

LETÍCIA CIBELE DA SILVA RAMOS FREITAS

**VARIABILIDADE ESPACIAL DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS,
INTENSIDADE LUMINOSA E QUALIDADE DE OVOS EM AVIÁRIOS
VERTICAIS DE GALINHAS POEDEIRAS VENTILADOS
NATURALMENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F866v
2018

Freitas, Leticia Cibele da Silva Ramos, 1984-
Variabilidade espacial das condições térmicas, intensidade luminosa e qualidade de ovos em aviários verticais de galinhas poedeiras ventilados naturalmente / Leticia Cibele da Silva Ramos Freitas. – Viçosa, MG, 2018.
ix, 71 f. : il. ; 29 cm.

Inclui anexo.

Orientador: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Construções rurais - Aquecimento e ventilação.
 2. Luminosidade. 3. Galinhas - Ovos - Qualidade.
- I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.
II. Título.

CDD 22. ed. 631.2

LETÍCIA CIBELE DA SILVA RAMOS FREITAS

**VARIABILIDADE ESPACIAL DAS CONDIÇÕES TÉRMICAS,
INTENSIDADE LUMINOSA E QUALIDADE DE OVOS EM AVIÁRIOS
VERTICAIS DE GALINHAS POEDEIRAS VENTILADOS
NATURALMENTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

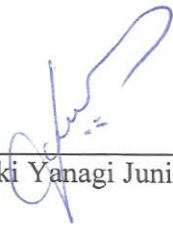
APROVADA: 31 de agosto de 2018.



Jaqueline de Oliveira Castro



Giselle Borges de Moura



Tadayuki Yanagi Junior



Richard Stephen Gates
(Coorientador)



Ilda de Fátima Ferreira Tinôco
(Orientadora)

A Deus,

*Aos meus pais, José Carlos e Efigênia pelo amor, apoio e
confiança em todos os momentos desta jornada.*

DEDICO!

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força, sabedoria e discernimento para a elaboração e conclusão deste trabalho.

Aos meus pais, irmãos e familiares pelo amor, apoio incondicional e compreensão, essenciais para que eu seguisse em frente nos estudos.

Ao meu amor Leandro Reis pelo carinho, atenção, alegrias e companhia me dando força e incentivo em todos os momentos.

À Professora Dr. Ilda de Fátima Ferreira Tinôco, pela orientação e confiança na execução deste trabalho e pelos ensinamentos de muita valia para a vida pessoal, acadêmica e profissional.

Ao Prof. Dr. Richard Gates pela coorientação, atenção e contribuição de grande importância na elaboração deste trabalho.

À Prof. Cecília de Fátima Souza, pela coorientação e carinho.

À Universidade Federal de Viçosa – UFV em especial o programa de pós-graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de cursar o Doutorado e apoio ao experimento.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

À Granja Mantiqueira por ter concedido o espaço e bens de consumo para a realização do experimento.

À Tatiany, Márcia, Fernanda, Monique, Carlos, Caio, Luis Gustavo e Rafaella pela companhia durante todas as etapas do experimento.

Aos amigos do Ambagro por todos esses 4 anos de companheirismo e amizade.

Aos membros da banca examinadora, por terem aceitado participar da avaliação desse trabalho.

Obrigado a todos que direta ou indiretamente contribuíram para mais essa conquista na minha vida.

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	viii
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
OBJETIVOS DA TESE.....	4
ORGANIZAÇÃO DA TESE.....	5
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	6
CAPÍTULO I - DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A DATA LOGGER FOR CHARACTERIZING THERMAL CONDITIONS IN LAYING HEN FACILITIES.....	8
ABSTRACT.....	9
RESUMO.....	10
INTRODUCTION.....	11
MATERIAL AND METHODS.....	12
Device specification developed.....	12
Calibration of experimental and commercial devices.....	13
Performance and validation.....	14
RESULTS AND DISCUSSION.....	16
CONCLUSIONS.....	21
ACKNOWLEDGEMENTS.....	22
LITERATURE CITED.....	22
CAPÍTULO II - SPATIAL BEHAVIOR OF THE THERMO-LUMINOUS CONDITIONS OF FACILITY LAYING HENS IN NATURALLY VENTILATED VERTICAL SYSTEM.....	26
ABSTRACT.....	27
RESUMO.....	28
INTRODUCTION.....	29
MATERIAL AND METHODS.....	30
Facilities characteristics.....	30
Spatial behavior of the thermal conditions.....	30
Statistical analysis.....	32
RESULTS AND DISCUSSION.....	33
CONCLUSIONS.....	43
ACKNOWLEDGEMENTS.....	43
REFERENCES.....	43
CAPÍTULO III - VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE EXTERNA DOS OVOS EM AVIÁRIOS NATURALMENTE VENTILADOS NO INVERNO E VERÃO TROPICAL.....	45

RESUMO	45
ABSTRACT	46
INTRODUÇÃO	47
MATERIAL E MÉTODOS	48
Características das instalações	48
Condições térmicas e intensidade de luz.....	49
Qualidade externa dos ovos	50
Análise estatística.....	52
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
CONCLUSÕES	66
AGRADECIMENTOS.....	67
REFERÊNCIAS	67
CONCLUSÕES GERAIS	70
ANEXOS	71

RESUMO

FREITAS, Letícia Cibele da Silva Ramos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2018. **Variabilidade espacial das condições térmicas, intensidade luminosa e qualidade de ovos em aviários verticais de galinhas poedeiras ventilados naturalmente.** Orientadora: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Coorientadores: Cecília de Fátima Souza Ferreira, Richard Stephen Gates e Matteo Barbari.

As instalações avícolas de postura devem proporcionar às aves conforto térmico e satisfatória luminosidade para uma produção de ovos de qualidade. O desenvolvimento de projetos que visam o acompanhamento efetivo das condições térmicas dos aviários de galinhas poedeiras, no intuito de verificar possíveis correções ou adaptações, é de grande importância para manter o ambiente ideal para o desempenho das aves. O objetivo geral desta tese foi avaliar a variabilidade espacial das condições térmicas e intensidade de luz, em aviários verticais de galinhas poedeiras ventilados naturalmente, no inverno e verão tropical, e seu efeito na variabilidade espacial da qualidade externa de ovos produzidos por galinhas com idades de 43, 56, 69, 79 e 86 semanas. O primeiro capítulo relata o desenvolvimento de um *data logger* confiável, a partir de componentes eletrônicos facilmente obtidos, para monitorar a temperatura e umidade relativa do ar dos aviários de galinhas poedeiras em sistema vertical e avaliar a adequação do projeto usando instrumentos padrão de referência comercialmente disponíveis. O *data logger* experimental desenvolvido e um *data logger* comercial foram calibrados com um termômetro de mercúrio e uma sonda de umidade relativa calibrada Vaisala HMP110 em um abrigo meteorológico. Após a calibração os *data loggers* foram instalados no aviário de galinhas poedeiras para validação. O *data logger* experimental foi suficientemente preciso, armazenou de forma confiável todos os dados recolhidos e apresentou um desempenho de campo similar ao *data logger* comercial para medição de temperatura e melhor desempenho que o *data logger* comercial para medição de umidade relativa. O segundo capítulo discorre sobre a avaliação do comportamento espacial das condições térmicas e intensidade luminosa de aviários verticais para galinhas poedeiras acondicionados naturalmente, durante o inverno e verão tropical. Dados de temperatura, umidade relativa do ar e intensidade luminosa foram coletados em 75 pontos distribuídos uniformemente no sentido longitudinal do aviário, em três andares

de gaiolas (primeiro, terceiro e sexto), no período mais frio do inverno e mais quente do verão. A partir do comportamento espacial das condições térmicas e luminosidade do aviário de poedeiras, foi possível verificar a magnitude da variabilidade da temperatura, umidade relativa e intensidade luminosa e identificar regiões vulneráveis e deficitárias termicamente. O terceiro capítulo avalia a variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos, em aviários verticais ventilados naturalmente, causada pela diferença de idade das aves e condição térmica do aviário, no inverno e verão tropical. Dados de temperatura, umidade relativa do ar e qualidade externa dos ovos foram coletados em 45 pontos distribuídos uniformemente no sentido longitudinal do aviário, em três andares de gaiolas (primeiro, terceiro e sexto), no inverno e verão tropical. Os menores valores de peso do ovo, índice de forma do ovo, peso da casca e espessura de casca foram observados na região do aviário com altos valores de temperatura e baixos valores de umidade relativa do ar. O estudo da variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos mostrou-se eficiente para detectar regiões no interior do aviário onde há predominância de ovos de má qualidade. No geral, esta tese demonstra que há uma variação térmica e luminosa nos aviários de postura em sistema vertical, devido à disposição das baterias e número de gaiolas. Essa variabilidade térmica e luminosa afeta a qualidade dos ovos, de forma mais acentuada que a idade das aves. Os gráficos de distribuição espacial podem ser utilizados para visualizar as regiões dos aviários desfavoráveis termicamente, e com produção de ovos de baixa qualidade. O conhecimento dessas regiões pode auxiliar no manejo e contribuir para a tomada de decisões relacionadas ao acondicionamento térmico e luminosidade da instalação. Pode auxiliar também no setor produtivo, com um manejo nutricional diferenciado, e no setor de classificação de ovos, com uma coleta programada nessas regiões com produção de ovos de baixa qualidade.

ABSTRACT

FREITAS, Letícia Cibele da Silva Ramos, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, August, 2018. **Spatial variability of thermal conditions, light intensity and egg quality in vertical facilities naturally ventilated for laying hens.** Adviser: Ilda de Fátima Ferreira Tinôco. Co-advisers: Cecília de Fátima Souza Ferreira, Richard Stephen Gates and Matteo Barbari.

Laying hens facilities should be designed to provide thermal comfort and satisfactory luminosity for quality eggs production. The development of projects aiming effective monitoring of the thermal conditions of laying hens facilities, as a tool to verify possible corrections or adaptations, it is of great importance to maintain an ideal environment for the birds performance. The general objective of this thesis was to evaluate the spatial variability of thermal conditions and light intensity of laying hens' vertical system facilities naturally ventilated, in a tropical winter and summer, and its effect on the spatial variability of eggs' external quality produced by laying hens at age of 43, 56, 69, 79 and 86 weeks. The first chapter reports the development of a reliable *data logger*, from readily available electronic components, to monitor temperature and relative humidity of laying hens facilities in a vertical system and to evaluate the suitability of the design using reliable standard instruments commercially available. The experimental *data logger* developed and a commercial *data logger* were calibrated with a mercury thermometer and a relative humidity probe Vaisala HMP110 in a meteorological shelter. Just after calibration, the *data loggers* were settled-up in the laying hens facilities for validation. The experimental *data logger* was accurate enough and reliably regarding the storage of all collected data showing a similar performance as the commercial *data logger* for temperature measurement, and better performance than the commercial *data logger* regarding relative humidity measurement. The second chapter deals with the evaluation of spatial behavior of thermal conditions and light intensity of laying hens facilities in vertical system naturally conditioned during tropical winter and summer. Temperature, relative humidity, and light intensity data were collected in 75 points distributed evenly in the longitudinal direction of the facility in three tiers of cages (in the first, third and sixth), during the coldest period of winter and the warmest period of summer. From the spatial behavior of thermal conditions and luminosity of the laying hens facilities, it was possible to verify the magnitude of temperature variability, relative humidity, and light

intensity and to identify vulnerable and deficient thermally regions. The third chapter evaluates spatial variability of eggs' external quality produced by laying hens housed in vertical system naturally ventilated facilities, regarding the difference in birds age and the thermal condition of the facilities in tropical winter and summer. Temperature, relative humidity, and eggs' external quality data were collected in 45 points distributed evenly in the longitudinal direction of the facility in three tiers of cages (in the first, third and sixth), in tropical winter and summer. The lowest values for egg weight, egg shape index, shell weight and shell thickness were observed in the facility region with high temperatures and low relative humidity values. The study of spatial variability of eggs' external quality was efficient to detect regions inside the facility where there is the predominance of production of eggs of low quality. In general, this thesis demonstrates that there is thermal and luminous variation in the laying hen's facilities in vertical system due to the arrangement of the batteries and number of cages. Thermal and luminous variability effect on eggs' quality is more pronounced than the effect of the birds age. Spatial distribution graphs can be used to verify thermally unfavorable regions in the facilities and also the egg production of low quality. Understanding these regions can help and improve the management and contribute to the decision-making related to the thermal conditioning and luminosity of the facility. It can also assist in the productive sector, with a differentiated nutritional management, and also in the sector of eggs classification, through a programmed collection in these regions where there is the predominance of production of eggs of low quality.

INTRODUÇÃO GERAL

A criação intensiva de aves poedeiras em escala industrial tem alcançado altos níveis de produção devido ao melhoramento genético focado na velocidade de crescimento das aves e na alta produção de ovos, associado às inovações tecnológicas nas áreas de nutrição, manejo, sanidade e ambiência (ROCHA et al 2008; OLIVEIRA et al., 2014).

As instalações avícolas de postura devem proporcionar as aves conforto térmico e satisfatória luminosidade para uma produção de ovos de qualidade. O ambiente térmico de um alojamento para produção animal possui uma estreita relação com a concepção arquitetônica, manejo e sistemas de condicionamento ambiental utilizados (TINOCO, 2001).

O monitoramento ambiental das instalações zootécnicas é fundamental para a análise e desenvolvimento de projetos que visam o acompanhamento efetivo das possíveis correções ou adaptações, no intuito de manter as condições ambientais ideais para o melhor desempenho dos animais (SALES et al., 2014). Logo, o conhecimento da variabilidade espacial do ambiente térmico das instalações avícolas é importante para uma melhor gestão da produção (CARVALHO et al., 2012).

Infelizmente, poucas empresas especializadas fornecem a implementação de sistemas de monitoramento ambiental seguros, acessíveis e confiáveis, o que torna esta prática relativamente onerosa (DJAJADI e WIJANARKO, 2016) e, portanto, improvável de ser implantada. O desenvolvimento de registradores de dados para monitorar a temperatura e umidade relativa dos aviários de forma confiável a partir de componentes eletrônicos facilmente obtidos e disponíveis comercialmente, é de suma importância para viabilizar o monitoramento ambiental preciso das instalações zootécnicas.

Na indústria avícola internacional, estudos relacionados à automação do monitoramento ambiental em tempo real das instalações estão sendo realizados com o objetivo de otimizar o controle ambiental (CHEN et al., 2016; JI et al., 2016; LI et al., 2015). Gates et al, (2001) desenvolveram alternativas ao controle convencional da ventilação na produção animal. Li et al. (2015) desenvolveram um sistema de monitoramento on-line de aviários baseado na rede de sensores sem fio. Roldán et al. (2015) desenvolveram um dispositivo para controle ambiental em estufas. No entanto,

para o setor avícola brasileiro, o monitoramento ambiental automatizado de forma prática e operacional ainda é um desafio a ser superado.

A maioria dos aviários para a criação de aves de postura, no Brasil, são abertos lateralmente e com dimensões variáveis. Especialmente na última década, vem sendo introduzidos os sistemas verticais com até oito níveis de gaiola, denominado sistemas adensados, com maior número de aves por unidade de espaço construído, muito embora sem alteração da densidade espaço por ave. Nessas condições, o estresse térmico pode ser ainda mais crítico, devido ao maior número de aves alojadas por aviário, gerando maior gradiente térmico no sentido longitudinal e vertical da instalação.

O método mais simples de se observar a distribuição espacial das condições ambientais das instalações animais é por meio de mapas de distribuição. Estes são confeccionados por meio dos dados médios obtidos experimentalmente das variáveis em estudo. Os mapas de variabilidade espacial de dados revelam que a análise de um único ponto de medição deve ser feita com cautela, para que um valor sub ou superestimado não seja relatado como uma condição representante do todo (MILES et al., 2008).

Coelho et al. (2015) mapearam a distribuição das variáveis climáticas de um aviário de postura aberto, típico dos padrões praticados no Brasil, em sistema vertical de criação, durante a fase de pico de postura das aves, e constaram uma variabilidade da temperatura e umidade relativa do ar em diferentes posições espaciais; comprimento, largura e altura; no interior do aviário. Esses fatores climáticos, juntamente com outros fatores como, idade das galinhas e intensidade luminosa, interferem na desuniformidade da qualidade dos ovos produzidos no aviário, principalmente nos parâmetros relacionados a casca.

Tůmová et al. (2014) constataram que galinhas poedeiras no início e fim da fase de postura (22 e 83 semanas) submetidas a um ambiente com temperatura do ar de 28 °C, tendem a produzir ovos com menor peso e espessura de casca. Hussien et al. (2011) ao avaliar a resposta produtiva das galinhas poedeiras com 25 semanas de idade submetidas a condição termoneutra (17-18 °C) e condição de estresse por calor (27-29°C), verificou que em condições termoneutra os ovos possuíam uma maior espessura de casca (0,392 mm) que os ovos produzidos por galinhas em condição de estresse por calor (0,367 mm). Torki et al. (2014) observaram que Galinhas com idade

de 66 semanas submetidas a estresse por calor (32 °C) produziram ovos com espessura de casca de 0,350 mm. Esses estudos demonstram o efeito conjunto da idade e das condições térmicas na qualidade da qualidade externa dos ovos.

Em relação a intensidade luminosa, Cotta (2014) afirma que 10 lux na cabeça da ave são necessários para a produção de ovos e acima deste valor efeitos negativos poderão ocorrer. Renema et al. (2001) verificaram que galinhas submetidas a intensidade de luz de 1 e 5 lux, produziram ovos de maior peso e as galinhas submetidas a intensidade de 500 lux produziram ovos de menor espessura da casca. Yildiz et al. (2006) observaram uma variação da intensidade luz e qualidade dos ovos entre os cinco níveis de uma bateria de gaiolas expostas à luz natural, com redução dos valores de intensidade e aumento do peso dos ovos e espessura da casca do nível superior para o inferior.

Portanto, como relatado nos estudos citados, as condições térmicas e luminosas das instalações de galinhas poedeiras afetam a qualidade externa dos ovos, assim como a idade das aves. Assim, investigações abrangendo a variabilidade espacial dos fatores térmicos, intensidade luminosa e qualidade dos ovos, nos aviários, são de suma importância em sistema vertical de criação, por permitir uma visão espacial dos pontos críticos a serem melhorados em termos de acondicionamento térmico; auxiliar no manejo nutricional das aves e no setor de classificação dos ovos, com o manejo diferenciado da coleta na região do aviário onde foi verificado ovos de menor qualidade.

OBJETIVOS DA TESE

O objetivo geral desta tese foi avaliar a variabilidade espacial das condições térmicas e intensidade luminosa em aviários verticais de galinhas poedeiras ventilados naturalmente, no inverno e verão tropical e seu efeito na variabilidade espacial da qualidade externa de ovos produzidos por galinhas com idades de 43, 56, 69, 79 e 86 semanas.

Os objetivos específicos foram:

- Desenvolver e validar um dispositivo eletrônico para armazenar os dados de temperatura e umidade relativa do ar, que seja eficiente e de baixo custo, e que se adeque as condições arquitetônicas do interior do aviário de galinhas poedeiras.

- Avaliar as variações no comportamento espacial das condições térmicas e intensidade luminosa nos aviários verticais para galinhas poedeiras acondicionados naturalmente, causadas pelas variações climáticas e luminosas do inverno e verão tropical.

- Avaliar a variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos, em aviários verticais ventilados naturalmente, causada pela diferença de idade entre as aves e pela condição térmica e luminosa do interior do aviário, no inverno e verão tropical.

ORGANIZAÇÃO DA TESE

A fim de reportar os resultados da presente pesquisa, a tese será apresentada em três capítulos redigidos em forma de artigos científicos, intitulados:

- Capítulo I – “Desenvolvimento e validação de um data logger para caracterização de condições térmicas em instalações de poedeiras”, submetido na Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (AGRIAMBI), estando no momento em avaliação pelos revisores.
- Capítulo II – “Comportamento espacial das condições ambientais de um aviário de poedeiras com gaiolas verticais naturalmente ventilado”, aceito para publicação na Revista Ciência e Agrotecnologia.
- Capítulo III – “Variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos em aviários verticais ventilados naturalmente no inverno e verão tropical”, redigido conforme as normas da Universidade Federal de Viçosa.

REFERÊNCIAS

- CARVALHO, T. M. R. de et al. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 41, n. 1, p. 194-202, 2012.
- CHEN, H. et al. Cloud-based data management system for automatic real-time data acquisition from large-scale laying-hen farms. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v. 9, n. 4, p. 106, 2016.
- COELHO, D. J. R. et al. Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 19, n. 10, p. 996-1004, 2015.
- COTTA, J. T. de B. **Galinha: produção de ovos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014. 250p.
- DJAJADI, A.; WIJANARKO, M. Ambient Environmental Quality Monitoring Using IoT Sensor Network. **Internetworking Indonesia Journal**, v. 8, n. 1, p. 41-47, 2016.
- GATES, R. S.; CHAO, K.; SIGRIMIS, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 31, n. 1, p. 61-74, 2001.
- HUSSEN, T. S. et al. Productive response of the laying hens subjected to thermal stress in conventional cages system. **Lucrări Științifice-Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară, Seria Zootehnie**, v. 56, p. 82-87, 2011.
- JI, B. et al. Design and performance evaluation of the upgraded portable monitoring unit for air quality in animal housing. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 124, p. 132-140, 2016.
- LI, H. et al. Development of a remote monitoring system for henhouse environment based on IoT technology. **Future Internet**, v. 7, n. 3, p. 329-341, 2015.
- MILES, D.M.; ROWE, D.E.; OWENS, P.R. Winter broiler litter gases and nitrogen compounds: temporal and spatial trends. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 3351-3363, 2008.
- 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 Ambiental**, v. 18, n. 11, p. 1186-1191, 2014.
- RENEMA, R. A. et al. Effects of light intensity from photostimulation in four strains of commercial egg layers: 2. Egg production parameters. **Poultry Science**, v. 80, n. 8, p. 1121-1131, 2001.
- ROCHA, J. S. R.; LARA, L. J. C.; BAIÃO, N. C. Produção e bem-estar animal: aspectos éticos e técnicos da produção intensiva de aves. **Ciência Veterinária nos Trópicos**, v. 11, n. 1, p. 49-55, 2008.

