA	7,9 (0,2)	bB
10	66,1 (13,1)	aA	61,8 (11,4)	aA	9,5 (0,2)	bA	7,4 (0,3)	aB
11	65,7 (8,3)	aA	50,2 (9,4)	aA	8,6 (0,2)	aA	7,0 (0,3)	aB
12	100,2 (11,2)	aA	68,1 (9,0)	aA	13,4 (0,4)	cA	7,3 (0,3)	aB
13	100,2 (24,3)	aA	89,9 (16,1)	aA	16,0 (1,2)	dA	12,4 (1,1)	eB
14	226,1 (24,4)	aA	194,6 (41,5)	aA	16,3 (0,4)	dA	13,3 (0,2)	eB
15	474,8 (73,5)	aA	344,0 (44,8)	aB	17,1 (0,8)	eA	14,4 (0,3)	gB
16	732,9 (108,7)	aA	554,6 (110,0)	aB	13,5 (0,4)	cA	11,2 (0,7)	dB

Médias seguidas de letras minúsculas na coluna e maiúsculas nas linhas diferem estatisticamente entre si ($P < 0,05$), pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

A iluminância complementar também apresentou efeito significativo, ($p < 0,05$), entre as linhas de gaiolas e pontos de coletas da iluminância. Sendo as linhas 2, 4 e 15 as que receberam maior oferta de iluminação fora da gaiola e, as linhas 2 e 15 quando mensurados dentro da gaiola. Os resultados referentes a iluminância complementar também apontam para a necessidade de se fazer um planejamento mais eficiente do posicionamento dos pontos de iluminação suas alturas em relação ao piso do aviário e as suas intensidades luminosas, uma vez que, esta variável, demonstrou alta variância entre as linhas de gaiolas, configurando desuniformidade da iluminação dentro do aviário. A iluminância complementar também indicou diferença significativa entre os pontos de coletas das iluminâncias fora e dentro das gaiolas, nas 16 linhas de gaiolas, indicando que a quantificação da iluminância plenamente disponível para as codornas deve ser medida no interior das gaiolas de confinamento.

Não foi observado diferenciação estatística para a percentagem de postura (PP), a qual, manteve uma média de aproximadamente 73,1%, considerada baixa para os padrões da espécie (Tabela 4). Segundo Rezende et al. (2004), codornas japonesas apresentam percentagem de

postura de até 80% e peso médio do ovo entre 10 e 15 g, porém outros relatos na literatura verificaram PP superior a 80% (Jacomé et al., 2012; Umigi et al., 2012; D'Avila Lima et al., 2015; Ribeiro et al., 2015).

Como pode ser observado na Tabela 4, o percentual de ovos viáveis (OV) variou, ($p < 0,05$), entre as diferentes linhas de gaiolas, sendo que, os melhores resultados foram observados nas linhas 2, 3, 4, 5, 9, 12, 13, e 14, localizadas, em maioria, nas laterais norte e sul do aviário, áreas com maior oferta de iluminação diurna e complementar. Não foram encontrados trabalhos na literatura revisada que indiquem o limite de OV adequado para codornas japonesas em fase de produção de ovos. Entretanto, o OV observado no presente estudo manteve-se entre 86% e 96%, resultados inferiores aos obtidos por Umigi et al. (2007), Costa et al. (2008) e Lima et al. (2015).

Tabela 4. Valores médios e desvios padrões (entre parênteses) das variáveis produtivas percentagem de postura (PP), percentual de ovos viáveis (OV) e mortalidade (M) de codornas japonesas.

Linhas	Produção		
	PP (%)	OV (%)	M (%)
1	76,0 (6,1) a	91,7 (1,9) b	0,07 (0,0) a
2	70,0 (3,8) a	93,3 (1,0) c	0,09 (0,1) a
3	66,7 (17,8) a	93,2 (1,2) c	0,09 (0,1) a
4	75,5 (2,0) a	94,0 (1,6) c	0,09 (0,1) a
5	77,2 (5,1) a	94,1 (1,5) c	0,12 (0,2) a
6	72,6 (6,8) a	92,1 (1,5) b	0,12 (0,2) a
7	69,6 (8,6) a	92,0 (3,1) b	0,15 (0,1) a
8	71,5 (7,5) a	90,1 (2,5) a	0,16 (0,0) a
9	68,4 (3,7) a	93,5 (1,8) c	0,18 (0,1) b
10	71,6 (8,2) a	92,2 (3,1) b	0,19 (0,1) b
11	72,6 (5,8) a	92,3 (2,2) b	0,22 (0,1) b
12	74,6 (5,0) a	94,6 (1,3) c	0,22 (0,1) b
13	81,6 (3,4) a	94,5 (0,9) c	0,23 (0,1) b
14	74,3 (2,6) a	93,1 (1,4) c	0,24 (0,1) b
15	77,5 (4,1) a	92,1 (2,1) b	0,26 (0,2) b
16	69,9 (3,7) a	89,4 (1,0) a	0,27 (0,1) b

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente entre si ($P < 0,05$), pelo teste de Skott-Knott a 5% de probabilidade.

O baixo percentual de produção de ovos e ovos viáveis do presente estudo podem ser atribuídos ao fato destes valores serem oriundos de um sistema comercial de produção, com maior número de codornas, cerca de 25.000 aves, maior tempo de coleta de dados, além de fatores ligados a falhas no manejo das aves no aviário, como a distribuição desuniforme da ração entre as linhas de gaiolas, ausência de um manejo eficiente das cortinas, abrindo-as gradativamente, de forma a minimizar uma queda de temperatura abrupta no ambiente interno do aviário e impedindo a entrada de radiação térmica direta do início da manhã sobre as aves posicionadas nas linhas de gaiolas mais próximas a abertura lateral norte do aviário.

Segundo Albino e Barreto (2012), o percentual de mortalidade em um aviário de codornas japonesas de postura deve ser de até 0,76%, valor superior ao encontrado no presente estudo (Tabela 2). A mortalidade em codornas japonesas, segundo Lima et al. (2015), está correlacionada ao manejo e as instalações, sendo, geralmente, consequentes de acidente nas gaiolas de confinamento. As codornas, apesar de domesticadas, ainda conservam alguns comportamentos comuns em aves selvagens (Ito et al., 2009), isto pode explicar o maior percentual de mortalidade nas linhas de gaiolas 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 e 16, bateria posicionada no lado sul do

aviário, além de ser mais quente (Tabela 2), este lado fica paralela a via de transito diário de veículos e implementos agrícolas da granja.

CONCLUSÕES

Os parâmetros de produção de ovos de codornas japonesas foram afetados negativamente pela condição de estresse moderado por frio impostas, sendo necessário ajustes no aviário que permitam condições térmicas mais adequadas a produção de ovos nestas condições experimentais.

Apesar de ter atendido a necessidade de iluminância necessárias ao estímulo reprodutivo das codornas, intervenções devem ser realizadas para garantir maior uniformidade de iluminação da instalação, garantindo melhor estabilidade de produção de ovos.

REFERENCES

ALBINO LFT AND BARRETO SLT. Criação de codornas para produção de ovos e carne. 1nd ed., Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 289 p.

ALBRIGHT LD. 1990. Environment control for animals and plants. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan. 453 p.

BAÊTA FC AND SOUZA CF. 2010. Ambiência em edificações rurais: Conforto animal. 2nd ed., Viçosa: UFV, 269 p.

BUFFINGTON DE, COLLAZO-AROCHO A, CANTON GH, PITT D. 1981. Black globe-humidity index (BGHI) as a comfort equation for dairy cows. Transactions of the ASAE, 24: 711-714.

