



**PRISCILLA ABREU PEREIRA RIBEIRO**

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TERMO-  
LUMÍNICO E DE PRODUÇÃO EM GALPÕES  
DE POEDEIRAS COMERCIAIS EQUIPADOS  
COM DIFERENTES TIPOS DE LÂMPADAS**

**LAVRAS – MG  
2015**

**PRISCILLA ABREU PEREIRA RIBEIRO**

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TERMO-LUMÍNICO E DE PRODUÇÃO  
EM GALPÕES DE POEDEIRAS COMERCIAIS EQUIPADOS COM  
DIFERENTES TIPOS DE LÂMPADAS**

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

Orientador

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Coorientadores

Dra. Daniela Duarte de Oliveira

Dr. Leonardo Schiassi

Dr. Renato Ribeiro de Lima

Dr. Gabriel Araújo e Silva Ferraz

Dr. Alessandro Torres Campos

**LAVRAS – MG  
2015**

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

Ribeiro, Priscilla Abreu Pereira.

Avaliação do ambiente termo-lumínico e de produção em galpões de poedeiras comerciais equipados com diferentes tipos de lâmpadas / Priscilla Abreu Pereira Ribeiro. – Lavras: UFLA, 2015.  
125 p. : il.

Tese(doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2015.  
Orientador(a): Tadayuki Yanagi Júnior.  
Bibliografia.

1. Avicultura. 2. Produção e qualidade de ovos. 3. Iluminação.  
4. Lâmpadas. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

**PRISCILLA ABREU PEREIRA RIBEIRO**

**AVALIAÇÃO DO AMBIENTE TERMO-LUMÍNICO E DE PRODUÇÃO  
EM GALPÕES DE POEDEIRAS COMERCIAIS EQUIPADOS COM  
DIFERENTES TIPOS DE LÂMPADAS**

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

APROVADA em 07 de julho de 2015.

Dr. Leonardo Schiassi - UFLA

Dr. Dr. Édison Fassani - UFLA

Dra. Daniela Duarte de Oliveira - ASA

Dr. José Pinheiro Lopes Neto – UFCG

Dr. Tadayuki Yanagi Junior

Orientador

**LAVRAS – MG  
2015**

Dedico este trabalho à minha mãe Ana Maria, em memórias ao meu pai Vicente,  
ao meu esposo, Luiz Fernando e minha filha Laís.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por colocar oportunidades em meu caminho e me dar forças para conquistá-las.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realizar o curso de doutorado.

À Capes, pelo apoio financeiro.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Tadayuki Yanagi Junior, por sua confiança, amizade, orientação, apoio e disponibilidade constante, fundamental para a realização deste trabalho.

Aos meus coorientadores, Daniela Duarte de Oliveira, Leonardo Schiassi, Gabriel Araújo e Silva Ferraz, Renato Ribeiro de Lima e Alessandro Torres Campos, pelos créditos depositados, apoio e, sobretudo, pelos ensinamentos.

Ao grupo Aviário Santo Antônio, em especial ao Sr. Benedito Lemos de Oliveira e à Dra. Daniela Duarte de Oliveira, por disponibilizarem suas instalações para a realização do experimento. Ao Paulo, Agostinho e a todos os funcionários da granja, pela disponibilidade em nos auxiliar durante o período do experimento.

Aos amigos do doutorado, Lucas e Dian, por toda ajuda e incentivos prestados. À Danúbia, ao Antônio e Tony pela importante ajuda na coleta dos dados.

Aos meus pais, pelos ensinamentos e valores a mim concedidos, em especial à minha mãe, por me ajudar a cuidar da Laís. Ao meu marido por estar ao meu lado acreditando nas nossas escolhas e à Laís por encher nossas vidas de felicidades.

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

## RESUMO

Objetivou-se com o presente trabalho, avaliar os efeitos da substituição de lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) por lâmpadas de diodo emissor de luz (LED), na iluminação artificial de aviários comerciais de poedeiras *Hy Line W-36*, sobre os índices produtivos e de qualidade dos ovos, bem como sobre as características técnica-econômicas destes dois sistemas de iluminação. Avaliaram-se dois aviários de postura, sendo o primeiro equipado com LFC e o segundo com LED. A avaliação do desempenho produtivo foi feita por meio do consumo de ração, da conversão alimentar, da mortalidade e da percentagem de postura. A gravidade específica foi usada para se avaliar a qualidade da casca. As iluminâncias nos aviários foram analisadas por meio de estatística descritiva e geoestatística. A viabilidade técnico-econômica para substituição das LFC por lâmpadas de LED foi analisada por meio do consumo de energia elétrica, taxa interna de retorno, valor presente líquido e do *payback*. A substituição das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) por LED nos aviários de postura não influencia negativamente o desempenho produtivo e a qualidade da casca de poedeiras (teste F,  $p > 0,05$ ). Com relação à distribuição das iluminâncias, verificou-se que o aviário equipado com LFC apresentou melhor uniformidade e melhores resultados para se atender aos níveis de iluminamento de 5 lux. O consumo de energia elétrica no aviário iluminado com lâmpadas de LED foi 43,52% menor do que aquele iluminado com LFC. A análise técnico-econômica indica que o investimento para a substituição das lâmpadas LFC por LED é considerado atrativo, sendo o período para retorno do investimento inicial de 9,11 anos.

Palavras-chave: Avicultura. Produção e qualidade de ovos. Iluminação. Lâmpadas.

## ABSTRACT

In this work the objective was to evaluate the effects of replacement compact fluorescent lamps (CFL) for light-emitting diode (LED) lamps in the artificial illumination of *Hy Line W-36* laying hens from commercial aviaries over productive and egg quality indexes, as well as over the technical-economic traits of both illumination systems. Two poultry aviaries were evaluated, the first equipped with CFL and the second LED lamps. The productive performance evaluation was done by means of measuring feed intake, feed conversion, mortality and laying percentage. The specific gravity was used to evaluate the egg shell quality. The illuminances of both aviaries were analyzed by means of descriptive statistics and geostatistics. The technical and economic feasibility in substituting CFL for LED lamps was performed by means of electric energy consumption, internal rate of return, net present value and payback. The replacement of compact fluorescent lamps (CFLs) for LED in poultry aviaries do not influence negatively the productive performance and laying hens' egg shell quality (F test,  $p>0.05$ ). Regarding illuminances distribution, it was verified that the aviary equipped with CFL presented better uniformity and results in meeting the illumination levels of 5 lux. Electric energy consumption in the aviary equipped with LED lamps was 43.52% lower than that illuminated by CFL. Technical and economic analysis indicates that the investment for replacement of CFL for LED is considered attractive, being the period for initial investment return of 9.11 years.

**Keywords:** Aviculture. Production and quality of eggs. Illumination. Lamps.

## LISTA DE FIGURAS

### PARTE 2 ARTIGOS

#### ARTIGO 1

- Figura 1 Desenho esquemático do aviário (A) e Corte AA do aviário (B) (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (A) and aviary AA cross-section (no defined scale). Dimension units: m..... 51
- Figura 2 Desenho esquemático (A) e corte AA (B) dos aviários com a localização dos sensores de temperatura e umidade (sem escala definida). Schematic design (A) and AA cross-section (B) of aviary with location of sensors for temperature and humidity (no defined scale). Dimension units: m..... 52
- Figura 3 Desenho esquemático do aviário ilustrando parcelas experimentais para medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary showing experimental parcels for illuminance mensuration (no defined scale). Dimension units: m..... 54
- Figura 4 Desenho esquemático do aviário (A) e elevação (B) ilustrando detalhadamente os pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (A) and elevation (B) showing in detail the measurement points of illuminance (no defined scale). Dimension units: m..... 55

## ARTIGO 2

Figura 1	Desenho esquemático do aviário (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (no defined scale). Dimension units: m.....	79
Figura 2	Corte AA do aviário (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Aviary AA cross-section (no defined scale). Dimension units: m.....	80
Figura 3	Desenho esquemático do aviário ilustrando parcelas experimentais para medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary showing experimental parcels for illuminance mensuration (no defined scale). Dimension units: m.....	81
Figura 4	Desenho esquemático do aviário ilustrando detalhadamente os pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary showing in detail the measurement points of illuminance (no defined scale). Dimension units: m.....	81
Figura 5	Corte longitudinal do aviário ilustrando pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Longitudinal-section of the aviary showing the measurement points of illuminance (no defined scale). Dimension units: m.....	82
Figura 6	Gráficos <i>Box Plot</i> para as iluminâncias nos andares 1 a 4, com alturas de 0,40 m, 1,10 m, 1,70 m e 2,40 m, respectivamente, dos aviários equipados com (A) lâmpadas fluorescente compacta e (B) lâmpadas de LED. Box Plot charts for illuminance in floors from 1 to 4. with heights of 0,40 m, 1,10 m, 1,70 m and 2.40 m, respectively, in aviaries equipped with (A) compact fluorescent lamps, and (B) LED lamps.....	85

- Figura 7 Distribuição espacial dos níveis de iluminâncias para os quatro andares de gaiolas, dos sistemas de iluminação compostos por lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e de diodo emissor de luz (LED). (A) Andar 1 - LFC, (B) andar 1 -LED, (C) andar 2 - LFC, (D) andar 2 - LED, (E) andar 3 - LFC, (F) andar 3 - LED, (G) andar 4 - LFC e (H) andar 4 -LED. Spatial distribution of illuminance levels for the 4 floors of cages of lighting systems consisting of compact fluorescent lamps (CFL) and LED lamps. (A) 1<sup>st</sup> floor - LFC; (B) 1<sup>st</sup> floor - LED; (C) 2<sup>nd</sup> floor - LFC; (D) 2<sup>nd</sup> floor - LED; (E) 3<sup>rd</sup> floor - LFC; (F) 3<sup>rd</sup> floor - LED; (G) 4<sup>th</sup> floor - LFC; and (H) 4<sup>th</sup> floor - LED..... 89
- Figura 8 Frequência de ocorrência dos níveis de iluminância nos quatro andares de gaiolas dos aviários para os sistemas de iluminação (A) com lâmpadas fluorescentes compactas e (B) com lâmpadas de LED. Frequency of occurrence of illuminance levels in 4 floors of cages of aviaries for the lighting systems (A) with compact fluorescent lamps, and (B) LED lamps..... 90

### ARTIGO 3

Figura 1	Desenho esquemático do aviário (A) e Corte AA do aviário (B) (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (A) and aviary AA cross-section (no defined scale). Dimension units: m.....	107
Figura 2	Desenho esquemático do aviário (A) e elevação (B) ilustrando detalhadamente os pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (A) and elevation (B) showing in detail the measurement points of illuminance (no defined scale). Dimension units: m.....	109
Figura 3	Médias e erros padrões (entre parênteses) das iluminâncias no período noturno para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de F, ao nível de 5% de probabilidade. Means and standard errors (between blankets) of night illuminances for aviaries equipped with compact fluorescent lamps (LFC) and light emitting diode (LED). Means with the same letter do not differ significantly by F test at the 5% of probability.....	116
Figura 4	Médias e erros padrões (entre parênteses) das percentagens de posturas para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de F, ao nível de 5% de probabilidade. Means and standard errors (between blankets) of egg laid percentage (PP) for aviaries equipped with compact fluorescent lamps (LFC) and light emitting diode (LED). Means with the same letter do not differ significantly by F test at the 5% of probability.....	118

## LISTA DE TABELAS

### PARTE 2 ARTIGOS

#### ARTIGO 1

Tabela 1	Valores médios e erros padrões da temperatura e umidade relativas do ar nos dois aviários avaliados, equipados com lâmpadas fluorescente compacta (LFC) e com lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of air temperature and relative humidity in aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode (LED).....	57
Tabela 2	Médias e erros padrões de entalpia para os períodos da manhã, tarde e noite para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of enthalpy assessed in the morning, afternoon and night in aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and LED.....	59
Tabela 3	Médias e erros padrões das iluminâncias no período de iluminação artificial (período noturno) para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of illuminance of artificial lighting period (night time) in aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode (LED).....	60
Tabela 4	Médias e erros padrões de consumo de ração (CR), conversão alimentar (CA), mortalidade (M), percentagem de postura (PP) e gravidade específica (GE) para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of feed intake (FI), feed conversion (FC), mortality (M), egg laid percentage (EP) and specific gravity (SG) for aviaries equipped with fluorescent compact lamps (CFL) and Light emitting diode lamps (LED).....	62

## ARTIGO 2

Tabela 1	Estimativas para os parâmetros do semivariograma experimental para a variável iluminância nos 4 andares dos aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Estimates of parameters related to experimental semivariogram for illuminance in 4 floors of aviaries equipped with compact fluorescent lamps and LED.....	87
----------	--	----

## ARTIGO 3

Tabela 1	Número total de lâmpadas, fluxo luminoso (lm), temperatura de cor (K), potência total instalada (W) e vida útil das lâmpadas utilizadas no aviário. Total number of light bulbs, luminous flux (lm), color temperature (K), total power installed (W) and life span of light bulbs used in the aviary.....	111
Tabela 2	TABELA 2. Custo de instalação (investimento inicial) para os sistemas de iluminação avaliados. Installation cost (initial investment) for the evaluated lighting systems.....	112
Tabela 3	TABELA 3. Consumo e custos de energia elétrica para o período do experimento, mensal e período de vida útil dos dois sistemas de iluminação. Consumption and energy costs for the period of the experiment, monthly and lifetime of the two lighting systems.....	119
Tabela 4	Resultados das avaliações econômicas para substituição do sistema composto por lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) por lâmpadas de LED. Results of the economic evaluations for the replacement of the system comprised of fluorescent compact lamps (CFL) by light emitting diode lamps (LED).....	120

## SUMÁRIO

	<b>PARTE 1 – REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>16</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>Conforto ambiental na produção de galinhas poedeiras.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Ambiente lumínico.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Ambiente térmico.....</b>	<b>22</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Entalpia.....</b>	<b>24</b>
<b>2.2</b>	<b>Lâmpadas e consumo de energia na produção avícola.....</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>Produção e qualidade da casca de ovos comerciais.....</b>	<b>28</b>
<b>2.4</b>	<b>Análise geoestatística.....</b>	<b>30</b>
<b>2.5</b>	<b>Análise econômica.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.1</b>	<b>Fluxo de caixa.....</b>	<b>31</b>
<b>2.5.2</b>	<b>Valor presente líquido (VPL).....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.3</b>	<b>Taxa interna de retorno (TIR).....</b>	<b>32</b>
<b>2.5.4</b>	<b>Período de retorno de investimento (<i>payback</i>).....</b>	<b>33</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>34</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>35</b>
	<b>PARTE 2 – ARTIGOS.....</b>	<b>43</b>
	<b>ARTIGO 1</b>	
	<b>AMBIENTE TERMO-LUMÍNICO, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE OVOS EM AVIÁRIOS EQUIPADOS COM LÂMPADAS DE LED E FLUORESCENTES COMPACTAS.....</b>	<b>43</b>
	<b>ARTIGO 2</b>	
	<b>ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS ILUMINÂNCIAS EM AVIÁRIOS PARA POEDEIRAS EQUIPADOS COM LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS E DE LED.....</b>	<b>71</b>
	<b>ARTIGO 3</b>	
	<b>VIABILIDADE TÉCNICO-ECONOMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS POR LÂMPADAS DE LED EM AVIÁRIOS DE POEDEIRAS COMERCIAIS.....</b>	<b>98</b>

## **PARTE 1 – REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1 INTRODUÇÃO**

A avicultura é um importante setor para a economia brasileira; no ano de 2013 a produção de ovos foi de aproximadamente 34 bilhões de unidades e o número de aviários de matriz de postura foi de 907.412 aves (UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA - UBABEF, 2014). A estrutura física desses aviários e os equipamentos implantados interferem nas condições de conforto ambiental das aves e também na produção de ovos. Além da condição ambiental, cuidados com sanidade, nutrição e desenvolvimento genético e constante discussão sobre diversos problemas relacionados ao setor (ex.: eficiência energética, iluminância, bem-estar animal, etc.) contribuem para o desenvolvimento e aprimoramento da atividade no Brasil.

Na avicultura de postura, a luz é importante no manejo de poedeiras, sendo que, os programas de iluminação com luz artificial estabilizam o fotoperíodo e permitem a obtenção de regularidade na produção de ovos. A iluminação influencia a produção das aves, tendo em vista que controla os ritmos biológicos como funções alimentares, reprodutivas, secreção de hormônios, atividades metabólicas, entre outros.

Para proporcionar iluminação no período noturno, são instalados nos galpões sistemas de iluminação artificial com grande número de lâmpadas de alta potência e baixa eficiência, como por exemplo, as lâmpadas fluorescentes compactas. A substituição desse sistema de iluminação por outros mais eficientes pode proporcionar melhoria na rentabilidade da atividade avícola em um mercado futuro caracterizado por forte concorrência.

A rentabilidade do sistema de produção de ovos está sob influência de parâmetros econômicos, entre eles o consumo de energia elétrica, sendo que, os custos dos equipamentos utilizados e o seu consumo de energia elétrica interferem na relação custo/benefício. Sendo a iluminação um fator importante na produção de ovos, o seu custo deve ser analisado. Dessa forma, a eficiência do programa de iluminação em aviários de galinhas poedeiras se torna necessária, pois com a implantação de um sistema de iluminação artificial com baixo consumo de energia elétrica o preço final de produção será menor, além de contribuir para uso racional de energia elétrica.

Considerando-se os gastos e desperdícios de energia elétrica nos galpões avícolas e que já existem no mercado tecnologias de iluminação com diferentes eficiências energéticas, estudos que envolvem os aspectos relacionados ao desempenho das aves, ambiência, uso da energia elétrica e viabilidade econômica devem ser intensificados. Ademais, devido às exigências e à competitividade do mercado, justifica-se o emprego de tecnologias que agreguem a seus produtos menor custo de produção.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Conforto ambiental na criação de galinhas poedeiras**

O conceito de ambiente na produção animal inclui todas as condições que afetam o seu desenvolvimento. Abrange o ambiente térmico (temperatura, umidade relativa, velocidade do ar, entre outros), ambiente acústico (ruídos), ambiente lumínico (iluminação natural e artificial), aéreo (gases e poeiras), entre outros.