ROLDÁN, J. J. et al. Mini-UAV based sensory system for measuring environmental variables in greenhouses. **Sensors**, v. 15, n. 2, p. 3334-3350, 2015.

SALES, F. A. L. et al. Monitoramento ambiental do perfil horizontal de um galpão para suínos, na fase de gestação, utilizando zootecnia de precisão. **Revista Científica de Produção Animal**, v. 13, n. 1, p. 7-12, 2014.

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

TORKI, M.; ZANGENEH, S.; HABIBIAN, M. Performance, egg quality traits, and serum metabolite concentrations of laying hens affected by dietary supplemental chromium picolinate and vitamin C under a heat-stress condition. **Biological Trace Element Research**, v. 157, n. 2, p. 120-129, 2014.

TUMOVA, E., GOUS, R. M., TYLER, N. Effect of hen age, environmental temperature, and oviposition time on egg shell quality and egg shell and serum mineral contents in laying and broiler breeder hens. **Czech. J. Anim. Sci.**, v. 59, p. 435-443, 2014.

YILDIZ, A. et al. Effects of cage location and tier level with respect to light intensity in semiconfined housing on egg production and quality during the late laying period. **The Journal of Applied Poultry Research**, v. 15, n. 3, p. 355-361, 2006.

CAPÍTULO I

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF A DATA LOGGER FOR CHARACTERIZING THERMAL CONDITIONS IN LAYING HEN FACILITIES

Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas¹, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco¹, Richard
Stephen Gates², Matteo Barbari³, Márcia Gabrielle Lima Cândido¹, João Vitor
Toledo⁴

Artigo em avaliação na “Revista Engenharia Agrícola e Ambiental”

¹ Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Avenida
Peter Henry Rolfs, Campus Universitário, 36570-900, Viçosa-MG, Brasil.

² University of Illinois, Department of Agricultural and Biological Engineering, 1304
West Pennsylvania Avenue, USA 61801, Urbana, IL, USA.

³ Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari,
Alimentari e Forestali, Via San Bonaventura, 13, IT50145, Firenze, Italia.

⁴ Universidade Federal do Espírito Santo, Departamento de Engenharia Florestal,
Avenida Governador Lindenberg, Centro, 29550-000, Jerônimo Monteiro-ES, Brasil.

Autor correspondente: Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas, Universidade Federal
de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus
Universitário, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil. leticiacibele@yahoo.com.br

Development and validation of a data logger for characterizing thermal conditions in laying hen facilities

Abstract. The environmental monitoring in animal facilities that includes historical collected data storage in a practical, and feasible way is a constant challenge. The aim of this study was to develop a reliable data logger from easily-obtained and available electronic components for monitoring the air temperature and relative humidity of aviaries and to assess the adequacy of the design using commercially available reference standard instruments. The experimental data logger was installed together with a commercial data logger, a mercury thermometer and a calibrated Vaisala HMP110 relative humidity probe in a meteorological shelter. Linear regression analysis was performed with the collected air temperature and relative humidity to develop calibration equations. The Nash-Sutcliffe Index and the relative error were calculated, to validate the experimental data logger. The temperature and relative humidity calibration equations presented Nash-Sutcliffe of 0.993 and -0.281 for the commercial data logger, and 0.913 and 0.932 for the experimental data. The mean relative error of the temperature readings was 3% and 1% and for relative humidity 5% and 20%, for the experimental and commercial logger, respectively. The experimental data logger reliably stored all collected data without error to the micro-SD card. The experimental data logger can be considered cost-effective and sufficiently accurate for monitoring temperature and relative humidity in aviaries, presenting field performance very close to the commercial data logger for temperature measurement, and better performance than the commercial data logger for the measurement of relative humidity.

Keywords: electronic device, environmental monitoring, poultry facilities

Desenvolvimento e validação de um data logger para caracterização de condições térmicas em instalações de poedeiras

Resumo. O monitoramento ambiental em instalações animais, que inclui o armazenamento de dados coletados de forma prática e viável, é um desafio constante. O objetivo deste estudo foi desenvolver um data logger confiável, a partir de componentes eletrônicos de facilmente obtidos, para monitorar a temperatura do ar e umidade relativa dos aviários e avaliar a adequação do projeto usando instrumentos padrão de referência comercialmente disponíveis. O data logger experimental foi instalado junto com um data logger comercial, um termômetro de mercúrio e uma sonda de umidade relativa calibrada Vaisala HMP110 em um abrigo meteorológico. A análise de regressão linear foi realizada com a temperatura do ar e umidade relativa coletada, para desenvolver equações de calibração. O índice Nash-Sutcliffe e o erro relativo foram calculados para validar o data logger experimental. As equações de calibração de temperatura e umidade relativa apresentaram Nash-Sutcliffe de 0,993 e -0,281 para o data logger comercial e, 0,913 e 0,932 para o experimental. O erro relativo médio das leituras de temperatura foi de 3% e 1% e da umidade relativa 5% e 20%, para o data logger experimental e comercial, respectivamente. O data logger experimental armazenou de forma confiável todos os dados recolhidos, sem erro, no cartão micro-SD. O data logger experimental pode ser considerado custo-efetivo e suficientemente preciso para monitoramento de temperatura e umidade relativa em aviários, apresentando desempenho de campo muito próximo ao data logger comercial para medição de temperatura e melhor desempenho que o data logger comercial para medição de umidade relativa.

Palavras-chave: dispositivo eletrônico, monitoramento ambiental, instalações avícolas

INTRODUCTION

The continuous monitoring of the thermal environment throughout the production cycle is necessary to provide ideal environmental conditions for animals in real time while balancing other inputs such as energy and feed. Unfortunately, few specialized companies provide the implementation of these safe, affordable, and reliable environmental monitoring systems, which makes this practice relatively onerous (Djajadi & Wijanarko, 2016) and thus, unlikely to be deployed.

Husain et al. (2016) and Ünsal et al. (2016) developed a low-cost, portable and easily manageable device to monitor air quality in urban settings. In agriculture and animal production, Roldán et al. (2015) developed a device for environmental control in greenhouses, Chao et al. (2000) and Gates et al. (2001) developed alternatives to conventional staged ventilation control in animal production, and Li et al. (2015) developed a henhouse online monitoring system based on wireless sensor network. Torres et al. (2015) set up a low-cost meteorological station and verified a good correlation between the measured data and the recorded data from a conventional automatic weather station.

In the international poultry industry, studies related to the automation of the real-time environmental monitoring of the facilities are being carried out with the aim of optimizing environmental control (Hongqian et al., 2016; Ji et al., 2016; Li et al., 2015). However, for the Brazilian poultry industry, automated environmental monitoring in a practical and operable way is still a challenge to be overcome.

The aim of this study was to develop a reliable and good accuracy data logger, from easily-obtained and available electronic components for monitoring the temperature and relative humidity of aviaries, and to assess the adequacy of the design using commercially available reference standard instruments.

MATERIAL AND METHODS

Device specification developed

The experimental device consisted of electronic components connected to the Arduino Mega 2560 board, as depicted in Figure 1.

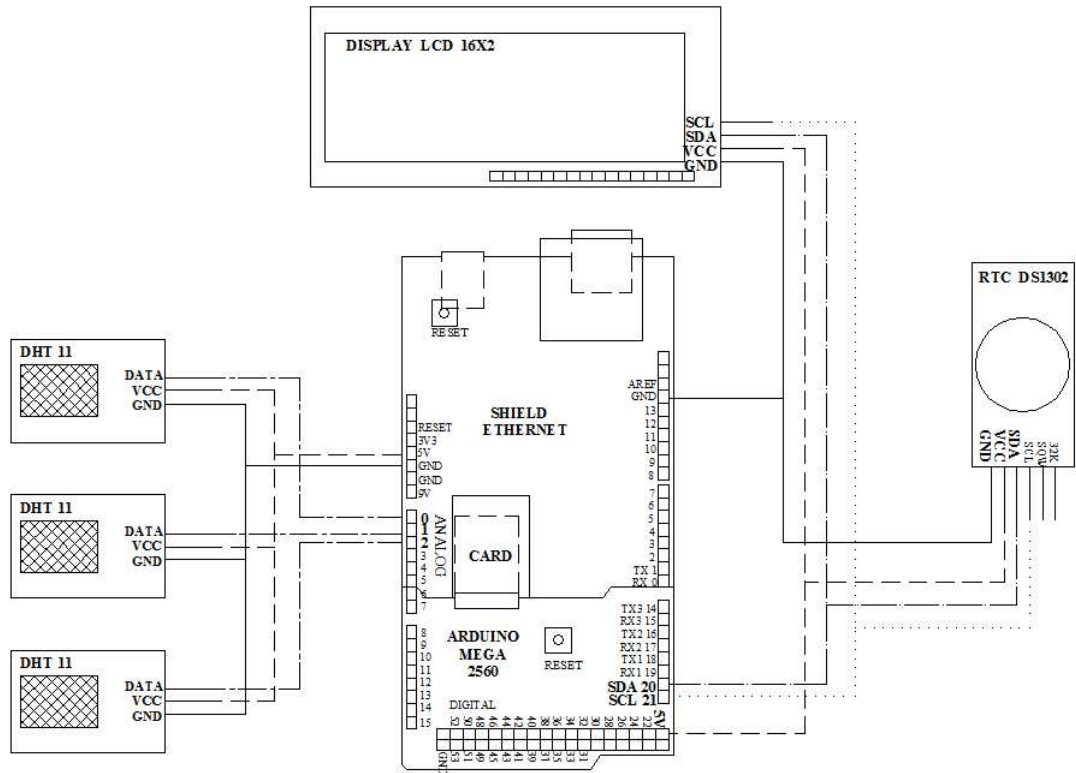


Figure 1. Schematic of the connections between sensors, electronic components and Arduino board

The technical characteristics of the components included the following:

- Arduino Mega 2560 - Board based on the ATmega2560 microcontroller, with 54 digital input/output channels, 16 analog input channels, four UARTs (serial hardware ports), a 16 MHz crystal oscillator, a USB connection, a power outlet, an ICSP header, and a reset button. The operating voltage is five volts.

- RTC module DS 1302 - Module controlled by the DS1302 chip type RTC (Real Time Clock), with functions of date, time and calendar. The RTC provides information for hours, minutes, seconds, day of week, date, month, and year, and automatically adjusts for months less than 31 days and leap years. In addition to its electronic components, it has a backup battery (CR2032) to keep the power to the chip in case of power failure or disconnect.

- Liquid Crystal Display - An HD44780 controller with 16 columns and two rows, and utilizing an I2C interface which allows control with only two pins. The display is used to present the measurements, as well as the date and time provided by the RTC.

- Ethernet shield – a secondary prototype board (“Shield”) with a Wiznet W5100 ethernet chip, capable of connecting the Arduino board to the internet. It also has micro-SD card slot for storing data files.

- DHT11 - Temperature and relative humidity sensor containing a calibrated digital output signal (D-ROBOTICS, 2010). Utilizing digital technology ensures measurement reliability, excellent long-term signal stability, and is widely used in applications for environmental monitoring, because of its small size, low power dissipation and strong signal interference rejection. The DHT11 includes a resistive element for the measurement of relative humidity and an NTC thermistor element for temperature measurement (D-ROBOTICS, 2010; Ma et al., 2014). The manufacturer's specifications are: temperature from 0 °C to 50 °C accuracy of ± 2 °C; and relative humidity from 20% to 95% accuracy of $\pm 5\%$. Signal lengths of up to 20 meters using I2C communications are possible (D-ROBOTICS, 2010).

- IDE - Integrated Development Environment (IDE) is the Arduino open-source software development platform, available free of charge via the internet.

Calibration of experimental and commercial devices

The DHT11 sensors, a commercial data logger (HOBO U14-001, Onset Computer Corp., Bourne MA, USA), a mercury thermometer and a calibrated relative humidity sensor (HMP110, Vaisala, Helsinki, Finland) were installed in the weather station of an educational institution located in the Minas Gerais state, municipality of Viçosa, Brazil, geographic coordinates 20° 46' 18'' S and 42° 52' 21'' W and average elevation of the 688 m above the sea level.

The commercial data logger probe has accuracy of ± 0.21 °C (0 to 50 °C) for the temperature and $\pm 2.5\%$ (10 to 90%) for the relative humidity (ONSET COMPUTER CORPORATION, 2010). The mercury thermometer and the Vaisala HMP110 probe were considered reference standard instruments for temperature and relative humidity, respectively. The Vaisala HMP110 probe has excellent stability and accuracy of $\pm 1.5\%$ (0 to 90% RH) and $\pm 2.5\%$ (90 to 100% RH), besides being easily calibrated with saline solutions (VAISALA, 2016).

To relate air temperature and relative humidity measured by the reference standard devices (independent variables) with the air temperature and relative humidity measured by the experimental and commercial data logger (dependent variables), regression analyses were performed in Sigma Plot (Sigma Plot, version 12.0, 2011). The regression model was linear as shown in Eq. 1:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + e_i \quad (1)$$

where:

Y_i - is the i -th observation of the dependent variable (measured temperature or relative humidity);

X_i - is the i -th observation of the independent variable (reference temperature or relative humidity);

β_0 - is the intercept (linear coefficient);

β_1 - is the slope (angular coefficient); and

e_i - is the random error associated with the pair (X_i, Y_i) .

Intercepts and slopes were tested for zero and unity, respectively, (hypothesis test $H_0: \beta_0 = 0$ or $\beta_1 = 1$) using the Student “t” test at a 5% level of significance ($p < 0.05$). The air temperature and relative humidity data of the devices were collected at one-hour intervals for 24 hours. Therefore, for the calibration of the devices, the regression analysis presented 23 degrees of freedom.

The calibration equation for the experimental and commercial data loggers was determined by inverting Eq. 2 and computing future values of X_i (X'_i) from measured values, Y_i :

$$X'_i = \frac{(\beta_0 - Y_i)}{\beta_1} \quad (2)$$

Performance and validation

Twenty-five experimental dataloggers were fabricated and used with a total of seventy-five DHT11 sensors in a larger study of the thermal environment of laying hen aviaries. In this study, are reported only the efforts taken to first verify the performance of the calibration equations and further validate the experimental data logger design. The three experimental data loggers and two commercial data loggers were installed in the corridors between cages at the center section of one commercial aviary (Figure 2), located in the southern region of the state of Minas Gerais, Brazil, geographic

coordinates 22° 19' 53'' S and 44° 55' 14'' W and average elevation of the 892 m above the sea level.

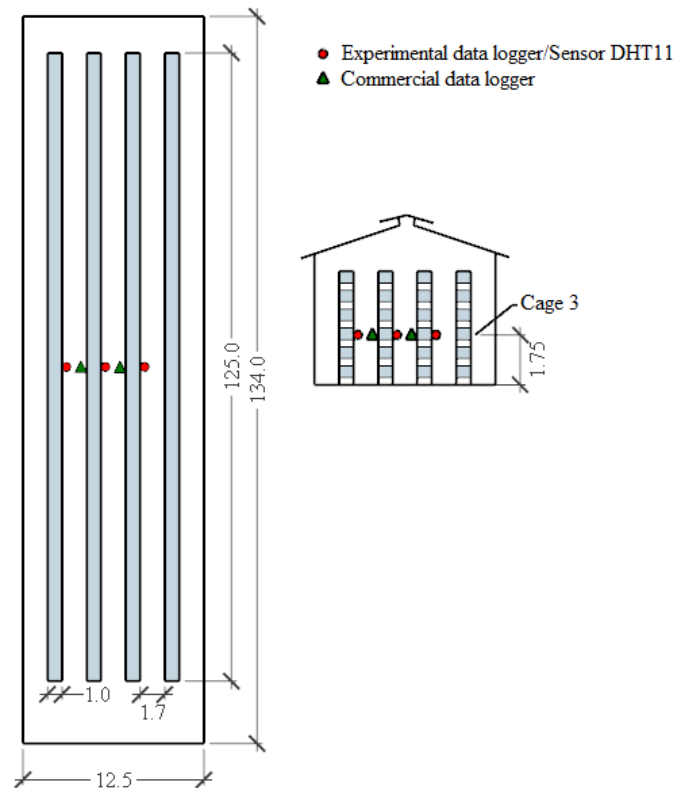


Figure 2. Layout of the data loggers in the laying hens' facility

The high-hen density aviary is a galvanized steel structure with uninsulated steel roof panels, and has dimensions of 134 x 12.5 m (length x width), with a 5 m ridge height and 1.2 m wide covered open ridge. Inside the facilities there were four batteries of vertical cages, each with six tiers. Each cage has dimensions of 0.6 x 0.5 x 0.4 m (width x depth x height), housing eight to ten birds per cage, with an average density of 300-375 cm² ave⁻¹. Each aviary on the farm can accommodate up to 100000 laying hens of the Hy-Line W-36 lineage.

Data were collected during six consecutive days and the hourly values (6:00 a.m at 6:00 p.m) of temperature and relative humidity, for each experimental and commercial data logger were corrected using Eq. 2.

To evaluate the performance of the calibration equations, the Nash-Sutcliffe efficiency (NSE) index (Nash & Sutcliffe, 1970) was used. This index is a normalized statistic that determines the relative importance of the residual variance in comparison

with the variance of the measured data (Gupta et al., 1999). The index was calculated by Eq. 3:

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{measured}} - Y_i^{\text{calibrated}})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{\text{measured}} - Y_i^{\text{mean}})^2} \right] \quad (3)$$

where:

Y_i^{measured} - is the i-th measured value;

$Y_i^{\text{calibrated}}$ - is the i-th calibrated value;

Y_i^{mean} - is the mean of the measured value; and

n - total number of observations.

In addition to the NSE index, validation of the experimental datalogger was also tested from the relative error between the average values obtained by the experimental and commercial data loggers.

For the calculation of the NSE and relative error, the hourly mean values of the three experimental data loggers and the two commercial data loggers were used during the six days of data collection.

RESULTS AND DISCUSSION

The equations coefficients of the line, standard errors (SE) and determination coefficients (r^2) obtained by the regression analysis for air temperature and relative humidity measured by the mercury thermometer (sensor standard), Vaisala HMP110 probe (sensor standard), experimental data logger and commercial data logger HOBO U14-001; are set out in Table 1. The temperature and relative humidity measured used in the regression analysis ranged from 9.25 to 26.00 °C and 37 to 73%, respectively.

Table 1. Equations coefficients of the line, standard errors (SE) and coefficients of determination (r^2) obtained by the regression analysis

	β_0	β_1	SE	SE_{β_0}	SE_{β_1}	r^2
Temperature						
Experimental data logger	2.445*	0.929*	0.451	0.313	0.0175	0.992
Commercial data logger	0.410	0.993	0.433	0.301	0.0168	0.993
Relative Humidity						
Experimental data logger	10.403*	0.838*	1.891	1.609	0.0270	0.977
Commercial data logger	15.943*	0.893*	1.681	1.431	0.0240	0.984

β_0 = linear coefficient ($^{\circ}\text{C}$ and %); β_1 = angular coefficient ($^{\circ}\text{C}$ and %); SE = standard errors ($^{\circ}\text{C}$ and %); r^2 = coefficients of determination.* statistically significant at 0.05 level ($p \leq 0.05$).

The intercept and slope coefficients of the commercial data logger temperature regression were not significant ($p > 0.05$), which indicates that the data temperature values measured by the commercial data logger are statistically the same as those measured by the mercury thermometer under consideration as a reference standard.

The regression slope represents the instrument's static sensitivity and the standard error of the slope quantifies the uncertainty in this estimate. A perfect instrument would have a slope of unity and zero standard error. The calibration equations obtained by inversion of the regression equations are given in Table 2.

Table 2. Calibration equations of temperature and relative humidity measured by experimental and commercial data loggers

	Equation	SE
Temperature		
Experimental data logger	$X' = -2.631 + 1.076 Y$	0.485
Temperature		
Commercial data logger	$X' = Y$	0.436
Relative Humidity		
Experimental data logger	$X' = -12.414 + 1.193 Y$	2.257
Relative Humidity		
Commercial data logger	$X' = -17.853 + 1.120 Y$	1.882

X' = value corrected ($^{\circ}\text{C}$ and %); Y = value measured ($^{\circ}\text{C}$ and %); SE = standard errors ($^{\circ}\text{C}$ and %).

The standard error for the calibration equations for the experimental data logger (± 0.485 °C and $\pm 2.257\%$) were lower than the errors reported by the manufacturer of the DHT11 sensor which is ± 2 °C and 5% (D-ROBOTICS, 2010). For the commercial data logger equation, the standard error of the estimate of temperature was found to be greater (± 0.436 °C) than that indicated by the manufacturer, ± 0.21 °C and for relative humidity the smaller ($\pm 1.882\%$) than indicated by the manufacturer, $\pm 2.5\%$ (ONSET COMPUTER CORPORATION, 2010).

The coefficients of determination (r^2) of the equations exceeded 0.950 indicating that more than 95% of the variation of the temperature and relative humidity of the air measured by the experimental data logger is explained by the temperature and humidity variation measured by the mercury thermometer and Vaisala probe HMP110. This value is above that considered acceptable by Moriasi et al. (2007); Santhi et al. (2001) and Van Liew et al. (2003), which is 0.50.

Temperature and relative humidity results collected in the center of the commercial aviary for the experimental and commercial data loggers installed in the center in the laying hens' aviary, corrected by calibration equations are presented in Figure 3.