CASTRO JO. 2014. Avaliação e modelagem do desempenho de codornas japonesas em postura submetidas a diferentes ambientes térmicos. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Lavras, Lavras. 72 p.

COSTA CHR, BARRETO SLT, MESQUITA FILHO RM, ARAUJO MS, UMIGI RT, LIMA HJD. 2008. Avaliação do desempenho e da qualidade dos ovos de codornas de corte de dois grupos genéticos. Revista Brasileira de Zootecnia, 37: 1823-1828.

D'AVILA LIMA HJ, BARRETO SLT, PAULA E, DUTRA DR, COSTA SL, ABJAUDE WS. 2015. Níveis de sódio na ração de codornas japonesas em postura. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 16: 73-81.

EL-TARABANY MS. 2016. Impact of temperature-humidity index on egg-laying characteristics and related stress and immunity parameters of Japanese quails. *International Journal of Biometeorology*, 60: 957-964.

ESMAY ML. 1969. Principles of animal environment. 2nd ed., West Port: AVI, 325p.

FERRAZ PFP, FERRAZ GAS, DAMASCENO FA, DE MOURA RS, SILVA MAG, RODRIGUES RL. 2019. Spatial variability of enthalpy in rabbit house with and without ridge vent. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 23: 126-132.

FERREIRA, D. F. 2008. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium, Lavras*, 6: 36-41.

GUIMARÃES MCC, FURTADO DA, NASCIMENTO JWB, TOTA LCA, SILVA CM, LOPES KBP. 2014. Efeito da estação do ano sobre o

desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental, 18: 231–237.

ITO NMK, MIYAJI CI, MIYAJI SO. 2009. Redução da Mortalidade na Criação Industrial de Codornas. In VII Congresso de Produção, Comercialização e Consumo de Ovos, 101-109.

JÁCOME IMTD, ROSSI LA, BORILLE R. 2014 Influence of artificial lighting on the performance and egg quality of commercial layers: a review. Revista Brasileira de Ciência Avícola, Campinas, 16: 337-344.

MENDES AS, PAIXÃO SJ, RESTELATTO R, MORELLO GM, MOURA DJ, POSSENTI JC. 2013. Performance and preference of broiler chickens exposed to different lighting sources. The Journal Applied Poltry Research, Oxford, 22: 62-70.

MENDES AS, PAIXÃO SJ, RESTELATTO R, MORELLO GM, MOURA DJ, POSSENTI JC. 2013. Performance and preference of broiler chickens exposed to different lighting sources. The Journal Applied Poltry Research, Oxford, 22: 62-70.

MOLINO AB, GARCIA EA, SANTOS GC; VIEIRA FILHO JA, BALDO GAA, ALMEIDA PAZ ICL. 2015. Photostimulation of japanese quail. *Poult Sci*. 94: 156-161.

MOURA AMA, FONSECA JB, RABELLO CB, TAKATA FN, OLIVEIRA NTE. 2010. Desempenho e qualidade do ovo de codornas japonesas alimentadas com rações contendo sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39: 2697-2702.

OLIVEIRA BL. 2007. Manejo em granjas automatizadas de codornas de postura comercial. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL, 3: 91-96.

OLIVEIRA DD AND OLIVEIRA BL. 2013. Qualidade e tecnologia de ovos. Lavras: Editora UFLA, 223 p.

REZENDE MJ, DE M, FLAUZINA LP, MCMANUS C, DE OLIVEIRA LQM. 2004. Desempenho produtivo e biometria das vísceras de codornas francesas alimentadas com diferentes níveis de energia metabolizável e proteína bruta. *Acta Sci Anim Sci*, 26: 353-358.

RODRIGUES LR, FURTADO DA, COSTA FG, DO NASCIMENTO JW, CARDOSO EDA. 2016. Thermal comfort index, physiological

variables and performance of quails fed with protein reduction. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20: 378-384.

SANTOS TCD, GATES RS, TINÔCO IDFF, ZOLNIER S, BAÊTA FDC. 2017. Behavior of Japanese quail in different air velocities and air temperatures. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 52: 344-354.

SOUSA MS, TINÔCO IDFF, JÚNIOR HS, INOUE KRA, MENDES MADSA. 2014. Qualidade do ambiente aéreo na criação inicial de codornas de corte em função de diferentes temperaturas. *Revista Engenharia na Agricultura-REVENG*, 22: 103-111.

UMIGI RT, BARRETO SLT, DONZELE JL, REIS RS, SOUSA MF, LEITE CDS. 2007. Níveis de treonina digestível em dietas para codorna japonesa em postura. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36: 1868-1874.

UMIGI RT, BARRETO SLT, REIS RS, MESQUITA FILHO RM, ARAÚJO MS. 2012. Níveis de treonina digestível para codornas japonesas na fase de produção. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 64: 658-664.

**ARTIGO 3 - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À PREDIÇÃO
DE ÍNDICES PRODUTIVOS DE CODORNAS JAPONESAS EM
FUNÇÃO DO AMBIENTE TERMOLUMÍNICO**

(VERSÃO PRELIMINAR)

**Artigo redigido conforme normas da Revista Academia Brasileira de
Ciências**

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA À PREDIÇÃO DE
ÍNDICES PRODUTIVOS DE CODORNAS JAPONESAS EM
FUNÇÃO DO AMBIENTE TERMOLUMÍNICO**

RESUMO: A produção e consumo de ovos de codornas vem passando por um período de crescimento considerável nos últimos anos, entretanto ainda são necessários muitos estudos para conhecer o melhor ambiente termolumínico para o fortalecimento da cadeia produtiva. Neste sentido, objetivou-se com este trabalho, desenvolver sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy* para predição dos índices produtivos de codornas japonesas, a partir de dados do ambiente térmico e lumínico em aviários comerciais. Para o desenvolvimento dos modelos *fuzzy* e *neuro-fuzzy* foram utilizando os métodos de inferência Mandani e Takagi-Sugeno (FIS), respectivamente, ajustados para prever a percentagem de postura (PP), percentagem de ovos viáveis (POV) e mortalidade (M) de codornas japonesas em função das variáveis de entrada entalpia diurna e noturna e iluminâncias diurna e noturna (HD, HN, ID e IC, respectivamente). Os modelos *fuzzy* e *neuro-fuzzy* desenvolvidos são eficazes na predição de índices produtivos como PP, POV e M de codornas japonesas, sendo que o sistema *neuro-fuzzy* destacou-se pela maior adaptabilidade e assertividade para a predição destes índices em sistemas de produção comercial.

PALAVRAS-CHAVE: coturnicultura, desempenho produtivo, iluminância, entalpia, *fuzzy*, *neuro-fuzzy*.

ABSTRACT: The production and consumption of quail eggs has been undergoing a considerable period of growth in recent years, however, many studies are still needed to know the best thermos-luminous environment for the strengthening of the production chain. In this sense, the objective of this work was to develop fuzzy and neuro-fuzzy systems to predict the productive indexes of Japanese quails, based on thermal and light data in commercial aviaries. For the development of the fuzzy and neuro-fuzzy models were used the Mandani and Takagi-Sugeno inference methods (FIS), respectively, adjusted to predict the laying percentage (LP), percentage of viable eggs (PVE) and mortality (M) of Japanese quail as a function of the input variables daytime and nocturnal enthalpy and daytime and nocturnal illuminance (DH, NH, DI and NI, respectively). The developed neuro-fuzzy and fuzzy models are effective in predicting productive indexes such as LP, PVE and M of Japanese quails, and the neuro-fuzzy system was highlighted by the greater adaptability and assertiveness for the prediction of these indexes in commercial production systems.