Para a produção de poedeiras as instalações exercem forte influência sobre o bem-estar e desempenho das aves. O ambiente de criação no interior das instalações é um dos principais fatores para que os animais atinjam todo seu potencial produtivo, sendo que a melhoria desse processo produtivo está relacionada ao máximo de produção com o mínimo de custo.

Os galpões devem proporcionar às aves condições ambientais adequadas para sua sobrevivência, tais como temperatura, umidade, velocidade do ar, luminosidade, nível sonoro e qualidade do ar (concentração de gases como  $\text{NH}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ , poeira e outros) (TINÔCO, 2001).

#### **2.1.1 Ambiente lumínico**

O ambiente lumínico compreende a iluminação natural e artificial utilizada nos aviários. Nos aviários abertos a iluminação diurna é realizada de forma natural com luz do sol e está sujeita às variações do tempo, como por exemplo, presença de nebulosidade em dias chuvosos.

A luz é um fator ambiental que afeta a produção de aves por interferir em suas respostas fisiológicas.

As aves transformam o estímulo luminoso em impulso nervoso que será utilizado para desencadear todo um processo hormonal estimulando o crescimento folicular, a ovulação, formação do ovo e oviposição.

O estímulo luminoso acontece por duas vias, através do olho e pelo crânio. Pela via ocular a ave recebe o estímulo luminoso através da retina, e, por meio dos cones e bastonetes, o transforma em impulso nervoso. Esse impulso nervoso, via nervo óptico, chega até o hipotálamo que libera o hormônio liberador de gonadotrofina, o GnRH (*Gonadotropin-Releasing Hormone*) (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013).

Atualmente, uma das formas mais aceitas de recepção do estímulo luminoso em relação à reprodução é através da via transcraniana (ROCHA, 2008). A luz é recebida por receptores na pele do crânio da poedeira, passa pelos ossos e estimula diretamente o hipotálamo para produção de GnRH. Uma vez estimulado o hipotálamo libera o GnRH que vai atuar na hipófise ou pituitária, para liberação de hormônio folículo-estimulante, o FSH (*Follicle-stimulating hormone*) ou de hormônio luteinizante, o LH (*Luteinizing Hormone*), que atuarão diretamente no ovário e oviduto.

Com a maturidade sexual há o desenvolvimento do oviduto para formação do ovo e do ovário. No ovário há uma série de folículos que entram em crescimento para a ovulação. Pela ação do FSH os óvulos começam a receber os nutrientes que compõem a gema. Finalizada a formação da gema, inicia-se a formação do albúmen. Na sequência, o conjunto albúmen e gema recebe as membranas internas, e numa etapa posterior, inicia-se a formação da casca. A formação da casca dura cerca de 20 horas. Para a formação completa do ovo leva-se um período de 23h30min a 24 h (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2013).

Os programas de luz também interferem no ritmo circadiano ou biorritmo, que representa o controle fisiológico das atividades metabólicas por

meio da luz. Na condição de iluminação natural, o organismo apresenta modificações fisiológicas durante o período de 24 horas do dia (FREITAS; GEWEHR; COTTA, 2003).

Considerando-se que para estimular a reprodução das aves é necessário um período mínimo de luz, estudos sobre iluminação artificial estão se tornando cada vez mais importantes (JÁCOME; ROSSI; BORILLE, 2014).

Dessa forma, o correto dimensionamento do programa de luz durante o crescimento das aves é uma forma eficaz para se atrasar a maturidade sexual, fazendo com que ocorra maior produção de ovos na fase inicial de postura e, também, que o lote tenha homogeneidade. O programa de luz também está relacionado ao comportamento alimentar. Em geral, a poedeira começa a pôr o ovo uma hora depois do início do período de luz da manhã (luz natural ou artificial) (JORDAN; TAVARES, 2005).

Além da interferência na fisiologia, o comportamento e o bem-estar das aves estão relacionados com a luz e o sentido da visão. De acordo com Mendes et al. (2013) as aves domésticas possuem sistemas visuais altamente desenvolvidos e a maior parte do seu comportamento é medido pela visão.

Segundo Borille et al. (2013), o uso de iluminação artificial para poedeiras comerciais é fundamental no manejo da produção de ovos, podendo ser utilizada para adiantar o início da postura, melhorar a taxa de postura e ainda otimizar a eficiência alimentar.

A intensidade luminosa mínima para galpões de poedeiras é de 5 lux (NORTH; BELL, 1990). Alguns autores recomendam 10 lux (COTTA, 2002; MORRIS, 2004), apesar do limite fisiológico para resposta a alterações no fotoperíodo ser de 2 lux (GARNER et al., 2012; MORRIS,

2004). De acordo com o Manual *Hy-Line* (HY-LINE, 2011), aviários abertos deverão ofertar intensidade de luz de 30 a 40 lux. Em galpões fechados a intensidade mínima necessária para a máxima produção de ovos em poedeiras é 5,38 lux (SKOUGLUND et al., 1975).

Yildiz et al. (2006) avaliaram a produção de ovos nos diferentes andares de gaiolas nos galpões e verificaram que intensidades luminosas entre 35 e 55 lux melhoram a produção e a qualidade dos ovos. Segundo Jácome (2009), ocorre uma correlação negativa entre o aumento dos níveis de iluminâncias e as características de qualidade dos ovos. Renema et al. (2001) pesquisaram a influência dos níveis de iluminação na produção e qualidade dos ovos em diferentes andares de gaiolas, determinando os limites de 1 e de 500 lux. Em 1 lux a taxa de produção de ovos foi reduzida, em 500 lux os ovos apresentaram tamanho menor e a qualidade da casca foi inferior.

Não só a intensidade luminosa ofertada às aves, o tempo de exposição à luz, a distribuição e a cor da luz interferem no desempenho do lote. O adequado posicionamento das lâmpadas e a distribuição das iluminâncias estimulam as aves a procurar alimento, água e fontes de calor durante a fase de recria. Durante a fase de crescimento, a iluminação pode ser utilizada para moderar o ganho de peso e otimizar a eficiência da produção e a saúde do lote (MENDES et al., 2010).

Portanto, o programa de luz adotado é decisivo para o adequado manejo das aves, contribuindo para a obtenção de melhores resultados zootécnicos, na saúde das aves e também para o desempenho econômico da atividade (MORAES, 2008). Sendo assim, torna-se necessário o seu correto planejamento levando em consideração critérios de produção e legislação para se obter melhor desempenho (MENDES et al., 2010).

### **2.1.2 Ambiente térmico**

O estresse térmico devido a altas temperaturas é uma das causas de grandes perdas na indústria de produção de ovos. Portanto, a temperatura ambiente e umidade são fatores que devem ser considerados, uma vez que o desequilíbrio destes produz sérias alterações no sistema fisiológico das aves, comprometendo o seu desempenho e conseqüentemente reduzindo a produção de ovos.

Conforto térmico pode ser definido como sendo uma faixa de temperatura ambiente na qual a taxa metabólica é mínima e a homeotermia é mantida com menos gasto energético.

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

A temperatura corporal de galinhas poedeiras varia em torno de 41 a 42 °C. Para que o desempenho produtivo seja máximo a temperatura do ambiente deve estar na faixa termoneutra, variando de 18 a 27 °C e umidade relativa do ar de 65 a 75% (SILVA, 1998; TINÔCO, 2001). De acordo com Barbosa Filho (2004), em ambientes com valores elevados de umidade relativa, as aves ficam mais sensíveis ao estresse térmico por altas temperaturas. Dessa forma, é importante se manter a umidade relativa no aviário dentro dos limites adequados, principalmente no verão.

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

A produtividade ideal para aves só pode ser obtida quando as mesmas estiverem submetidas a uma temperatura ambiente adequada, com o menor desperdício de energia, seja para compensar os efeitos dos altos ou baixos valores de temperatura. Quando os fatores combinados de temperatura e umidade relativa ultrapassam os limites da faixa de conforto, denominada de zona termoneutra, sua habilidade de troca térmica fica comprometida (NASCIMENTO, 2011).

A criação de galinhas poedeiras está diretamente relacionada às condições ambientais em que são expostas, situações extremas envolvendo altas e baixas temperaturas afetam consideravelmente a produção. Altas temperaturas reduzem o consumo de alimento prejudicando o desempenho. Baixas temperaturas podem melhorar o ganho de peso, mas como consequência a conversão alimentar aumenta. Logo, a condição do ambiente de criação deve ser manejada para evitar os efeitos negativos sobre o desempenho produtivo das aves, com consequente efeito sobre a produção animal de carne e ovos (MACARI; FURLAN; GONZALES, 1994).

Galinhas poedeiras em situação de desconforto térmico apresentam queda no consumo de ração, menor taxa de crescimento, maior consumo de água, aceleração do ritmo cardíaco, alteração da conversão alimentar, queda na produção de ovos e maior incidência de ovos com casca mole (JÁCOME et al., 2007; TINÔCO, 2001).

As aves em estresse térmico devido à alta temperatura constante diminuem a ingestão de alimento, promovendo indiretamente a redução na quantidade de cálcio ionizável no sangue, prejudicando a produção de íons carbonato na mucosa uterina, o que piora a qualidade da casca. Poedeiras submetidas a esta situação apresentam pior

desempenho, resultando em prejuízo tanto da produção quanto do peso do ovo (FARIA et al., 2001).

Quando a temperatura aumenta as aves trocam calor com o ambiente por evaporação para controlar sua temperatura corporal. Nesse sentido, em ambientes quentes e secos a transferência de calor latente é potencializada, enquanto que, em ambientes quentes e úmidos este tipo de transferência de calor é reduzida (NASCIMENTO, 2011).

Nesse contexto, estudos visando avaliar o efeito do estresse térmico no desempenho e qualidade de ovos de galinhas poedeiras tornam-se necessários para a mitigação das perdas na produção avícola.

### **2.1.3 Entalpia**

O estudo da entalpia é utilizado para caracterizar o ambiente em que as aves são submetidas. Essa grandeza física é responsável por indicar a quantidade de energia contida em uma mistura de vapor de água em kJ por kg de ar seco (NÄÄS; MOURA; LAGANÁ, 1995). Logo, quando acontece mudança de temperatura para umidade relativa constante ou vice-versa, a energia envolvida no processo é alterada, afetando a troca térmica.

De acordo com Barbosa Filho et al. (2007), a entalpia pode ser utilizada para caracterizar a zona de conforto térmico para galpões de poedeiras. A entalpia quantifica a energia do ar, que é a combinação entre as condições de temperatura e umidade relativa do ar. Um animal criado sob elevadas temperaturas do ar gasta maior quantidade de energia para ajustar seu metabolismo e temperatura corporal, o que pode levá-lo a uma considerável queda na produção.

A faixa de conforto para galinhas poedeiras é de 36 a 66 kJ kg de ar seco<sup>-1</sup> (ALVES, 2006). Em outro estudo, Vieira, Nazareno e Silva (2015) propuseram as tabelas de entalpia de acordo com as faixas de conforto. Estas foram delineadas para poedeiras em fase de produção, com valores que variaram de 50 a 68,80 kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>.

Segundo Rodrigues et al. (2010), a equação 1 desenvolvida originalmente por Albright (1990), para determinar os valores de entalpia é a mais adequada para estudos em ambiente animal.

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

sendo,

H = entalpia (kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>);

T<sub>bs</sub> = temperatura de bulbo seco do ar (°C);

W = razão de mistura (kg<sub>vapor d'água</sub> kg<sub>ar seco</sub><sup>-1</sup>).

Por sua vez, a razão de mistura pode ser calculada pela equação 2.

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

em que,

ea = pressão atual de vapor-d'água (kPa);

P<sub>atm</sub> = pressão atmosférica do local (kPa).

## 2.2 Lâmpadas e consumo de energia na produção avícola

O uso de lâmpadas de maior eficiência energética no setor agropecuário está sendo preconizado nos últimos anos (BORILLE et al., 2013; DAVID; ROSSI, 2010; JÁCOME et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; ROSSI et al., 2010).

Jordan e Tavares (2005), analisando diferentes tipos de lâmpadas para produção de ovos férteis, verificaram que a lâmpada vapor de sódio de 70 W oferece maiores vantagens, pois apresentou uma economia de 76% quando comparada à incandescente de 100 W. Jácome (2009), comparando lâmpada incandescente 100 W (testemunha) com lâmpada vapor de sódio 70 W, verificou redução de 54,14% na demanda, e comparando a testemunha com lâmpada fluorescente compacta 23 W, a redução foi de 73,76%. De acordo com Pereira et al. (2012) a substituição de lâmpadas incandescentes (100 W) por lâmpadas fluorescentes tubulares T5 (28 W) pode reduzir em 90,62% a demanda de energia nos galpões para frangos de corte quando o nível de iluminação for de 5 lux.

Várias fontes luminosas já foram testadas em aviários para produção de ovos (BORILLE et al., 2013; ER; WANG; CAO, 2007; HUBER-EICHER; SUTER; SPRING-STÄHLI, 2013; JÁCOME, 2009; JORDAN; TAVARES, 2005; SILVA; TAVARES; PEREIRA, 2012), porém, estudos ainda são realizados em busca de maior durabilidade e menor custo sem causar prejuízos para a produção. Inicialmente as lâmpadas incandescentes foram substituídas por lâmpadas fluorescentes compactas, estas apresentam melhor eficiência luminosa e podem apresentar redução de até 81,4% na demanda de energia elétrica em aviários para produção de frangos de corte (PEREIRA et al., 2012).

Recentemente, as lâmpadas fluorescentes compactas estão sendo substituídas por lâmpadas de LED (Diodo Emissor de Luz). Essa nova tecnologia de iluminação apresenta alta eficiência luminosa e elevada vida útil, destacando-se quando comparada com outras fontes de luz. O tempo de vida útil de uma lâmpada de LED é de aproximadamente 50.000 horas, enquanto a fluorescente compacta é de 8.000 horas e a incandescente é de 1.000 horas (OSRAM, 2014).

O uso de lâmpadas de LED em aviários de postura pode substituir as lâmpadas incandescentes sem influenciar negativamente a produção de ovos (%) de poedeiras comerciais e mantendo os atuais índices zootécnicos. Essa substituição é benéfica para redução dos custos de criação, pois contribui para a economia de energia elétrica e redução do custo de manutenção do sistema de iluminação artificial (BORILLE et al., 2013; GONGRUTTANANUN, 2011). Verifica-se também que as lâmpadas de LED têm sido usadas em substituição às lâmpadas incandescentes, sem prejuízo à produção e qualidade de ovos, em galpões para criação de codornas de postura (JÁCOME et al., 2012).

Além dessas vantagens, as lâmpadas de LED são comercializadas em diversas cores de fluxo luminoso. Essa é uma característica que outros tipos de lâmpadas não apresentam e tem sido alvo de várias pesquisas para avaliar o comportamento das aves e a produção (BORILLE et al., 2013; HUBER-EICHER; SUTER; SPRING-STÄHLI, 2013; SILVA; TAVARES; PEREIRA, 2012).

De acordo com Silva, Tavares e Pereira (2012), o comportamento de comer é influenciado pelos tratamentos de iluminação, sendo que as aves comem mais quando expostas à luz verde quando comparado com a luz azul.

Borille et al. (2013) avaliaram LEDs de diferentes cores para substituição das lâmpadas incandescentes nos aviários e concluíram que os LEDs de cores branco e vermelho podem substituí-las sem influenciar negativamente a

produção de ovos (%) de poedeiras comerciais. Segundo o mesmo autor, o peso, assim como os índices da qualidade interna dos ovos não são influenciados pela substituição da lâmpada incandescente pelos LEDs, independente de sua cor.

A luz de cor vermelha acelera o desenvolvimento sexual de galinhas poedeiras, e este efeito deve-se ao comprimento de onda específico e não à intensidade da luz, no entanto a intensidade da luz não deve ser excluída, pois pode causar efeitos adicionais (HUBER-EICHER; SUTER; SPRING-STÄHLI, 2013).

A energia elétrica necessária para manter os programas de iluminação representa uma parcela significativa dos custos energéticos variáveis do aviário. O uso expressivo da tecnologia de iluminação por lâmpadas incandescentes e seus baixos índices de eficiência na avicultura brasileira demandam a investigação de programas de efficientização e conservação de energia elétrica (NASCIMENTO, 2011).

Turco, Ferreira e Furlan (2002), ao medir o consumo energético de equipamentos (comedouros, ventiladores e lâmpadas) de um galpão avícola para frangos de corte, durante 40 dias, no período do inverno, observaram que 55% do total de energia consumida foram devidos ao sistema de iluminação.

Tendo em vista a disponibilidade no mercado de tecnologias de iluminação que possuem maiores eficiências energéticas, fazem-se necessários estudos que modifiquem e atualizem os setores avícolas, viabilizando a competitividade da produção (JÁCOME et al., 2012).

### **2.3 Produção e qualidade da casca de ovos comerciais**

A qualidade da casca dos ovos tem sido a principal preocupação para a avicultura de postura. Na produção comercial de ovos a casca funciona como uma proteção natural, minimizando possíveis contaminações e avarias físicas, no entanto, estes são expostos ao manuseio e transporte, que geralmente, resultam

em ovos trincados ou quebrados que trazem como consequência perdas econômicas ao produtor (HUNTON, 2005).

As diferenças existentes na produção de ovos frescos são avaliadas por meio da medida de qualidade dos mesmos. Essas diferenças são devidas a características genéticas, às dietas, aos fatores ambientais, aos quais as poedeiras são submetidas, à duração do armazenamento, doenças e até mesmo à manipulação e à coleta automática de ovos (BERARDINELLI et al., 2003; CEPERO et al., 1995). Em adição, o período e condições de armazenamento também influenciam significativamente a qualidade dos ovos (PASCOAL et al., 2008).

Pereira et al. (2008) verificaram a correlação entre o ambiente térmico e a qualidade de ovos de duas linhagens de poedeiras comerciais e observaram que o aumento da temperatura do ar resultou na formação de ovos de menor percentagem de peso de casca, e menores valores de gravidade específica.