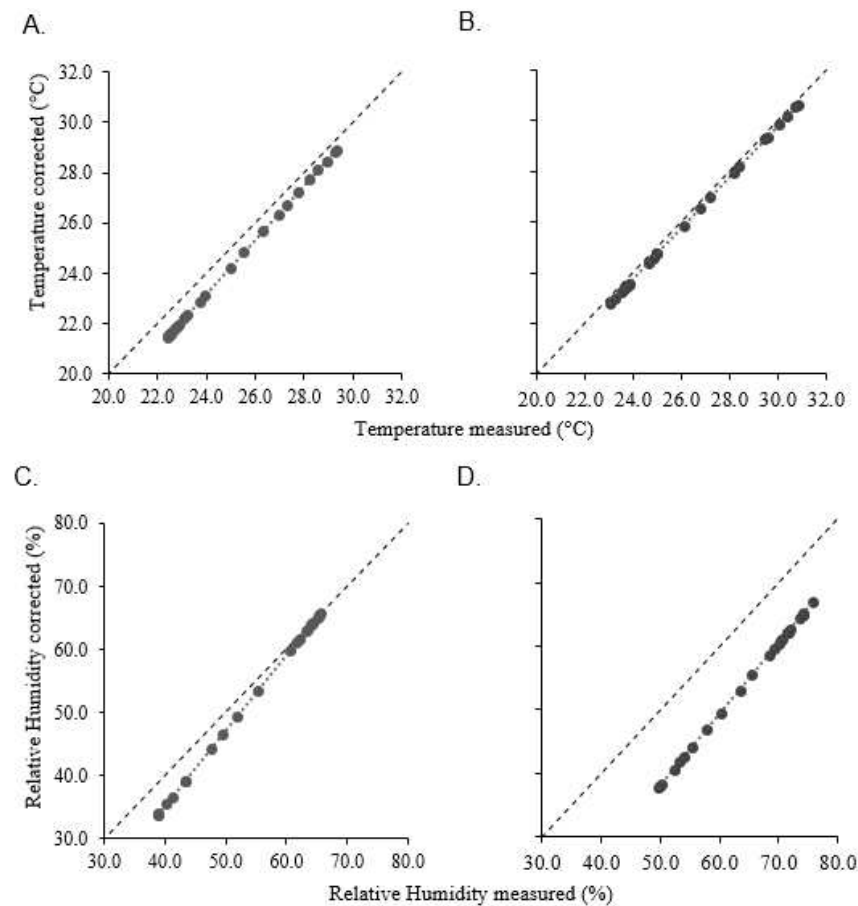


Figure 3. Temperature and relative humidity of the air measured and corrected according to the calibration equation obtained for: A and C - experimental data logger; B and D - commercial data logger

The experimental data logger underestimated the values measured mainly for low temperatures and humidities (Figures 3A and 3C). The temperature values calculated by the commercial data logger calibration equation have a nearly perfect relationship with the observed values (Figure 3B). However, the values of relative humidity are underestimated (Figure 3D).

The performance of the experimental and commercial data loggers calibration equation was evaluated by the NSE. For temperature, the NSE was 0.993 for the commercial data logger and 0.913 for the experimental data logger. For relative humidity, the indices were -0.281 and 0.932 for commercial and experimental data loggers, respectively. The Nash-Sutcliffe index of one unity indicates perfect correspondence between the values predicted by calibration equation and the measured values. An Index of zero suggests that the prediction is as accurate as the average of

the measured data and, below 0, the equation is considered worse than the simple mean of measurement (Ahmad et al., 2010). For Miranda et al. (2014), the NSE represents the distance relationship between the corrected data and the observed average data behavior.

The Nash-Sutcliffe index has been applied effectively in the evaluation of the performance of hydrological models (Miranda et al., 2014; Pereira et al., 2016), Global radiation models (Deo et al., 2016), and models of dry matter accumulation and rice yield (Ribas et al., 2016).

Average hourly values of temperature and relative humidity as measured, adjusted by calibration, and the relative error between them, for the experimental and commercial data loggers, are displayed graphically in Figure 4.

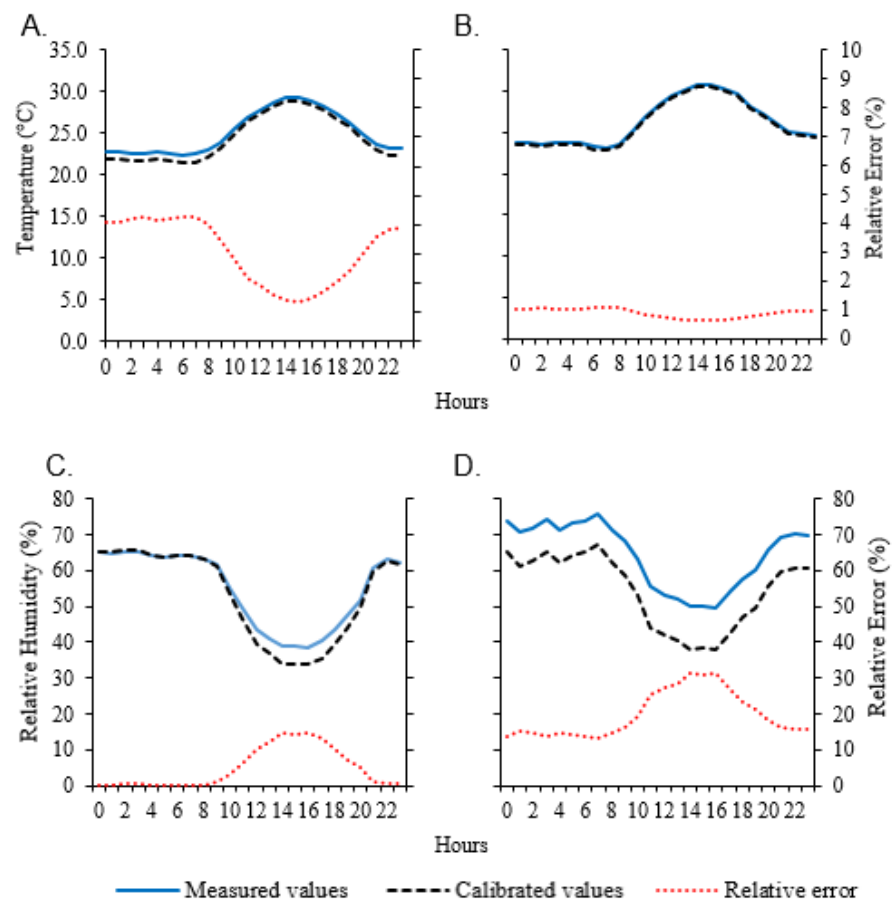


Figure 4. Temperature and relative humidity of measured and corrected: A and C - Experimental Data logger, B and D - Commercial Data logger

The experimental data logger showed an average relative error of 3%. For temperatures between 20 and 25 °C the relative error was around 4% and at temperatures above 25 °C it reduced to around 2% (Figure 4A). For relative humidity, the experimental data logger presented an average relative error of 5%. For relative humidity in the range of 60 to 70%, the relative error was close to zero and for the relative humidity of 30 to 40%, the error was 15% (Figure 4C).

The average relative error of the commercial data logger for the temperature was 1%. For temperatures between 20 and 25 °C, the relative error was around 1% and, at temperatures above 25 °C, below 1% (Figure 4B). The mean relative error calculated for relative humidity was 20%. For relative humidity in between, 60 to 70%, the relative error ranged from 13 to 15% and for relative humidity, from 30 to 40% the error was from 16 to 31% (Figure 4D).

Djajadi and Wijanarko (2016) developed a device to monitor air quality based on the Arduino and DHT11 sensor. For the air temperature variable, the developed device presented a reading difference lower than 1 °C and for relative air humidity, a difference of around 10%, compared to the standard device used in the study.

Krishnamurthi et al. (2015) used the Arduino and DHT11 sensor for the development of a climate monitoring device and found satisfactory results regarding reading, acquisition, storage and access to the monitoring database. Similar results were found by Faris & Mahmood (2014) and Vyas et al. (2016), using these electronic components in a device developed for climate monitoring in greenhouses, and by Mahale & Sonavane (2016) and Handigolkar et al. (2016) in aviary of broiler.

In all of the aforementioned studies, there were no results regarding the performance of the devices developed with others already existing commercially, in relation to measured temperature and relative humidity data.

CONCLUSIONS

1. The experimental data logger exhibited accuracy and reliability for the thermal conditions found in the aviary once it was calibrated against reference instruments.
2. The calibration equations demonstrated a good performance since the standard error of the estimate was smaller than the accuracy provided by the manufacturer and the Nash-Sutcliffe index (NSE) was close to unity.

3. The calibrated experimental data logger presented low relative error in relation to the monitoring of temperature and especially relative humidity, when compared with the commercial data logger.

4. The experimental data logger, therefore, is an efficient and reliable device for the characterization of the thermal conditions of aviaries, being able to be used in diverse animal facilities.

5. Due to the use of open-source programming, the experimental data logger has the capacity to be adapted and improved according to the conditions of the shed to be installed, which can be considered as an attractive in relation to the commercial data logger.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), the Foundation for Research Support of the State of Minas Gerais (FAPEMIG), the Department of Agricultural Engineering of the Federal University of Viçosa (DEA-UFV) and Center for Research in Environment and Agroindustry Systems Engineering (AMBIAGRO) for the granting of a scholarship and financial aid, and also, the company where the experiment was carried out, for the partnership and assistance in carrying out the study.

LITERATURE CITED

Ahmad, M. M.; Ghumman, A. R.; Ahmad, S.; Hashmi, H. N. Estimation of a unique pair of Nash model parameters: An optimization approach. *Water Resources Management*, v.24, p.2971-2989, 2010.

Chao, K.; Gates, R. S.; Sigrimis, N. Fuzzy logic controller design for staged heating and ventilating systems. *Transactions of the ASAE*, v.43, p.1885-1894, 2000.

Deo, R. C.; Wen, X.; Qi, F. A wavelet-coupled support vector machine model for forecasting global incident solar radiation using limited meteorological dataset. *Applied Energy*, v.168, p.568-593, 2016.

Djajadi, A.; Wijanarko, M. Ambient environmental quality monitoring using IoT sensor network. *Internetworking Indonesia Journal*, v. 8, p.41-47, 2016.

D-ROBOTICS. DHT11 Humidity & Temperature Sensor. 2010. <<http://www.micro4you.com/files/sensor/DHT11.pdf>>. 20 Mar. 2018.

Faris, D. M.; Mahmood, M. B. Data acquisition of greenhouse using arduino. *Journal of Babylon University/Pure and Applied Sciences*, v.22, 1908-1916, 2014.

Gates, R. S.; Chao, K.; Sigrimis, N. Identifying design parameters for fuzzy control of staged ventilation control systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, v.31, p.61-74, 2001.

Gupta, H. V.; Sorooshian, S.; Yapo, P. O. Status of automatic calibration for hydrologic models: Comparison with multilevel expert calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, v.4, p.135-143, 1999.

Handigolkar, L. S.; Kavya, M. L.; Veena, P. D. Iot based smart poultry farming using commodity hardware and software. *Bonfring International Journal of Software Engineering and Soft Computing*, v.6, p.171-175, 2016.

Hongqian, C.; Xin, H.; Guanghui, T.; Chaoying, M.; Xiaodong, D.; Taotao, M.; Cheng, W. Cloud-based data management system for automatic real-time data acquisition from large-scale laying-hen farms. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v.9, p.106-116, 2016.

Husain, A. M.; Rini, T. H.; Haque, M. I.; Alam, M. R. Air quality monitoring: The use of arduino and android. *Journal of Modern Science and Technology*, v.4, p.86-92, 2016.

Ji, B.; Zheng, W.; Gates, R. S.; Green, A. R. Design and performance evaluation of the upgraded portable monitoring unit for air quality in animal housing *Computers and Electronics in Agriculture*, v.124, p.132-140, 2016.

Krishnamurthi, K.; Thapa, S.; Kothari, L.; Prakash, A. Arduino based weather monitoring system. *International Journal of Engineering Research and General Science*, v.3, p.452-458, 2015.

Li, H.; Wang, H.; Yin, W.; Li, Y.; Qian, Y.; Hu, F. Development of a remote monitoring system for henhouse environment based on IoT technology. *Future Internet*, v.7, p.329-341, 2015.

Ma, L.; Yan, J.; Yan, S.; Wang, B.; Liao, K.; Wang, J. A study of agricultural meteorological monitoring system based on wireless sensor networks. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, v. 9, p.15-26, 2014.

Mahale, R. B.; Sonavane, S. S. Smart poultry farm monitoring using IOT and wireless sensor networks. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, v.7, p.187-190, 2016.

Miranda, A. C. R.; Pruski, F. F.; Martinez, M. A.; Cecon, P. R. Métodos de separação dos escoamentos superficial direto e subterrâneo: Estudo de caso para a bacia do Rio das Velhas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v.19, p.169-181, 2014.

Moriassi D. N.; Arnold J. G.; Van Liew M. W.; Bingner R. L.; Harmel R. D.; Veith T. L. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, v.50, p.885-900, 2007.

Nash, J. E.; Sutcliffe, J. V. River flow forecasting through conceptual models Part I-a discussion of principles. *Journal of Hydrology*, v.10, p.282-290, 1970.

ONSET COMPUTER CORPORATION. HOB0® U14 Loggers: Display, record, and get notified of temperature and humidity conditions. 2010. <<http://www.onsetcomp.com/files/datasheet/Onset%20HOB0%20U14%20Data%20Loggers.pdf>>. 15 Jan. 2018.

Pereira, D. R.; Uliana, E. M.; Martinez, M. A.; Silva, D. D. Desempenho de um modelo hidrológico concentrado e de um semidistribuído na predição de vazões diárias. *IRRIGA*, v.21, p.409-424, 2016.

Ribas, G. G.; Streck, N. A.; Lago, I.; Zanon, A. J.; Waldow, D. A. G.; Duarte Junior, A. J.; Nascimento, M. F.; Fontana, V. Acúmulo de matéria seca e produtividade em híbridos de arroz irrigado simulados com o modelo SimulArroz. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.51, p.1907-1917, 2016.

Roldán, J. J.; Joossen, G.; Sanz, D.; Del Cerro, J.; Barrientos, A. Mini-UAV Based Sensory System for Measuring Environmental Variables in Greenhouses. *Sensors*, v.15, p.3334-3350, 2015.

Santhi, C.; Arnold, J. G.; Williams, J. R.; Dugas, W. A.; Srinivasan, R.; Hauck, L. M. Validation of the swat model on a large river basin with point and nonpoint sources. *Journal of the American Water Resources Association*, v.37, p.1169-1188, 2001.

Torres, J. D.; Monteiro, I. O.; Santos, J. R.; Ortiz, M. S. Weather data acquisition with the Arduino platform: low cost building and data analysis. *Scientia Plena*, v.11, p.1-13, 2015.

Ünsal, E.; Milli, M.; Çebi, Y. Low cost wireless sensor networks for environment monitoring. *The Online Journal of Science and Technology*, v.6, p.61-67, 2016.

VAISALA. User's guide. Vaisala Humidity and Temperature Probes HMP60 and HMP110 Series. 2016. <
<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/HMP60%20and%20HMP110%20Series%20User's%20Guide%20in%20English.pdf>>. 20 Mar. 2018

Van Liew, M. W.; Arnold, J. G.; Garbrecht, J. D. 2003. Hydrologic simulation on agricultural watersheds: Choosing between two models. *Transactions of the ASAE*, v.46, p.1539-1551, 2003.

Vyas, D.; Borole, A.; Singh, S. Smart agriculture monitoring and data acquisition system. *International Research Journal of Engineering and Technology*, v.3, p.1823-1826, 2016.

CAPÍTULO II

SPATIAL BEHAVIOR OF THE THERMO-LUMINOUS CONDITIONS OF FACILITY LAYING HENS IN NATURALLY VENTILATED VERTICAL SYSTEM

COMPORTAMENTO ESPACIAL DAS CONDIÇÕES TERMO-LUMINOSAS DO AVIÁRIO DE POEDEIRAS EM SISTEMA VERTICAL NATURALMENTE VENTILADO

Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas¹, Ilda de Fátima Ferreira Tinôco¹, Richard Stephen Gates², Cecília de Fátima Souza¹, Matteo barbari³, Carlos Gutemberg de Souza Teles Junior¹

Artigo aceito para publicação na “Revista Ciência e Agrotecnologia”

¹ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil. leticiaacibele@yahoo.com.br

² Agricultural and Biological Engineering Department, University of Illinois at Urbana- Champaign, Champaign, Illinois, United States.

³ Università degli Studi di Firenze, Dipartimento di Gestione dei Sistemi Agrari, Alimentari e Forestali, Firenze, Italia.

Autor correspondente: Letícia Cibele da Silva Ramos Freitas, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Campus Universitário, 36570-900, Viçosa, MG, Brasil. leticiaacibele@yahoo.com.br

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the spatial behavior of thermal conditions and light intensity of facilities for laying hens with vertical cages naturally conditioned during winter and summer. Air temperature, air relative humidity and light intensity data were collected in 75 points distributed evenly through the longitudinal direction of the installation in three tiers of cages (first, third and sixth). Each point represented a set of coordinates (x, y, z), being the x-axis the lines (L1, L2, L3, L4, L5), y-axis the sections (S1, S2, S3, S4, S5) and z-axis the tiers (N1, N2, N3). The spatial behavior of the thermal conditions of the facility was held during the coldest period of winter and the warmest period of summer. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme. In the winter, the temperature showed homogeneous behavior among sections and variable among lines. In the summer, the spatial variability of temperature and humidity was more accentuated than in the winter, mainly among tiers. For both seasons, the center of the facility presented lower light intensity than the lateral. From the spatial behavior of the thermal conditions of the facility laying hens, it is possible to verify the magnitude and variability of temperature, relative humidity and light intensity, identify vulnerable and deficit thermal regions and contribute to decision-making related to thermal conditioning and luminosity of the facility.

INDEX TERMS: Characterization of the environment; thermal variability; light intensity.

RESUMO

As instalações para galinhas poedeiras devem ser concebidas para proporcionarem conforto térmico e satisfatória luminosidade para uma produção de ovos de qualidade. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento espacial das condições térmicas e intensidade luminosa de aviários verticais para galinhas poedeiras acondicionados naturalmente, durante o inverno e verão. Dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e intensidade luminosa foram coletados em 75 pontos distribuídos uniformemente no sentido longitudinal do aviário, em três andares de gaiolas, (primeiro, terceiro e sexto). Cada ponto representava um conjunto de coordenadas (x, y, z) sendo no sentido do eixo x as linhas (L1, L2, L3, L4, L5) eixo y as seções (S1, S2, S3, S4, S5) e eixo z os níveis (N1, N2, N3). O comportamento espacial das condições térmicas do aviário foi realizado no período mais frio do inverno e mais quente do verão. O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial. No inverno, a temperatura apresentou comportamento homogêneo entre as seções e variável entre linhas. No verão, a variabilidade espacial da temperatura e umidade foi mais acentuada que no inverno, principalmente entre os níveis. Para ambas as estações o centro do aviário apresentou intensidade luminosa menor que as laterais. A partir do comportamento espacial das condições térmicas do aviário de poedeiras é possível verificar a magnitude e variabilidade da temperatura, umidade relativa e intensidade luminosa, identificar regiões vulneráveis e deficitárias termicamente e contribuir para a tomada de decisões relacionadas ao acondicionamento térmico e luminosidade da instalação.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: Caracterização do ambiente; variabilidade térmica; intensidade luminosa.

INTRODUCTION

Thermal stress is a major concern for poultry farming, especially in hot regions, which may lead to low yields and high mortality rates (Balamurugan et al., 2017). The environmental condition of the facility is fundamental for the effective performance of the metabolic, endocrinological and physiological activities related to the process of egg production. The laying hens' facilities must be designed to maintain the ideal thermal condition for the production of the birds, avoiding the thermal stress.

At ambient temperatures below 15 °C, laying hens have a low production performance and worse feed conversion. In the range of 15 °C to 26 °C there is an improvement in zootechnical performance, with the ideal ambient temperature being in the range from 24 °C to 26 °C. From 27 °C, the productive efficiency decreases and, when approaching 30 °C, there is a marked reduction in feed consumption and egg quality. At 32 °C, there is no impairment in the thermo-regulation of the laying hens (Ferreira, 2015).

The effect of air temperature on the performance of laying hens will be more harmful as the higher air relative humidity, so these parameters must be monitored and controlled in order to ensure egg productivity and quality (Albino et al., 2014). The knowledge of the spatial behavior of the thermal variables in the poultry facilities is important for the decision-making on the best way to conditioning the environment.

The Light intensity and photoperiod are important for the performance of laying hens and may affect egg production for the reproductive system is stimulated via hypothalamic photoreceptors (Nunes et al., 2013). In open facilities, 10 lux of light intensity in the cage (hen's head) are required for egg production (Cotta, 2014; Jácome, Rossi and Borille, 2014). In facilities of the laying hens naturally ventilated with vertical cages, the light intensity may vary due to the arrangement of barrier cage batteries, reducing the incidence of external light into the aviary.

The objective of this research was to evaluate the spatial behavior of the thermal conditions and light intensity of the facility of the laying hens with vertical cages and naturally conditioned, during winter and summer.

MATERIAL AND METHODS

Facilities characteristics

The experiment was carried out in an facility for laying hens of high density, with vertical system of cages and natural ventilation, located in the southern region of the state of Minas Gerais, Brazil, geographical coordinates 22 ° 17 '45' 'S and 44 ° 56' 05 " W and average altitude of 892 m. The facility is made out of a metallic structure, non-insulated galvanized steel roof, dimensions of 134.0 x 12.5 m (length x width), 5.0 m high and with a covered open ridge of 1.2 m of width.