KEYWORDS: quail farming, productive performance, illuminance, enthalpy, fuzzy, neuro-fuzzy

INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva da coturnicultura no Brasil vem acumulando, ao longo dos últimos anos, um elevado crescimento. Do ano de 2002 para 2016 o efetivo desta espécie cresceu cerca de 171% no país (IBGE, 2016) e, segundo Pastore et al. (2012) e Castro (2014), estes números expressivos foram consequências da adequação das propriedades rurais as novas tecnologias de produção estimuladas pela elevação do consumo de ovos de codornas *in natura* e em conserva.

Como na avicultura de postura, a produção de ovos de codornas japonesas também é influenciada pelo ambiente de criação, logo, este ambiente necessita atender às condições de conforto para que as aves tenham seu máximo desempenho produtivo. Todavia, apesar dos avanços alcançados, ainda pode-se observar baixa disponibilidade de parâmetros na literatura que norteiem o peso ideal para cada fase produtiva das aves, suas exigências nutricionais, gerenciamento de iluminação e outros aspectos (Molino et al., 2015; Yadav e Chaturvedi, 2016).

As codornas de postura apresentaram evidências de estresse térmico em condições de temperatura ambiente a partir de 27°C, com redução no consumo de ração, peso e massa dos ovos, sendo que, a elevação cíclica

de 36°C na temperatura ambiente afeta negativamente o percentual de ovos viáveis e o percentual de postura (Vercese, 2012; Albino e Barreto, 2012; Sousa et al., 2013; El-Tarabany, 2016; Santos et al., 2017).

O ambiente termolumínico apresenta grande influência sobre a produção de codornas de postura, Molino et al. (2015) recomendam, para produção de codornas japonesas, um programa de luz de 16 horas diárias com intensidade luminosa de 20 lux. Uma vez que, na avicultura de postura, a luz tem importância fundamental no ajuste da sincronidade do ritmo circadiano dessas aves, assim, os programas de iluminação com luz artificial ou a associação da luz natural complementada com a artificial estabilizam o fotoperíodo e a intensidade de iluminação, permitindo a obtenção de regularidade na postura de ovos (Molino, 2013; Yadav e Chaturvedi, 2016).

Tanto o fotoperíodo quanto a intensidade da luz, podem interferir nos parâmetros produtivos e reprodutivos das aves (Gewehr e Freitas, 2007). Segundo Borille et al. (2013), o uso de iluminação artificial para poedeiras comerciais é fundamental no manejo da produção de ovos, podendo ser utilizada para adiantar o início da postura, melhorar a taxa de postura e ainda otimizar a eficiência alimentar.

A busca por técnicas inovadoras para o auxílio na quantificação da interação entre as diversas variáveis no ambiente de produção vem trazendo bastante visibilidade para a lógica *fuzzy* e as redes neurais artificiais, uma vez que, utilizando técnicas de modelagem computacional associados a sistemas especialistas inteligentes, tornam-se possível executar tarefas ou resolver problemas a partir de uma base dados conhecida (Yanagi Junior et al., 2012; Schiassi et al., 2015). Todavia, ainda não se verifica muitos sistemas *fuzzy* desenvolvidos e validados com base de dados originados de condições comerciais de produção.

Diante do exposto, objetivou-se com esta pesquisa desenvolver sistemas *neuro-fuzzy* e *fuzzy* para predição dos índices produtivos de codornas japonesas, a partir de dados do ambiente térmico e lumínico em aviários comerciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Sistema produtivo

O presente estudo foi desenvolvido em um aviário comercial para a produção de ovos de codornas, localizado em uma granja comercial no município de Lavras - MG. O clima é do tipo Cwa, conforme

classificação climática de Köppen, com inverno seco e verão chuvoso (Dantas et al., 2007). Os procedimentos utilizados nesse experimento foram aprovados pelo Comitê de Ética em Uso Animal (CEUA) da Universidade Federal de Lavras (Minas Gerais, Brasil), protocolo 013/2016.

A área experimental foi composta de um galpão com dimensões 9,00 m x 45,00 m, pé direito de 2,80 m e orientação leste oeste. O galpão possuía cobertura de telha de fibrocimento com 6 mm de espessura, inclinação de 25%, beirais com dimensão de 1,00 m. O galpão era equipado com fechamentos laterais de cortinas de lona na cor azul, sendo elevado 2,15 m em relação à superfície do solo, para facilitar a coleta dos dejetos, e caixa d'água com capacidade para 500 l (Figura 1A).

O sistema de iluminação foi composto de 30 lâmpadas LEDs (7W). Adotou-se um programa de iluminação misto (natural e complementar), totalizando 16 horas de luz e 8 horas escuro. Cada linha das baterias de gaiolas possuía 10 pontos de iluminação artificial, espaçadas a cada 4,5 m (Figura 1A). A altura de instalação das lâmpadas é de 2,25 m nas laterais e 3,25 m na linha central, em relação ao nível do piso do galpão (Figura 1B).

As gaiolas foram dispostas em duas baterias contendo oito linhas cada, montadas em esquema de pirâmide, nas alturas de 0,40 m, 0,65 m, 0,90 m e 1,15 m em relação ao piso do galpão, respectivamente, da primeira à quarta prateleira de gaiolas (Figura 1B). Ao longo de cada linha foram dispostas 164 gaiolas ladeadas contendo entre oito e dez aves por gaiola. A capacidade média por linha foi de 1.563 aves, em média, e a densidade de aproximadamente 85 a 106,25 cm² por ave, totalizando uma média de 25.000 codornas japonesas (*Coturnix coturnix japonica*) em fase inicial de postura, da linhagem Fujikura.