Problemas na qualidade da casca são capazes de determinar perdas significativas para a indústria de produção de ovos. Além do prejuízo econômico relacionado à má qualidade da casca, o aspecto sanitário é outro fator importante, uma vez que a casca com espessura e resistência adequadas, protege o ovo de contaminações (CARVALHO; FERNANDES, 2013).

Uma forma de analisar a qualidade da casca é por meio da medição da gravidade específica (GE). A gravidade específica de um ovo está relacionada com a percentagem de casca, sendo que o aumento da gravidade específica implica o aumento na sua espessura e resistência (HAMILTON, 1982). De acordo com North e Bell (1990), a gravidade específica está correlacionada com a probabilidade dos ovos quebrarem nos manuseios e processamentos.

Segundo Furtado et al. (2001) essa avaliação da GE é suficiente para análise da qualidade da casca, podendo ser utilizada rotineiramente por pesquisadores e produtores. A GE pode ser determinada a partir da imersão

individual dos ovos em soluções salinas de acordo com o método proposto por Hamilton (1982). Peebles e McDaniel (2004) consideram o valor da gravidade específica 1.080 como valor limite entre baixa ou alta qualidade da casca.

Segundo Etches (1998), os tipos de lâmpadas que são utilizadas nos aviários possuem espectros luminosos diferentes e essa característica pode influenciar na produção e qualidade dos ovos.

#### **2.4 Análise geoestatística**

O termo Geoestatística pode ser definido como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente aleatórias e as totalmente determinísticas (LANDIM, 2006).

Dentro do estudo da iluminação, a geoestatística possibilita a análise da variabilidade espacial do nível de iluminância nos galpões por meio da interpolação por krigagem. Dessa forma é possível obter mapas de isolinhas para compreender a distribuição espacial, auxiliando no planejamento e controle da iluminação (FARIA et al., 2008; MIRAGLIOTTA et al., 2006; YANAGI JÚNIOR et al., 2011).

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

## **2.5 Análise econômica**

Algumas alternativas tecnológicas apresentam maior eficiência técnica, porém muitas vezes não trazem maior economia financeira ou maior lucro para as empresas. Essas tecnologias que exigem altos investimentos podem não retornar esse valor ao investidor no período planejado. Sendo assim, devem ser definidas algumas prioridades para o sistema (maior eficiência ou maior economia financeira). Para efetuar essa análise e auxiliar na tomada de decisões a Matemática Financeira permite realizar um estudo de viabilidade econômica.

Na análise econômica simplificada apresentam-se três indicadores para estudo do projeto: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e período de retorno do capital (*payback*). Consideram-se como parâmetros econômicos os custos dos equipamentos (investimento inicial), o fluxo de caixa (receitas e despesas) e a correção da inflação. A partir desses indicadores a serem considerados na análise e das ferramentas econômicas, é possível realizar uma avaliação adequada sobre os investimentos a serem realizados.

### **2.5.1 Fluxo de caixa**

Fluxo de caixa pode ser definido como uma demonstração das receitas e despesas distribuídas em um período. É uma ferramenta econômica utilizada para verificar a viabilização de um projeto. Trata-se de uma representação gráfica de recursos monetários que entram e saem do caixa ao longo de um determinado horizonte de planejamento (KREUZ; SOUZA; CLEMENTE, 2008).

### **2.5.2 Valor presente líquido (VPL)**

O VPL pode ser expresso como o valor líquido de todos os benefícios (entradas) e de todos os custos (saídas) para o fluxo de caixa de um projeto, descontados para o instante em que ocorre o investimento. Mostra a viabilidade de um projeto em termos monetários. Todos os custos e benefícios ocorridos ao longo do período estudado são trazidos ao valor presente. O VPL é um indicador de ciclo de vida, significando que considera o custo do capital descontando todas as receitas futuras.

Um investimento é considerado economicamente viável quando os recursos presentes nas entradas forem maiores que os recursos presentes na saída do caixa, ou seja, com VPL positivo, o projeto é viável (SANDRINI, 2007). Também quanto maior o valor positivo do VPL mais atrativo é considerado o investimento.

Importante salientar que por estar comparando alternativas, somente fará parte do fluxo de caixa, as variáveis que diferenciam as alternativas, pois as variáveis comuns simplesmente se cancelam. Em se tratando de analisar alternativas com vidas úteis diferentes lança-se mão do conceito de reposição contínua, ou seja, as tecnologias serão repostas indefinidamente (DAVID, 2011).

### **2.5.3 Taxa interna de retorno (TIR)**

A TIR é a taxa de juros que torna nulo o VPL de um investimento e pode ser calculada pelo monitoramento dos fluxos de entrada e saída do caixa. Ou seja, trata-se da taxa de desconto do fluxo de caixa que anula o valor líquido presente ou anual do empreendimento dentro de um período de tempo estipulado. É calculada como a hipotética taxa de desconto para a qual o VPL se iguala a zero.

Calculada essa taxa de desconto, TIR, do projeto, deve-se compará-la a uma taxa de juros de referência, que pode ser a taxa de atratividade do setor ou mesmo ser uma taxa de juros do mercado financeiro. Se a TIR, em questão, for maior que a taxa de atratividade, o projeto é atraente segundo esse critério de análise. Em princípio, qualquer projeto com uma TIR superior ao custo médio ponderado de capital da empresa é lucrativo (e terá um VPL positivo) (DAVID, 2011).

#### **2.5.4 Período de retorno de investimento (*payback*)**

O *Payback* pode ser definido como o período mínimo para o retorno dos investimentos. Quanto menor o *payback*, menor o risco do investimento, assim como um *payback* alto revela um risco alto do projeto (SOUZA; CLEMENTE, 2000).

Para estimar o tempo de retorno do capital investido basta dividir o custo da implantação do empreendimento pelo benefício auferido para se ter o *payback* simples (não descontado). Nesse caso, não se está considerando o custo de capital, ou seja, a taxa de atratividade do projeto. Ao considerar o *payback* descontado, observa-se o real valor do dinheiro no tempo e, assim, tem-se uma estimativa financeira mais realista (DAVID; ROSSI; PAGLIARDI, 2012).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A condição ambiental das instalações, principalmente a iluminação, interfere diretamente na produção comercial de ovos. Observa-se também, a importância do consumo da energia elétrica nos dias atuais, tanto para redução dos custos quanto para a preservação dos recursos naturais. Existem tecnologias de iluminação mais modernas no mercado que proporcionam melhores resultados em eficiência de energia elétrica, porém essas tecnologias ainda são pouco utilizadas em instalações para poedeiras.

Neste trabalho, testou-se o uso da lâmpada de LED para criação de poedeiras, fazendo uma avaliação técnica e econômica dessa tecnologia para que pudesse ser utilizada de forma a proporcionar melhores resultados na produção.

## REFERÊNCIAS

ALBRIGHT, L. D. **Environment control for animals and plants**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers Michigan, 1990. (Textbook, 4).

ALVES, S. P. **Uso da zootecnia de precisão na avaliação do bem-estar bioclimático de aves poedeiras em diferentes sistemas de criação**. 2006. 128 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa MG: FV, 2010. 269 p.

BARBOSA FILHO, J. A. D. **Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientais, utilizando análise de imagens**. 2004. 123 p. Dissertação (Mestrado na área de Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BARBOSA FILHO, J. A. D. et al. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 93-99, 2007.

BERARDINELLI, A. et al. Effects of transport vibrations on quality indices of shell eggs. **Biosystems Engineering**, London, v. 86, n. 4, p. 495-502, 2003.

BORILLE, R. et al. The use of light-emitting diodes (LED) in commercial layer production. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 135-140, 2013.

CARVALHO, L. S. S.; FERNANDES, E. A. Formação e qualidade da casca de ovos de reprodutoras e poedeiras comerciais. **Medicina Veterinária**, Recife, v. 7, n. 1, p. 35-44, 2013.

CEPERO, R. et al. Effects of transport and storage conditions on the commercial quality of eggs. In: BRIZ, R. C. **Egg and egg products quality**. Zaragoza: Acribia, 1995. 429 p.

COTTA, J. T. B. **Galinha**: produção de ovos. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2002. 280 p.

DAVID, E. **Modificações no sistema de iluminação artificial no cultivo de mudas de crisântemos e begônias em ambiente protegido**. 2011. 96 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011.

DAVID, E.; ROSSI, L. A. Diferentes tecnologias de iluminação para produção de mudas de crisântemo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 261-266, 2010.

DAVID, E.; ROSSI, L. A.; PAGLIARDI, O. Technical and economic analysis of replacing artificial lighting system to induction of photoperiod effect in begonia's seedlings in greenhouse. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 4, p. 663-668, jul./ago. 2012.

ER, D.; WANG, Z.; CAO, J. Effect of monochromatic light on the egg quality of laying hens. **The Journal Applied Poltry Research**, Oxford, v. 16, n. 4, p. 605-612, 2007.

ETCHES, R. J. **Reproducción aviar**. Zaragoza: Acribia, 1998. 352 p.

FARIA, D. E. et al. Desempenho, temperatura corporal e qualidade de ovos de poedeiras alimentadas com vitaminas D e C em três temperaturas ambientes. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 49-56, 2001.

FARIA, F. F. et al. Variabilidade espacial do microclima de um galpão utilizado para confinamento de bovinos de leite. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 9, p. 2498-2505, dez. 2008.

FREITAS, H. J.; GEWEHR C. E.; COTTA, J. T. B. Concentração de postura de poedeiras brancas sob fotoperíodos contínuos e intermitente. In: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS, 1., 2003, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2003. p. 1-12.

FURTADO, I. M. et al. Correlação entre medidas da qualidade da casca e perda de ovos no segundo ciclo de produção. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 3, p. 654-660, maio/jun. 2001.

GARNER, J. P. et al. The effect of cage and house design on egg production and egg weight of White Leghorn hens: an epidemiological study. **Poultry Science**, Champaign, v. 91, p. 1522–1535, 2012.

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

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

HUBER-EICHER, B.; SUTER, A.; SPRING-STÄHLI, P. Effects of colored light-emitting diode illumination on behavior and performance of laying hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 92, p. 869–873, 2013.

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

HY-LINE. **Manual de padrões de desempenho Hy-Line W-36**. 2011. Disponível em: <<http://www.hylinedobrasil.com.br>>. Acesso em: 23 abr. 2015.  
JÁCOME, I. M. T. D. **Diferentes sistemas de iluminação artificial usados no alojamento de poedeiras leves**. 2009. 144 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade de Campinas, Campinas, 2009.

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

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

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

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

KREUZ, C. L.; SOUZA, A.; CLEMENTE, A. Custos de produção, expectativas de retorno e de riscos do agronegócio mel no Planalto Norte de Santa Catarina. **Revista Custo e Agronegócio on line**, Recife, v. 4, n. 1, p. 46-61, jan./abr. 2008.

LANDIM, P. M. B. Sobre Geoestatística e mapas. **Terræ Didática**, Campinas, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

MACARI, M.; FURLAN, R. L.; GONZALES, E. **Fisiologia aviária aplicada a frangos de corte**. Jaboticabal: UNESP, 1994. 246 p.

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

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

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

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

MORRIS, T. R. Environmental control for layers. **World's Poultry Science Journal**, London, v. 60, n. 2, p. 163-175, June 2004.

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

NASCIMENTO, L. A. B. **Análise energética na avicultura de corte**: estudo de viabilidade econômica para um sistema de geração de energia elétrica eólico-fotovoltaico conectado a rede. 2011. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

NORTH, M. O.; BELL, D. D. **Commercial chicken production manual**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 913 p.

PASCOAL, L. A. F. et al. Qualidade de ovos comercializados em diferentes estabelecimentos na cidade de Imperatriz-MA. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, Salvador, v. 9, n. 1, p. 150-157, jan./mar. 2008.

PEEBLES, E. D.; McDANIEL, C. D. **A practical manual for understanding the shell structure of broiler hatching eggs and measurements of their quality**. Mississippi: State University, 2004. (Bulletin, 1139).

OLIVEIRA, D. D.; OLIVEIRA, B. L. **Qualidade e tecnologia de ovos**. Lavras: Ufla, 2013. 223 p. OSRAM. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <<http://www.osram.com.br/>>. Acesso em: 3 set. 2014.

PEREIRA, D. F. et al. Correlations between thermal environment and egg quality of two layer commercial strains. **Revista Brasileira de Ciência Avícola**, Campinas, v. 10, n. 2, p. 81-88, Apr./June 2008.

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

RENEMA, R. A. et al. Effects of light intensity from photostimulation in four strains of Commercial Egg Layers: egg production parameters. **Poultry Science**, Champaign, v. 80, p. 1121–1131, 2001.

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

RODRIGUES, V. C. et al. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **International Journal Biometeorology**, Berlim, v. 55, n. 3, p. 455-459, July 2010.

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

SANDRINI, J. C. **Sistema de amortização de empréstimos e a capitalização de juros**: análise dos impactos financeiros e patrimoniais. 2007. 290 p. Dissertação (Mestrado em Contabilidade) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

SILVA, G. F.; TAVARES, B. O.; PEREIRA, D. F. Comportamento de poedeiras em função de diferentes fontes de iluminação monocromáticas. **BioEngenharia**, Tupã, v. 6, n. 3, p. 148-158, set./dez. 2012.

SILVA, I. J. O. **Desenvolvimento de modelos matemáticos para avaliar a influência das condições ambientais na produção industrial de ovos**. 1998. 140 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1998.

SKOUGLUND, W. C. et al. Light intensity required for maximum egg production in hens. **Poultry Science**, Champaign, v. 54, n. 5, p.1375-1378, 1975.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Matemática financeira**: fundamentos, conceitos e aplicações. São Paulo: Atlas, 2000.

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

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

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Relatório anual Ubabef**. 2014.  
Disponível em: <<http://www.abef.com.br>>. Acesso em: 24 mar. 2015.

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

VIEIRA, F. M. C.; NAZARENO, A. C.; SILVA, I. J. O. **Tabelas de entalpia**.  
Disponível em: <<http://www.nupea.esalq.usp.br>>. Acesso em: 22 abr. 2015.

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

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**, Athens, v. 15, p. 355–361, 2006.

**PARTE 2 – ARTIGOS****ARTIGO 1 - AMBIENTE TERMO-LUMÍNICO, PRODUÇÃO E  
QUALIDADE DE OVOS EM AVIÁRIOS EQUIPADOS COM  
LÂMPADAS DE LED E FLUORESCENTES COMPACTAS****THERMAL-LUMINOUS ENVIRONMENT, PRODUCTION AND EGGS'  
QUALITY IN AVIARIES EQUIPPED WITH LED LAMPS AND  
COMPACT FLUORESCENT LAMPS**

**Priscilla A. Pereira Ribeiro<sup>1</sup>, Tadayuki Yanagi Junior<sup>2</sup>, Renato Ribeiro  
de Lima<sup>3</sup>, Daniela Duarte de Oliveira<sup>4</sup>, Alessandro Torres Campos<sup>5</sup>,  
Lucas Henrique Pedrozo Abreu<sup>6</sup>**

---

<sup>1</sup> Doutoranda, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG,  
priabreupereira@yahoo.com.br,

<sup>2</sup> Doutor, Prof. Associado, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG,  
yanagi@deg.ufla.br,

<sup>3</sup> Doutor, Prof. Associado, Departamento de Ciências Exatas, UFLA, Lavras - MG,  
rrlima@dex.ufla.br ,

<sup>4</sup> Doutora, Veterinária, ASA – Aviário Santo Antônio, Nepomuceno - MG,  
danidoli@hotmail.com,

<sup>5</sup> Doutor, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG,  
campos@deg.ufla.br,

<sup>6</sup> Doutorando, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG, lhpabreu@gmail.com.

## RESUMO

As condições térmica e lumínica dos aviários interferem na produção e qualidade de ovos. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar os efeitos da substituição de lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) por lâmpadas de diodo emissor de luz (LED), na iluminação artificial e no conforto térmico de aviários comerciais de poedeiras *Hy Line W-36*, sobre os índices produtivos e de qualidade dos ovos. O estudo foi realizado em dois aviários de postura com características construtivas e manejos similares, sendo o primeiro iluminado com LFC e o segundo com LED. O ambiente térmico foi avaliado por meio da entalpia. O desempenho produtivo foi avaliado por meio do consumo de ração (CR), da conversão alimentar (CA), da mortalidade (M) e da percentagem de postura (PP). A gravidade específica (GE) foi usada para se avaliar a qualidade da casca. As variáveis relacionadas ao desempenho produtivo e à qualidade da casca de ovos de poedeiras *Hy Line W-36* criadas em aviários equipados com lâmpadas de LED foram estatisticamente iguais (teste F,  $p > 0,05$ ) aquelas criadas em aviários equipados com LFC. Esses resultados indicam que a substituição de LFC por lâmpadas de LED não afeta negativamente a produção e qualidade dos ovos.

Palavras-chave: Ambiente térmico. Iluminação artificial. Poedeiras. Produção e qualidade de ovos.

### ABSTRACT

Thermal and luminous conditions of aviaries interfere in the production and eggs quality, thus in this work the objective was to evaluate the effects of replacement compact fluorescent lamps (CFL) for light-emitting diode (LED) lamps in the artificial illumination and thermal comfort Hy Line W-36 in laying hen commercial aviaries over productive and egg quality indexes. The experiment was performed in two laying hen aviaries with similar constructive characteristics and management practices, being the first illuminated with CFL and the second with LED. The thermal environment was evaluated through enthalpy and the productive performance was assessed by feed intake, feed conversion, mortality and laying percentage. The specific gravity (SG) was used to evaluate the egg shell quality. The variables related to production performance and egg shell quality of *Hy Line W-36* laying hens bred in aviaries equipped with LED lamps were statistically equal (F test,  $p>0.05$ ) to those bred in aviaries equipped with CFL. These results indicate that replacing CFL for LED lamps does not affect negatively the production and egg quality.