The facility houses four batteries of vertical cages, each with six tiers. Each cage has dimensions of 0.6 x 0.5 x 0.4 m (width x depth x height), housing ten hens per cage, with average density of 300 cm².ave⁻¹. Each facility can accommodate up to 100,000 Hy-Line W-36 laying hens. The photoperiod used in the facility was of 16L:8D (natural + artificial light), the feed was supplied by automatic feeders and water by nipple drinkers, both *ad libitum*.

Spatial behavior of the thermal conditions

The spatial behavior of the thermal conditions was performed by analyzing the air temperature, air relative humidity and light intensity variables in the three-dimensional array of cage batteries. The data of air temperature and air relative humidity of the air inside the facility were collected by DHT11 sensors, distributed in the vertical and longitudinal directions of the facility.

Each collection point represented a set of coordinates (x, y, z) being in the x-axis the lines (L1, L2, L3, L4, L5), in the y-axis the sections (S1, S2, S3, S4, S5), and in the z-axis the tiers (N1, N2, N3) according to Figure 1. Tiers N1, N2 and N3 correspond to the first, third and sixth cages of the batteries, respectively.

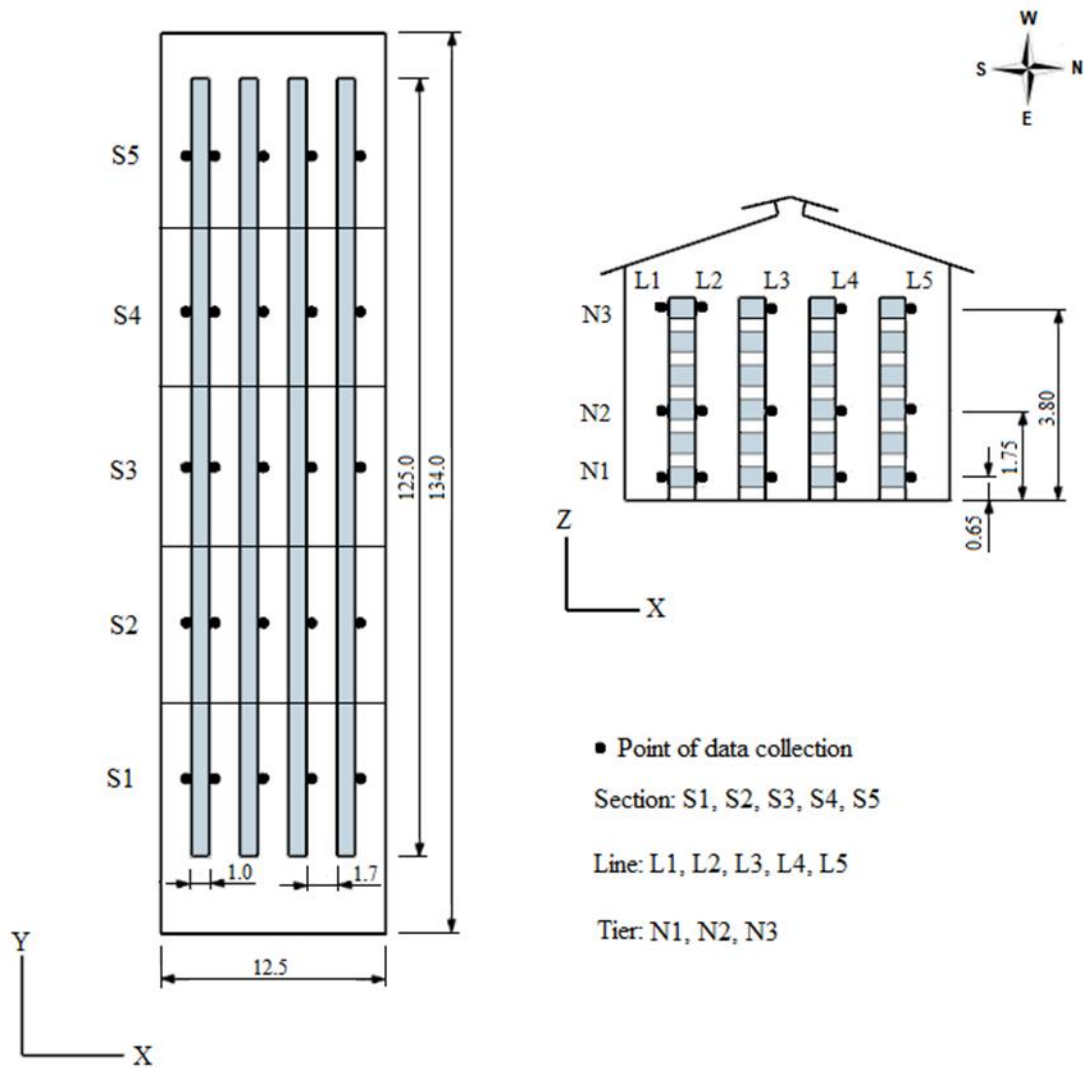


Figure 1: Spatial location of air temperature ($^{\circ}\text{C}$), air relative humidity of the air (%) and light intensity (lux) data collection points. Dimensions in meters.

The data loggers, based on the Arduino Mega 2560 board, were developed for the processing and record of the data measured by the DHT11 sensors. Each data logger had a capacity of processing and storing data from three DHT11. According to the manufacturer's specifications, for air temperature between $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ the sensor DHT11 accuracy of $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ and; for air relative humidity between 20% to 95% the accuracy of $\pm 5\%$ (D-Robotics, 2010). To verify the spatial behavior of air temperature and air relative humidity in the facility, 75 sensors, and 25 data loggers were used.

Statistical analysis

The experiment was conducted in July 2016 (winter) and January 2017 (summer). The air temperature and air relative humidity data inside the facility were recorded throughout 24 hours, every five minutes, during six days. The daily mean values of air temperature and air relative humidity obtained in summer and winter were divided in the dawn (00h00 to 05h00), morning (06h00 to 11h00), afternoon (12h00 to 17h00) and night (18h00 to 23h00).

The experimental design was completely randomized in a factorial scheme. The collected data were submitted to analysis of variance and the means were compared by the Tukey test, at 5% probability. The Software R, version 3.4.1, was used for the statistical analysis, Sigma Plot Software, version 12.0, for the elaboration of the graphs of air temperature and air relative humidity of the air and the Software MINITAB, version 17.0 for the elaboration of the graphs of light intensity.

The factorial 2 x 4 analysis was initially performed with the first factor being the seasons of the year (winter and summer) and the second factor, the periods of the day (dawn, morning, afternoon, night). The spatial behavior of the thermal conditions of the facility was performed in the coldest period of winter and the warmst of summer. The factorial scheme adopted was 3 x 5 x 5, with six replicates (days). The factors corresponded to tier (N1, N2, N3), section (S1, S2, S3, S4, S5) and line (L1, L2, L3, L4, L5).

The light intensity was measured at the same points where the DHT11 sensors were installed (Figure 1), using a luxmeter (MINIPA modelo MLM-1011, São Paulo, Brazil). The lux meter has a measurement range of 0 to 100000 lux, with the accuracy of 4% from 0 to 10000 lux and above this range accuracy of 5%.

The data were collected during summer and winter, three times a day: 9h00, 12h00 and 15h00, for three days. The light intensity measurements were performed by only one lux meter, starting in the center towards the open sides of the facility. The reading time at each collection point was 30 seconds. The total time to perform the measurements was 60 minutes (displacement inside facility and measurement).

The spatial behavior of the light intensity of the facility was performed at the time of day that presented the highest light intensity, in winter and summer. The factorial scheme adopted was 3 x 5 x 5, with three replicates (days). The factors corresponded to tier (N1, N2, N3), section (S1, S2, S3, S4, S5) and line (L1, L2, L3, L4, L5).

RESULTS AND DISCUSSION

There was a significant effect of the factors season (E) and period of the day (P) in the air temperature values ($p < 0.001$) and air relative air humidity ($p < 0.001$), inside the facility of laying hens. The effect of interaction between factors season (E) and period of the day (P) ($p < 0.001$) on air temperature and air relative humidity value is represented in Table 1.

Table 1: Effect of the interaction between season (E) and period of day (P) factors on air temperature (°C) and air relative humidity (%) values within facility laying hens.

Variables		Interaction E x P	
		Winter	Summer
Air Temperature (°C)	Dawn	12.99 (1.58) c B	20.25 (0.63) b A
	Morning	17.58 (1.22) b B	22.52 (0.42) b A
	Afternoon	24.56 (0.81) a B	27.27 (0.43) a A
	Night	16.68 (0.57) b B	22.32 (0.98) b A
		Winter	Summer
Air Relative Humidity (%)	Dawn	67 (5.52) a B	78 (1.37) a A
	Morning	54 (3.79) b B	69 (2.08) b A
	Afternoon	33 (3.45) c B	48 (2.83) c A
	Night	56 (1.89) b B	69 (3.59) b A

*Means followed by the same letter do not differ statistically among each other, uppercase in rows and lower case in the column, by Tukey test at 5% probability.

The average air temperature was lower in the dawn of winter (12.99 °C) and higher in the summer afternoon (27.27 °C), as expected. The mean air relative humidity was lower in the winter afternoon (33%) and higher in the dawn of summer (78%). In this region, the winters are dry and the summers rainy, which may explain the great variation found between the values of air relative humidity inside the facility. The values the air temperature and air relative humidity obtained were lower than average values found by Pereira et al. (2017) in facilities of naturally ventilated laying hens in the region of Bastos-SP, in winter and summer. The difference in average values of air temperature and air relative humidity between the studies demonstrates the effect of regional climatic conditions on the thermal conditions inside the facility.

During the winter dawns, the laying hens were in natural cold stress conditions and during the summer afternoons, under natural heat stress conditions. Therefore, the spatial behavior of the air temperature and air relative humidity of the air in winter was

performed with the values obtained in the dawn and in summer, with the values obtained in the afternoon.

The analysis of variance for the air temperature spatial behavior during winter indicated a significant effect ($p < 0.001$) of tier (N), section (S) and line (L) factors and their interactions. The effect of the N x S x L interaction on the air temperature values, based on the unfolding of the section and line factors within each tier is shown in Table 2.

Table 2: Comparison between the mean values of air temperature (°C) in the winter period, for the interaction N x S x L.

		Interaction N x S x L				
		L1	L2	L3	L4	L5
N1	S1	12.7 (1.2) a A	13.8 (1.8) a A	14.2 (1.7) a A	10.8 (1.7) a A	13.0 (1.5) a A
	S2	10.4 (2.0) a B	13.6 (1.8) a AB	16.2 (1.4) a A	11.5 (1.3) a AB	12.5 (2.4) a AB
	S3	11.5 (2.0) a A	12.9 (1.5) a A	14.6 (1.4) a A	10.4 (1.8) a A	9.6 (1.9) a A
	S4	11.7 (2.0) a A	11.0 (1.9) a A	14.1 (1.3) a A	9.3 (2.0) a A	8.5 (2.1) a A
	S5	11.4 (2.0) a B	11.7 (1.8) a B	17.8 (1.6) a A	9.3 (2.0) a B	12.9 (2.0) a B
N2	S1	10.1 (2.0) a B	13.3 (2.1) a AB	16.0 (2.0) a A	14.9 (1.3) a AB	12.7 (0.7) a AB
	S2	12.0 (2.1) a A	14.2 (1.9) a A	15.4 (1.7) a A	14.1 (1.4) a A	13.8 (2.0) a A
	S3	11.5 (2.0) a A	15.0 (1.7) a A	15.4 (1.5) a A	12.5 (1.4) a A	10.2 (1.9) a A
	S4	11.2 (2.0) a AB	16.4 (2.1) a A	14.5 (1.7) a AB	11.4 (2.1) a AB	9.6 (2.0) a B
	S5	11.9 (2.9) a AB	13.1 (1.9) a AB	15.5 (1.7) a A	13.5 (1.8) a AB	9.1 (2.0) a B
N3	S1	10.1 (2.1) a A	13.3 (2.1) a A	14.0 (1.9) a A	14.2 (1.4) a A	12.8 (0.4) a A
	S2	12.6 (2.0) a A	13.0 (1.8) a A	15.7 (1.8) a A	14.3 (1.4) a A	12.7 (1.8) a A
	S3	11.8 (2.0) a A	13.6 (1.7) a A	15.4 (1.8) a A	17.1 (1.6) a A	12.0 (1.3) a A
	S4	11.3 (2.0) a A	12.3 (2.0) a A	15.4 (1.3) a A	14.0 (2.1) a A	12.0 (1.8) a A
	S5	13.5 (2.1) a A	14.4 (1.8) a A	17.5 (1.4) a A	17.4 (1.5) a A	11.4 (1.8) a A

*Means followed by the same letter do not differ statistically among each other, uppercase in rows and lower case in the column, by Tukey test at 5% probability. N₁₋₃ – Tier; S₁₋₅ – Section; and L₁₋₅ – Line.

In winter, there was a homogeneous behavior of the air temperature values between the sections (S1, S2, S3, S4, S5) and variable behavior between the lines (L1, L2, L3, L4, L5). The center line of the facility (L3) was where the highest air temperatures (14.0 °C to 17.8 °C) were found and in the lateral ones (L1 and L5) the lowest air temperatures (13.8 °C to 8.5 °C).

The homogeneity among the sections and the variation among the lines can be explained by the fact that the facility is located between two other facility and the winter winds are predominantly calm. These conditions generate a region on the sides

of the facility, with stable climatic characteristics keeping the sections with approximately equal air temperatures and the heat concentrated in the central lines of the facility. At the N1 and N2 tiers were found the highest values of average air temperature, as expected, due to the hot air, for being it denser, tending to rise and concentrate in the upper region of the facility near the cover.

By the analysis of variance it was verified that, in the summer, there was a significant effect ($p < 0.001$) of the tiers (N), section (S) and line (L) factors, and their interactions on the spatial behavior of air temperature. The mean value of temperature obtained in the N1 tier was statistically lower in relation to the N3 tier, being the values of 26.19 ± 1.75 °C and 28.26 ± 2.18 °C respectively. The effect of the N x S x L interaction on the temperature values, based on the unfolding of the section and line factors within each tier, is shown in Table 3.

Table 3: Comparison between the mean values of air temperature (°C) in the summer period, for the interaction N x S x L.

		Interaction N x S x L				
		L1	L2	L3	L4	L5
N1	S1	25.2 (0.4) b B	28.0 (0.2) ab AB	29.8 (0.1) a A	25.8 (0.4) a B	25.7 (0.7) ab B
	S2	26.4 (0.6) ab AB	29.4 (0.3) a A	25.1 (0.3) b B	27.3 (1.2) a AB	25.7 (2.1) ab B
	S3	29.2 (0.6) a A	25.7 (0.6) b B	25.8 (0.5) b B	25.7 (0.4) a B	27.3 (1.5) a B
	S4	26.1 (0.7) ab A	26.2 (0.4) b A	24.7 (0.4) b A	24.7 (0.4) a A	25.2 (1.8) ab A
	S5	25.0 (0.6) b A	26.8 (1.0) ab A	25.6 (0.4) b A	24.3 (0.8) a A	24.0 (1.9) b A
N2	S1	29.7 (0.5) a A	29.1 (0.2) ab A	28.7 (0.2) a A	27.4 (0.4) ab A	27.2 (0.4) a A
	S2	28.7 (1.3) ab A	26.4 (0.2) bc A	27.0 (0.4) a A	25.6 (1.5) ab A	26.8 (1.6) a A
	S3	27.8 (0.8) ab AB	30.1 (0.4) a A	27.4 (0.5) a AB	28.8 (0.9) a AB	26.0 (1.9) a B
	S4	30.0 (0.7) a A	25.5 (0.2) c B	27.4 (0.5) a AB	26.3 (0.8) ab B	27.9 (1.6) a AB
	S5	25.9 (0.7) b A	27.8 (0.9) abc A	26.5 (0.9) a A	25.4 (0.8) b A	25.1 (1.5) a A
N3	S1	28.4 (0.3) a B	29.7 (0.2) ab AB	27.9 (0.3) b B	31.7 (0.4) a A	26.4 (0.6) a B
	S2	27.0 (0.5) a BC	31.3 (0.2) a A	32.5 (0.3) a A	29.4 (0.8) ab AB	26.1 (2.1) a C
	S3	26.7 (0.5) a BC	29.6 (1.0) ab AB	28.4 (0.5) b ABC	30.4 (1.2) ab A	25.7 (2.1) a C
	S4	26.7 (0.5) a A	27.6 (0.4) b A	28.0 (0.5) b A	28.2 (0.7) b A	25.8 (2.0) a A
	S5	27.2 (0.5) a AB	29.6 (1.3) ab A	28.2 (0.6) b AB	28.8 (1.3) ab A	25.3 (2.7) a B

*Means followed by the same letter do not differ statistically among each other, uppercase in rows and lower case in the column, by Tukey test at 5% probability. N₁₋₃ – Tier; S₁₋₅ – Section; and L₁₋₅ – Line.

In summer, the spatial variability of air temperature values was more accentuated than in winter. There was a growing increase in the air temperature between tiers and greater heterogeneity among sections and lines.

At the N1 tier, the air temperature ranged between 24.0 °C and 29.8 °C, with the highest values found in sections S1, S2 and S3, and in lines L1 and L2. At the N2 tier, the lowest air temperature values (25.4 and 25.1 °C) were observed in sections S4 and S5, and lines L4 and L5. At the N3 tier, the air temperature varied between 25.3 °C and 32.5 °C, with the lowest air temperatures found in sections S4 and S5.

These results may be due to the direction of the wind, since it blew towards the Northwest direction, favoring the movement of the mass of air in the external region between the facilities, towards the section S5 for section S1. Therefore, the air temperature values obtained in sections S4 and S5 were lower than those obtained in sections S3, S2 and S1. The spatial behavior of air temperature in winter and summer can be observed in Figure 2.

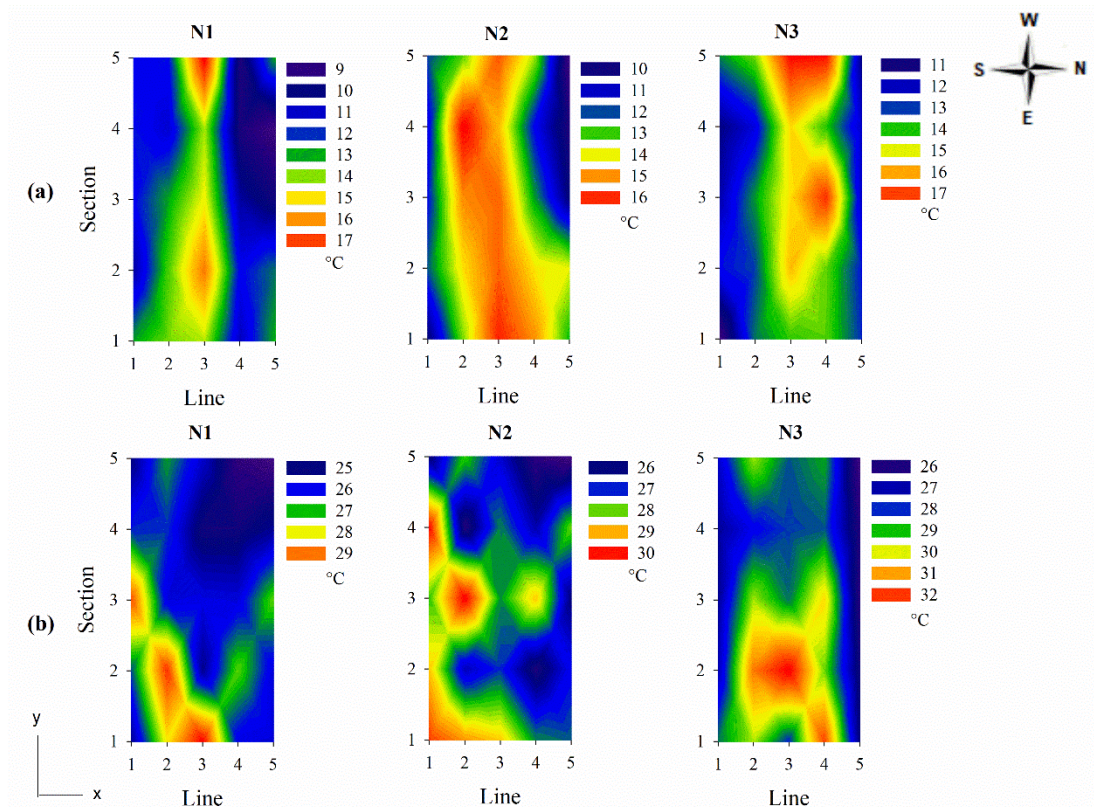


Figure 2: Spatial behavior of air temperature values, (a) in winter and (b) in summer.

In winter, the heat concentrates in the central lines of the facility. At the N2 tier, the heat concentration was more homogeneous and covered a larger area when compared to the N1 and N3 tiers of heat (Figure 2). In the summer, the spatial behavior of the air temperature was variable between the tiers. At the N1 and N3 tiers, the heat concentrated at the beginning of the aviary, having a larger area of coverage at the N3

tier. At the N2 tier, the heat was irregularly distributed, with a cross-sectional range of heat concentration in the center of the facility (Figure 2).

Coelho et al. (2015) conducted a study on the variability of the thermal conditions in laying hens facility during the summer and found higher air temperatures and, therefore, a higher concentration of heat in the highest tier of cages. The authors report that this phenomenon is due to thermal radiation from the roof and to the accumulation of hot air coming from the lower tiers of the facility.

The analysis of variance for the spatial behavior of the air relative humidity values in the facility in winter indicated a significant effect of level (N), section (S) and line (L) factors ($p < 0.001$), and of the interactions N x S ($p < 0.01$) and N x L ($p < 0.001$). The effect of N x S and N x L interactions are shown in Table 4.