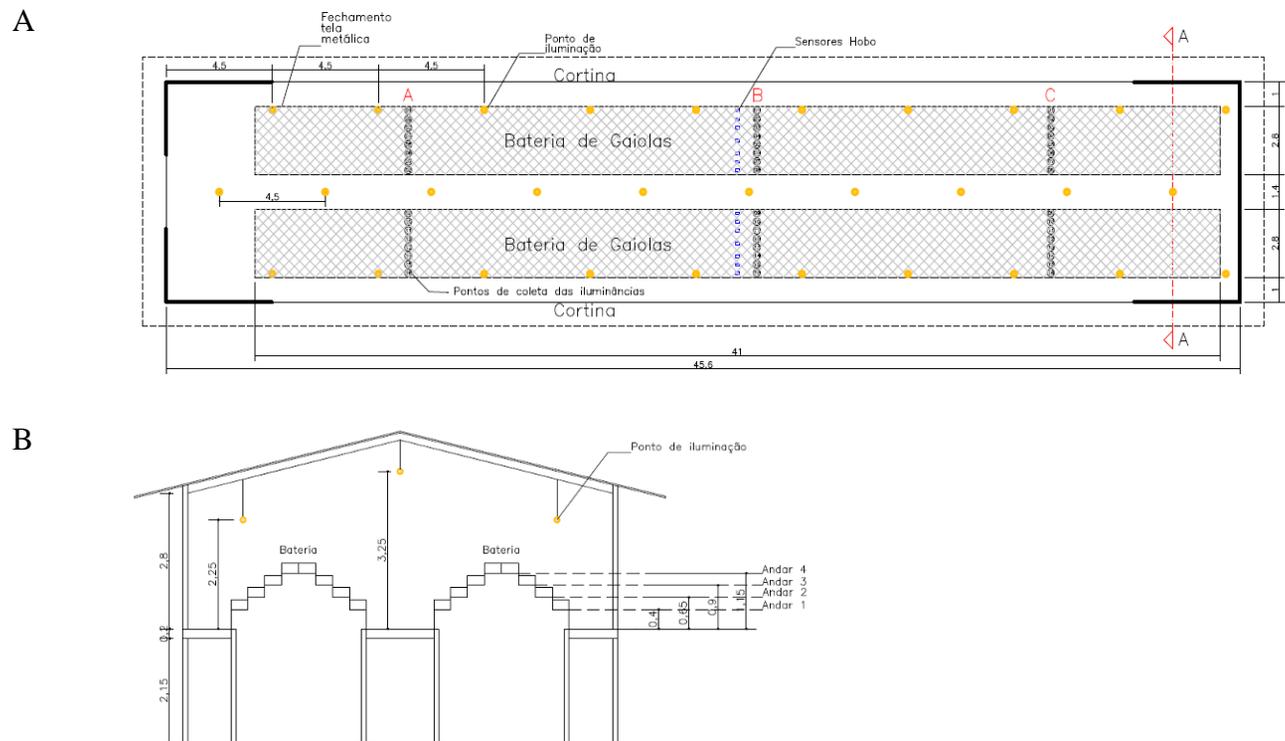


Figura 1. Desenho esquemático do aviário (A) e Corte AA do aviário (B), sem escala definida. Unidade das cotas: m.

Animais e coleta de dados experimentais

Para avaliação do ambiente térmico foram coletados dados de temperatura de bulbo seco (t_{bs}), temperatura de globo negro (t_{gn}) e umidade relativa do ar (UR) ao longo do experimento, a cada 15 min. Foram utilizados 16 sensores registradores (Onset HOBO® TEMP/ RH/2 ext channels / precisão de $\pm 3\%$ da leitura e acurácia de $\pm 1^\circ\text{C}$ para temperatura e $\pm 5\%$ para umidade relativa), distribuídos em todos os andares das gaiolas do aviário (Figura 1B). Além desses, um sensor foi instalado na área externa ao galpão.

A entalpia (H , $\text{kJ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$) foi determinada por meio da equação 1 (Albright, 1990) em função da temperatura de bulbo seco do ar (t_{bs} , $^\circ\text{C}$) e da razão de mistura (W , $\text{kg}_{\text{vapor d'água}} \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$), por ser a mais adequada para estudos em ambiente animal (Rodrigues et al., 2010).

$$H = 1,006 \cdot t_{bs} + W \cdot (2501 + 1,805 \cdot t_{bs}) \quad (1)$$

Sendo, H a entalpia ($\text{kJ kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$), t_{bs} a temperatura de bulbo seco do ar ($^\circ\text{C}$) e W a razão de mistura ($\text{kg}_{\text{vapor d'água}} \text{kg}_{\text{ar seco}}^{-1}$). Por sua vez, a

razão de mistura pode ser calculada pela equação 2, em função da pressão atual de vapor-d'água (e_a , kPa) e pressão atmosférica do local (P_{atm} , kPa).

$$W = 0,622 \cdot \left(\frac{e_a}{P_{atm}} \right) \quad (2)$$

Os limites de conforto/desconforto da entalpia ($41,2 - 54,1 \text{ kJ kg}_{ar}^{-1} \text{ seco}^{-1}$) para as codornas foram calculados por meio dos limites de t_{bs} e UR ($18 - 22^\circ\text{C}$ e $65 - 70\%$, respectivamente), indicados por diversos autores (Albino e Barreto, 2012; Umigi et al., 2012; Vercese et al., 2012; Castro, 2014; Guimarães et al., 2014; Sousa et al., 2014; Rodrigues et al., 2016).

Para avaliação do ambiente lumínico foram realizadas medições dos níveis de iluminância a cada 15 dias durante o período do experimento, totalizando 6 dias de coletas. As medições foram realizadas ao longo do período de fornecimento de iluminação natural e complementar em 48 pontos distribuídos em três regiões de amostragem (A, B e C), em cada região foram coletados 16 pontos correspondentes a iluminação fornecida dentro da gaiola e em cada um dos quatro andares da pirâmide, sendo 16 pontos de coletas e três repetições (Figura 2A).

As medições foram realizadas em sete intervalos de tempo (8:00 as 9:50, 10:00 as 11:50, 12:00 as 13:50, 14:00 as 15:50, 16:00 as 17:50,

18:00 as 19:50 e 20:00 as 21:50) e, posteriormente, realizou-se uma média diária para iluminação natural e complementar para cada uma das 16 linhas de gaiolas do aviário. Utilizou-se para a coleta dos dados de iluminância um luxímetro digital (modelo SKLD-400, precisão de $\pm 3\%$ para lâmpadas incandescentes e $\pm 5\%$ para as demais).

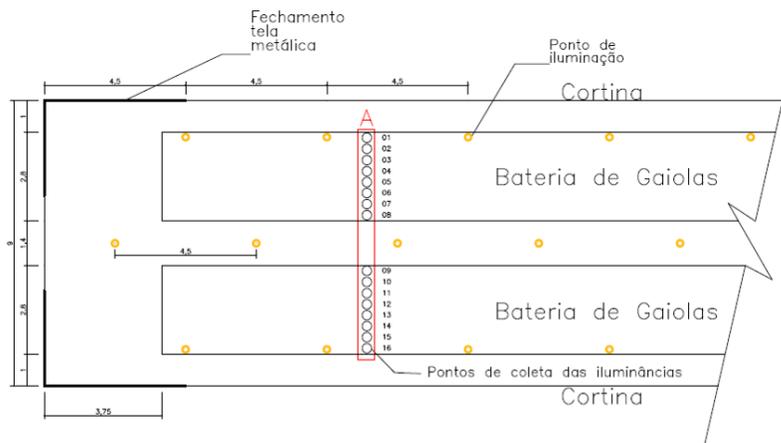
O manejo das codornas seguiu a rotina de trabalho da granja onde foi realizado o experimento. A coleta dos ovos foi realizada diariamente, de forma manual, sempre no período da manhã. Durante o período experimental, as aves receberam água e ração *ad libitum* com formulação de dieta isoproteica e isocalórica considerando o requerimento nutricional estabelecido na Tabela Brasileira de Nutrição de Aves e Suínos (Rostagno et al., 2011).

As avaliações de desempenho produtivo foram realizadas a partir da análise dos dados de percentagem de postura (PP), percentagem de ovos viáveis (POV) e mortalidade (M).

Os ovos foram coletados manualmente por meio de esteiras localizadas em cada linha de andar e separados em ovos viáveis para consumo e os ovos descarte (brancos, sujos, malformado e quebrados). A produção total de ovos do galpão foi registrada

diariamente, havendo coletas semanais de produção de ovos por linha de andar e, posteriormente, calculando a PP e POV.

A.



B.

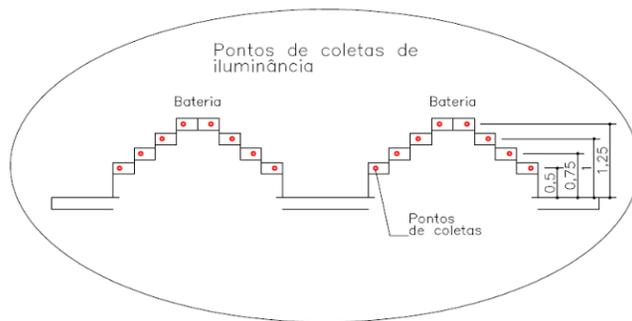


Figura 2. Desenho esquemático do aviário (A) e elevação (B) ilustrando detalhadamente os pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida).