**Keywords:** Thermal environment. Artificial illumination. Laying hens. Production and egg quality.

## 1 INTRODUÇÃO

A avicultura de postura é altamente influenciada pelo ambiente de criação dentro das instalações, sendo necessário atender às condições de conforto para que as aves tenham desempenho produtivo adequado. Diversos são os fatores que interferem na oferta de um ambiente ideal para a produção de ovos, segundo Tinôco (2001), entre os principais estão temperatura ambiente ( $t_{bs}$ ), umidade relativa (UR), velocidade do ar, luminosidade, nível sonoro e qualidade do ar (concentração de gases como  $NH_3$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ; de poeira e entre outras).

O ambiente do sistema de criação intensivo de galinhas poedeiras influencia diretamente na condição de conforto animal. Em determinadas condições pode promover dificuldade na manutenção do balanço térmico no interior das instalações e na expressão dos comportamentos naturais das aves, afetando seu desempenho produtivo (OLIVEIRA et al., 2014).

O estresse devido aos altos valores de temperatura do ambiente é uma das principais causas de perdas na indústria de produção de ovos. O desequilíbrio no ambiente da  $t_{bs}$  e da UR causam sérias alterações no sistema fisiológico das aves. Situações como esta comprometem o desempenho de poedeiras, acarretando diminuição da ingestão de alimento e das atividades físicas, além de perdas na produção, tais como diminuição na quantidade de ovos produzidos, aumento dos ovos com má-formação e até o óbito das aves em condições mais extremas (JÁCOME et al., 2007; VITORASSO & PEREIRA, 2009; SILVA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2014).

Para que as aves possam expressar suas melhores características produtivas torna-se necessário que o ambiente térmico de criação esteja na zona de termoneutralidade, em que, a temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ ) deve variar de 18 a 27 °C e UR de 65 a 75% (SILVA, 1998; TINÔCO, 2001). De acordo

com o Guia de Manejo *Hy Line W-36* (2011), a  $t_{bs}$  e a UR ótimas devem variar de 21 a 24 °C e de 40 a 60%, respectivamente.

A zona de conforto térmico para aviários de poedeiras pode ser caracterizada por meio da entalpia, que através da combinação entre as condições de  $t_{bs}$  e UR, quantifica-se a energia do ar (BARBOSA FILHO et al., 2007).

Assim como a condição térmica do ambiente, a condição de iluminação também é importante para a criação de poedeiras. Na avicultura de postura, a luz tem importância fundamental no manejo, sendo que, os programas de iluminação com luz artificial estabilizam o fotoperíodo e permitem a obtenção de regularidade na postura de ovos.

Nas aves o estímulo luminoso acontece por duas vias, através do olho e pelo crânio. Esse estímulo luminoso é transformado em impulso nervoso que irá desencadear o processo hormonal estimulando o crescimento folicular, a ovulação, formação do ovo e oviposição. O processo para a formação completa do ovo ocorre em um período de 23h30min a 24h00min (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 2013). Atualmente, a forma mais aceita de recepção do estímulo luminoso em relação à reprodução é através do crânio. Segundo Jácome (2009), as aves criadas no sistema de baterias de gaiolas que ficam expostas ao ponto luminoso no andar mais baixo, ou seja, com maior exposição da região transcranial ao fluxo luminoso quando comparada à região dos olhos, apresentam melhores rendimentos em relação à qualidade do ovo.

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

A tecnologia de iluminação comumente utilizada nos aviários é a lâmpada fluorescente compacta, porém recentemente esta vem sendo substituída pelas lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Esse novo sistema de iluminação apresenta vantagens como menor consumo de energia elétrica, maior vida útil e menos manutenção. Alguns autores avaliaram os efeitos do uso de lâmpadas de LED para criação de poedeiras e verificaram que não houve prejuízo à produção e à qualidade dos ovos (ER et al., 2007; GONGRUTTANANUN, 2011; BORILLE et al., 2013).

Além da interferência na fisiologia, o comportamento e o bem-estar das aves estão relacionados com a luz e o sentido da visão. De acordo com Mendes et al. (2013) as aves domésticas possuem sistemas visuais altamente desenvolvidos e a maior parte do seu comportamento é medido pela visão. Estudos sobre a influência do uso da lâmpada de LED e suas variações de cores no comportamento das aves podem ser encontrados na literatura (SILVA et al., 2012; HUBER-EICHER et al., 2013).

Problemas na qualidade da casca são capazes de determinar perdas significativas para a indústria de produção de ovos. Além do prejuízo econômico relacionado à má qualidade da casca, o aspecto sanitário é outro fator importante, uma vez que a casca com espessura e resistência adequadas protege o ovo de contaminações (CARVALHO & FERNANDES, 2013).

A condição ambiental nos aviários, tanto térmica quanto luminotécnica, pode causar perdas na produção e qualidade de ovos. Pereira et al. (2008) verificaram a correlação entre o ambiente térmico e a qualidade de ovos de duas linhagens de poedeiras comerciais e observaram que o aumento da temperatura do ar resultou na formação de ovos de menor percentagem de peso de casca e menores valores de gravidade específica.

Análises de parâmetros produtivos e da qualidade dos ovos podem ser adotadas para determinação dos efeitos do ambiente de criação sobre o desempenho e o bem-estar das aves (ALVES et al., 2007). Nesse sentido, a produção, a produtividade e a qualidade dos ovos são os principais interesses dos produtores e consumidores de ovos por estar diretamente relacionada a fatores como higiene, sanidade, saúde e bem-estar dos animais (TRINDADE et al., 2007).

Diante do exposto, o objetivo neste trabalho foi avaliar o ambiente térmico e luminotécnico de aviários de poedeiras comerciais equipados com lâmpadas fluorescentes compactas e lâmpadas de LED e suas influências sobre a produção e qualidade de ovos.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi desenvolvido em aviários comerciais para a produção de ovos, localizados em uma granja comercial no município de Nepomuceno - MG, região com latitude de 21°14'09''S, longitude 45°14'09''W e altitude de 848 m. O clima é do tipo Cwb, conforme classificação climática de Köppen, com temperatura média anual em torno de 19,3 °C. O período de realização do experimento foi de 10 de junho a 01 de setembro de 2014. Os dois aviários convencionais avaliados são equipados com 72 lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) (10 W) e 72 lâmpadas de LEDs (7 W), respectivamente. O programa de iluminação adotado pela granja é de 17 horas de luz, sendo 12 horas de luz natural e 5 horas de luz artificial. Os aviários, com características construtivas idênticas têm dimensões de 10 m x 120 m, pé direito de 4,50 m, orientação leste oeste e são elevados 2,0 m em relação à superfície do solo. Possuem fechamentos laterais com cortinas de lona na cor amarela e coberturas de telhas metálicas galvanizadas em formato trapezoidal e espessura 0,65 mm (inclinação 25%). Os dois aviários possuem sistemas automatizados para distribuição de água e ração e para coleta de ovos.

Cada aviário é composto por 3 baterias de gaiolas, distanciadas 1,0 m uma da outra, formando 4 corredores ao longo de cada instalação. As gaiolas são enfileiradas em número de quatro andares sobrepostos. Os andares estão localizados nas alturas de 0,10 m, 0,75 m, 1,40 m e 2,05 m em relação ao piso do galpão, respectivamente, da primeira à quarta prateleira de gaiolas (Figura 1).



com 22 semanas de idade foram alojadas em cada aviário. Ao final do experimento a idade das aves era 33 semanas.

Para avaliação do ambiente térmico foram coletados dados de  $t_{bs}$  e UR ao longo do experimento em três períodos do dia: manhã, tarde e noite, respectivamente às 09h00min, 15h00min e 18h00min. Foram utilizados sensores registradores (precisão de  $\pm 3\%$ ), instalados no meio de cada corredor em cada aviário, totalizando quatro sensores por aviário (Figura 2). Além desses, um sensor foi instalado na área externa, entre os dois aviários analisados.

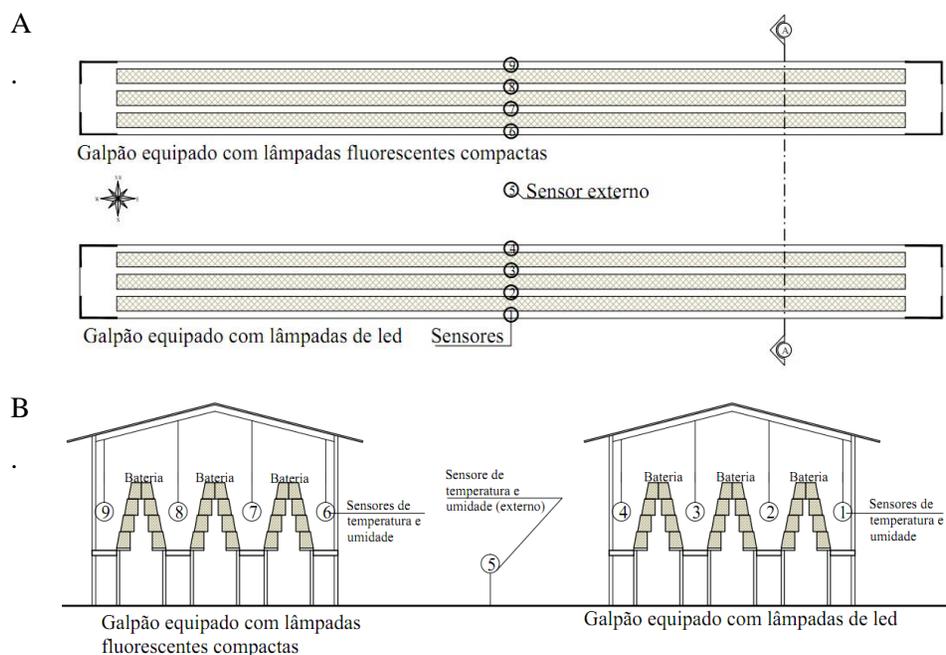


Figura 2 Desenho esquemático (A) e corte AA (B) dos aviários com a localização dos sensores de temperatura e umidade (sem escala definida). Schematic design (A) and AA cross-section (B) of aviary with location of sensors for temperature and humidity (no defined scale). Dimension units: m.

Para avaliar o ambiente térmico de alojamento das aves determinou-se a entalpia ( $H$ , kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>) por meio da equação 1 (ALBRIGHT, 1990) em função da temperatura de bulbo seco do ar ( $t_{bs}$ , °C) e da razão de mistura ( $W$ , kg<sub>vapor d'água</sub> kg<sub>ar seco</sub><sup>-1</sup>), por ser a mais adequada para estudos em ambiente animal (RODRIGUES et al.,2010).

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

Por sua vez, a razão de mistura ( $W$ , kg<sub>vapor d'água</sub> kg<sub>ar seco</sub><sup>-1</sup>) pode ser calculada pela equação 2, em função da pressão atual de vapor-d'água ( $ea$ , kPa) e pressão atmosférica do local ( $P_{atm}$ , kPa).

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

Para avaliação do ambiente lumínico foram realizadas medições dos níveis de iluminância a cada 15 dias durante o período do experimento, totalizando 6 dias de coletas. As medições foram realizadas simultaneamente nos dois galpões em 3 períodos: manhã, tarde e noite. Utilizou-se um luxímetro digital (exatidão  $\pm 3\%$  para lâmpadas incandescentes e  $\pm 5\%$  para as demais).

As medições foram realizadas em 3 regiões de amostragens, localizadas nas extremidades e no meio do galpão, conforme ilustrado na Figura 3. Em cada amostragem foram coletados dados em 5 pontos ao longo do corredor, caracterizando as regiões localizadas sob as fontes de luz e também as intermediárias, sendo que em cada um destes 5 pontos houve coleta no nível dos 4 andares de gaiolas nas alturas de 0,40 m, 1,10 m, 1,70 m e 2,40 m (Figura 4).

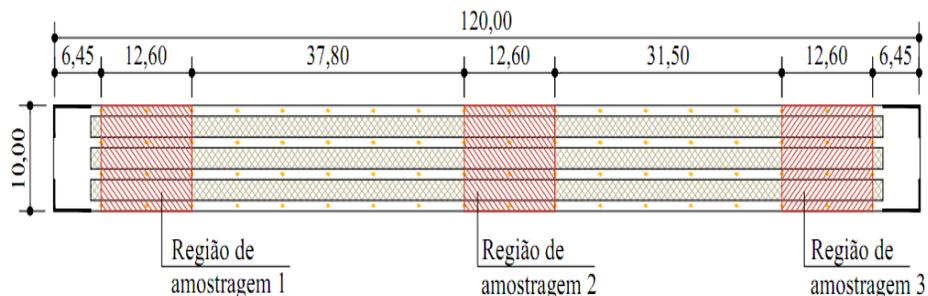


Figura 3 Desenho esquemático do aviário ilustrando parcelas experimentais para medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary showing experimental parcels for illuminance mensuration (no defined scale). Dimension units: m.

O manejo das aves seguiu a rotina de trabalho da granja onde foi realizado o experimento. A coleta dos ovos foi realizada diariamente, nos horários de 10h00min e 15h30min. O arraçoamento das aves também foi feito duas vezes ao dia, sendo o primeiro trato às 8 h e o segundo às 15 h. As rações e a água foram fornecidas à vontade para as aves.

Para as formulações das rações e os cálculos dos níveis nutricionais foram considerados os valores nutricionais estabelecidos nas Tabelas Brasileiras de Exigências Nutricionais de Aves e Suínos (ROSTAGNO et al., 2011).

As avaliações de desempenho produtivo foram realizadas a partir da análise dos dados de consumo de ração (CR), da conversão alimentar (CA), da mortalidade (M) e da percentagem de postura (PP) e da qualidade de ovos pela gravidade específica.

O cálculo do CR foi obtido a partir da quantidade oferecida na semana, menos as sobras ao final de cada semana. Foi calculado o consumo médio diário considerando-se o número de aves mortas na semana. A CA

( $\text{kg}_{\text{ração}} / \text{dúzia de ovos}$ ) foi calculada dividindo-se o consumo de ração semanal e a produção acumulada de ovos na semana.

Os ovos foram coletados por meio de esteiras localizadas em cada linha de andar e conectadas a uma esteira central que conduz os ovos para a casa de seleção e processamento. A produção de ovos foi registrada diariamente e, posteriormente, calculada a percentagem de postura.

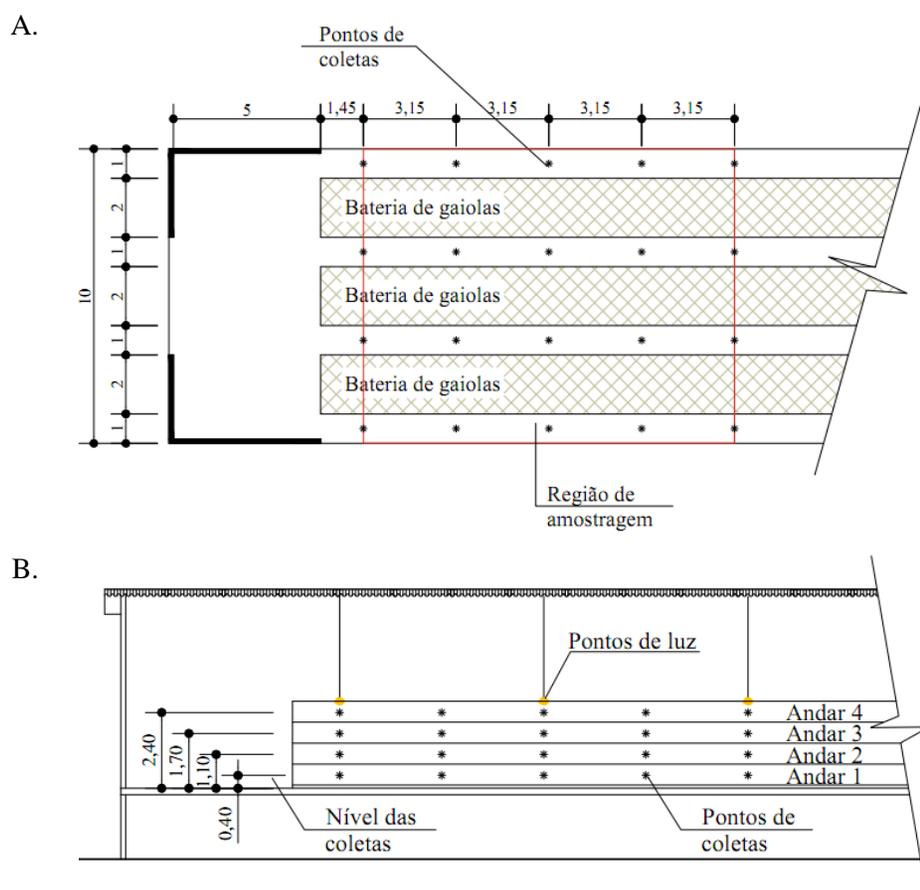


Figura 4 Desenho esquemático do aviário (A) e elevação (B) ilustrando detalhadamente os pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (A) and elevation (B) showing in detail the measurement points of illuminance (no defined scale). Dimension units: m.

Para as avaliações da qualidade dos ovos foram utilizados 30 ovos de cada aviário, tomados ao acaso. As avaliações foram feitas no mesmo dia da postura. Para avaliar a qualidade da casca realizou-se a medição da gravidade específica (GE), que segundo Furtado et al. (2001) é suficiente para esta análise, podendo ser utilizada rotineiramente por pesquisadores e produtores. A GE foi determinada a partir da imersão dos ovos de cada aviário em soluções salinas (água e sal) de acordo com o método proposto por Hamilton (1982). Cinco soluções salinas nas densidades de 1.075, 1.080, 1.085, 1.090 e 1.095 foram preparadas e determinadas com auxílio de um densímetro. A GE foi determinada em função do número de ovos que flutuavam em cada solução salina.

O experimento foi montado seguindo o delineamento em blocos casualizados (DBC). A variável iluminância foi analisada com 18 repetições, sendo a combinação de 6 dias de coletas dos dados e 3 regiões de amostragem no aviário. Para a variável entalpia (H) realizou-se uma análise para cada período do dia (manhã, tarde e noite) sendo os 36 dias correspondentes às repetições. Os dados de desempenho produtivo e gravidade específica foram avaliados semanalmente, sendo cada uma das 12 semanas considerada um bloco. As análises estatísticas foram processadas por meio do *software* SAS (2012), considerando o modelo estatístico dado pela equação 3.

$$y_{ij} = \mu + t_i + b_j + e_{ij} \quad (3)$$

em que,  $y_{ij}$  é a observação na parcela referente ao tipo de lâmpada  $i$ , no bloco  $j$ ;  $\mu$  é a constante inerente a cada observação;  $t_i$  é o efeito do tipo de lâmpada;  $b_j$  o efeito de bloco  $j$  e  $e_{ij}$  o erro aleatório associado a cada observação  $y_{ij}$ , sendo  $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ .

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 lista os valores médios e o desvio padrão da  $t_{bs}$  e UR para os períodos de manhã, tarde e noite durante o experimento. As temperaturas e UR observadas nos aviários equipados com lâmpadas LFC e com lâmpadas de LED durante o período da manhã, tarde e noite foram estatisticamente iguais (teste F,  $p>0,05$ ), indicando que qualquer possível efeito na produtividade e qualidade dos ovos deve-se ao efeito dos tipos de lâmpadas avaliadas.

Tabela 1 Valores médios e erros padrões da temperatura e umidade relativas do ar nos dois aviários avaliados, equipados com lâmpada fluorescente compacta (LFC) e com lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of air temperature and relative humidity in aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode (LED).

Período do dia	Tipo de lâmpada	Temperatura do ar (°C)		Umidade relativa do ar (%)	
		Média	Erro padrão	Média	Erro Padrão
Manhã	LFC	19,0 a	0,0176	49 a	1,4
	LED	18,9 a	0,0176	51 a	1,4
Tarde	LFC	27,4 a	0,0229	28 a	0,7
	LED	27,5 a	0,0229	27 a	0,7
Noite	LFC	22,9 a	0,0188	35 a	1,0
	LED	22,4 a	0,0188	35 a	1,0

Médias seguidas de letras distintas, na coluna, para o período da manhã, tarde e noite, respectivamente, diferem entre si, pelo teste de F ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com Silva (1998) e Tinôco (2001) os limites de  $t_{bs}$  e UR para que as aves estejam na zona de termoneutralidade é de, respectivamente, 18 a 27 °C e 65 a 75%. Nos dois galpões avaliados pode-se observar que com relação à

$t_{bs}$ , apenas no período da tarde as médias não atenderam ao ideal, porém estiveram bastante próximas. Considerando-se a recomendação destes autores, a UR apresentou valores abaixo. Tomando-se como referência o Guia de Manejo *Hy Line W-36* (2011), em que a UR ótima deve variar de 40 a 60%, apenas no período da manhã os galpões apresentaram condição ideal para conforto térmico. Em aviários com valores altos de UR, as aves ficam mais sensíveis ao estresse por calor, sendo importante se manter uma baixa UR no ambiente de produção (BARBOSA FILHO, 2004).

Os baixos valores de UR encontrados (Tabela 1) podem ser benéficos para o ambiente de produção, porém deve-se ressaltar que o experimento foi realizado no período de seca e que o ano de 2014 foi atípico com relação à incidência de chuva. Essa estiagem que ocorreu na região Sudeste foi devido ao sistema de alta pressão do Atlântico que bloqueou as frentes frias (MENDES, 2014).

Os dois galpões avaliados não apresentaram diferença estatística (teste F,  $p > 0,05$ ) para as médias noturnas de  $t_{bs}$ , indicando que as lâmpadas avaliadas não interferiram na condição térmica dos aviários. Long et al. (2015) ao avaliarem as características técnicas e operacionais de lâmpadas de LED e LFC em aviários para poedeiras observaram ser improvável que acarretem o aquecimento do ambiente.

Devido à importância do efeito combinado da  $t_{bs}$  e UR para a condição de conforto térmico ambiental, realizou-se a análise do índice de H (Tabela 2).

Segundo Alves (2006), os valores limites de entalpia considerados como ideais para aves poedeiras são entre 36 e 66 kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>. Portanto, os valores médios de quantidade de energia existentes na massa de ar seco estão dentro da faixa preconizada como de conforto térmico para as aves. Devido aos baixos valores de UR observados, pode-se verificar que os valores médios de H aproximaram-se do limite crítico inferior. Comparando-se os valores de H nos

aviários equipados com LFC e LED durante os períodos da manhã, tarde e noite, verificou-se que não houve diferenças significativas (teste F,  $P > 0,05$ ), indicando que o uso de ambas as lâmpadas não interferiu nas condições térmicas dos aviários. Esses resultados corroboram com os resultados obtidos ao se analisar os dados de  $t_{bs}$  e UR.

Tabela 2 Médias e erros padrões de entalpia para os períodos da manhã, tarde e noite para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of enthalpy assessed in the morning, afternoon and night in aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and LED.

<b>Entalpia (kJ kg de ar seco<sup>-1</sup>)</b>		
<b>Período do dia</b>	<b>Tipo de lâmpada</b>	
	<b>LFC</b>	<b>LED</b>
<b>Manhã</b>	36,2 (0,49) a	36,7 (0,49) a
<b>Tarde</b>	43,2 (0,40) a	43,4 (0,40) a
<b>Noite</b>	36,8 (0,44) a	37,4 (0,44) a

Médias seguidas de letras distintas nas linhas diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar dos dois tipos de lâmpadas terem o fluxo luminoso semelhante, o aviário equipado com lâmpadas de LED apresentou iluminância superior ao equipado com lâmpada fluorescente compacta (teste F,  $p < 0,05$ ) (Tabela 3). Uma possível justificativa para este fato é que as lâmpadas de LED têm como característica o direcionamento do fluxo luminoso para baixo, no caso das lâmpadas avaliadas a abertura do fecho é de 120°. Dessa forma, verifica-se a necessidade do reposicionamento das lâmpadas no aviário, objetivando diminuir a média das iluminâncias.

Tabela 3 Médias e erros padrões das iluminâncias no período de iluminação artificial (período noturno) para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of illuminance of artificial lighting period (night time) in aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode (LED).

<b>Tipo de lâmpada</b>	<b>Iluminância noturna (lux)</b>
LFC	16 (0,5) a
LED	28 (0,5) b

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

As intensidades mensuradas são superiores ao valor mínimo de 5 lux recomendado para aviários de poedeiras (NORTH & BELL, 1990). De acordo com Jácome et al. (2014), iluminâncias superiores a 10 lux não levam a qualquer benefício e podem prejudicar a produção, podendo resultar em menores valores de peso dos ovos (JÁCOME, 2009). Entretanto, Yldiz et al. (2006), verificaram que intensidades luminosas entre 35 e 55 lux melhoram a produção e a qualidade dos ovos. Ressalta-se que a iluminância mínima para o estímulo fisiológico nas aves para resposta a alterações no fotoperíodo é de 2 lux (GARNER et al, 2012; MORRIS, 2004).

De acordo com os dados de PP e GE listados na Tabela 4, verifica-se que não houve diferença entre estas variáveis para as lâmpadas avaliadas. Infere-se, portanto, que a diferença entre os níveis de iluminâncias não influenciaram a produção e qualidade dos ovos.

Para avaliação do desempenho produtivo foram avaliados CR, CA, M e PP. Além destes, o parâmetro de qualidade, GE, foi avaliada (Tabela 4).

O CR não foi influenciado estatisticamente (teste F,  $p > 0,05$ ) pelos tipos de lâmpadas no período avaliado. Segundo Borille et al. (2013) isso indica que as aves obtiveram a mesma sensibilidade visual nas duas fontes de luz testadas, não alterando o seu comportamento alimentar. De forma similar, a CA e a M não

foram influenciadas pelo tipo de lâmpada (teste F,  $p>0,5$ ). Long et al. (2015) avaliaram o uso de lâmpadas fluorescentes e de LED em aviários com capacidade para 50.000 aves e não observaram diferenças no peso dos ovos, produtividade, CR e M, porém as aves alojadas sob a iluminação de lâmpadas fluorescentes apresentaram melhor CA. Segundo estes autores, muitas pesquisas sobre o impacto do uso de iluminação com lâmpadas de LED em poedeiras são realizados em laboratórios com poucas aves, sendo necessárias pesquisas em campo para avaliar a real condição de produção e do uso desta nova tecnologia.

Rozenboim et al. (1998) estudaram os efeitos da intensidade da luz em galinhas poedeiras e relataram redução de CR quando a intensidade da luz foi reduzida de 68 lux para 7 lux.

Min et al. (2012) avaliaram o desempenho de produção e qualidade de ovos de poedeiras da linhagem *Hyline* sob fontes de luz monocromática (incandescente, LED nas cores branco, vermelho e azul) e concluíram que poedeiras criadas sob luz vermelha têm o amadurecimento sexual mais cedo e apresentam aumento na produção de ovos e maior espessura da casca. Porém, para estas aves, a taxa de CA e o CR foram significativamente maiores.

Os usos das lâmpadas LFC e LED não influenciaram a PP de ovos (teste F,  $p>0,05$ ), corroborando com as pesquisas desenvolvidas por diversos autores (ER et al., 2007; GONGRUTTANANUN, 2011; BORILLE et al., 2013, LONG et al., 2015).

Tabela 4 Médias e erros padrões de consumo de ração (CR), conversão alimentar (CA), mortalidade (M), percentagem média de postura (PP) e gravidade específica (GE) para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Means and standard errors of feed intake (FI), feed conversion (FC), mortality (M), egg laid percentage (EP) and specific gravity (SG) for aviaries equipped with fluorescent compact lamps (CFL) and Light emitting diode lamps (LED).

<b>Tipo de lâmpada</b>	<b>CR (g/ave/dia)</b>	<b>CA (kg ração/dz ovos)</b>	<b>M (%)</b>	<b>PP (%)</b>	<b>GE</b>
<b>LFC</b>	80,3 (6,0) a	1,19 (0,07) a	0,05 (0,01) a	83,36 (6,40) a	1086,97 (0,77) a
<b>LED</b>	80,2 (6,0) a	1,20 (0,07) a	0,05 (0,01) a	82,08 (6,08) a	1086,64 (0,66) a

Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade.

Segundo Oliveira et al. (2014), quando as aves se encontram em ambientes dentro da zona de conforto térmico acontece efeito positivo na produção e nos parâmetros de qualidade dos ovos. Nessa condição, as aves têm melhor aproveitamento do cálcio e demais nutrientes existentes na ração, tornando-se imprescindíveis na distribuição da superfície do ovo durante sua formação.

O fato das aves se encontrarem dentro de sua zona de termoneutralidade e que os valores de temperatura média observados durante o experimento tiveram situados dentro dos limites críticos estabelecidos na literatura, propiciaram que as aves expressassem o seu potencial produtivo.

Quanto à variável GE dos ovos, também não houve diferença significativa entre os dois sistemas de iluminação (teste F,  $p > 0,05$ ). A GE de um ovo está relacionada com a percentagem de casca, sendo que o aumento da gravidade específica implica o aumento na sua espessura e resistência (HAMILTON, 1982). Variações na GE do ovo são devidas principalmente a alterações na densidade da casca (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 2103). De acordo com North e Bell (1990), a GE está correlacionada com a probabilidade dos ovos quebrarem nos manuseios e processamentos.

Peebles e Mcdaniel (2004) consideram o valor da GE 1.080 como valor limite entre baixa ou alta qualidade da casca. Segundo Oliveira e Oliveira (2013), GE entre 1.080 e 1.084 são consideradas normais e acima destes valores são considerados ovos com casca de excelente qualidade. Portanto, os valores encontrados nesta pesquisa indicam alta qualidade da casca. Os resultados encontrados de GE estão de acordo com os observados por Alves et al. (2007) ao avaliarem a qualidade de ovos produzidos em sistemas de gaiolas.

#### **4 CONCLUSÕES**

Conclui-se que as lâmpadas de LED podem substituir as lâmpadas LFC sem influenciar negativamente a produção e qualidade da casca de ovos de poedeiras *HyLine W-36*. O consumo de ração, conversão alimentar e mortalidade não foram influenciados pelas lâmpadas avaliadas, assim como o ambiente térmico dos aviários.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES, à FAPEMIG e ao CNPq pelo suporte financeiro e ao grupo Aviário Santo Antônio por disponibilizar suas instalações para realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

ALBRIGHT L. D. *Environment control for animals and plants. St. Joseph: American Society of agricultural Engineers Michigan*, 1990. (ASAE Textbook, 4).

ALVES, S. P. Uso da zootecnia de precisão na avaliação do bem-estar bioclimático de aves poedeiras em diferentes sistemas de criação. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 2006. 128 p. Tese de Doutorado.

ALVES, S. P.; SILVA, I. J. O. da.; PIEDADE, S. M. de S. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras comerciais: efeitos do sistema de criação e do ambiente bioclimático sobre o desempenho das aves e a qualidade de ovos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v.36, p.1388-1394, 2007.

BARBOSA FILHO, J. A. D. Avaliação do bem-estar de aves poedeiras em diferentes sistemas de produção e condições ambientais, utilizando análise de imagens, 2004. Dissertação (Mestrado na área de Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

BARBOSA FILHO, J. A. D.; SILVA, I. J. O.; SILVA, M. A. N.; SILVA, C. J. M. Avaliação dos comportamentos de aves poedeiras utilizando sequência de imagens. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 93-99, 2007.

BORILLE, R.; GARCIA, R. G.; ROYER, A. F. B.; SANTANA, M. R.; COLET, S.; NAAS, I. A.; CALDARA, F. R.; ALMEIDA PAZ, I. C. L.; ROSA, E. S.; CASTILHO, V. A. R. The use of light-emitting diodes (LED) in commercial layer production. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v. 15, n. 2, p. 135-140, 2013.

CARVALHO, L. S. S.; FERNANDES, E. A. Formação e qualidade da casca de ovos de reprodutoras e poedeiras comerciais. *Medicina Veterinária*, Recife, v.7, n.1, p.35-44, 2013.

ER, D.; WANG, Z.; CAO, J.; Effect of monochromatic light on the egg quality of laying hens. *The Journal Applied Poltry Research*, Oxford, v. 16, n. 4, p. 605-612, 2007.

FURTADO, I. M.; OLIVEIRA, A. I. G.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, B. L.; RODRIGUES, P. B. Correlação entre medidas da qualidade da casca e perda de ovos no segundo ciclo de produção. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.25, n.3, p.654-660, maio/jun., 2001.

GARNER, J. P.; KIESS, A. S.; MENCH, J. A.; NEWBERRY, R. C.; HESTER, P. Y. The effect of cage and house design on egg production and egg weight of White Leghorn hens: An epidemiological study. *Poultry Science*, Champaign, v.91, p. 1522–1535, 2012.

GEWEHR, C. E.; FREITAS, H. J. Iluminação intermitente para poedeiras criadas em galpões abertos. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, Lages, v.1, n.6, p. 54-62, 2007.

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

HAMILTON, R. G. M. Methods and factors that effect the measurement of egg shell quality. *Poultry Science*, Champaign, v. 61, n. 10, p.2022-2039, 1982.

HUBER-EICHER, B.; SUTER, A.; SPRING-STÄHLI, P. Effects of colored light-emitting diode illumination on behavior and performance of laying hens. *Poultry Science*, Champaign, v. 92, p. 869–873, 2013.

HY-LINE. MANUAL DE PADRÕES DE DESEMPENHO HY-LINE W-36, 2011. Disponível em: <http://www.hylinedobrasil.com.br>. Acessado em 23/04/2015.

JÁCOME, I. M. T. D. Diferentes sistemas de iluminação artificial usados no alojamento de poedeiras leves. Campinas: Unicamp, 2009. 144 p. Tese de Doutorado.

JÁCOME, I. M. T. D.; FURTADO, D. A.; LEAL, A. F.; SILVA, J. H. V.; MOURA, J. F. P. Avaliação de índices de conforto térmico de instalações para poedeiras no nordeste do Brasil. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.11, p.527- 531, 2007.

LONG, H.; ZHAO, Y.; WANG T., Z. NING, XIN, H. Effect of light-emitting diode vs. fluorescent lighting on laying hens in aviary hen houses: Part 1 – Operational characteristics of lights and production traits of hens. Poultry Science, Champaign , v. 00, p. 1–11, 2015.

MENDES, A. S.; PAIXÃO, S. J. RESTELATTO, R.; MORELLO, G. M.; MOURA, D. J.; POSSENTI, J. C. Performance and preference of broiler chickens exposed to different lighting sources. The Journal Applied Poltry Research, Oxford, v. 22, n. 1, p. 62-70, 2013.

MENDES, L. F. R. Considerações acerca da geração hidroelétrica fluminense a partir da crise hídrica do estado de São Paulo. Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego, Campos dos Goytacazes/RJ, v.8 n.1, p. 35-49, jan./jun. 2014.

MIN, J. K.; HOSSAN, M. S.; NAZMA, A.; JAE, C. N.; HAN, T. B.; HWAN, K. K.; DONG, W. K.; HYUN, S. C.; HEE, C. C.; OK, S. S. 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, jun./2012.

MORRIS, T. R. Environmental control for layers. World's Poultry Science Journal, Cambridge, v. 60, n. 02, p. 163-175, jun./2004.

NORTH, M. O. & BELL, D.D. Commercial Chicken Production Manual. New York: Van Nostrand Reinhold, 913p., 1990.

OLIVEIRA, D. D.; OLIVEIRA, B. L. Qualidade e tecnologia de ovos. Lavras: Editora Ufla, 223 p., 2013.

OLIVEIRA, D. L.; NASCIMENTO, J. W. B.; CAMERINI, N. L.; SILVA, R.; FURTADO, D. A.; ARAÚJO, T. G. P. Desempenho e qualidade de ovos de galinhas poedeiras criadas em gaiolas enriquecidas e ambiente controlado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.18, n.11, p.1186–1191, 2014.

PEEBLES E. D., McDANIEL, C. D. A practical manual for understanding the shell structure of broiler hatching eggs and measurements of their quality. Mississippi: State University; 2004. (Bulletin, 1139).

PEREIRA, D. F.; VITORASSO, G. OLIVEIRA S. C. KAKIMOTO, S. K., TOGASHI, C. K. V.; SOARES, N. M.. Correlations between thermal environment and egg quality of two layer commercial strains. Revista Brasileira de Ciência Avícola, Campinas, v. 10, n. 2, p. 81-88, Apr./Jun. 2008.

RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. International Journal Biometeorology, Berlim, v. 55, n. 3, p. 455-459, jul. 2010.

ROSTAGNO, H.S.; ALBINO, L.F.T.; DONZELE, J.L.; GOMES, P. C; OLIVEIRA, R. F.; LOPES, D. C.; FERREIRA, A. S.; BARRETO, S. L. T.; EUCLIDES, R. F. Tabelas brasileiras para aves e suínos – composição de alimentos e exigências nutricionais. Viçosa. UFV, Departamento de Zootecnia, 2011.

ROZENBOIM, I.; ZILBERMAN, E.; GVARYAHU, G. New monochromatic light source for laying hen. Poultry Science, Champaign , v. 77, p. 1695-1698, 1998.

SILVA, I. J. O. Desenvolvimento de modelos matemáticos para avaliar a influência das condições ambientais na produção industrial de ovos. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 1998, Tese (Doutorado em Construções Rurais e Ambiente).

SILVA, R. C.; NASCIMENTO, J. W. B. do; OLIVEIRA, D. L.; CAMERINI, N. L.; FURTADO, D. A. Força de ruptura da casca do ovo em função das temperaturas da água e do ambiente. *Revista Educação Agrícola Superior*, Campinas, v.27, p.13-18, 2012.

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

TRINDADE, J. L.; NASCIMENTO, J. W. B. do; FURTADO, D. A. Qualidade do ovo de galinhas poedeiras criadas em galpões no semi-árido paraibano. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental*, Campina Grande, v.11, p.652-657, 2007.

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

YILDIZ, A.; LAÇIN, E.; HAYIRLI, A.; MACIT, M. 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 Applied Poltry Research*, Oxford, v.15, p.355-361, 2006.

**ARTIGO 2**

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS ILUMINÂNCIAS EM AVIÁRIOS  
PARA POEDEIRAS EQUIPADOS COM LÂMPADAS  
FLUORESCENTES COMPACTAS E DE LED**

**Artigo redigido conforme normas da Revista Engenharia Agrícola**

**ANÁLISE GEOESTATÍSTICA DAS ILUMINÂNCIAS EM AVIÁRIOS  
PARA POEDEIRAS EQUIPADOS COM LÂMPADAS  
FLUORESCENTES COMPACTAS E DE LED**

**GEOSTATISTICAL ANALYSIS OF ILLUMINANCES IN AVIARIES  
FOR LAYING HENS EQUIPED WITH COMPACT FLUORESCENT  
LAMPS AND LED LAMPS**

**Priscilla Abreu Pereira Ribeiro<sup>7</sup>, Tadayuki Yanagi Junior<sup>8</sup>, Daniela Duarte  
de Oliveira<sup>9</sup>, Gabriel Araújo e Silva Ferraz<sup>10</sup>, Dian Lourençoni<sup>11</sup>**

---

<sup>7</sup>Doutoranda, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG, priabreupereira@yahoo.com.br.

<sup>8</sup>Doutor, Professor Associado, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, yanagi@deg.ufla.br.

<sup>9</sup> Doutora, Médica Veterinária, Aviário Santo Antônio, ASA/Nepomuceno – MG, danidoli@hotmail.com.

<sup>10</sup>Doutor, Professor Adjunto, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, gabriel.ferraz@deg.ufla.br.

<sup>11</sup>Doutorando, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG, dlourenconi@hotmail.com.

## RESUMO

A distribuição espacial das iluminâncias interfere na produção comercial de ovos e no consumo de energia elétrica, sendo considerada a segunda maior fonte de custos na cadeia produtiva. Portanto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a distribuição espacial do nível de iluminância e o consumo de energia elétrica em dois aviários comerciais para produção de ovos. O primeiro aviário está equipado com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e o segundo com lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). As iluminâncias nos aviários foram analisadas por meio de estatística descritiva e a sua distribuição espacial através da geoestatística. Verificou-se que o aviário equipado com LFC lâmpadas fluorescentes compactas apresentou melhor uniformidade na distribuição das iluminâncias e melhores resultados para se atender aos níveis de iluminamento de 5 lux. Por sua vez, aquele equipado com lâmpadas de LED apresentou consumo de energia elétrica 43,52% menor do que aquele equipado com LFC.

Palavras-chave: Iluminação artificial. Distribuição espacial. Iluminância. Consumo de energia elétrica. Instalação avícola.

### **ABSTRACT**

The spatial distribution of illuminances interferes in the commercial production of eggs and electric energy consumption, being considered the second major source of costs in the production chain. Therefore, in this work the objective was to evaluate the spatial distribution of the illuminance level and electric energy consumption in two commercial aviaries for egg production. The first aviary is equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and the second, with light-emitting diode (LED) lamps. The illuminances in the aviaries were analyzed using descriptive statistics and their spatial distribution through geostatistics. It was found that the aviary equipped with compact fluorescent lamps (CFL) showed better uniformity in the illuminances distribution and better results in meeting the luminance levels of 5 lux. In turn, that equipped with LED lamps showed electric energy consumption 43.52% less than that equipped with compact fluorescent lamps (CFL).

**Keywords:** Artificial illumination. Spatial distribution. Illuminance. Electric energy consumption. Aviary.

## **1 INTRODUÇÃO**

O ovo é uma importante fonte de proteína animal para o consumo humano, e a sua produção é um dos seguimentos da agropecuária em expansão no Brasil. A melhoria no desempenho produtivo do setor avícola se deve a fatores como melhoramento genético, cuidados com nutrição e sanidade e ambiência, com destaque à iluminação artificial.

Segundo Borille et al. (2013), o uso de iluminação artificial para poedeiras comerciais é fundamental no manejo da produção de ovos, podendo ser utilizada para melhorar a taxa de postura e otimizar a eficiência alimentar.

A luminosidade interfere no bem-estar de aves poedeiras, sendo seu efeito bastante complexo por envolver a análise dos diferentes comprimentos de onda da luz na saúde e comportamento das aves (ER et al., 2007). Além deste, fatores como o tempo de exposição das aves à luz, a intensidade luminosa, a distribuição e a cor da luz também interferem no desempenho e bem-estar do lote. O adequado posicionamento das lâmpadas e a distribuição das iluminâncias estimulam as aves a procurar alimento, água e fontes de calor durante a fase de recria. Durante a fase de crescimento, a iluminação pode ser utilizada para moderar o ganho de peso e otimizar a eficiência da produção e a saúde do lote (MENDES et al., 2010).

Nesse contexto, a avaliação dos níveis de iluminâncias é importante para o planejamento do programa de iluminação. Entre as metodologias para esta análise, destaca-se a geostatística, que possibilita o estudo da variabilidade espacial do nível de iluminância nos galpões por meio da interpolação por krigagem. Dessa forma é possível obter mapas de isolinhas para compreender a distribuição espacial auxiliando no planejamento e controle da iluminação (YANAGI JUNIOR et al., 2011; MORRIL, 2014).

Segundo Yanagi Junior et al. (2011), a espacialização das variáveis relacionadas ao ambiente produtivo proporciona a obtenção de informações mais detalhadas sobre o sistema estudado, sendo que, com a análise geoestatística é possível obter modelos de semivariogramas e seus parâmetros.

O uso de sistemas de iluminação artificial integra às práticas de criação, sendo necessário o correto planejamento do programa de luz levando-se em consideração os critérios de produção e também as características técnicas das lâmpadas, objetivando redução dos custos com energia elétrica e manutenção.

Atualmente, o uso de lâmpadas de diodo emissor de luz (LED) na produção de ovos tem demonstrado alta eficiência luminosa, menor consumo de energia e maior vida útil quando comparado com as lâmpadas fluorescentes compactas (LFC), normalmente utilizadas nas instalações. Vários estudos avaliaram o uso de LED nas instalações e verificaram que não houve prejuízo à produção e qualidade de ovos, além de contribuir para a economia de energia elétrica e redução do custo de manutenção do sistema de iluminação artificial (ER et al., 2007; GONGRUTTANANUN, 2011; BORILLE et al., 2013; NUNES et al., 2013).

Observa-se na literatura estudos sobre a influência do uso da lâmpada de LED e suas variações de cores na produção de ovos e no comportamento das aves (MIN et al., 2012; SILVA et al., 2012; HUBER-EICHER et al., 2013; HASSAN et al., 2014), porém, poucas pesquisas são realizadas objetivando análise dos custos de implantação e manutenção, que podem trazer vantagens econômicas aos produtores.

A energia elétrica necessária para manter os programas de iluminação representa uma parcela significativa dos custos variáveis do aviário. Segundo Jácome et al. (2014), no Brasil devem ser desenvolvidos estudos sobre iluminação artificial com análises multidisciplinares, envolvendo produção de

ovos, meio ambiente e consumo de energia elétrica. Logo, o uso racional de energia elétrica deve ser considerado nos sistemas de produção animal visando à preservação dos recursos naturais, essencial para o desenvolvimento sustentável da cadeia de produção.

Nesse contexto, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a distribuição espacial dos níveis de iluminâncias no interior de galpões para produção de ovos equipados com lâmpadas de LED e fluorescente compacta e sua eficiência no consumo de energia elétrica desses dois sistemas de iluminação.

## **2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Características do aviário e coleta de dados**

O experimento foi conduzido em uma granja comercial para produção de ovos localizada no município de Nepomuceno - MG, o período de realização do experimento foi de 11 de junho a 12 de setembro de 2014.

Foram avaliados, separadamente, dois galpões convencionais com as mesmas dimensões (10 m x 120 m), pé direito de 4,50 m e orientação leste oeste. Os galpões possuem coberturas de telhas metálicas galvanizadas em formato trapezoidal com 0,65 mm de espessura, inclinação de 25%, beirais norte e sul com dimensão de 1,0 m e leste oeste com 0,5 m. Os fechamentos laterais são constituídos de cortinas de lona na cor amarela.

O primeiro aviário está equipado com 72 lâmpadas fluorescentes compactas (10 W) e o segundo com 72 lâmpadas de LED (7 W), ambos possuem central de distribuição da rede elétrica individualizada. As lâmpadas fluorescentes compactas avaliadas possuem fluxo luminoso de 590 lm e temperatura de cor 6.500 K (cor branca), as de LEDs têm fluxo luminoso de 550 lm e 6.400 K (cor branca), conforme especificações dos fabricantes.

O programa de luz consistia em 17 horas de luz e 7 de escuro (17L: 7E). O total de 17 horas de luz era provido por iluminação natural e artificial, sendo que, para o período de avaliação, em média, eram ofertadas 12 horas de iluminação natural e 5 de iluminação artificial. A iluminação artificial era ligada às 18h e desligadas às 20h; depois eram ligadas novamente às 03h e desligadas às 06h.

Cada linha de bateria de gaiolas possui 18 pontos de iluminação artificial, sendo que, a distância entre pontos é de 6,30 m. A altura de instalação das lâmpadas é de 2,70 m em relação ao nível do piso do galpão.

Em cada aviário existem três baterias de gaiolas, distanciadas uma da outra a 1,00 m, formando quatro corredores para manutenção ao longo de cada instalação (Figura 1). As baterias são compostas por quatro andares de gaiolas sobrepostas. Os andares estão localizados nas alturas de 0,10 m, 0,75 m, 1,40 m e 2,05 m em relação ao piso do galpão, respectivamente, do primeiro ao quarto andar de gaiolas (Figura 2). As aves alojadas nos galpões são da linhagem *Hylina*, em início de produção (com 22 semanas de idade), totalizando 30.500 galinhas em cada aviário.

Os dois galpões possuem sistemas automatizados para distribuição de água e ração e para coleta de ovos. Os ovos são coletados por meio de esteiras localizadas uma em cada linha de cada andar e conectadas a uma esteira central que conduz os ovos para a casa de seleção e processamento.

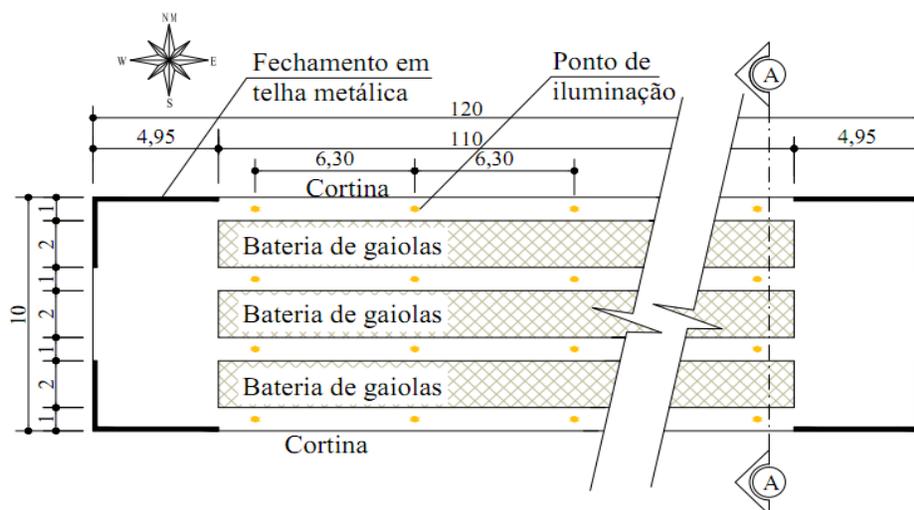


Figura 1 Desenho esquemático do aviário (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (no defined scale). Dimension units: m.

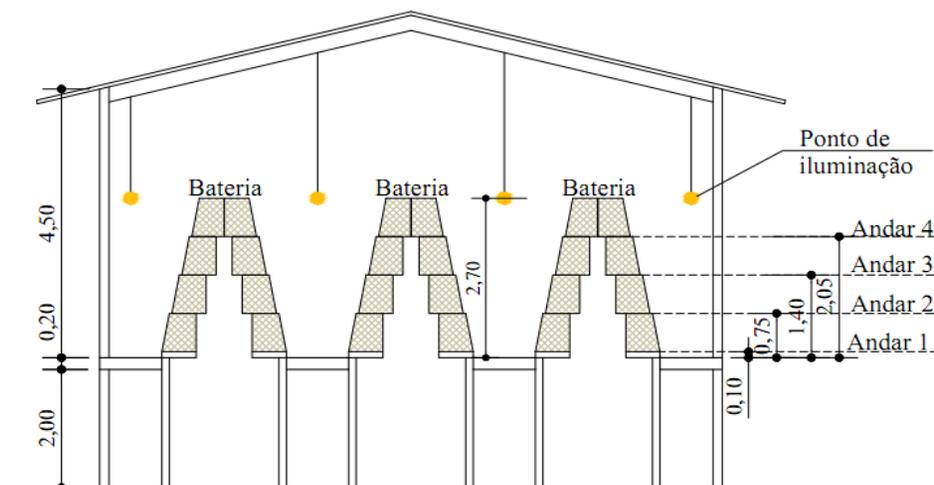


Figura 2 Corte AA do aviário (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Aviary AA cross-section (no defined scale). Dimension units: m.

Para avaliação da distribuição das iluminâncias ofertadas pelas diferentes lâmpadas, foram realizadas medições de iluminância com luxímetro (ICEL, modelo LD-510, exatidão  $\pm 3\%$  para lâmpadas incandescentes e  $\pm 5\%$  para as demais) a cada 15 dias, totalizando seis dias de medições. As medições foram realizadas simultaneamente nos dois galpões a partir das 18 horas, sendo que não havia interferências de iluminação natural ou outras fontes de luz externas.

Foram determinadas 3 regiões de amostragens para coleta dos dados, sendo duas localizadas nas extremidades e uma no meio do aviário (Figura 3). Em cada amostragem foram coletados dados em 5 pontos ao longo do corredor, caracterizando as regiões localizadas sob as fontes de luz e também as intermediárias (Figura 4). Em cada um desses 5 pontos houve coleta ao nível dos 4 andares de gaiolas nas alturas de 0,40 m, 1,10 m, 1,70 m e 2,40 m (Figura 5).

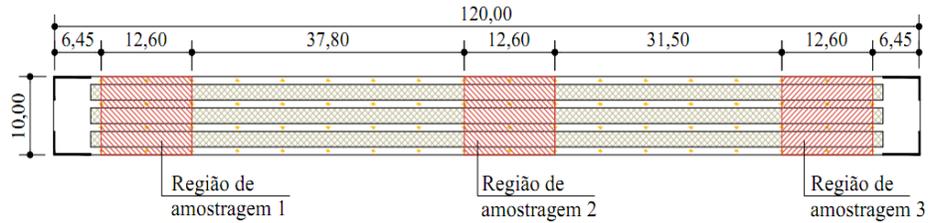


Figura 3 Desenho esquemático do aviário ilustrando parcelas experimentais para medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary showing experimental parcels for illuminance mensuration (no defined scale). Dimension units: m.

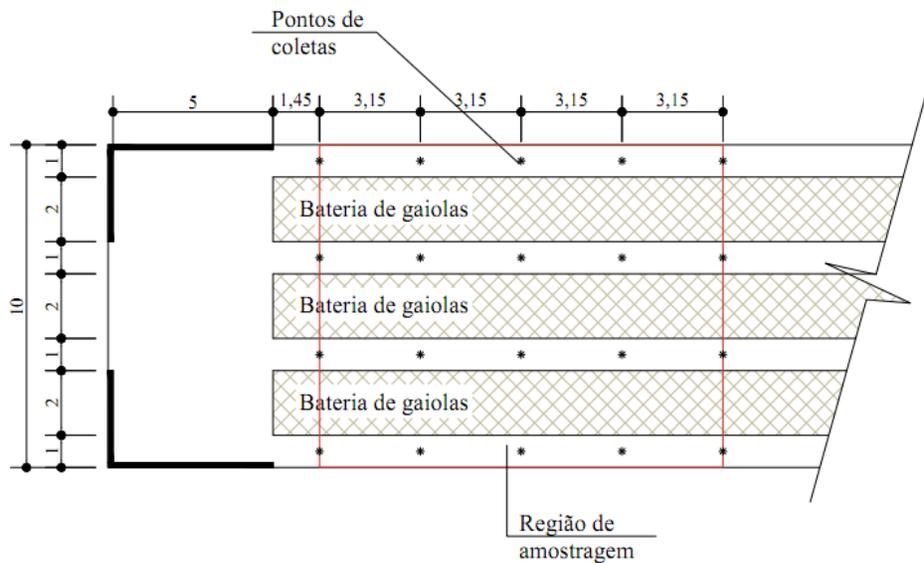


Figura 4 Desenho esquemático do aviário ilustrando detalhadamente os pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary showing in detail the measurement points of illuminance (no defined scale). Dimension units: m.