Table 4: Comparison between mean values of air relative humidity of the air (%) in the winter period, for the interactions S x N and L x N.

Interaction N x L					
	L1	L2	L3	L4	L5
N1	77 (9.3) a A	67 (6.7) a B	55 (5.2) a C	69 (10.2) a B	80 (9.5) a A
N2	81 (8.7) a A	59 (6.3) b B	50 (2.8) a C	67 (8.3) a D	78 (9.1) ab A
N3	76 (8.0) a A	60 (6.4) ab CD	55 (5.9) a D	63 (8.2) a BC	71 (7.6) b AB
Interaction N x S					
	S1	S2	S3	S4	S5
N1	72 (11.0) a AB	66 (11.7) a B	68 (12.2) a AB	73 (12.4) a A	68 (10.5) a AB
N2	70 (14.9) ab A	63 (13.3) a A	67 (13.0) a A	67 (12.5) ab A	68 (13.7) a A
N3	65 (11.2) b A	63 (10.2) a A	63 (9.3) a A	64 (9.9) b A	69 (8.6) a A

*Means followed by the same letter do not differ statistically among each other, uppercase in rows and lower case in the column, by Tukey test at 5% probability. N₁₋₃ – Tier and L₁₋₅ – Line.

The highest mean value air relative humidity of air inside the facility was found at the N1 tier (69%) and the lowest at the N3 tier (65%). For all tiers, it was verified that in the lines L1 and L5 and in the sections S1 and S5 were found the highest values of air relative humidity and the line L3 and section S2, the lowest values. The highest mean relative humidity value was observed in 81% of line L1 of tier N2 and the lowest value, in 50%, in line L3 of tier N2. These results can be explained by the same reasons presented in the winter air temperature analysis. In other words, due to the location of the aviary and the predominance of calm winds in the South direction, they generate a

region on the sides of the facility, with stable climatic characteristics keeping the air moist on the outer lines (L1 and L5) and dry air in the center of the facility (L3).

In the summer, the significant effect ($p < 0.001$) of the tier (N), section (S) and line (L) factors and their interactions were observed on the values of air relative humidity. The effect of the unfolding of section and line factors within each tier in the air relative humidity values is shown in Table 5.

Table 5: Comparison between the mean values of air relative humidity (%) in the summer period, for the interaction N x S x L.

		Interaction S x L x N				
		L1	L2	L3	L4	L5
N1	S1	51 (5.6) ab A	45 (1.7) b A	53 (2.4) ab A	53 (3.3) a A	53 (4.4) a A
	S2	44 (2.4) b A	45 (1.8) b A	47 (2.1) b A	53 (4.3) a A	51 (8.0) a A
	S3	59 (3.0) a A	54 (3.7) ab A	41 (2.1) b B	48 (1.6) a AB	52 (6.0) a AB
	S4	55 (3.4) ab A	55 (2.7) ab A	40 (3.1) b B	54 (2.8) a A	56 (5.9) a A
	S5	58 (3.5) a A	60 (5.1) a A	60 (1.8) a A	61 (6.3) a A	57 (6.5) a A
N2	S1	57 (3.2) a A	38 (2.4) bc C	40 (3.2) a BC	53 (3.5) ab AB	38 (2.9) b C
	S2	46 (2.4) ab A	49 (2.6) ab A	45 (2.2) a A	56 (7.4) a A	53 (7.9) a A
	S3	42 (2.9) b AB	34 (5.6) c B	45 (1.7) a AB	41 (1.5) b AB	52 (6.7) a A
	S4	42 (2.4) b A	39 (1.9) bc A	42 (1.5) a A	48 (1.9) ab A	51 (6.2) ab A
	S5	48 (3.7) ab B	62 (2.7) a A	49 (2.8) a B	56 (9.2) a AB	49 (6.4) ab B
N3	S1	48 (2.3) a A	45 (2.0) a A	41 (2.2) a A	45 (2.4) a A	49 (3.7) a A
	S2	39 (2.1) a A	40 (1.7) a A	44 (2.2) a A	45 (3.2) a A	48 (5.3) a A
	S3	50 (3.4) a AB	38 (2.5) a B	42 (1.4) a AB	47 (2.0) a AB	54 (7.2) a A
	S4	47 (2.8) a AB	45 (1.6) a AB	40 (2.4) a B	45 (2.5) a AB	57 (5.8) a A
	S5	39 (2.3) a B	49 (3.3) a AB	46 (1.5) a AB	52 (5.6) a AB	54 (8.2) a A

*Means followed by the same letter do not differ statistically among each other, uppercase in rows and lower case in the column, by Tukey test at 5% probability. N₁₋₃ – Tier; S₁₋₅ – Section and L₁₋₅ – Line.

In summer, air relative humidity of the air values varied between 34% and 62%. These values were lower than those found by Coelho et al. (2015) in a facility laying hens naturally ventilated, located in the same region of the present study and in the same month of summer (January). This difference between the results may be due to the region's rainfall indexes. According to the National Institute of Meteorology (INMET), in January of 2013, year of the research of Coelho et al. (2015), the rainfall index was 13.25 mm.day⁻¹, which is higher than the value of 8.80 mm.day⁻¹, verified in January 2017, by the present research.

Even though being the summer a rainy season, the values of air relative humidity were low and presented a variability among the tiers, being the tier N3 the most homogeneous. This fact may be related to the spatial behavior of the air temperature inside the facility. The regions with the lowest values of air relative humidity presented higher air temperature values. The spatial behavior of air relative humidity in winter and summer can be observed in Figure 3.

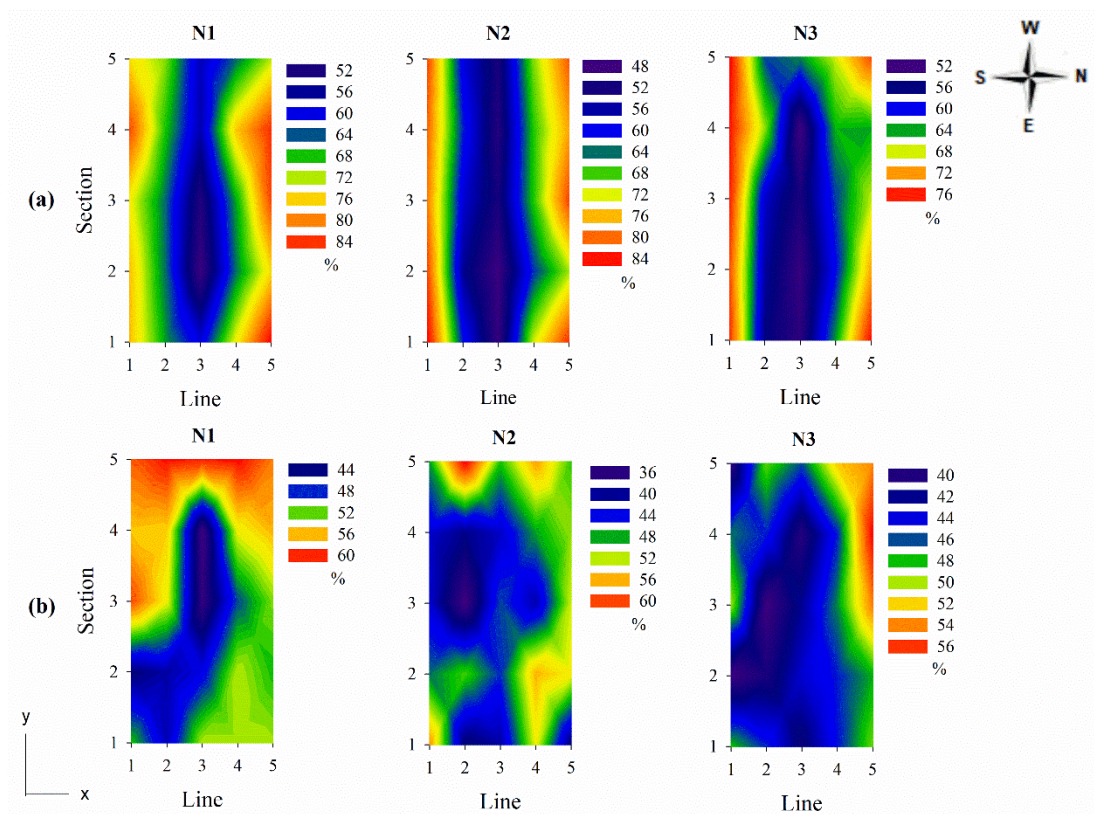


Figure 3: Spatial behavior of air relative humidity values, (a) in winter and (b) in summer.

In winter, dry air concentrated in a longitudinal range in the center of the facility, increasing the comprehensiveness area with increasing of the tiers. In summer, the spatial behavior of air relative humidity was variable between tiers. At the N1 tier, the moist air concentrated at the sides and at the end of the aviary, forming a central region with dry air. At the N2 tier, the dry air coverage area expanded as well as at the N3 tier.

The spatial thermal conditions behavior in the laying hen's facility, in the summer, showed a variation of temperature between 24.0 °C and 32.5 °C and a variation of the air relative humidity, between 34% and 62%. These results are in agreement with the

results obtained by Biaggioni et al. (2008), Souza Jr et al. (2015) and Vitorasso and Pereira (2009) in studies conducted in the summer in naturally ventilated laying hens facilities.

In winter, the spatial behavior of the thermal conditions found a variation of air temperature, with values between 8.5 °C and 17.8 °C and a variation of relative humidity from 50% to 81%. Silva et al. (2017) verified in laying hens facility with naturally ventilated, values of air temperature and air relative humidity close to those found in the present study.

However, it is observed that in winter the temperature values inside the facility were below the thermal comfort threshold for laying hens. According to the Hy-Line Guide (2015), the ambient temperature that characterizes thermal comfort is between 18 and 24 °C and relative humidity between 40 and 60%, range this, bellow than that predicted by Ferreira (2015), which is 24 at 26 °C and 60 at 70%. In the summer, the N1 tier presented regions with temperature values within the thermal comfort range, which was not verified at N2 and N3 tiers.

The values of light intensity found inside the facility were affected by season of the year factor ($p < 0.01$) and time of day ($p < 0.001$) and by the interaction between them ($p < 0.05$). The average light intensity in winter was higher than the average in summer. The time of day of higher light intensity was around 12h00. The effect of the interaction between season of the year (E) and time of day (H) factors, on light intensity (lux) values inside the laying hen's facility is shown in Table 6.

Table 6: Effect of the interaction between season of the year (E) and time of day (H) factors, on light intensity (lux) values inside the laying hen's facility.

Variable		Interactions E x H		
Light Intensity (lux)		Winter	Summer	
		09:00	7724 (188.5) b A	4331 (407.7) a B
		12:00	10397 (1916.9) a A	4199 (874.4) a B
		15:00	7742 (294.6) b A	2993 (882.5) a B

*Means followed by the same letter do not differ statistically among each other, uppercase in rows and lower case in the column, by Tukey test at 5% probability.

In winter, due to the latitude of the site (22 ° 17 '45' 'S and 44 ° 56' 05 " W), there is a direct incidence of solar radiation in one side of the facility, which may be the cause of the high light intensity values measured. In the summer, there was no direct

incidence of radiation and the values of light intensity on the sides of the facility were statistically the same ($p < 0.001$).

The values of light intensity in winter and summer had a significant effect ($p < 0.001$) of the tier (N) and line (L) factors, and of the interaction N x L. The effect of the interaction in light intensity is given in Table 7.

Table 7: Comparison between the mean values of light intensity (lux) in summer and winter for the interaction N x L.

Seasons		Interaction N x L				
		L1	L2	L3	L4	L5
Winter	N1	65933 ± 6227.64 a A	23 ± 4.26 a B	14 ± 2.41 a B	33 ± 6.65 a B	3467 ± 283.87 a B
	N2	60653 ± 6856.13 b A	50 ± 7.88 a BC	20 ± 3.30 a C	32 ± 4.94 a C	4671 ± 495.28 a B
	N3	12313 ± 1625.16 c A	522 ± 44.53 a C	948 ± 70.02 a C	1520 ± 132.27 a	5759 ± 798.17 a B
		L1	L2	L3	L4	L5
Summer	N1	12200 ± 3328.26 a A	65 ± 37.70 a B	80 ± 48.37 a B	44 ± 31.82 a B	10420 ± 2911.86 a A
	N2	11053 ± 2546.07 ab A	102 ± 52.19 a B	85 ± 49.09 a B	63 ± 29.81 a B	10647 ± 2661.55 a A
	N3	8200 ± 1808.87 b A	212 ± 59.02 a B	301 ± 97.43 a B	1038 ± 180.43 a B	8473 ± 1683.04 a A

*Means followed by the same letter do not differ statistically among each other, uppercase in rows and lower case in the column, by Tukey test at 5% probability. N₁₋₃ – Tier and L₁₋₅ – Line.

It was verified that the values of light intensity were lower in the center (L2, L3 and L4) and higher in the lateral (L1, L5) of the facility, both in winter and summer. In the lower tiers of the cage batteries (N1 and N2) the intensity values measured were close to 30 lux, a value recommended in the Hy-Line Guide (2015) and above that recommended by Cotta (2014) and Jácome, Rossi and Borille, (2014). The spatial behavior of the light intensity at the three tiers (N1, N2, N3) in winter and summer is plotted in Figure 4.

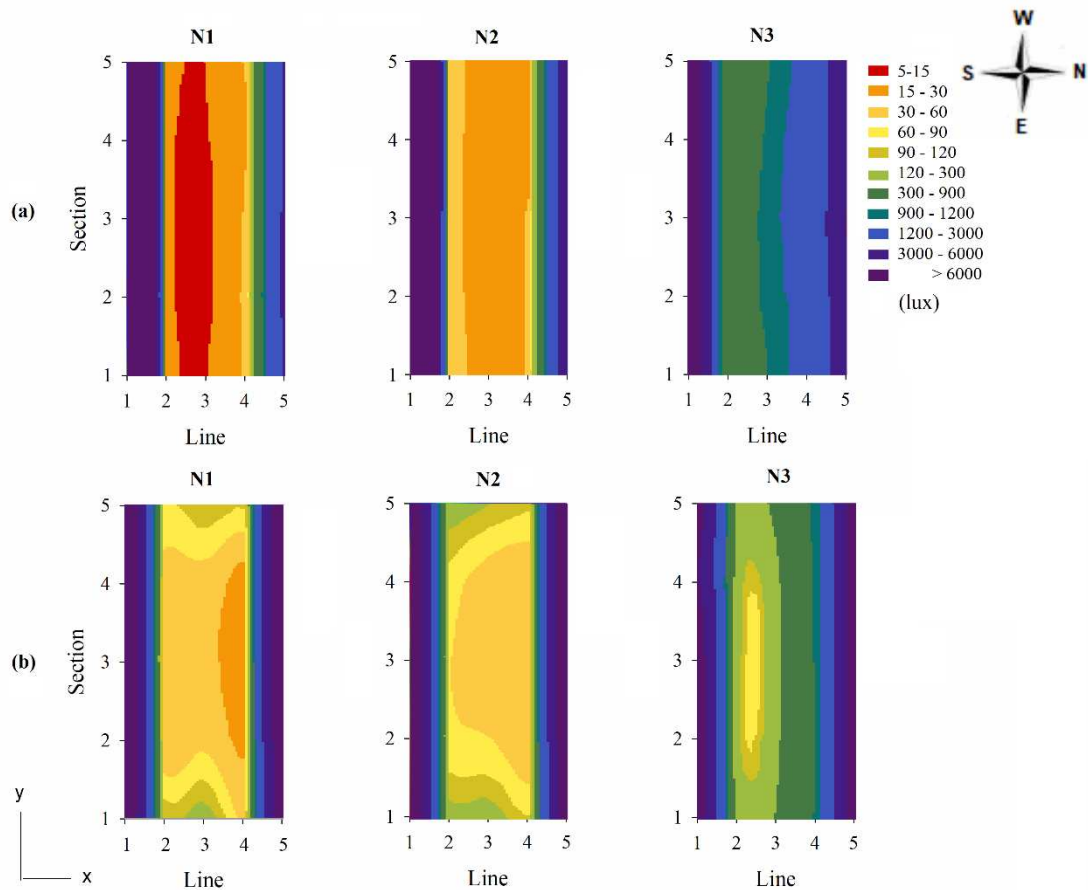


Figure 4: Spatial behavior of light intensity values, (a) in winter and (b) in summer.

The values of light intensity measured in the laying hen's facility were above the values found by Vitorasso and Pereira, (2009) in naturally ventilated facility. Yıldız et al. (2006) found that high variability in light intensity in the open facility may be responsible for the poor egg quality and performance. The authors suggested a light intensity supply with values between 35 and 55 lux in open facility, values these, found in the center of the aviary of the present study.

Ma et al. (2016) found that light intensity may influence feed intake. Feed intake decreased with increasing light intensity. The values evaluated were 1, 5, 15, 30 and 100 lux. Therefore, a variation of food intake can be expected in the studied facility, since there is a spatial variability of the values of light intensity.

The spatial behavior of the thermal conditions was used by Zhao et al. (2015) in a comparative study between a housing with vertical cage system, one with enriched cage and one without cages. The study was part of a multidisciplinary and multi-institutional project carried out by educational institutions, government agencies and private companies in the United States to obtain information on the thermal conditions

and air quality of these types of production systems. This project emphasizes the importance of the monitoring and spatial characterization of the breeding environment in the animal production.

CONCLUSIONS

The survey of the spatial behavior of the environmental conditions of laying hens facility is an effective tool to verify the magnitude of air temperature, air relative humidity and light intensity in a detailed way. Through the spatial behavior, it is possible to detect islands of heat and humidity and observe the dynamics of these variables in the facility.

The knowledge of the spatial behavior of the environment provides information that can be used to make decisions about the correct conditioning system to be implanted, its management and efficiency. In a tropical country, with a great climatic variability between regions, it is crucial to have information about the production environment, for it influences, directly and indirectly, the productivity and quality of eggs.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel (CAPES), the Foundation for Research Support of the State of Minas Gerais (FAPEMIG), the Department of Agricultural Engineering of the Federal University of Viçosa (DEA-UFV) and the Center for Research in Environment and Agroindustry Systems Engineering (AMBIAGRO) for the granting of a scholarship and financial aid, and also, the company where the experiment was carried out, for the partnership and assistance on the study.

REFERENCES

- ALBINO, L. F. T. et al. **Galinhas poedeiras: criação e alimentação**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014. 376p.
- BALAMURUGAN, B. et al. Effect of Global Warming on Livestock Production and Reproduction: An Overview. **Research & Reviews: Journal of Veterinary Science and Technology**, 6(3): 12-18, 2017.

BIAGGIONI, M. A. M. et al. Desempenho térmico de aviário de postura acondicionado naturalmente Thermal. **Ciências Agrárias**, 29(4): 961-972, 2008.

COELHO, D. J. R. et al. Mapeamento do ambiente térmico de aviários de postura abertos em sistema vertical de criação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 19(10): 996-1004, 2015.

COTTA, J. T. de B. **Galinha: produção de ovos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014. 250p.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2015. 526p.

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 Ciência Avícola**, 16(4): 337-344, 2014.

MA, H. et al. Assessment of lighting needs by W-36 laying hens via preference test. **Animal**, 10(4): 671-680, 2016.

NUNES, K. C. et al. Led como fonte de luz na avicultura de postura. **Enciclopédia Biosfera**, 9(17): 1765-1782, 2013.

PEREIRA, D. F. et al. Technical feasibility of the acclimatization system in aviary of posture: a case study. **Engenharia Agrícola**, 37(5): 855-866, 2017.

SILVA, L. F. et al. Índices bioclimáticos em aviários de postura em diferentes fases produtivas. **Caderno de Ciências Agrárias**, 9(3): 31-37, 2017.

SOUZA Jr, J. B. F. et al. The relationship between corn particle size and thermoregulation of laying hens in an equatorial semi-arid environment. **International Journal of Biometeorology**, 59(1): 121-125, 2015.

VITORASSO, G.; PEREIRA, D. F. Análise comparativa do ambiente de aviários de postura com diferentes sistemas de condicionamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 13(6):788-794, 2009.

YILDIZ, A. et al. Effects of Cage Location and Tier Level with Respect to Light Intensity in Semiconfined Housing on Egg Production and Quality During the Late Laying Period. **Journal of applied poultry research**, 15(3): 355-361, 2006.

ZHAO, Y. et al. Environmental assessment of three egg production systems – Part I: Monitoring system and indoor air quality. **Poultry Science**, 94(3): 518-533, 2015.

CAPÍTULO III

VARIABILIDADE ESPACIAL DA QUALIDADE EXTERNA DOS OVOS EM AVIÁRIOS VERTICAIS VENTILADOS NATURALMENTE

SPATIAL VARIABILITY OF EXTERNAL EGG QUALITY IN VERTICAL FACILITIES NATURALLY VENTILATED

RESUMO

A qualidade externa do ovo é um importante fator a ser considerado no setor de produção de ovos, por estar diretamente relacionado a perdas econômicas. O objetivo deste estudo foi avaliar a variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos, em aviários verticais ventilados naturalmente, causada pela diferença de idade das aves e condição térmica e luminosa do aviário, no inverno e verão tropical. Dados de temperatura, umidade relativa do ar, intensidade de luz e qualidade externa dos ovos foram coletados em 45 pontos distribuídos uniformemente no sentido longitudinal do aviário, em três andares de gaiolas (primeiro, terceiro e sexto). Cada ponto representava um conjunto de coordenadas (x, y, z) sendo no sentido do eixo x, as linhas (L1, L2, L3, L4, L5) eixo y, as seções (S1, S2, S3) e eixo z, os níveis (N1, N2, N3). O delineamento experimental adotado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial. Os maiores valores de temperatura e os menores valores de umidade relativa foram obtidos no nível N3. A intensidade de luz foi maior nas linhas L1 e L5. No verão, os menores valores de peso e índice de forma dos ovos foram observados no nível N3 e os maiores valores de peso e espessura da casca nas linhas L1 e L5. O estudo da variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos mostrou-se eficiente para detectar regiões do aviário com ovos de má qualidade e pode ser utilizado para auxiliar o manejo do setor produtivo e classificação dos ovos.