Desenvolvimento e validação do modelo *fuzzy* e *neuro-fuzzy*

Para o desenvolvimento do modelo *fuzzy*, foi utilizado o método de inferência de Mandani (Mandani, 1976), que traz como resposta, um conjunto *fuzzy* originado da combinação dos valores de entrada com seus respectivos graus de pertinência, por meio do operador mínimo e em seguida pela superposição das regras, via operador máximo (Leite et al., 2010). Foram definidas como variáveis de entrada, as medianas da entalpia diurna (HD), da entalpia noturna (HN), da iluminância natural (IN) e da iluminância complementar (IC), com curvas de pertinência trapezoidais (Figura 3) ajustadas com base nos valores obtidos experimentalmente.

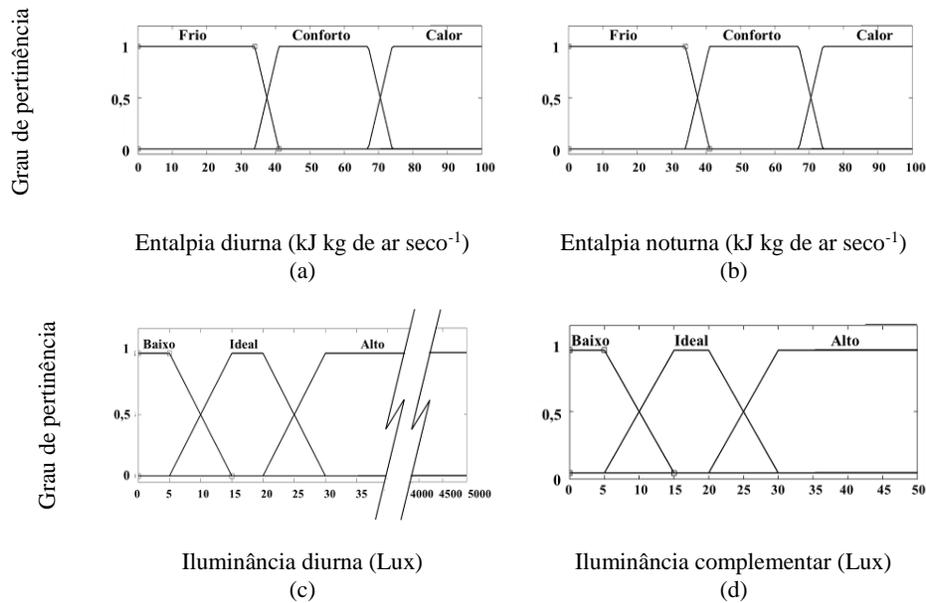


Figura 3. Funções de pertinência para as variáveis de entrada: (a) Entalpia diurna, (b) Entalpia noturna, (c) Iluminância diurna e (d) Iluminância complementar.

Para cada variável de saída, PP, POV e M, foram definidas 81 regras de acordo com as diferentes combinações possíveis dos dados de entrada e, para cada regra, foi atribuído um fator de ponderação igual a 1. As regras foram definidas por meio de sentenças linguísticas com base nos dados coletados em aviário comercial e com auxílio de especialistas. Para a escolha dos especialistas, foi utilizada a metodologia proposta por Cornelissen et al. (2002), conforme empregado por Yanagi Junior et al.

(2012) e Schiassi et al. (2015). Dessa forma, três especialistas com experiência em ambiência animal e modelagem *fuzzy* nos auxiliaram na montagem das regras. O desenvolvimento e as simulações foram empregados com o auxílio do *Fuzzy Toolbox*® do Matlab®, *software version 7.13.0.564 (R2011b)*, no qual, a modelagem foi elaborada.

Com base nas variáveis de entrada e utilizando os dados coletados em aviário comercial para validação, o modelo *fuzzy* pôde prever as variáveis de saída PP, POV e M (Figura 4). A defuzificação foi feita utilizando-se o método do centro de gravidade, que considera todas as possibilidades de saída transformando o conjunto *fuzzy* originado pela inferência em valor numérico (Leite et al., 2010).

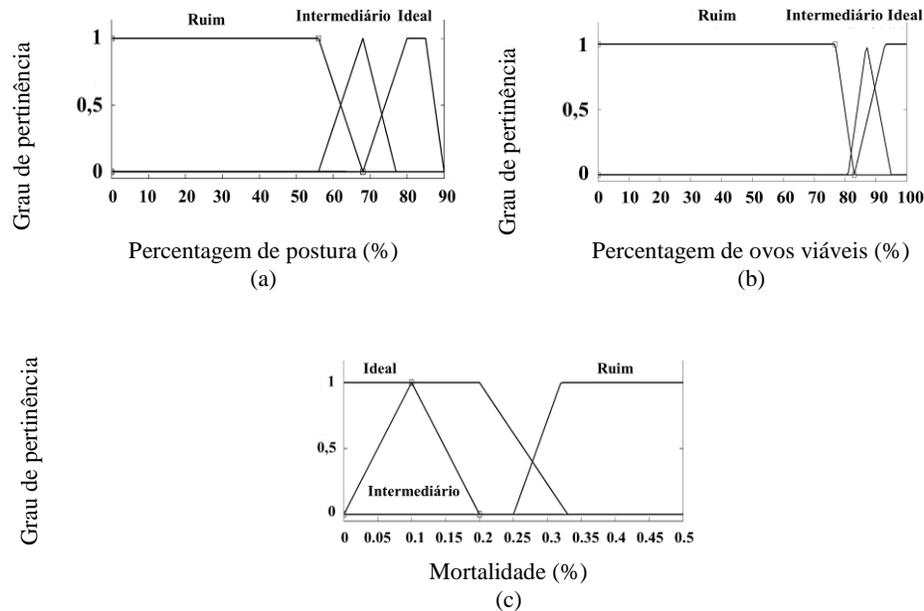


Figura 4. Funções de pertinência para as variáveis de saída: (a) percentagem de postura, (b) percentagem de ovos viáveis e (c) mortalidade.

Para treinar, ajustar, validar e testar modelos baseados em *neuro-fuzzy*, foi utilizado um banco de dados contendo 64 conjuntos de dados coletado durante o período experimental. A mediana da entalpia diurna (HD), entalpia noturna (HN), da iluminância natural (IN) e da iluminância complementar (IC) foram utilizadas como variáveis de entrada, e como variáveis de saída, foram definidos a PP, POV e M.

Cada conjunto de dados foi dividido em três subgrupos (treinamento, validação e teste), que foram usados para modelar as *neuro-*

fuzzy. De todos os dados, 70% do conjunto foram utilizados para treinamento, e 30% dos dados foram utilizados para validação e teste.

O sistema *neuro-fuzzy* utilizado baseia-se no sistema de inferência difusa do tipo Takagi-Sugeno (FIS). Neste sistema, as estruturas de entrada e saída são baseadas em regras; no entanto, as respostas das regras são formadas por funções quebradas (não *fuzzy*) (Takagi e Sugeno, 1985).

As simulações foram realizadas com o auxílio do *Fuzzy Toolbox*® do Matlab®, *software version 7.13.0.564* (R2011b), utilizando a *Anfisedit*. Vários modelos *neuro-fuzzy* foram desenvolvidos e simulados usando diferentes configurações. Diferentes tipos de funções de associação (gaussianas, triangulares e trapezoidais), números de época e métodos de otimização (retropropagação ou híbrido) foram testados, resultando em 40 modelos. O modelo com menor erro de treinamento e sem erros internos de saída em seus conjuntos *fuzzy* (com amplitude fora do intervalo normal ou conjuntos com valores de zero (0) para a variável de estudo) foram selecionados. O método de treinamento híbrido (otimização), que foi baseado em tolerância de erro de 0,0 e 2.000 épocas, foi escolhido por melhor se ajustar ao conjunto de dados (Tahmasebi e

Hezarkhani, 2010). O treinamento foi interrompido quando os erros de treinamento e validação foram estabilizados.