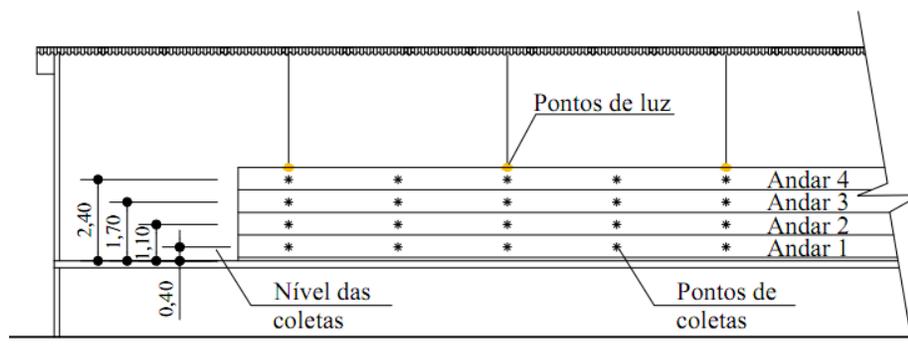


Figura 5 Corte longitudinal do aviário ilustrando pontos de medição das iluminâncias (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Longitudinal-section of the aviary showing the measurement points of illuminance (no defined scale). Dimension units: m.

A propriedade está localizada na área de concessão da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), enquadra no grupo tarifário alta tensão A4, visto que é caracterizada como empresa rural e possui transformador próprio.

Para coleta dos dados de consumo de energia elétrica foi instalado em cada um dos galpões um medidor de energia (medidor monofásico Nansen eletrônico vector MD. 120.240V - 15 (100) A - 60hz - 2 fios- 1 el - 1 fase) independente apenas para medição do consumo de energia elétrica do sistema de iluminação. Foram realizadas seis leituras de consumo de energia elétrica em kWh, no período experimental de 94 dias.

## 2.2 Determinação da variabilidade espacial das iluminâncias

Inicialmente as iluminâncias foram analisadas pela estatística descritiva, calculando-se a média, desvio padrão, mediana, mínimo e máximo. Foi verificado se a média e a covariância dos valores não apresentaram tendência, ou seja, se existe estacionaridade. As condições especificadas pela hipótese de

estacionariedade foram contempladas, logo o semivariograma foi estimado a partir do dado amostral.

A dependência espacial foi verificada por meio de ajustes de semivariogramas (BACHMAIER & BACKERS, 2008), com base na pressuposição de estacionariedade da hipótese intrínseca, a qual foi estimada pela equação 1.

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

em que,

$N(h)$  - número de pares experimentais de dados separados por uma distância  $h$ ;

$Z(x_i)$  - valor determinado em cada ponto de leitura;

$Z(x_i+h)$  - valor medido num ponto, mais uma distância  $h$ ;

$\gamma(h)$  - representação gráfica do semivariograma em função da distância  $h$ .

Os coeficientes do modelo teórico para o semivariograma (o efeito pepita,  $C_0$ ; contribuição,  $C_1$  patamar,  $C_0+C_1$ ; e o alcance,  $a$ ) foram estimados a partir do ajuste de um modelo matemático aos valores calculados de  $\gamma(h)$ .

Alcance é a distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente. Patamar é o valor do semivariograma correspondente a seu alcance ( $a$ ). Deste ponto em diante, considera-se que não existe mais dependência espacial entre as amostras. Efeito pepita revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras. O efeito pepita mede a variabilidade não explicada em função da distância da amostragem utilizada, como variações locais, erros de

análise, erros de amostragem e outros. Contribuição é a diferença entre o patamar e o efeito pepita.

Os semivariogramas foram ajustados pelo método da Máxima Verossimilhança Restrita (REML - Residual Maximum Likelihood), e o modelo matemático foi o esférico. Para a análise do grau da dependência espacial da iluminância, utilizou-se a classificação de Cambardella et al. (1994), em que foram considerados de dependência espacial forte os semivariogramas com relação efeito pepita  $(C_0) / (C_0 + C_1)$  menor que 25% do patamar, moderada entre 25 e 75% e fraca maior que 75%. Essa metodologia tem sido usada por diversos autores (MORRIL, 2014; PONCIANO et al., 2013; CARVALHO et al., 2012; PEREIRA et al., 2012; YANAGI JUNIOR et al., 2011).

Após o ajuste do semivariograma foi realizada a interpolação dos dados por krigagem ordinária, a qual permitiu o desenvolvimento de mapas de isolinhas objetivando a visualização espacial das iluminâncias. O software utilizado para as análises geoestatísticas foi o sistema computacional estatístico R (R Development Core Team), e a sua biblioteca geoR.

## 2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A figura 6 representa a distribuição dos níveis de iluminâncias para os quatro andares de gaiolas dos dois sistemas de iluminação avaliados. Observa-se que à medida que se eleva o andar, ou seja, se aproxima da fonte de luz, a variabilidade na distribuição das iluminâncias aumenta.

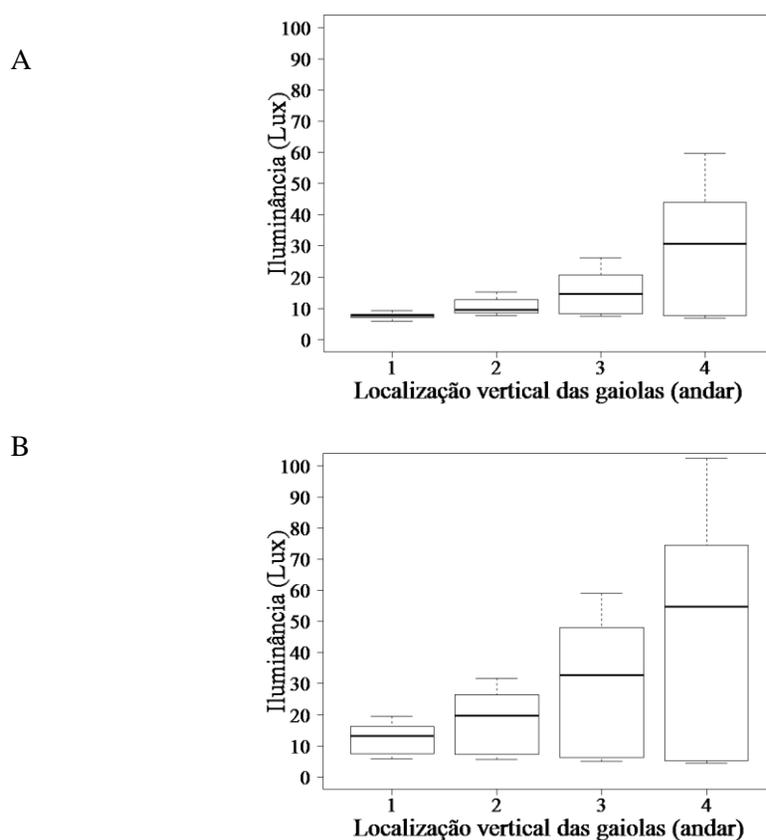


Figura 6 Gráficos *Box Plot* para as iluminâncias nos andares 1 a 4, com alturas de 0,40 m, 1,10 m, 1,70 m e 2,40 m, respectivamente, dos aviários equipados com (A) lâmpadas fluorescente compacta e (B) lâmpadas de LED. Box Plot charts for illuminance in floors from 1 to 4, with heights of 0,40 m, 1,10 m, 1,70 m and 2,40 m, respectively, in aviaries equipped with (A) compact fluorescent lamps, and (B) LED lamps.

Entretanto, uma forma de melhor caracterizar a distribuição espacial das iluminâncias é por meio da geoestatística. Essa metodologia tem sido utilizada por meio de semivariogramas e mapas de krigagem para caracterizar a variabilidade de dados ambientais em galpões avícolas, permitindo a observação da dependência espacial, identificando falhas ou potencialidades dentro dos sistemas (YANAGI et al., 2011; CARVALHO et al., 2012; PONCIANO et al., 2013).

A intensidade luminosa mínima para galpões de poedeiras é de 5 lux (NORTH & BELL, 1990). Morris (2004) recomenda 10 lux, apesar do limite fisiológico para resposta a alterações no fotoperíodo ser de 2 lux (GARNER et al., 2012; MORRIS, 2004). De acordo com Yldiz et al. (2006), intensidades luminosas entre 35 e 55 lux melhoram a produção e a qualidade dos ovos.

Em todos os andares a lâmpada de LED proporciona intensidades luminosas maiores que a lâmpada fluorescente (Figura 6) e menores uniformidades na distribuição das iluminâncias, sendo mais evidente nos andares 3 e 4. Long et al (2015) também observaram menor uniformidade na distribuição espacial da luz em aviários iluminados com lâmpadas de LED quando comparados com lâmpadas fluorescentes. Na referida pesquisa, os dois tipos de lâmpadas avaliadas apresentaram diferentes padrões para a diminuição da intensidade da luz, sugerindo a necessidade de reorganização das lâmpadas de LED para se obter uma distribuição mais uniforme.

As lâmpadas de LED apresentam como característica o direcionamento do fluxo luminoso para baixo, nas lâmpadas avaliadas a abertura de fecho é de 120°, semelhante ao funcionamento de luminárias, este fato pode ser prejudicial para a distribuição das iluminâncias. Assim

como observado por Pereira et al. (2012) ao avaliar o uso de luminárias reflexivas tipo prato para galpões de frangos de corte.

As estimativas para os parâmetros do semivariograma experimental para a variável iluminância nos quatro andares de gaiolas e nos dois sistemas de iluminação avaliados estão listadas na Tabela 1. O método de ajuste que melhor representou os dados foi o modelo esférico, corroborando com as análises de luminosidade realizadas por Yanagi Junior et al. (2011) em galpões para frangos de corte.

Tabela 1 Estimativas para os parâmetros do semivariograma experimental para a variável iluminância nos 4 andares dos aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Estimates of parameters related to experimental semivariogram for illuminance in 4 floors of aviaries equipped with compact fluorescent lamps (FCL) and LED lamps.

Aviário	Efeito Pepita	Contribuição	Patamar	Alcance (m)	Grau de Dependência	Erro Médio	
LFC	Andar 1	0	0,52	0,52	5,68	0,00 Forte	0,01415
	Andar 2	0	5,055	5,05	3,50	0,00 Forte	0,00038
	Andar 3	0	37,38	37,38	3,52	0,00 Forte	0,00059
	Andar 4	0	330,85	330,85	3,55	0,00 Forte	0,00112
LED	Andar 1	0	21,24	21,24	3,61	0,00 Forte	0,00183
	Andar 2	0	93,19	93,19	3,48	0,00 Forte	0,00137
	Andar 3	0	420,06	420,06	3,44	0,00 Forte	0,00197
	Andar 4	0	1305,8	1305,83	3,44	0,00 Forte	0,00305

Como todos os dados avaliados apresentaram valores nulos de efeito pepita, infere-se que toda a variabilidade especial foi explicada. Pereira et al. (2012), avaliando diferentes tipos de lâmpadas para galpões de frangos de corte também encontraram valor de efeito pepita igual a zero na grande maioria dos

sistemas. Segundo Cambardella et al. (1994) o efeito pepita com valor inferior a 25% do valor obtido pelo patamar ( $C_0 / C$ ) indica uma forte dependência espacial na variável estudada. Esse resultado foi obtido para todas variáveis analisadas, assim como nos resultados obtidos por Morril (2014) ao analisar diferentes cores de LED para criação de frangos de corte. Por sua vez, Yanagi Junior et al. (2011), avaliando a luminosidade em galpões para frangos de corte, encontraram fraca dependência espacial para a variável iluminação.

Os semivariogramas apresentaram patamares bem definidos, sendo que, os alcances ou valores de limites das distâncias nas quais não haveria mais dependências espaciais para a variável iluminância nas LFC e LED são listados na Tabela 1.

A partir da dependência espacial dos modelos de semivariograma foram estimados os valores de iluminâncias por krigagem. Logo, foi possível construir mapas de distribuição espacial para os quatro andares de gaiola de cada aviário avaliado, permitindo visualizar a variabilidade espacial dos dados e possibilitando observar as diferenças entre as lâmpadas de LED e fluorescentes compactas (Figura 7). Os galpões que utilizam lâmpadas fluorescentes compactas apresentaram menores valores de iluminâncias e distribuição mais uniforme, sendo que o andar 1 deste aviário apresentou os melhores resultados.

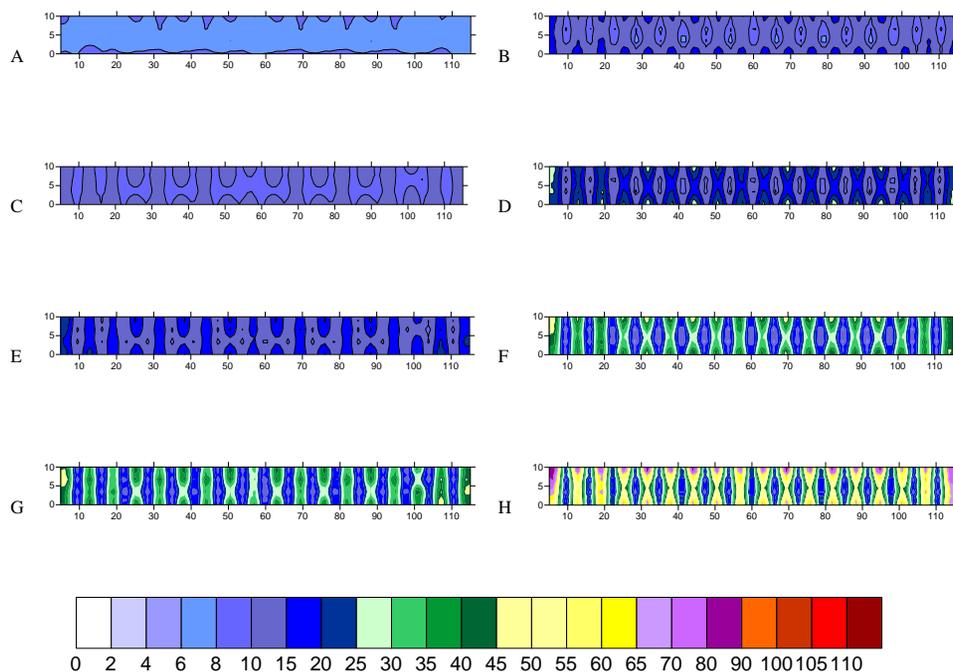


Figura 7 Distribuição espacial dos níveis de iluminâncias para os quatro andares de gaiolas, dos sistemas de iluminação compostos por lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e de diodo emissor de luz (LED). (A) Andar 1 - LFC, (B) andar 1 -LED, (C) andar 2 - LFC, (D) andar 2 - LED, (E) andar 3 - LFC, (F) andar 3 - LED, (G) andar 4 - LFC e (H) andar 4 -LED. Spatial distribution of illuminance levels for the 4 floors of cages of lighting systems consisting of compact fluorescent lamps (CFL) and LED lamps. (A) 1<sup>st</sup> floor - CFL; (B) 1<sup>st</sup> floor - LED; (C) 2<sup>nd</sup> floor - CFL; (D) 2<sup>nd</sup> floor - LED; (E) 3<sup>rd</sup> floor - CFL; (F) 3<sup>rd</sup> floor - LED; (G) 4<sup>th</sup> floor - CFL; and (H) 4<sup>th</sup> floor - LED.

Na Figura 8 estão representadas as frequências de ocorrências dos níveis de iluminâncias nos 4 andares de gaiolas dos galpões iluminados com lâmpadas de LED e fluorescentes compactas. Observa-se maior valor de iluminância para as lâmpadas de LED, também os andares mais altos em relação ao nível do piso recebem maiores intensidades luminosas. A distribuição das iluminâncias no

andar 4 do sistema composto por lâmpadas de LED apresenta a maior amplitude, indicando alta heterogeneidade. Isso se deve à característica da lâmpada de LED em direcionar o fluxo luminoso para baixo, o que evita desperdícios, mas que neste caso prejudica conforto visual para as aves.

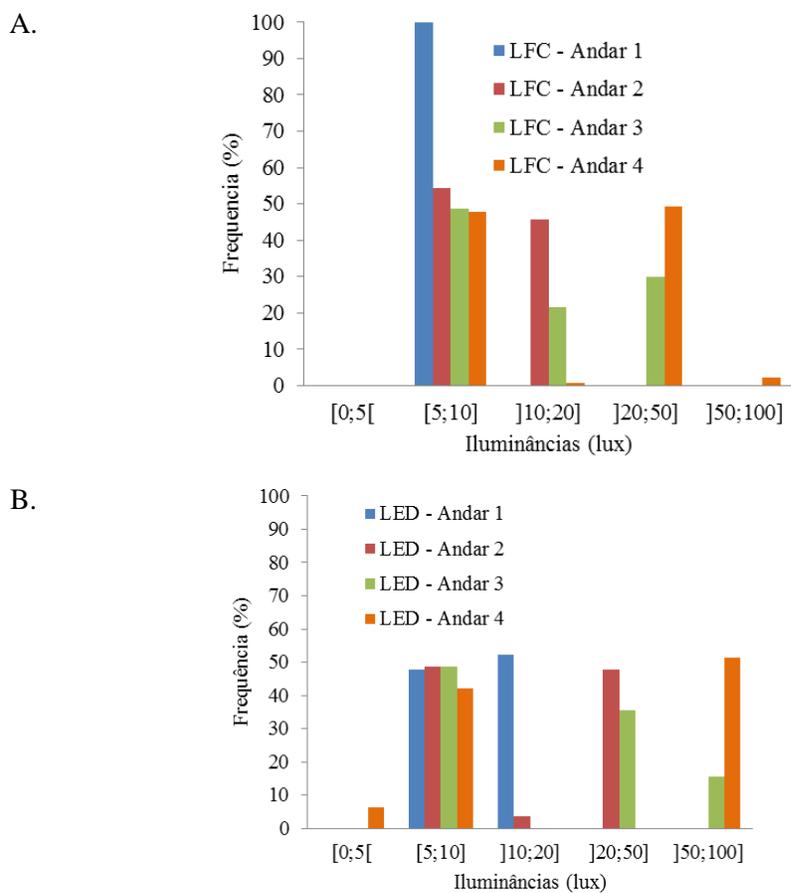


Figura 8 Frequência de ocorrência dos níveis de iluminância nos quatro andares de gaiolas dos aviários para os sistemas de iluminação (A) com lâmpadas fluorescentes compactas e (B) com lâmpadas de LED. Frequency of occurrence of illuminance levels in 4 floors of cages of aviaries for the lighting systems (A) with compact fluorescent lamps, and (B) LED lamps.