Palavras-chave: distribuição espacial, galinhas de postura, qualidade da casca do ovo, condições térmicas

ABSTRACT

The external quality of the egg is an important factor to be considered in the egg production sector because it is directly related to economic losses. The objective of this study was to evaluate the spatial variability of the external quality of the eggs, in facilities vertical cages naturally ventilated, caused by the difference the laying hens' age and by the thermal condition and light intensity of the facilities, in tropical winter and summer. Data of temperature, relative humidity, light intensity and egg external quality were collected in 45 points distributed evenly in the longitudinal direction of the facility in three-tier of cages (first, third and sixth). Each point represented a set of coordinates (x, y, z) being the x-axis, the lines (L1, L2, L3, L4, L5), y-axis, the sections (S1, S2, S3) and z-axis, the tiers (N1, N2, N3). The experimental design was completely randomized in a factorial scheme. The highest values of temperature and the lowest values of relative humidity were obtained at the N3 level. The light intensity was highest in lines L1 and L5. In summer, the lowest egg weight values and shape index was observed in the level N3 and the highest values of shell weight and shell thickness in the lines L1 and L5. The study of the spatial variability of the external quality of the eggs proved to be efficient to detect regions within the facility with eggs low quality and can be used to aid the management of the productive and egg classification sectors.

Palavras-chave: spatial distribution, laying hens, eggshell quality, thermal conditions

INTRODUÇÃO

A qualidade externa dos ovos é um importante fator a ser considerado no setor avícola de produção de ovos, por estar diretamente relacionada a perdas econômicas. O peso do ovo e o índice de forma são parâmetros utilizados para a classificação comercial dos ovos e os parâmetros de qualidade da casca, para detectar a propensão de perdas devido à quebra.

O índice de forma do ovo é definido como a relação entre a largura e o comprimento do ovo e possui uma correlação positiva com o peso do ovo ((DUMAN et al., 2016; KETTA; TŮMOVÁ, 2018). O índice de forma é utilizado para detectar ovos de forma incomum como ovos longos e redondos. Esses ovos, não se encaixam com firmeza nas caixas de ovos e, portanto, são mais propensos a serem quebrados durante o carregamento, do que os ovos de forma normal, ou seja, ovalados (DUMAN et al., 2016).

A idade das aves, condição térmica e intensidade luminosa do aviário são fatores que interferem na qualidade externa dos ovos. A idade das aves, produz um efeito positivo no peso dos ovos e efeito negativo no peso, porcentagem e espessura da casca (ONBAŞILAR; ÜNAL; ERDEM, 2018; SAMIULLAH et al., 2017). A temperatura do ar acima da zona de conforto térmico (FERREIRA, 2015) influencia negativamente a qualidade externa do ovo como verificado por Karami; Torki; Mohammadi (2018), Sahin et al. (2018), Torki; Karami; Mohammadi (2018), e seu efeito será maior quanto maior for a umidade relativa do ar no aviário (ALBINO et al., 2014).

A intensidade de luz afeta a qualidade externa dos ovos (MIN et al., 2012; RENEMA et al., 2001; YILDIZ et al., 2006; YILDIRIM et al., 2018; YURI et al., 2016) e para Cotta (2014) e Jácome, Rossi, Borille (2014), 10 lux de intensidade luminosa na gaiola (cabeça da ave) são necessários para a produção de ovos em aviários abertos.

O estudo do efeito simultâneo das condições térmicas e luminosas do interior do aviário e da idade das aves, pode fornecer informações relevantes sobre a região do aviário que produz ovos de pior qualidade. O presente estudo tem como objetivo avaliar variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos, em aviários verticais

ventilados naturalmente, causada pela diferença de idade entre as aves e pela condição térmica e luminosa do interior do aviário, no inverno e verão tropical.

MATERIAL E MÉTODOS

Características das instalações

O experimento foi realizado no mês de julho de 2016 (inverno) e janeiro de 2017(verão), em cinco aviários de alta densidade de galinhas poedeiras, com sistema vertical de gaiolas e ventilação natural, localizados na região sul do estado de Minas Gerais, Brasil, coordenadas geográficas 22° 17 ' 45" S e 44° 56' 05' 'W e altitude média de 892 m. Os aviários eram de estrutura metálica, cobertura de aço galvanizado não isolado, dimensões de 134,0 x 12,5 m (comprimento x largura), com 5,0 m de altura e lanternim de 1,2 m de largura.

As instalações abrigavam quatro baterias de gaiolas verticais, cada uma com seis andares. Cada gaiola tinha dimensões de 0,6 x 0,5 x 0,4 m (largura x profundidade x altura), abrigando dez aves por gaiola, com densidade média de 300 cm².ave⁻¹. Cada aviário da fazenda podia acomodar até 100000 galinhas poedeiras.

No inverno e verão, os aviários em estudo alojavam galinhas poedeiras Hy-Line W-36 nas idades de 43, 56, 69, 79 e 86 semanas. As idades das aves foram determinadas segundo o planejamento produtivo da granja, para que houvesse aves da mesma idade no inverno e verão. A localização dos aviários está disposta na Figura 1.

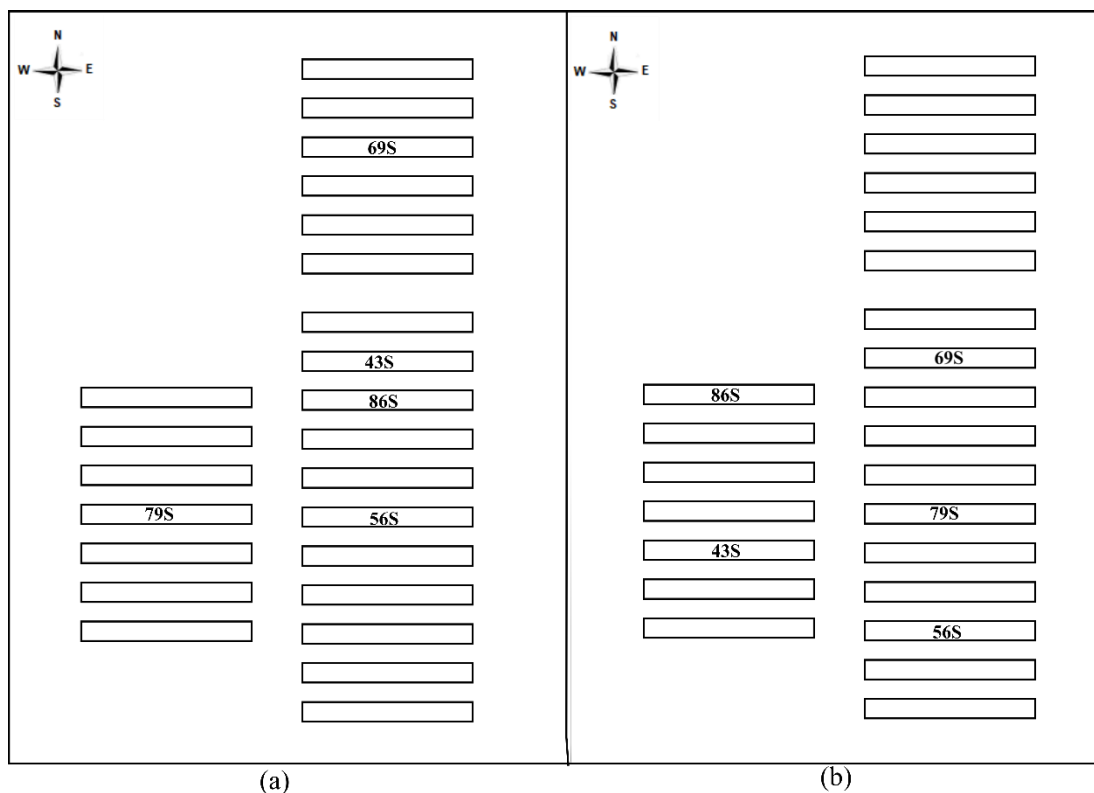


Figura 1. Esquema da localização dos aviários com galinhas nas idades de 43 semanas (43S), 56 semanas (56S), 69 semanas (69S), 79 semanas (79S) e 86 semanas (86S) (a) no inverno e (b) no verão.

O programa de luz adotado era de 16 horas de luz diária (natural e artificial), como recomendado no Manual de Manejo Hy-Line W-36 (2015). O fornecimento de ração era por meio de comedouros automáticos e a água por bebedouros tipo nipple, ambos ad libitum. A coleta/transporte de ovos e coleta/retirada de dejetos ocorria de forma mecanizada através de esteiras.

Condições térmicas e intensidade de luz

Nos cinco aviários em estudo foram instalados sensores de temperatura e umidade relativa do ar (HOBO U14-001, Onset Computer Corp., Bourne MA, USA), nas linhas L2 e L3 do nível N2 da seção S3 (Figura 2), durante seis dias do inverno e verão. Os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram mensurados durante o dia (06h00 às 18h00), a cada cinco minutos, para verificar a semelhança das condições térmicas entre os aviários.

Após verificar da semelhança entre as condições térmicas do interior dos aviários foi escolhido apenas um aviário para avaliar a distribuição espacial da condição térmica do mesmo. Foram instalados sensores de temperatura e umidade

relativa do ar (DHT11, D-Robotics, UK) em 45 pontos distribuídos uniformemente no sentido longitudinal e transversal deste aviário (Figura 2). Os dados de temperatura cinco minutos durante quatro dias do inverno e verão.

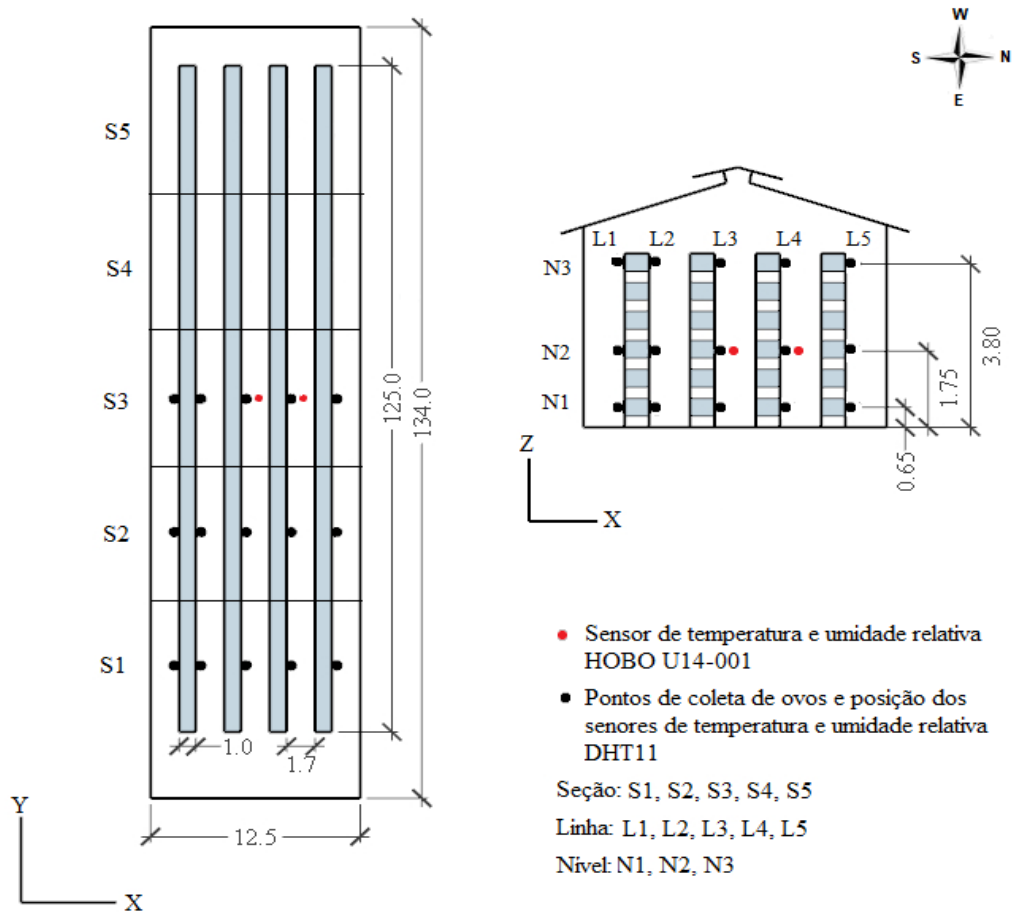


Figura 2: Localização espacial dos pontos de coleta dos ovos e dos sensores de temperatura ($^{\circ}\text{C}$) e umidade relativa do ar (%). Dimensões em metros.

Nos 45 pontos onde foram instalados os sensores de temperatura e umidade relativa (Figura 2), foram mensurados valores de intensidade de luz com uso do luxímetro (MLM-1011, MINIPA, São Paulo, Brasil) às 09h00, 12h00 e 15h00 horas, durante três dias.

Qualidade externa dos ovos

A análise da variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos no interior dos aviários foi realizada no inverno e verão, nos cinco aviários com galinhas nas idades de 43, 56, 69, 79 e 86 semanas. Os ovos foram coletados em 45 pontos, distribuídos no sentido vertical e longitudinal das instalações, durante quatro dias do inverno e verão.

Cada ponto de coleta representa um conjunto de coordenadas (x, y, z) sendo no sentido do eixo x, as linhas (L1, L2, L3, L4, L5), eixo y, as seções (S1, S2, S3), e eixo z, os níveis (N1, N2, N3), conforme Figura 2. Os níveis N1, N2 e N3 corresponderam a primeira, terceira e sexta gaiola das baterias.

No dia anterior à coleta dos ovos, foram instaladas barreiras entre as gaiolas e a esteira transportadora de ovos. Essas barreiras impediram a passagem dos ovos para a correia transportadora e, assim, garantiu-se que os ovos coletados fossem das gaiolas em estudo. A coleta de ovos foi realizada entre 7 e 8 horas da manhã, e logo após, as barreiras eram removidas. Este processo foi realizado durante os quatro dias de coleta e os ovos foram analisados após a coleta. Um intervalo de 24 horas foi assegurado entre a coleta dos dados climáticos e a coleta de ovos, para que a relação entre eles fosse significativa. No total foram analisados 45 ovos/dia em cada aviário, totalizando 900 ovos.

Os parâmetros de qualidade externa dos ovos avaliados foram: peso do ovo (g), índice de forma do ovo (%), peso de casca (g), porcentagem de casca (%) e espessura de casca (mm). O peso dos ovos foi obtido pela pesagem em balança digital com precisão de 0,01 g. O índice de forma dos ovos foi determinado pela relação entre o diâmetro menor do ovo (largura) e o diâmetro maior do ovo (comprimento), medidos com o paquímetro.

A gravidade específica foi determinada conforme a técnica citada por Hamilton (1982), na qual os ovos são mergulhados, um a um, em soluções salinas (NaCl) de densidades entre 1,050 a 1,100, com intervalos mínimos de 0,005 aferidas por um densímetro. Os ovos, ao flutuarem, foram classificados conforme sua gravidade específica.

As cascas foram lavadas em água corrente para retirada de resíduos do albúmen, pesadas individualmente em uma balança digital de precisão 0,01 g e secas em temperatura ambiente durante 24 horas. A porcentagem de casca foi calculada dividindo o peso da casca pelo peso do ovo. A espessura da casca foi obtida pela média dos valores medidos em três pontos da região equatorial da casca, com o auxílio de micrômetro externo, após secas por 24 horas.

Todos os procedimentos adotados no referido experimento estiveram de acordo com os princípios éticos de experimentação animal aprovados pela Comissão de Ética

no Uso de Animais (CEUA), da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil, com o protocolo de registro número 46/2016 (Anexo A).

Análise estatística

O delineamento adotado no estudo foi inteiramente casualizado e os dados submetidos a análise de variância e teste Tukey a 5% de probabilidade. O *Software R*, versão 3.4.1, foi utilizado para a análise estatística, o *Software Surfer*, versão 15.0, para a elaboração dos gráficos. A análise em esquema fatorial 2 x 5, com quatro repetições, foi adotado para verificar o efeito do fator estação do ano (inverno e verão) e idade das aves (43, 56, 69, 79 e 86 semanas) na qualidade externa dos ovos. A partir do resultado desta análise, foi determinada variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos no interior dos aviários no inverno e verão.

Para verificar a semelhança das condições térmicas dos aviários no inverno e verão, foi realizada uma análise de variância com os valores diurnos de temperatura e umidade relativa do ar, mesurados nos cinco aviários (tratamentos) durante seis dias (repetições). A partir do resultado desta análise, da localização geográfica dos aviários e das condições climáticas externa aos aviários, foi escolhido um dos aviários para determinar a distribuição espacial das condições térmicas do seu interior. Foi realizada uma análise em esquema fatorial 3 x 3 x 5, dos valores médios diurnos de temperatura e umidade relativa do ar mesurados em quatro dias de coleta (repetições). Os fatores corresponderam ao nível (N1, N2, N3), seção (S1, S2, S3) e linha (L1, L2, L3, L4, L5).

Neste mesmo aviário foi realizada a distribuição espacial da intensidade de luz, através da análise em esquema fatorial 3 x 3 x 5, dos valores médios da intensidade de luz mesurados às 09h00, 12h00 e 15h00 horas, nos três dias de coleta (repetições). Os fatores corresponderam ao nível (N1, N2, N3), seção (S1, S2, S3) e linha (L1, L2, L3, L4, L5).

A variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos no interior dos aviários, no inverno e verão, foi determinada pela análise em esquema fatorial 3 x 3 x 5, com quatro repetições (dias de coleta) dos parâmetros peso do ovo (g), índice de forma do ovo (%), gravidade específica (mg.L^{-1}), peso de casca (g), porcentagem de casca (%) e espessura de casca (mm). Os fatores corresponderam ao nível (N1, N2, N3), seção (S1, S2, S3) e linha (L1, L2, L3, L4, L5) conforme Figura 2. Cada ponto de coleta

correspondia a uma gaiola (unidade experimental) de onde foi retirado um ovo para a análise de qualidade externa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Pela análise de variância, verifica-se efeito significativo dos fatores estação do ano e idade das galinhas ($p < 0,001$), e a interação entre eles ($p < 0,01$), no peso dos ovos. O índice de forma e gravidade específica sofreram efeito significativo apenas do fator estação do ano ($p < 0,05$). Em relação a qualidade da casca, houve efeito significativo do fator estação do ano no peso da casca ($p < 0,001$) e espessura da casca ($p < 0,05$) e, do fator idade, na porcentagem da casca ($p < 0,01$). O efeito significativo dos fatores e da interação entre eles, nos parâmetros de qualidade dos ovos está disposto na Tabela 1.

Tabela 1: Efeito significativo dos fatores, estação do ano e idade das galinhas, e da interação entre eles, nos parâmetros de qualidade dos ovos.

Peso do ovo (g)						
Estação: Idade		36	48	60	72	84
Inverno	36	62,37 (0,53) a B	62,95 (0,29) a B	65,65 (0,83) a A	66,22 (0,80) a A	66,89 (0,62) a A
Verão	36	59,78 (0,93) b B	60,89 (0,4)1 a AB	60,73 (0,95) b AB	61,56 (0,75) b AB	62,50 (0,75) b A
Gravidade Específica g.mL⁻¹						
Estação	Inverno	Verão				
		1,086 (0,008) b	1,090 (0,004) a			
Idade (semanas)	36	48	60	72	84	
		1,089 (0,001) ns	1,090 (0,003) ns	1,089 (0,004) ns	1,084 (0,008) ns	1,087 (0,010) ns
Índice de forma do ovo (%)						
Estação	Inverno	Verão				
		76,19 (0,46) a	75,76 (0,81) b			
Idade (semanas)	36	48	60	72	84	
		76,04 (0,49) ns	76,51 (0,39) ns	75,95 (0,67) ns	75,75 (0,48) ns	75,63 (0,92) ns
Peso da casca (g)						
Estação	Inverno	Verão				
		5,93 (0,17) a	5,57 (0,12) b			
Idade (semanas)	36	48	60	72	84	
		5,63 (0,20) ns	5,73 (0,13) ns	5,82 (0,29) ns	5,79 (0,19) ns	5,77 (0,26) ns
Porcentagem de casca (%)						
Estação	Inverno	Verão				
		9,16 (0,22) ns	9,13 (0,20) ns			
Idade (semanas)	36	48	60	72	84	
		9,22 (0,17) ab	9,28 (0,14) a	9,22 (0,13) ab	9,08 (0,14) ab	8,94 (0,23) b
Espessura da casca (mm)						
Estação	Inverno	Verão				
		0,421 (0,065) a	0,381 (0,031) b			
Idade (semanas)	36	48	60	72	84	
		0,391 (0,043) ns	0,424 (0,062) ns	0,391 (0,039) ns	0,385 (0,032) ns	0,413 (0,074) ns

* Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Verifica-se que as aves mais velhas produziram ovos de maior peso. Com o aumento da idade, as galinhas produzem folículos maiores (ALMEIDA et al., 2006) e possuem uma maior capacidade de transferência de lipídios para a gema (BURNHAM et al., 2001) o que resulta em ovos mais pesados. Essa relação crescente entre a idade das galinhas e o peso dos ovos foram observados recentemente por Dirkmen et al. (2017); Samiullah et al. (2017); Onbaşilar; Ünal; Erdem (2018).