Os valores observados (O) e previstos (P), para cada uma das variáveis, foram comparados graficamente em diagramas de dispersão. Em cada diagrama de dispersão foi apresentada a reta $O = P$, representando a previsão ideal. Também foi ilustrada uma reta determinada por um ajuste linear entre O e P, juntamente com o intercepto e o coeficiente angular, com único objetivo de observar o comportamento geral das previsões e os seus desvios em relação à previsão ideal ($O = P$).

Por meio dos modelos desenvolvidos (*fuzzy* e *neuro-fuzzy*) foram simuladas as respostas produtivas das codornas japonesas, cuja resultados foram validados com os dados coletados experimentalmente por meio da taxa de erro: erro médio (ME) ou tendência ou, ainda, BIAS – viés, também chamado de erro sistemático (equação 3), erro absoluto médio (MAE) (equação 4), erro quadrático médio (MSE) (equação 5), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) (equação 6), erro percentual absoluto médio (MAPE) (equação 7) e o índice de eficiência de Nash-

Sutcliffe (Nash and Sutcliffe, 1970) (equação 8), calculados pelas seguintes equações:

$$ME = Bias = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (3)$$

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (4)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (6)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{O_i - P_i}{O_i} \right| \cdot 100 \quad (7)$$

$$NSE = 1 - \frac{\left[\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \right]}{\left[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \right]} \quad (8)$$

sendo que,

P_i = i -ésima valores preditos (%);

O_i = i -ésima valores observados (%);

n = número total de amostras;

\bar{O} = média do observado (%).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período experimental, que ocorreu no inverno, os valores medianos de entalpia diurna (HD) e entalpia noturna (HN) mantiveram-se dentro dos limites de conforto para codornas japonesas (Tabela 1). Os valores medianos da iluminância diurna (ID) e iluminância complementar, por sua vez, mantiveram-se adequados aos limites de intensidade de iluminação entre 5 e 30 Lux, recomendados para estas aves em período produtivo (Gewehr et al., 2005; Jacome et al., 2012; Molino et al., 2015; Yadav e Chaturvedi, 2015; Yadav e Chaturvedi, 2016). Ainda segundo os mesmos autores, apesar de se conhecer os limites mínimos de intensidade de iluminação necessários para o estímulo à produção de ovos de codornas japonesas, não se verifica influência nos índices produtivos de codornas submetidas as intensidades de iluminação superiores aos valores supramencionados.

Os valores médios de PP e POV encontrados no referido estudo, 73,6% e 92,6%, respectivamente, estão abaixo dos valores observados na literatura (Gravena et al., 2011; Albino e Barreto, 2012; Umigi et al., 2012; Guimarães et al., 2014), o que pode ser atribuído ao fato de essa pesquisa ter sido desenvolvida em um sistema comercial de produção,

com um número de animais superior as pesquisas supramencionadas, maior tempo de coleta de dados, mantendo o controle térmico e manejo das aves segundo padrões da granja. Por outro lado, a mortalidade (M) apresentou-se com um percentual inferior (0,2%) ao observado na literatura. Albino e Barreto (2012), indicam o percentual de 0,76% de mortalidade para codornas japonesas como sendo um valor aceitável. Todavia, apesar de ser um valor abaixo da tolerância, este índice produtivo demonstrou uma correlação baixa com os elementos analisados neste estudo, requerendo futuros estudos a fim de esclarecer suas principais causas.

A base de dados experimental (Tabela 1) foi utilizada para o ajuste, teste e validação dos sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy*, no qual, os intervalos de pertinência para cada uma das variáveis de saída foram acertados de forma a apresentarem os melhores ajustes.

Tabela 1. Valores medianos de entrada (entalpia diurna – HD, entalpia noturna – HN, iluminância diurna – ID e iluminância complementar – IC) e saída (percentagem de postura – PP, percentagem de ovos viáveis – POV e mortalidade – M) observados experimentalmente.

	Variáveis	Mediana (desvio padrão)
Entrada	HD (KJ Kg _{ar seco} ⁻¹)	48,8 (2,3)
	HN (KJ Kg _{ar seco} ⁻¹)	46,4 (3,2)
	ID (Lux)	390,7 (810,7)
	IC (Lux)	10,4 (2,8)
Saída	PP (%)	73,6 (7,1)
	POV (%)	92,6 (2,2)
	M (%)	0,2 (0,1)

Na Figura 5 encontram-se os gráficos de dispersão para PP, POV e M comparando as simulações *fuzzy* e *neuro-fuzzy* (ordenadas) com os valores observados experimentalmente (abscissas). As linhas diagonais representam os casos ideais, nos quais, os valores das simulações seriam perfeitos ($P = O$).

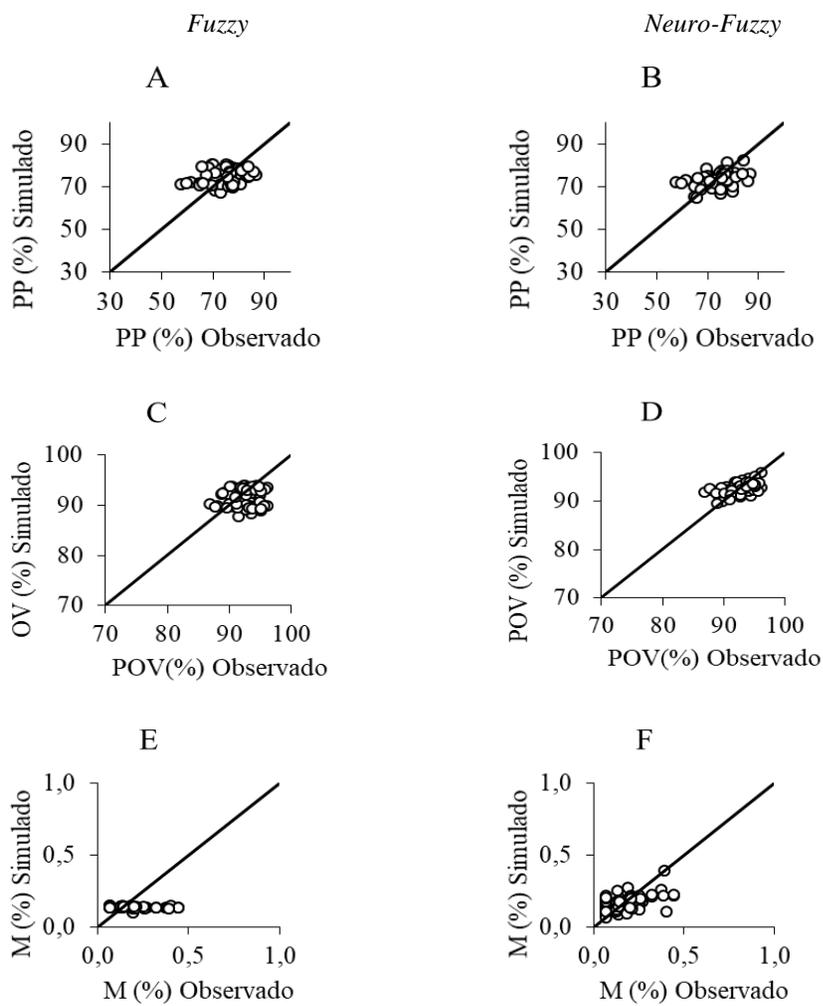


Figura 5. Relações funcionais entre os valores observados e simulados por meio de sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy* para percentagem de ovos (PP), percentagem de ovos viáveis (POV) e mortalidade (M).