A influência das condições térmicas encontradas no interior dos aviários, foi mais acentuada nas galinhas com idades de 69, 79 e 86 semanas. Nessas idades, verifica-se um decréscimo significativo do peso dos ovos no verão, em relação ao

inverno. Aves em ambientes com altas temperaturas, reduz a ingestão de alimento, que pode ocasionar alterações metabólicas (ALBINO et al., 2014) e consequentemente, a redução da qualidade dos ovos.

A gravidade específica foi pouco influenciada pelas condições climáticas do inverno e verão. O valor médio de gravidade específica obtido no inverno foi de 1,086 g.mL⁻¹ no inverno e 1,090 g.mL⁻¹ no verão, valores estes, maiores que os obtidos por Torki et al. (2018) ao submeterem galinhas poedeiras ao estresse por frio (17 °C) e por calor (32 °C).

O índice de forma é afetado diretamente pelo peso do ovo, e indiretamente pelas condições térmicas do inverno e verão. Em temperaturas mais amenas as galinhas tendem a ingerir e metabolizar melhor os alimentos, produzindo ovos mais pesados. Esses ovos concentram albúmen (parte densa do ovo) na região central (largura), o que confere um maior índice de forma (DUMAN et al., 2016).

Os valores de espessura de casca variaram entre as estações do ano. No verão as cascas foram mais finas que no inverno. Em ambientes com elevada temperatura, ocorre na ave uma hiperventilação pulmonar, devido ao aumento da frequência respiratória. A hiperventilação pulmonar gera uma redução dos níveis de HCO₃ e CO₂ no sangue, que provoca o aumento do pH sanguíneo e a alcalose respiratória. Como consequência, há uma redução da síntese de carbonato de cálcio necessário para a formação da casca (COTTA, 2014; FOUAD et al., 2016) o que as tornam mais finas e com menor peso.

Os ovos das aves com idade de 56 semanas apresentaram porcentagem de casca maior que os ovos de galinhas com 86 semanas de idade. Com o avanço da idade há uma menor absorção intestinal de cálcio e maior retirada de cálcio para os ossos. Como consequência, o teor de cálcio disponível para a formação da casca diminui reduzindo seu peso (COTTA, 2014). Portanto as aves mais velhas tendem a produzir ovos mais pesados e casca mais leves, tendo uma baixa porcentagem de casca, como verificado por Dikmen et al. (2017); Samiullah et al. (2017).

No inverno, os valores médios diurnos de temperatura e umidade relativa do ar mensurados nos cinco aviários estudados, não foram significativos ($p > 0,05$). No verão, os valores médios diurnos de temperatura no interior dos aviários foram iguais ($p > 0,05$) e os valores médios de umidade relativa do ar diferentes ($p < 0,05$), conforme Tabela 2.

Tabela 2: Valores médios diurnos de temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%) no interior dos aviários de galinhas poedeiras no inverno e verão.

Aviários	Temperatura (°C)		Umidade Relativa (%)	
	Inverno	Verão	Inverno	Verão
Aviário 43S	21,80 (0,97)	26,22 (0,54)	58 (3,00)	64 (1,72) b
Aviário 56S	21,90 (0,94)	27,09 (0,56)	57 (2,75)	67 (1,51) a
Aviário 69S	21,22 (0,97)	26,87 (0,51)	61 (2,62)	68 (1,59) a
Aviário 79S	22,19 (0,84)	26,89 (0,52)	56 (2,62)	66 (1,59) ab
Aviário 86S	21,41 (0,90)	26,75 (0,48)	59 (2,98)	68 (1,40) a

* Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O valor médio diário de temperatura e umidade relativa do ar no interior dos aviários no inverno, foi de 21,70 °C e 58%, respectivamente, e no verão, 26,76 °C e 66%. A variação da umidade relativa entre os aviários no verão, pode ser devido à predominância de chuvas e ventos no sentido Noroeste, que direcionavam o ar úmido para o interior do aviário, principalmente na região final dos aviários (Figura 1). No inverno, os ventos estavam direcionados no sentido Sul, incidindo diretamente nos aviários com as laterais expostas (Figura 1). Esses aviários, impediam a passagem do vento para os demais, gerando uma homogeneidade da umidade relativa no interior dos mesmos.

Devido a interferência dos ventos dominantes, a posição geográfica dos aviários e a diferença estatística observada da Tabela 1, foi escolhido o aviário 43S para avaliação da variabilidade espacial das condições térmicas no seu interior, sendo analisado os valores de temperatura e umidade relativa do ar entre os níveis, linhas e seções (Figura 1). Os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, no inverno e verão, variaram em relação aos níveis (N), linhas (L) e interação N x L ($p < 0,001$), conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Comparação entre os valores médios de temperatura (°C) e umidade relativa do ar (%) obtidos no aviário 43S, no inverno e verão, para a interação entre os fatores nível (N) e linha (L).

		Temperatura (°C)				
		L1	L2	L3	L4	L5
Inverno	N1	19,65 (2,80) a A	21,74 (1,54) a A	21,28 (1,15) a A	19,13 (0,94) b A	19,22 (1,94) a A
	N2	20,91 (1,99) a A	22,29 (1,39) a A	22,48 (1,14) a A	22,29 (1,62) a A	20,10 (1,71) a A
	N3	20,86 (1,79) a B	21,24 (1,30) a AB	22,21 (1,30) a AB	23,82 (1,90) a A	19,91 (0,88) a B
		L1	L2	L3	L4	L5
Verão	N1	24,12 (1,65) b BC	25,63 (1,71) b A	25,19 (1,99) b AB	24,65 (1,58) b AB	23,50 (1,46) a C
	N2	25,88 (0,93) a AB	26,32 (1,42) b A	25,83 (0,81) b AB	25,12 (1,66) b BC	24,09 (1,10) a C
	N3	24,60 (0,69) b C	28,25 (1,13) a AB	27,31 (2,06) a B	28,70 (0,74) a A	23,03 (0,83) a D
		Umidade Relativa (%)				
		L1	L2	L3	L4	L5
Inverno	N1	48 (5,10) a B	44 (4,70) a BC	39 (5,08) a C	42 (5,09) a BC	56 (6,13) a A
	N2	43 (3,92) a B	33 (4,51) b C	35 (4,60) a C	37 (4,11) a BC	52 (7,14) a A
	N3	46 (4,86) a AB	37 (4,29) ab BC	34 (5,12) a C	38 (4,14) a BC	50 (6,74) a A
		L1	L2	L3	L4	L5
Verão	N1	65 (6,67) a AB	57 (6,10) a CB	54 (4,94) a C	59 (3,83) a BC	67 (3,35) a A
	N2	62 (6,40) ab A	53 (5,70) a B	50 (4,00) a B	60 (7,25) a A	61 (8,08) a A
	N3	59 (6,76) b AB	51 (6,45) a C	50 (1,95) a C	55 (2,60) a BC	64 (4,60) a A

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A interação entre os níveis e linhas foi significativa ($p < 0,001$), e pode ser visualizada através da distribuição espacial dos valores de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos no interior do aviário 43S, em corte transversal (linhas x níveis), como apresentado na Figura 3.

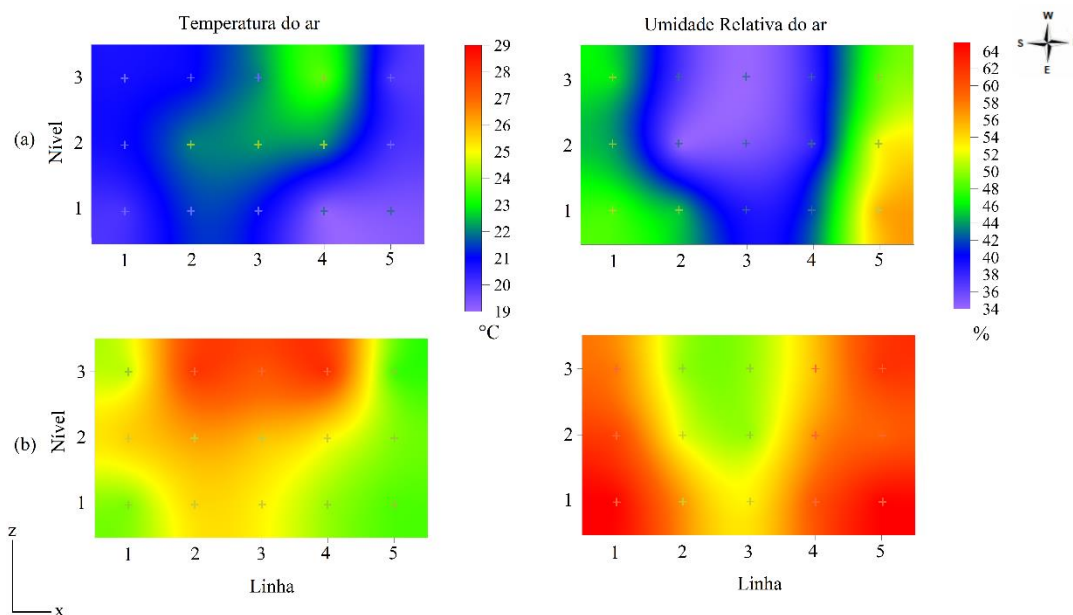


Figura 3. Distribuição espacial, em corte transversal, dos valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar obtidos no interior do aviário com galinhas de 43 semanas de idade (43S), no inverno (a) e verão (b).

No interior do aviário durante o inverno, os valores de temperatura do ar no nível N1 variaram entre 19 e 21 °C, sendo os maiores valores obtidos nas linhas L2 e L3. No nível N2, verificou-se um aumento de temperatura nas linhas centrais do aviário (L2, L3 e L4) com valores em torno dos 22 °C. No Nível N3 o calor se concentrou em torno da linha L4, onde foi mesurado o valor de 23 °C.

Os valores de umidade relativa do ar no inverno foram baixos e variaram entre 34 e 56%. O ar seco concentrou-se nas linhas L2, L3 e L4 dos níveis N2 e N3, com valores em torno de 35%. As linhas L1 e L5, devido à proximidade com o ambiente externo ao aviário, apresentaram valores de umidade relativa do ar maiores, entre 44 e 56%.

No verão, os menores valores de temperatura do ar foram mensurados nas linhas L1 e L5 em todos os níveis. O ar quente se concentrou nas linhas centrais do aviário, sendo os maiores valores de temperatura, entre 27 e 28 °C, obtidos no nível N3. A umidade relativa do ar esteve em torno de 50 a 65% e o ar seco, assim como no inverno, se concentrou nas linhas L2, L3 e L4 dos níveis N2 e N3, com valores entre 50 e 57%.

Zhu et al. (2015) observaram que elevados valores de temperatura, em torno de 28 °C e baixos valores de umidade relativa do ar, entre 37 e 53%, comprometem o metabolismo alimentar, e conseqüentemente a qualidade dos ovos. Em condições de

estresse por calor, há uma redução das concentrações de vitaminas, minerais e insulina disponíveis para o metabolismo, assim como o aumento na excreção mineral (TORKI; KARAMI; MOHAMMADI, 2018), o que faz com que as galinhas produzam ovos de baixa qualidade.

A variabilidade da intensidade de luz no aviário 43S foi obtida no inverno e verão. Houve efeito significativo das linhas, níveis e da interação entre eles ($p < 0,001$) nos valores médios de intensidade de luz conforme Tabela 4.

Tabela 4: Comparação entre os valores médios de intensidade de luz (lux) obtidos no aviário 43S, no inverno e verão, para a interação N x L.

N x L		L1	L2	L3	L4	L5
Inverno	N1	52630 (4647) a A	20 (1) a B	11 (2) a B	32 (3) a B	3402 (384) a B
	N2	49607 (5389) a A	43 (7) a B	18 (4) a B	29 (4) a B	4341 (418) a B
	N3	9904 (878) b A	448 (24) a B	784 (55) a B	1300 (59) a B	5002 (462) a B
Verão	N1	10626 (2291) a A	54 (4) a B	64 (48) a B	39 (25) a B	9893 (2535) a A
	N2	10656 (2175) a A	82 (46) a B	74 (78) a B	56 (37) a B	10385 (2326) a A
	N3	7056 (998) b A	170 (73) a B	229 (77) a B	880 (151) a B	7774 (1545) a A

* Médias seguidas pela mesma letra, maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Observa-se que os valores de intensidade luminosa foram menores no centro (L2, L3 e L4) e maiores nas laterais (L1, L5) do aviário, tanto no inverno quanto no verão. No inverno apenas a linha L3 nível N1 apresentou valor médio de intensidade de luz próximo de 10 lux, valor este, recomendado por Cotta (2014) e Jácome, Rossi, Borille, (2014).

Os altos valores de intensidade luz verificados no inverno na linha L1, pode ser explicado pela incidência direta dos raios solares devido a latitude do local (22° 17' 45" S e 44° 56' 05" W). No verão, não ocorre a incidência direta de radiação e os valores de intensidade luminosa na linha L1 foram abaixo dos mensurados no inverno.

A variabilidade das condições térmicas dos aviários, no inverno e verão, afetou a qualidade dos ovos. A distribuição espacial da qualidade dos ovos foi realizada nos aviários que alojavam galinhas com idade de 43 e 86 semanas, ou seja, aviário 43S e 86S. Esses aviários foram escolhidos para a análise da distribuição espacial, devido a relevância da diferença estatística entre eles conforme observado na Tabela 1.

No aviário 43S, houve diferença significativa entre o peso dos ovos obtidos nas linhas ($p < 0,1$) e níveis ($p < 0,1$) no inverno, e entre níveis ($p < 0,001$) no verão. No aviário 86S, os fatores linha ($p < 0,01$) e nível ($p < 0,1$) e a interação linha x Nível ($p < 0,01$) foram significativos no inverno, assim como nos os os fatores linha ($p < 0,01$) e nível ($p < 0,05$) e a interação linha x Nível ($p < 0,05$) no verão. O efeito dos fatores nível (N) e linha (L), nos valores médios de peso do ovo (g) obtidos nos aviários 43S no inverno e verão e o efeito da interação N x L médios de peso do ovo (g) obtidos nos aviários 86S, no inverno e verão, são dispostos na Tabela 5.

Tabela 5: Comparação entre os valores médios de peso do ovo (g) obtidos nos aviários 43S e 86S, no inverno e verão, para os fatores nível (N) e linha (L) e interação N x L.

Peso do ovo (g)						
Aviário 43S						
Inverno	Nível (N)	N1	N2	N3		
		63,42 (4,78) a	61,77 (4,30) b	61,92 (4,39) ab		
	Linha (L)	L1	L2	L3	L4	L5
		62,62 (4,01) ab	63,18 (4,20) a	60,65 (4,88) b	61,83 (4,02) ab	63,58 (4,98) a
Verão	Nível (N)	N1	N2	N3		
		61,81 (4,29) a	60,54 (4,56) a	56,98 (4,47) b		
	Linha (L)	L1	L2	L3	L4	L5
		60,16 (5,57) ns	61,06 (4,32) ns	59,31 (4,33) ns	58,27 (4,66) ns	60,06 (4,99) ns
Aviário 86S						
Inverno	N x L	L1	L2	L3	L4	L5
	N1	65,92 (4,99) a A	69,95 (3,91) b A	68,01 (3,95) a A	66,86 (6,63) a A	69,73 (4,32) a A
	N2	67,08 (5,31) a A	66,22 (6,89) ab A	66,06 (4,65) a A	64,78 (2,60) a A	68,77 (7,62) a A
	N3	71,78 (7,36) a A	61,78 (7,42) a B	63,30 (3,84) a B	64,16 (4,75) a AB	68,98 (6,97) a AB
Verão	N x L	L1	L2	L3	L4	L5
	N1	65,75 (3,76) a A	62,08 (4,16) a A	62,94 (3,01) a A	60,83 (3,43) ab A	63,44 (5,90) a A
	N2	65,91 (5,48) a A	62,34 (3,88) a A	61,66 (4,73) a A	63,71 (3,70) a A	62,84 (3,27) a A
	N3	62,28 (5,89) a AB	64,33 (3,99) a A	59,72 (3,20) a A	56,41 (4,28) b B	63,26 (5,53) a A

* Médias seguidas pela mesma letra maiúsculas na linha e minúsculas na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No aviário 43S (galinhas com 43 semanas de idade), verifica-se que os ovos do nível N1 foram os mais pesados tanto no inverno quanto no verão, e a diferença de peso entre eles foi de aproximadamente 2 gramas. No aviário 86S (galinhas com 86 semanas de idade) os ovos mais pesados também foram obtidos no nível N1 e diferença de peso entre os ovos foi de aproximadamente 6 gramas.

A variabilidade dos valores do peso dos ovos foi mais acentuada no 86S, devido a influência das condições térmicas e idade da ave. No inverno, os ovos de maior peso foram obtidos nas linhas L1 e L5 e no verão, na linha L1. A diferença entre os valores

de peso dos ovos, nas linhas e níveis pode ser visualizada, por meio da distribuição espacial, em corte transversal, conforme a Figura 4.

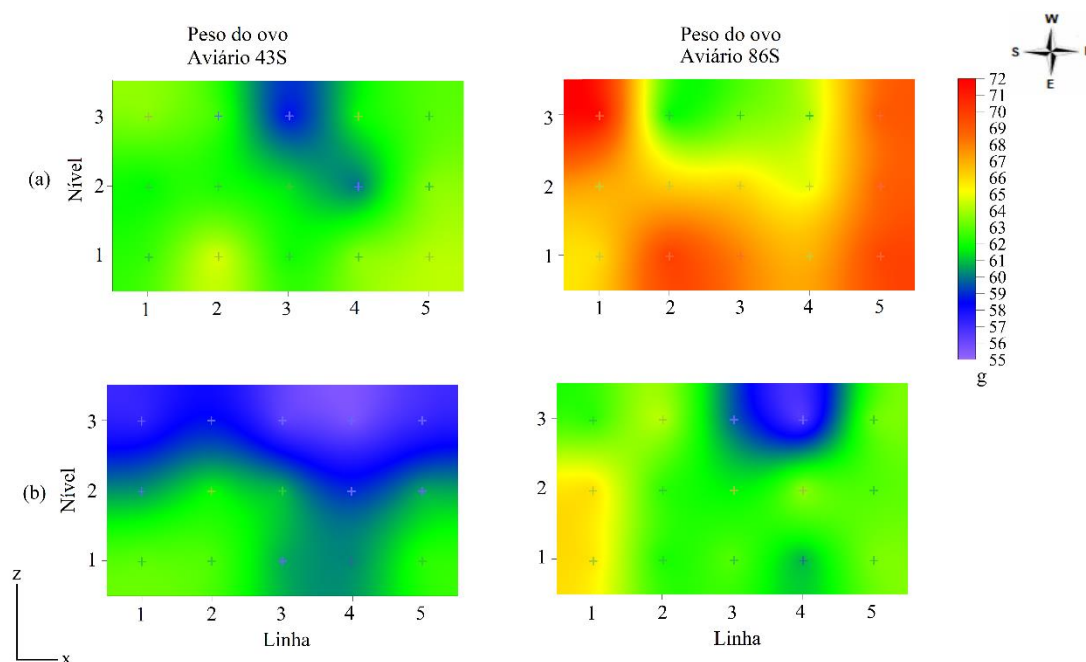


Figura 4. Distribuição espacial, em corte transversal, dos valores de peso dos ovos no aviário com galinhas na idade de 43 semanas (43S) e no aviário com galinhas na idade de 86 semanas (86S) obtidos no inverno (a) e verão (b).

Através da análise conjunta da Figura 3 e 4, verifica-se que os maiores valores de peso dos ovos estavam na região dos aviários com temperaturas dentro da zona de conforto térmico proposta por Ferreira (2015). No inverno, os valores de temperatura do ar no interior dos aviários, estavam entre 19 e 23,5 °C, ou seja, dentro da zona de conforto. Os menores valores de peso dos ovos, variaram entre 59 e 61 g, no aviário 43S, e entre 62 e 66 no aviário 86S. Akbari; Torki; Kaviani (2016) submeteram galinhas com idade de 42 semanas, a condição de estresse por frio ($6,8 \pm 3,0$ °C) e verificaram ovos com peso próximos aos encontrados pelo presente estudo no aviário 43S, onde as aves alojadas possuíam a idade de 43 semanas e a condição térmica era caracterizada como termoneutra.

No verão, os menores valores de peso de ovos, variaram entre 56 e 60 g (Figura 4), e concentraram no nível N3 dos aviários. Nesse nível, foram mensurados valores de temperatura entre 27 e 28 °C, ou seja, fora da zona de conforto (Figura 3). Karami; Torki; Mohammadi (2018) criaram galinhas entre 42 e 45 semanas de idade, em ambiente com temperatura de 32 °C e obtiveram ovos com peso médio de 58 g, valor esse, próximo ao encontrado no aviário 43S do presente estudo.

A área com ovos de menor peso no aviário 86S no verão, foi menor que a área observada no aviário 43S (Figura 4b). Esse fato pode ser explicado pela aclimação das aves ao calor. Mashaly et al. (2004) submeteram aves com 31 semanas de idade a ambiente com temperatura do ar de 35 °C, durante cinco semanas e verificaram um decréscimo no peso do ovo apenas na primeira semana e manutenção deste peso até a quinta semana. Portanto, as galinhas mais velhas ao sofrerem estresse por calor durante um período maior de tempo, passam por um processo de aclimação, que reduz o efeito das altas temperaturas na qualidade dos ovos, quando comparado com as aves jovens (CURTIS, 1983).

A distribuição espacial da gravidade específica no interior dos aviários sobreu variação significativa no inverno. O nível N1 apresentou os maiores valores de gravidade específica ($p < 0.1$) com média de 1,091 g.mL⁻¹ e o nível N3 os menores valores, com média de 1,085 g.mL⁻¹. No verão a distribuição espacial foi homogênea e não houve variações significativas entre os níveis, linhas e seções. A média dos valores de gravidade específica foi de 1,092 g.mL⁻¹ no nível N1 e de 1,89 g.mL⁻¹ no nível N3.

A influência das condições térmicas do inverno e verão nas características geométricas dos ovos foram analisadas através da distribuição espacial dos valores do índice de forma do ovo. Houve diferença significativa entre os valores do índice de forma do ovo obtidos entre os níveis no inverno ($p < 0,05$) e verão ($p < 0,01$).

No inverno, maiores valores de índice de forma foram obtidos no nível N2, sendo a média de 76,44 (0,96)%, e os menores valores nos níveis N1 e N3, com média de 76,01 (1,16)% e 75,93 (1,16)%, respectivamente. No verão, os maiores valores de índice de forma foram obtidos no nível N1, com média de 76,18 (1,30)%, e os menores valores no nível N3, com média de 75,37 ± 4,33%. A diferença entre os valores médios de índice de forma do ovo, no interior dos aviários, pode ser observada pela distribuição espacial, em corte transversal, conforme Figura 5.

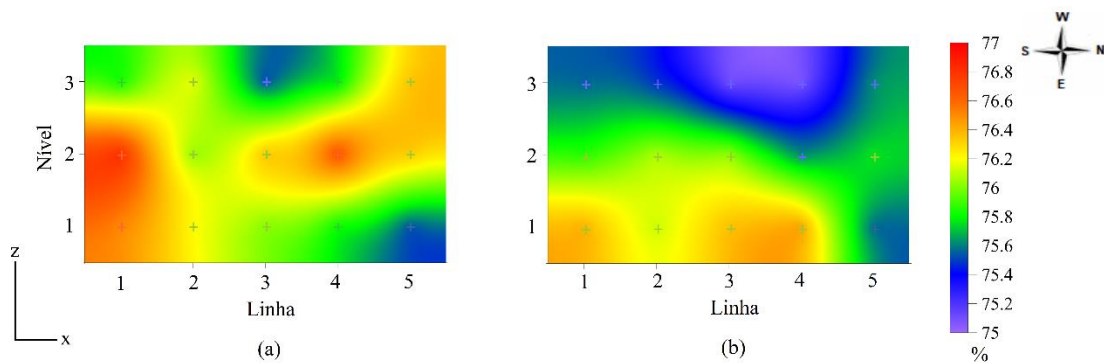


Figura 5. Distribuição espacial, em corte transversal, dos valores médios de índice de forma do ovo obtidos no aviários no inverno (a) e verão (b).

Os maiores valores de índice de forma, em torno de 76%, obtidos no inverno concentraram-se no nível N2, onde a temperatura do ar média foi em torno de 23 °C (Figura 3). No verão, a concentração dos menores valores de índice de forma, 75%, foi verificada na região do aviário com valores de temperatura do ar entre 27 e 28 °C, fora da faixa de conforto térmico para as galinhas (Figuras 3).

O valor de índice de forma do ovo encontrado no inverno, foi 1% maior que o valor do índice de forma verificado por Oguz et al. (2017) a temperatura ambiental de 18 °C e 1% menor que o valor encontrado por Akbari; Torki; Kaviani (2016) a condição de estresse por frio (6,8 °C). Os índices de forma encontrados no inverno e verão, foram 2% maiores que os obtidos por Torki; Karami; Mohammadi (2018) ao submeteram galinhas a ambientes em condição termoneutra (17 °C) e 4% maior que os obtidos em estresse por calor (32 °C), o que mostra a influência das condições térmicas no índice de forma.

O índice de forma é um indicativo de qualidade e usado para classificação dos ovos em relação ao tamanho. Os ovos podem ser classificados segundo sua forma em longo, normal e redondo. Os ovos longos possuem índice de forma menor que 72, os ovos normais entre 72 e 76 e ovos redondos maior que 76 (SHAKER et al., 2017). O presente estudo obteve ovos normais, ou seja, ovalados uma vez que o índice de forma foi entre 75 e 76%.

A influência das condições térmicas do inverno e verão, sobre a qualidade da casca, foi analisado através da distribuição espacial do peso e espessura da casca no interior do aviário. Para o peso da casca, o efeito dos níveis ($p < 0,001$) e linhas ($p < 0,001$) foi significativo no inverno e verão. Para a espessura da casca, apenas o feito

das linhas ($p < 0,1$) foi significativo no verão. O efeito dos fatores níveis (N) e linhas (L) no peso e espessura de casca estão dispostos na Tabela 6.

Tabela 6: Comparação entre os valores médios de peso da casca (g) e espessura da casca (mm) obtidos nos aviários no inverno e verão, para os fatores nível (N) e linha (L).

		Peso da casca (g)				
Inverno	Nível (N)	N1	N2	N3		
	Linha (L)	6,06 (0,36) a	5,94 (0,34) ab	5,78 (0,25) b		
Verão	Nível (N)	N1	N2	N3		
	Linha (L)	5,72 (0,32) a	5,58 (0,27) ab	5,41 (0,26) b		
Inverno	Nível (N)	L1	L2	L3	L4	L5
	Linha (L)	6,04 (0,32) a	5,99 (0,27) ab	5,65 (0,24) c	5,77 (0,25) bc	6,19 (0,31) a
Verão	Nível (N)	L1	L2	L3	L4	L5
	Linha (L)	5,71 (0,34) a	5,63 (0,25) ab	5,41 (0,23) b	5,48 (0,30) ab	5,62 (0,34) ab
		Espessura da casca (mm)				
Inverno	Nível (N)	N1	N2	N3		
	Linha (L)	0,426 (0,053) ns	0,419 (0,050) ns	0,417 (0,052) ns		
Verão	Nível (N)	L1	L2	L3	L4	L5
	Linha (L)	0,428 (0,057) ns	0,422 (0,056) ns	0,413 (0,053) ns	0,417 (0,048) ns	0,424 (0,041) ns
Inverno	Nível (N)	N1	N2	N3		
	Linha (L)	0,387 (0,034) ns	0,378 (0,030) ns	0,378 (0,031) ns		
Verão	Nível (N)	L1	L2	L3	L4	L5
	Linha (L)	0,393 (0,035) a	0,384 (0,032) ab	0,369 (0,025) b	0,378 (0,033) ab	0,381 (0,030) ab

* Médias seguidas pela mesma letra minúsculas na linha, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O valor médio do peso da casca foi de 5,93 g no inverno, e 5,57 g no verão. Os maiores valores foram obtidos no nível N1 e nas linhas L1 e L5. Os valores de espessura de casca variaram entre as linhas no verão, sendo os maiores valores obtidos na linha L1. No inverno o valor médio de espessura da casca foi de 0,421 mm, e no verão, 0,381 mm. A variabilidade entre os valores médios de peso e espessura da casca, no interior dos aviários, pode ser observada pela distribuição espacial, em corte transversal, conforme Figura 6.

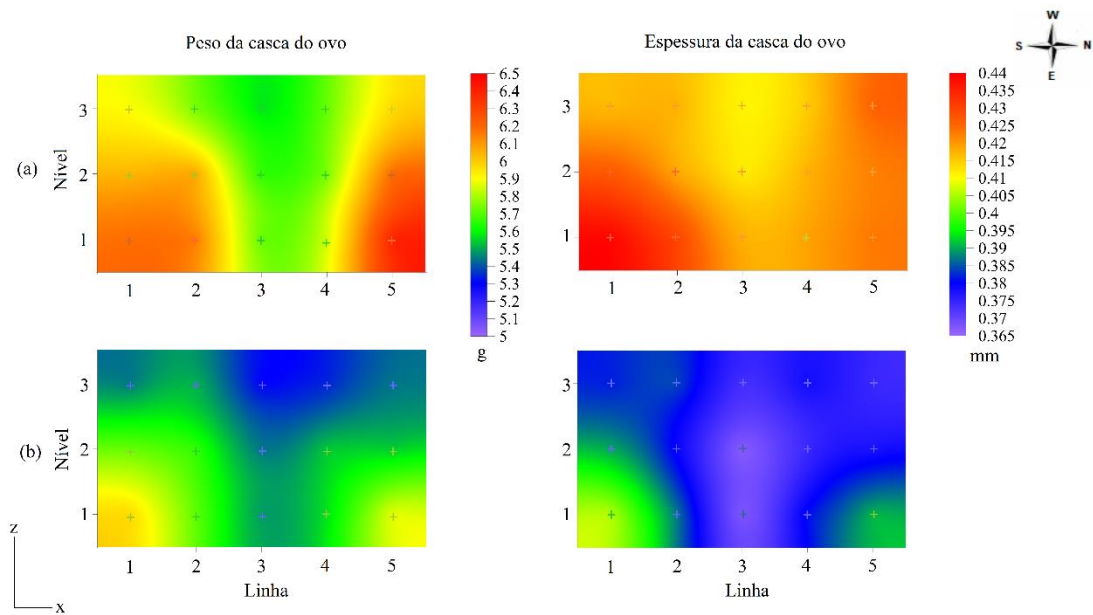


Figura 6. Distribuição espacial, em corte transversal, dos valores médios de peso e espessura da casca nos aviários obtidos no inverno (a) e verão (b).

No inverno, verificou-se uma variação espacial dos valores de peso de casca no interior dos aviários. Os maiores valores de peso de casca foram obtidos na região dos aviários onde foram mensurados os menores valores de temperatura do ar (L1 e L5), conforme Figura 6. A variação espacial da espessura de casca não foi significativa no inverno (Tabela 6), porém, verifica-se que os maiores valores de espessura de casca se encontram na região com maior peso de casca. Esses valores de peso e espessura da casca obtidos no inverno, foram maiores que os verificados por Netto et al. (2018), Sahin et al. (2018), Toriki; Karami; Mohammadi (2018), Yan; Murugesan; Cheng (2018) e próximo dos obtidos por Samiullah et al. (2017) em condição ambiental termoneutra.

No verão, os menores valores de peso e espessura de casca foram obtidos na região dos aviários onde foram mensurados os maiores valores de temperatura do ar, ou seja, no nível N3, linhas L3 e L4 (Figura 6). Nessa região o valor da temperatura do ar estava entre 27 e 28 °C e os valores de peso e espessura de casca obtidos foram de 5,3 g e 0,368 mm, respectivamente. O valor de espessura da casca obtido, corrobora com os valores verificados por Karami; Toriki; Mohammadi (2018), Sahin et al. (2018), Toriki; Karami; Mohammadi (2018), em ambientes com valores de temperatura de 32 °C e 34 °C.

Referente ao efeito da intensidade de luz na qualidade externa dos ovos, verifica-se ovos de maior peso e maior peso de casca nas linhas L1 e L5 (Figuras 4 e 6) onde foram determinados os maiores valores de intensidade de luz (Tabela 4). Esse resultado foi contrário aos verificados por Renema et al. (2001). Ao analisar o peso dos ovos (Figura 4), espessura de casca (Figura 6) e intensidade de luz (Tabela 4) em relação aos níveis das linhas internas (L2, L3 e L4) do aviário, observa-se que há uma redução do peso dos ovos e espessura de casca com o aumento da intensidade luminosa do nível N1 para o nível N3, conforme observado por Yildiz et al. (2006).

Os valores de peso dos ovos na região do aviário com intensidade luminosa de 11 lux (Tabela 4) foi de 62 gramas (Figura 4), valor acima dos obtidos por Yuri et al. (2016) e Yildirim et al. (2018) ao submeterem galinhas a intensidade de 15 lux. Min et al. (2012) submeteram galinhas a ambiente de 20 lux e obtiveram ovos com peso médio de 60,94 gramas, valor abaixo do obtido na região do aviário em estudo com intensidade de luz de 20 lux que foi de 64 gramas.

CONCLUSÃO

O estudo da variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos mostrou-se eficiente para detectar regiões no interior do aviário onde há predominância de ovos de baixo peso, forma não oval e com baixa qualidade de casca. Essas informações foram obtidas levando em consideração a influência da idade da galinha e das condições térmicas do interior do aviário em períodos do ano com temperaturas amenas (inverno) e altas (verão), o que torna os resultados obtidos sobre a qualidade externa dos ovos ainda mais relevantes.

A variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos foi mais significativa no verão independentemente da idade da galinha. Os valores do peso do ovo e qualidade da casca foram menores no nível superior das baterias de gaiolas localizadas no centro do aviário.

A intensidade de luz no aviário apresentou uma grande variabilidade e seu efeito na qualidade externa dos ovos não foi tão evidente quanto o efeito das condições térmicas na qualidade externa dos ovos. Estudos detalhados a este respeito devem ser realizados para se obter o atual valor de intensidade de luz que pode causar efeito negativo na qualidade dos ovos em aviários abertos.

O conhecimento espacial da qualidade externa dos ovos pode ser utilizado como indicativo de perdas econômicas e auxiliar no manejo nutricional e térmico, assim como no setor de classificação dos ovos, com o manejo diferenciado da coleta na região do aviário onde foi verificado ovos de menor qualidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (DEA-UFV) pela concessão de bolsa de estudo e auxílio financeiro. Ao Centro de Pesquisas em Meio Ambiente e Engenharia de Sistemas Agroindustriais (AMBIAGRO) e à empresa onde foi realizado o experimento, pela parceria e auxílio na realização do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, M.; TORKI, M.; KAVIANI, K. Single and combined effects of peppermint and thyme essential oils on productive performance, egg quality traits, and blood parameters of laying hens reared under cold stress condition (6.8 ± 3 °C). **International journal of biometeorology**, v. 60, n. 3, p. 447–454, 2016.

ALBINO, L. F. T. et al. **Galinhas Poedeiras Criação e Alimentação**. 1 ed. Viçosa: Aprenda fácil, 2014.

ALMEIDA, J. G. et al. Efeito da idade da matriz no tempo de eclosão , tempo de permanência do neonato no nascedouro e o peso do pintainho. **Archives of Veterinary Science**, v. 11, n. 1, p. 45–49, 2006.

BURNHAM, M. R. et al. Effects of Incubator Humidity and Hen Age on Yolk Composition in Broiler Hatching Eggs from Young Breeders. **Poultry Science**, v. 80, n. 10, p. 1444–1450, 2001.

COTTA, T. **Galinha produção de ovos**. 2 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2014.

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

DİKMEN, B. Y. et al. Impact of different housing systems and age of layers on egg quality characteristics. **Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences**, v. 41,

n. 1, p. 77–84, 2017.

DUMAN, M. et al. Relation between egg shape index and egg quality characteristics. **Europ.Poult.Sci**, v. 80, p. 1612–9199, 2016.

FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. 3 ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2015.

FOUAD, A. M. et al. Impact of Heat Stress on Meat, Egg Quality, Immunity and Fertility in Poultry and Nutritional Factors That Overcome These Effects: A Review. **International Journal of Poultry Science**, v. 15, n. 3, p. 81–95, 2016.

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 Ciência Avícola**, v. 16, n. 4, p. 337–344, 2014.

KARAMI, M.; TORKI, M.; MOHAMMADI, H. Effects of dietary supplemental vitamin E and chromium on egg production, egg quality and blood parameters of laying hens under thermoneutral or heat stressed conditions. **Journal of Applied Animal Science**, v. 46, n. 1, p. 1174–1184, 2018.

KETTA, M.; TŮMOVÁ, E. Relationship between eggshell thickness and other eggshell measurements in eggs from litter and cages. **Italian Journal of Animal Science**, v. 17, n. 1, p. 234–239, 2018.

MASHALY, M. M. et al. Effect of Heat Stress on Production Parameters and Immune Responses of Commercial Laying Hens. **Poultry Science**, v. 83, n. 6, p. 889–894, 2004.

MIN, J. K. et al. Effect of monochromatic light on sexual maturity, production performance and egg quality of laying hens. **Avian Biology Research**, v. 5, n. 2, p. 69–74, 2012.

NETTO, D. A. et al. Production of laying hens in different rearing systems under hot weather. **Scientiarum. Animal Sciences**, v. 40, e37677, 2018.

OGUZ, F. K. et al. Effects of different levels of expanded perlite on the performance and egg quality traits of laying hens. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 46, n. 1, p. 20–24, 2017.

ONBAŞILAR, E. E.; ÜNAL, N.; ERDEM, E. Some egg quality traits of two laying hybrids kept in different cage systems. **Ankara Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi**, v. 65, p. 51–55, 2018.

RENEMA, R. A. et al. Effects of Light Intensity from Photostimulation in Four Strains of Commercial Egg Layers: 2. Egg Production Parameters. **Poultry Science**, v. 80, n. 8, p. 1121–1131, 2001.

SAHIN, N. et al. Effects of the supplemental chromium form on performance and metabolic profile in laying hens exposed to heat stress. **Poultry Science**, v. 97, n. 4, p.

1298–1305, 2018.

SAMIULLAH, S. et al. Effect of production system and flock age on eggshell and egg internal quality measurements. **Poultry Science**, v. 96, n. 1, p. 246–258, 2017.

SHAKER, A. S. et al. Influence of Genotype and Hen Age on the Egg Shape Index. **International Journal of Biochemistry, Biophysics & Molecular Biology**, v. 2, n. 6, p. 68–70, 2017.

TORKI, M.; KARAMI, M.; MOHAMMADI, H. Effects of dietary supplemental vitamin E and chromium on egg production, egg quality and blood parameters of laying hens under thermoneutral or heat stressed conditions. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, v. 8, n. 2, p. 295–303, 2018.

YAN, F. F.; MURUGESAN, G. R.; CHENG, H. W. Effects of probiotic supplementation on performance traits , bone mineralization , cecal microbial composition , cytokines and corticosterone in laying hens. **Animal**, p. 1–9, 2018.

YILDIRIM, Arda et al. Egg production and quality characteristics of laying hens fed diets supplemented with dry caper (*Capparis spinosa*) leaf powder. **Indian Journal of Animal Research**, v. 52, n. 1, p. 72-78, 2018.

YILDIZ, A. et al. Effects of cage location and tier level with respect to light intensity in semiconfined housing on egg production and quality during the late laying period. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 15, n. 3, p. 355-361, 2006.

YURI, F. M. et al. Intermittent lighting programs for layers with different photophases in the beginning of the laying phase. **Ciência Rural**, v. 46, n. 11, p. 2012-2017, 2016.

ZHU, Y. Z. et al. Effect of γ -aminobutyric acid-producing *Lactobacillus* strain on laying performance, egg quality and serum enzyme activity in Hy-Line brown hens under heat stress. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 28, n. 7, p. 1006–1013, 2015.

CONCLUSÕES GERAIS

As instalações de galinhas poedeiras naturalmente ventiladas em sistema vertical de gaiolas apresentaram uma variabilidade espacial nas condições térmicas e luminosas de seu interior que causou efeito na qualidade dos ovos. O levantamento do comportamento espacial das condições ambientais da instalação de galinhas poedeiras mostrou-se uma ferramenta eficaz para verificar a magnitude da temperatura, umidade relativa e intensidade luminosa de forma detalhada. Através do comportamento espacial, foi possível detectar ilhas de calor e umidade e observar a dinâmica dessas variáveis na instalação.

No que se refere a qualidade dos ovos, o estudo da variabilidade espacial da qualidade externa dos ovos mostrou-se eficiente para detectar regiões no interior do aviário onde há predominância de ovos de baixo peso, forma não oval e com baixa qualidade de casca. Essas informações foram baseadas na influência da idade da galinha e das condições térmicas do interior do aviário em períodos do ano com temperaturas amenas (inverno) e altas (verão), o que torna os resultados obtidos sobre a qualidade externa dos ovos ainda mais relevantes.

O conhecimento do comportamento espacial do ambiente fornece informações que podem ser usadas para tomar decisões sobre o sistema de condicionamento correto a ser implantado, seu gerenciamento e eficiência. Em um país tropical, com uma grande variabilidade climática entre as regiões, é crucial ter informações sobre o ambiente de produção, pois influencia, direta e indiretamente, a produtividade e a qualidade dos ovos.

O conhecimento espacial da qualidade externa dos ovos pode ser utilizado como indicativo de perdas econômicas e auxiliar no manejo nutricional e térmico, assim como no setor de classificação dos ovos, com o manejo diferenciado da coleta na região do aviário onde foi verificado ovos de menor qualidade.

ANEXOS

ANEXO A – CERTIFICADO DE APROVAÇÃO PELA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS -CEUA/UFV

CERTIFICADO

A Comissão de Ética no Uso de Animais - CEUA/UFV certifica que o processo nº 46/2016, intitulado “Distribuição espacial das condições térmicas, intensidade luminosa e qualidade de ovos em aviários de postura verticais com aves em diferentes fases de produção”, coordenado pela professora Ilda de Fátima Ferreira Tinôco do Departamento de Engenharia Agrícola, está de acordo com a Legislação vigente (Lei Nº 11.794, de 08 de outubro de 2008), as Resoluções Normativas editadas pelo CONCEA/MCTI, a DBCA (Diretriz Brasileira de Prática para o Cuidado e a Utilização de Animais para Fins Científicos e Didáticos) e as Diretrizes da Prática de Eutanásia preconizadas pelo CONCEA/MCTI, portanto sendo aprovado por esta Comissão em 29/06/2016, com validade de 12 meses.

CERTIFICATE

The Ethic Committee in Animal Use/UFV certify that the process number 46/2016, named “Spatial distribution of the thermal conditions, light intensity and quality eggs in a poultry birds with vertical posture at different stages of production”, is in agreement with the a actual Brazilian legislation (Lei Nº 11.794, 2008), Normative Resolutions edited by CONCEA/MCTI, the DBCA (Brazilian Practice Guideline for the Care and Use of Animals for Scientific Purposes and Teaching) and the Guidelines of Practice the Euthanasia recommended by CONCEA/MCTI therefore being approved by the Committee on June 29, 2016 valid for 12 months.



Prof. Átima Clemente Alves Zuanon

Presidente

Comissão de Ética no Uso de Animais – CEUA/UFV