Pode-se observar que as distâncias verticais entre os pontos de dispersão e suas respectivas linhas diagonais, nos gráficos, são distribuídas de forma a superestimar o PP nas situações com menor produtividade e subestimar as maiores produções, uma vez que, as distâncias observadas entre os pontos de dispersão e a linha de previsão ideal representam os desvios existentes nos modelos dos valores previstos em relação aos observados ($P_i - O_i$), este comportamento pode ser melhor explicado quando se observa, na Tabela 2, os indicadores estatísticos de desempenho.

Pode-se ressaltar ainda, que os erros aleatórios MAE e RMSE (Tabela 2) são diretamente influenciados pelo erro sistêmico (ME). Deste modo, apesar do viés dos erros médios encontrados nos sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy* não serem muito elevados, as previsões para a PP estabeleceram sistemático afastamento dos valores observados experimentalmente. Os MAE e RMSE listados na Tabela 4 indicam uma pulverização dos pontos de dispersão em torno da linha de previsão ideal, fato este que corrobora com o comportamento observado nas figuras 5A e 5B.

Tabela 2. Indicadores estatísticos para verificação da adequação do ajuste e a precisão dos sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy* para percentagem de postura (PP), percentagem de ovos viáveis (POV) e mortalidade (M).

Índices	PP (%)		OV (%)		M (%)	
	<i>fuzzy</i>	<i>neuro-fuzzy</i>	<i>fuzzy</i>	<i>neuro-fuzzy</i>	<i>fuzzy</i>	<i>neuro-fuzzy</i>
ME=BIAS	0,57625	-0,40802	-1,2643	0,00047	-0,04924	-0,012865
MAE	5,42758	3,96564	2,4453	1,39121	0,08801	0,066161
MSE	41,51466	29,25795	8,9422	3,27821	0,01328	0,008178
RMSE	6,44319	5,40906	2,9903	1,81058	0,11522	0,09043
MAPE	7,5372	5,47597	2,6305	1,5121	53,01049	47,561022
NSE	0,64942	0,1861	-0,9134	0,29854	-0,27425	0,232273

O erro quadrático médio (MSE) apresentou distanciamento bastante elevado do valor ideal ($MSE = 0$), alcançando valores de aproximadamente 41,5% e 29,3% para PP nas simulações *fuzzy* e *neuro-fuzzy*, respectivamente. Apesar de similar ao ME, o MSE apresenta maior sensibilidade a grandes erros, uma vez que eleva as diferenças individuais ao quadrado, tornando mais evidente as oscilações da PP associadas a fatores externos aos simulados no modelo, comumente observados em trabalhos realizados em ambientes de produção comercial (estudo de caso), como os dados em questão. Por sua vez, o erro percentual médio

(MAPE), parâmetro muito utilizado para indicação da precisão em simulações, apresentou valores em torno de 7,5% e 5,5% para as simulações *fuzzy* e *neuro-fuzzy*, respectivamente. Estes valores podem ser considerados toleráveis, em se tratando de um estudo de caso, comprovando a eficiência dos dois modelos propostos em simular a percentagem de produção de ovos (PP) em codornas japonesas, para os cenários analisados.

Os valores do índice de eficiência Nash-Sutcliffe (NSE), comumente utilizado para a avaliação de desempenho de modelos na área de hidrologia (Toledo et al., 2018; Tongal e Booij, 2018), foram de aproximadamente 0,65 e 0,19 para a PP nas simulações *fuzzy* e *neuro-fuzzy*, respectivamente. Estes valores reiteram a capacidade adaptativa dos modelos em questão para a simulação da PP, uma vez que se mantiveram dentro dos limites entre 0 e 1 do NSE, que o classifica o modelo como aceitável.

Ao se analisar a distribuição dos pontos de dispersão das Figuras 5C e 5D, referentes ao percentual de ovos viáveis (POV) de codornas japonesas, percebe-se maior distribuição dos pontos de dispersão abaixo da linha de simulação ideal, no sistema *fuzzy*, indicando uma visível

subestimação no modelo, principalmente nos maiores valores de POV observado. Esta distância vertical nos pontos de dispersão foi minimizada na simulação *neuro-fuzzy*, demonstrando maior assertividade no modelo proposto. Esta condição pôde ser confirmada a partir da observação da Tabela 2, na qual, o percentual de ovos viáveis (POV), produto da subtração dos ovos descarte (brancos, sujos, quebrados e malformados) da produção diária de ovos, possibilitou melhor análise sob seus valores e, conseqüentemente, apresentando melhores ajustes dos sistemas *fuzzy* e *neuro-fuzzy* em função dos dados de entrada analisados.

Em linhas gerais, os indicadores estatísticos ME, MAE, MSE, RMSE MAPE e NSE (Tabela 4) apresentaram melhor ajuste para a variável POV que para a PP, nas duas simulações (*fuzzy* e *neuro-fuzzy*). As simulações para o POV indicam que a simulação *neuro-fuzzy* se destacou com melhores condições nos diferentes indicadores estatísticos analisados (Tabela 2), deixando evidente a capacidade, deste sistema, em se adaptar às diferentes condições e combinações de valores do banco de dados utilizadas no teste desta modelagem.

A partir das simulações *fuzzy* e *neuro-fuzzy* para o percentual de mortalidade (M) de codornas japonesas (Figura 5E e 5F) percebe-se

melhor distribuição dos pontos de dispersão, em torno da linha de simulação ideal, para o modelo *neuro-fuzzy*, apesar de visível prevalectimento de pontos de dispersão abaixo da reta de simulação ideal nos dois modelos analisados, que indica subestimação dos valores das simulações. Este comportamento é confirmado ao se observar os índices de desempenho estatísticos (Tabela 2), com ME negativo nas simulações *fuzzy* e *neuro-fuzzy*.

Os valores dos índices MAE, MSE, RMSE e NSE apresentaram valores satisfatórios para os dois modelos analisados, porém, o MAPE foi bastante elevado, 47,6% e 53,0% para os modelos *neuro-fuzzy* e *fuzzy*, respectivamente, indicando a dificuldade dos modelos em predizer com precisão esta variável, uma vez que, segundo Lima et al. (2015) e Ito et al. (2009), as codornas domesticas ainda apresentam características instintivas de aves selvagens, de modo que a maior parte das causas da mortalidade destes animais no ambiente produtivo foi decorrente de fraturas acidentais nas próprias gaiolas, não sendo um fator levado em consideração no treinamento dos modelos em questão.

CONCLUSÃO

Os modelos *fuzzy* e *neuro-fuzzy* foram eficazes na predição de índices produtivos como PP, POV e M de codornas japonesas, sendo que o sistema *neuro-fuzzy* destacou-se pela maior adaptabilidade e assertividade para a predição destes índices em sistemas de produção comercial.

REFERÊNCIAS

ALBINO LFT AND BARRETO SLT. 2012, Criação de codornas para produção de ovos e carne. 1 ed. Viçosa: Aprenda Fácil Editora, 289p.

ALBRIGHT LD. 1990, Environment control for animals and plants. (1990). St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan. 453p.

BORILLE R, GARCIA RG, ROYER AFB, SANTANA MR, COLET S, NAAS IA, CALDARA FR, ALMEIDA PAZ ICL, ROSA ES, CASTILHO VAR. 2013, The use of light-emitting diodes (LED) in commercial layer production. Revista Brasileira de Ciência Avícola, Campinas, 15:135-140.

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

CORNELISSEN AMG, VAN DEN BERG J, KOOPS WJ, KAYMAK U. 2002, Elicitation of expert knowledge for fuzzy evaluation of agricultural production systems. *Agriculture, ecosystems & environment*, Rotterdam, 95:1-18.

DANTAS AAA, CARVALHO LG, FERREIRA E. 2007, Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. *Ciência e Agrotecnologia*, 31: 1862-1866.

EL-TARABANY MS. 2016, Impact of temperature-humidity index on egg-laying characteristics and related stress and immunity parameters of Japanese quails. *International Journal of Biometeorology*, 60: 957-964.

GEWEHR CE, COTTA JTB, OLIVEIRA AIG, FREITAS HJ. 2005, Efeitos de programas de iluminação na produção de ovos de codornas (*Coturnix coturnix*). *Ciênc Agrotec*, 29: 857-865.

GEWEHR CE AND FREITAS HJ. 2007, Iluminação intermitente para poedeiras criadas em galpões abertos. Revista de Ciências Agroveterinárias, 1: 54-62.

GRAVENA RA, MARQUES RH, PICARELLI J, SILVA JDT, ROCCON J, HADA FH, QUEIROZ AS, MORAES VMB. 2011, Suplementação da dieta de codornas com minerais nas formas orgânicas sobre o desempenho e qualidade dos ovos. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 63: 1453-1460.

GUIMARÃES MCC, FURTADO DA, NASCIMENTO JWB, TOTA LCA, SILVA CM, LOPES KBP. 2014, Efeito da estação do ano sobre o desempenho produtivo de codornas no semiárido paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi, 18: 231-237.

Instituto Brasileira de Geografia e Estatística (IBGE). Sala de Imprensa: Produção da Pecuária Nacional 2016. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1499. Acessado em: 12/03/18.

ITO NMK, MIYAJI CI, MIYAJI SO. 2009, Redução da Mortalidade na Criação Industrial de Codornas. In: CONGRESSO DE PRODUÇÃO,

COMERCIALIZAÇÃO E CONSUMO DE OVOS, 7., 2009, São Pedro. Anais... São Pedro, São Paulo: Associação Paulista de Avicultura, 101-109.

JÁCOME IMDT, BORILLE R, ROSSI LA, RIZZOTTO DW, BECKER JA, SAMPAIO C. 2012, Desempenho produtivo de codornas alojadas em diferentes sistemas de iluminação artificial. Archivos de Zootecnia, 61: 449-456.

LEITE MS, FILETI AMF, SILVA FV. 2010, Desenvolvimento e aplicação experimental de controladores fuzzy e convencional em um bioprocesso. Revista Controle & Automação, 21: 147-158.

LIMA HJDA, BARRETO SLDT, PAULA ED, DUTRA DR, COSTA SLD, ABJAUDE WDS. 2015, Sodium levels in diet of laying japanese quails. Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal, 16: 73-81.

Mandani EH. 1976, Advances in the linguistic syntesis of fuzzy controllers. International Journal of Man-Machine Studies, 8: 669-678.

MOLINO AB. 2013, Iluminação para codornas japonesas na fase de produção. Tese (doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2013.

MOLINO AB, GARCIA EA, SANTOS GC, VIEIRA FILHO JA, BALDO GA, ALMEIDA PAZ IC. 2015. Photostimulation of japanese quail. *Poult Sci.* 14(39).

NASH JE AND SUTCLIFFE JV. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I – a discussion of principles. *J. Hydrol.* 10: 282–290.

PASTORE SM, OLIVEIRA WP, MUNIZ JCL. 2012. Panorama da coturnicultura no Brasil. *Rev. Eletr. Nutritime*, 9(06): 2041-2049.

RODRIGUES LR, FURTADO DA, COSTA FG, NASCIMENTO JW, CARDOSO EDA. 2016. Thermal comfort index, physiological variables and performance of quails fed with protein reduction. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 20(4): 378-384.

RODRIGUES VC, SILVA IJO, VIEIRA FMC, NASCIMENTO ST. 2010. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. *International Journal Biometeorology*, 55(3): 455-459.

ROSTAGNO HS, ALBINO LFT, DONZELE JL, GOMES PC, OLIVEIRA RF, LOPES DC, FERREIRA AS, BARRETO SLT, EUCLIDES RF. 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa. UFV, Departamento de Zootecnia, 252p.

SANTOS TC, GATES RS, TINOCO IFF, ZOLNIER S, BAÊTA FC. 2017. Behavior of Japanese quail in different air velocities. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, 52(5): 344-354.

SCHIASSI L, YANAGI JUNIOR T, REIS GM, ABREU LHP, CAMPOS AT, CASTRO JO. 2015. Modelagem Fuzzy aplicada na avaliação do desempenho de frango de corte. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, 19(2): 140–146.

SOUSA MS, TINÔCO IFF, MENDES LB, REIS RS, FIGUEIREDO EM, QUEIROZ P. 2013. Qualidade do ambiente aéreo na criação de codornas de corte mantidas em diferentes temperaturas. *Tecnologia e Ciência Agropecuária*, 7: 1-6.

SOUSA MS, TINÔCO IFF, BARRETO SLT, AMARAL AG, PIRES LC, FERREIRA AS. 2014. Determinação de limites superiores da zona de conforto térmico para codornas de corte aclimatizadas no Brasil de 22 a 35 dias de idade. *Rev. Bras. Saúde e Prod. Anim.* [online], 15(2): 350-360.

TAHMASEBI P AND HEZARKHANI A. 2010. Application of adaptive neuro-fuzzy inference systems for grade estimation; case study, Sarcheshmeh Porphyry Copper Deposit, Kerman, Iran. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(3): 408-420.

TAKAGI T AND SUGENO M. 1985. Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control. IEEE Transactions Systems Man Cybernetics, 1: 116-132.

TOLEDO CE, ALMEIDA EDMS, NETO AVL, RODRIGUES TLGRG, SANTOS FAR. 2018. Perda de água em trânsito em um rio intermitente no semi-árido brasileiro. Revista Agro@biente (on-line), 12(3): 177-190.

TONGAL H, BOOIJ MJ. 2018. Simulation and forecasting of streamflows using machine learning models coupled with base flow separation. Journal of Hydrology, 564: 266-282.

UMIGI RT, BARRETO SLT, REIS RS, MESQUITA FILHO RM, ARAÚJO MS. 2012. Níveis de treonina digestível para codornas japonesas na fase de produção. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, 64: 658-664.

VERCESE F, GARCIA EA, SARTORI JR, SILVA AP, FAITARONE ABG, BERTO DA, MOLINO AB, PELÍCIA K. 2012. Performance and egg quality of Japanese quails submitted to cyclic heat stress. Revista Brasileira de Ciência Avícola, 14(1): 37-41.

YADAV S AND CHATURVEDI CM. 2015. Light colour and intensity alters reproductive/seasonal responses in Japanese quail. *Physiology & behavior*, 147: 163-168.

YADAV S, CHATURVEDI CM. 2016. Interactive effect of light colours and temporal synergism of circadian neural oscillations in reproductive regulation of Japanese quail. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 162: 65-71.

YANAGI JUNIOR T, SCHIASSI L, ABREU LHP, BARBOSA JA, CAMPOS AT. 2012. Procedimento fuzzy aplicado à avaliação da insalubridade em atividades agrícolas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, 32(3): 423-434.