As diferenças nos níveis de iluminação dos andares mais baixos para os mais altos devem ser mitigados. De acordo com Jácome (2009), ocorre uma correlação negativa entre o aumento dos níveis de iluminâncias e as características de qualidade dos ovos, sendo que, os níveis maiores de iluminamento resultam em menores valores de peso dos ovos.

Nos dois sistemas de iluminação avaliados todos os andares apresentaram níveis de iluminâncias dentro do mínimo de 5 lux, exceto o andar 4 da lâmpada de LED, no qual cerca de 6% dos dados coletados estavam abaixo do mínimo recomendado. Considerando-se que a iluminância ideal seria aquela compreendida entre 5 e 10 lux, a lâmpada que representou a melhor distribuição foi a fluorescente compacta.

O aviário iluminado com lâmpadas de LED apresentou níveis maiores de iluminâncias, sendo que no andar 4 mais de 50% dos pontos amostrados indicam iluminâncias entre 50 e 100 lux. Esse resultado indica a necessidade de reposicionamento das lâmpadas de LED, visando reduzir os níveis de iluminâncias e homogeneizar a sua distribuição. Essa adequação possivelmente irá diminuir o número de lâmpadas instaladas no aviário e consequentemente reduzir o consumo de energia elétrica, além do custo de implantação do sistema de iluminação.

Todas as lâmpadas avaliadas eram novas e foram instaladas no início do experimento, porém deve-se ressaltar que pode ocorrer a depreciação do fluxo luminoso das lâmpadas no decorrer do tempo. O ambiente de produção, geralmente úmido e com muita poeira em suspensão pode agravar esta situação. Long et al. (2015) avaliaram a depreciação do fluxo luminoso de lâmpadas de LED em aviários e encontraram diminuição de 27% no nível das iluminâncias após 3.360 horas de uso.

Os galpões equipados com lâmpadas fluorescentes compactas e de LED apresentaram consumos de energia elétrica de 425 kWh e 240 kWh, respectivamente, durante o período experimental de 94 dias. Portanto, o uso de lâmpadas de LED propiciou a redução de 43,52% no consumo de energia elétrica.

A substituição do sistema de iluminação empregado nos aviários compostos por lâmpadas com baixa eficiência luminosa esta sendo preconizada nos últimos anos. Jácome (2009) avaliou a substituição da lâmpada incandescente de 100 W por outras tecnologias mais eficientes, entre elas a lâmpada vapor de sódio de 70 W que representou uma economia de 54,14% na demanda de energia elétrica e a fluorescente compacta de 23 W em que a redução foi de 73,76%. Nunes et al. (2013) relatam que a utilização de LEDs para poedeiras pode apresentar uma redução em até 70% no consumo de energia elétrica dos galpões, além disso, pode-se considerar que, esta tecnologia apresenta maior vida útil quando comparada com outras fontes de iluminação comumente utilizadas.

Os dados presentes na literatura, assim como os obtidos nesta pesquisa, indicam o potencial para redução dos custos com energia elétrica na produção de ovos, porém é necessária a avaliação econômica considerando os custos de implantação do sistema de iluminação com lâmpadas de LED.

### **3 CONCLUSÕES**

O aviário equipado com lâmpadas fluorescentes compactas apresentou melhor uniformidade na distribuição das iluminâncias quando comparado àquele equipado com lâmpadas de LED, além de proporcionar melhores resultados para se atender à iluminância mínima de 5 lux.

A lâmpada de LED apresentou menores valores de consumo de energia elétrica, proporcionando redução de 43,52% em comparação com a LFC, sendo, portanto, a que apresenta maiores vantagens econômicas. Entretanto, deverá proceder a uma análise econômica.

### **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES, à FAPEMIG e ao CNPq pelo suporte financeiro e ao grupo Aviário Santo Antônio por disponibilizar suas instalações para realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- BACHMAIER, M; BACKERS, M. Variogram or semivariogram? Understanding the variances in a variogram. Precision Agriculture, Dordrecht, v. 9, p. 173-175, fev. 2008.
- BORILLE, R.; GARCIA, R. G.; ROYER, A. F. B.; SANTANA, M. R.; COLET, S.; NAAS, I. A.; CALDARA, F. R.; ALMEIDA PAZ, I. C. L.; ROSA, E. S.; CASTILHO, V. A. R. The use of light-emitting diodes (LED) in commercial layer production. Revista Brasileira de Ciência Avícola, v. 15, n. 2, p. 135-140, 2013.
- CAMBARDELLA, C.A.; MOORMAN, T.B.; NOVAK, J.M.; PARKIN, T.B.; KARLEN, D.L.; TURCO, R.F.; KONOPKA, A.E. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.58, n.5, p.1501-1511, 1994.
- CARVALHO, T. M. R.; MOURA, D. J.; SOUZA, Z. M.; SOUZA, G. S.; BUENO, L. G. F.; LIMA, K. A. O. Use of geostatistics on broiler production for evaluation of different minimum ventilation systems during brooding phase. R. Bras. Zootec., v.41, n.1, p.194-202, 2012.
- ER, D.; WANG, Z.; CAO, J.; Effect of monochromatic light on the egg quality of laying hens. The Journal Applied Poultry Research, v. 16, n. 4, p. 605-612, 2007.
- GARNER, J. P.; KIESS, A. S.; MENCH, J. A.; NEWBERRY, R. C.; HESTER, P. Y. The effect of cage and house design on egg production and egg weight of White Leghorn hens: An epidemiological study. Poultry Science, v. 91, p.1522–1535, 2012.
- GONGRUTTANANUN, N. Influence of red light on reproductive performance, eggshell ultrastructure, and eye morphology in Thai-native hens. Poultry Science, v. 90 n. 12, p. 2855-2863, 2011.

HASSAN, R.; SULTANA, S.; CHOE, H. S.; RYU, K. S. Effect of combinations of monochromatic LED light color on the performance and behavior of laying hens. *Japan Poultry Science*, v. 51, p. 321-326, 2014.

HUBER-EICHER, B.; SUTER, A.; SPRING-STÄHLI, P. Effects of colored light-emitting diode illumination on behavior and performance of laying hens. *Poultry Science*, v. 92, p. 869–873, 2013.

JÁCOME, I. M. T. D.; ROSSI, L. A.; BORILLE, R. Influence of Artificial Lighting on the Performance and Egg Quality of Commercial Layers: a Review. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, Campinas, v.16, n.4, p. 337-344, Out./Dez. 2014.

JÁCOME, I. M. T. D. Diferentes sistemas de iluminação artificial usados no alojamento de poedeiras leves. Campinas: Unicamp, 2009. 144 p. Tese de Doutorado.

LONG, H.; ZHAO, Y.; WANG T., Z. NING, XIN, H. Effect of light-emitting diode vs. fluorescent lighting on laying hens in aviary hen houses: Part 1 – Operational characteristics of lights and production traits of hens. *Poultry Science*, Champaign , v. 00, p. 1–11, 2015.

MENDES, A. S.; REFFATI, R.; RESTELATTO, R.; PAIXÃO, S. J. Visão e iluminação na avicultura moderna. **Revista Brasileira Agrociência**, Pelotas, v. 16, n. 1/4, p. 5-13, jan./dez. 2010.

MIN, J. K.; HOSSAN, M. S.; NAZMA, A.; JAE, C. N.; HAN, T. B.; HWAN, K. K.; DONG, W. K.; HYUN, S. C.; HEE, C. C.; OK, S. S. 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, jun./ 2012.

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

MORRIS, T. R. Environmental control for layers. *World's Poultry Science Journal*, Cambridge, v. 60, n. 02, p. 163-175, junho 2004.

NORTH, M. O. & BELL, D.D. *Commercial Chicken Production Manual*. New York: Van Nostrand Reinhold, 913p., 1990.

NUNES, K. C.; GARCIA, R. G.; BORILLE, R.; NÄÄS, I. A.; SANTANA, M. R. Led como fonte de luz na avicultura de postura. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v.9, n.17; p. 1765, 2013.

PEREIRA, P. A.; YANAGI JUNIOR, T.; SILVA, J. P.; LIMA, R. R.; CAMPOS, A. T.; ABREU, L. H. P. Technical evaluation of artificial lighting systems for broiler houses. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1011-1024, nov./dez. 2012.

PONCIANO, P. F.; YANAGI, T.; FERRAZ, G. A. E. S.; SCALON, J. D.; SCHIASSI, L. Spatial variability of fair dry bulb temperature and black globe humidity index a broiler house during the heating phase. *Revista Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.33, n.3, p.432-444, maio/jun. 2013.

SILVA, G. F.; TAVARES, B. O.; PEREIRA, D. F. Comportamento de poedeiras em função de diferentes fontes de iluminação monocromáticas. *BioEng, Tupã*, v.6 n.3, p. 148-158, Set/Dez., 2012.

YANAGI, T.; AMARAL, A. G.; TEIXEIRA, V. H.; LIMA, R. R. Caracterização espacial do ambiente termoacústico e de iluminância em galpão comercial para criação de frangos de corte. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.31, n.1, p.1-12, 2011.

YILDIZ, A.; LAÇIN, E.; HAYIRLI, A.; MACIT, M. 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*, Oxford, v.15, p.355-361, 2006.

**ARTIGO 3**

**VIABILIDADE TÉCNICO-ECONOMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE  
LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS POR LÂMPADAS DE  
LED EM AVIÁRIOS DE POEDEIRAS COMERCIAIS**

**Artigo redigido conforme normas da Revista Engenharia Agrícola**

**VIABILIDADE TÉCNICO-ECONOMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DE  
LÂMPADAS FLUORESCENTES COMPACTAS POR LÂMPADAS DE  
LED EM AVIÁRIOS DE POEDEIRAS COMERCIAIS**

**TECHNICAL-ECONOMIC FEASIBILITY FOR REPLACEMENT OF  
COMPACT FLUORESCENT LAMPS FOR LED LAMPS IN  
COMMERCIAL LAYING HENS' AVIARIES**

**Priscilla A. Pereira Ribeiro<sup>12</sup>, Tadayuki Yanagi Junior<sup>13</sup>, Renato Ribeiro de  
Lima<sup>14</sup>, Daniela Duarte de Oliveira<sup>15</sup>, Alessandro Torres Campos<sup>16</sup>.**

---

<sup>12</sup> Doutoranda, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras-MG, priabreupereira@yahoo.com.br,

<sup>13</sup> Doutor, Prof. Associado, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, yanagi@deg.ufla.br,

<sup>14</sup> Doutor, Prof. Associado, Departamento de Ciências Exatas, UFLA, Lavras - MG, rrlima@dex.ufla.br ,

<sup>15</sup> Doutora, Veterinária, ASA – Aviário Santo Antônio, Nepomuceno - MG, danidoli@hotmail.com,

<sup>16</sup> Doutor, Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia, UFLA, Lavras - MG, campos@deg.ufla.br,

## RESUMO

A iluminação artificial em aviários de postura é utilizada para aumentar o fotoperíodo e estimular a produção de ovos, sendo que o uso de lâmpadas de diodo emissor de luz (LED) tem se tornado mais acessível. Objetivou-se com o presente trabalho, analisar a viabilidade técnico-econômica de se substituir as lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) utilizadas nos aviários por lâmpadas de LED. Foram avaliados dois aviários, o primeiro equipado com LFC e o segundo com lâmpadas de LED. Os custos com energia elétrica e para aquisição das lâmpadas foram avaliados com auxílio da matemática financeira por meio do valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e tempo de retorno do capital (*payback*). As iluminâncias e a percentagem de postura (PP) nos aviários foram analisadas por meio de análise de variância, considerando o delineamento em blocos casualizados (DBC). Verificou-se que a substituição das lâmpadas fluorescentes compactas por LED não influenciou negativamente a PP das poedeiras (teste F,  $p > 0,05$ ). As lâmpadas de LED proporcionaram maiores níveis de iluminâncias (teste, F,  $p > 0,05$ ) e redução de 43,2% no custo com energia elétrica. A análise técnico-econômica indica que o investimento para a substituição dos sistemas de iluminação é atrativo, sendo de 9,11 anos o período para o retorno do investimento.

Palavras-chave: Análise econômica. Poedeiras. Iluminação artificial. Lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e de diodo emissor de luz (LED).

### ABSTRACT

Artificial illumination in laying hens' aviaries has been used to increase photoperiod and stimulate egg production, wherein the use of light-emitting diode (LED) lamps has become more accessible. In this present work the objective was to analyze the technical-economic feasibility to replace compact fluorescent lamps (CFL) used in the aviaries for LED lamps. Two aviaries were evaluated, the first equipped with CFL and the second with LED lamps. The costs with electric energy and the acquisition of the lamps were evaluated with the aid of financial mathematics by means of the net present value (NPV), internal rate of return (IRR) and time of capital return (payback). The illuminances and laying percentage (LP) in the aviaries were analyzed through variance analysis, considering randomized blocks design (RBD). It was verified that the replacement of compact fluorescent lamps (CFL) for LED lamps not negatively influenced the laying hens' percentage (F test,  $p > 0.05$ ). The LED lamps provided higher illuminances levels (F test,  $p < 0.05$ ) and reduction of 43.2% in the cost with electric energy. Technical and economic analysis indicates that the investment for replacement of illumination systems is attractive being 9.11 years the period for return on investment.

**Keywords:** Economic analysis. Laying hens. Artificial illumination. Compact fluorescent lamps (CFL) and light-emitting diode (LED) lamps.

## **1 INTRODUÇÃO**

A avicultura de postura tem buscado melhorias nos sistemas de produção, objetivando o aumento da produtividade e a redução de custos. Segundo Abreu e Abreu (2011), a procura por maior eficiência na produção tem como pilares a viabilidade econômica e técnica, com ênfase nos aspectos produtivos, sanitários e bem-estar das aves.

Entre os investimentos em inovações tecnológicas para melhorias no processo de produção estão os relacionados à iluminação artificial. A iluminação é um importante fator ambiental utilizado na criação de poedeiras para aumentar o fotoperíodo e estimular a produção de ovos, visto que as aves são responsivas à estimulação pela luz (JÁCOME, 2009).

Segundo Olanrewaju et al. (2006) a luz permite às aves estabelecer ritmicidade e sincronizar muitas funções essenciais, como etapas metabólicas que facilitam a alimentação e digestão, além de estimular a secreção de vários hormônios que controlam o crescimento, maturação e reprodução.

A importância da luz no aviário não está restrita apenas ao período de iluminação, mas também à fonte de luz, comprimento de onda, intensidade luminosa, e a distribuição espacial das lâmpadas, que podem afetar os resultados finais de qualidade e quantidade da produção (MENDES, 2010).

O uso da iluminação artificial para complementar o fotoperíodo em poedeiras é uma prática integrada no manejo de criação, portanto o programa de iluminação deve ser corretamente planejado para se obter melhor desempenho. Para atingir o nível de iluminância necessário para estimulação fisiológica, empregam-se normalmente sistemas de iluminação artificiais compostos por um elevado número de lâmpadas de alta potência e baixa eficiência, causando incremento substancial nos custos de produção final (NUNES et al., 2013).

As lâmpadas fluorescentes têm sido utilizadas para iluminação nos aviários devido às melhorias na eficiência energética e vida útil em relação às lâmpadas incandescentes. Vários estudos avaliaram a redução nas demandas de energia elétrica proporcionadas por esta substituição. Segundo Pereira et al. (2012) a troca de lâmpadas incandescentes (100 W) por lâmpadas fluorescentes tubulares T5 (28 W) pode reduzir em 90,62% a demanda de energia nos aviários para criação de frangos de corte para nível de iluminação igual a 5 lux. Jácome (2009), avaliando diferentes lâmpadas para aviários de postura, verificou que o uso de lâmpadas vapor de sódio de 70 W e fluorescente compacta de 23 W podem reduzir consideravelmente a demanda de energia elétrica, quando comparadas com a lâmpada incandescente de 100 W.

Porém, novas tecnologias de iluminação foram desenvolvidas nos últimos anos, e o uso de lâmpadas de diodo emissor de luz (LED) vem ganhando interesse dos produtores avícolas. Em comparação com as lâmpadas fluorescentes compactas, o LED tem maior eficiência energética, maior vida útil e espectros luminosos variáveis possibilitando o uso de diferentes cores para iluminação. Ademais, o custo das lâmpadas de LED tem diminuído nos últimos anos, tornando-se acessível para a indústria avícola (LONG et al., 2015).

Diante dessa realidade, vários estudos avaliaram o uso de lâmpadas de LED nas instalações e verificaram que não houve prejuízo à produção e qualidade de ovos, além de contribuir para a economia de energia elétrica e redução do custo de manutenção do sistema de iluminação artificial (ER et al., 2007; GONGRUTTANANUN, 2011; BORILLE et al., 2013; NUNES et al., 2013). A influência do uso da lâmpada de LED e suas variações de cores têm sido estudadas para avaliações tanto na produção de ovos quanto no

comportamento das aves (SILVA et al., 2012; MIN et al., 2012; HUBER-EICHER et al., 2013).

Esses estudos indicam que o desempenho das aves submetidas à iluminação com lâmpadas de LED não é inferior ao desempenho obtido com a utilização de outras lâmpadas. Logo, o diferencial em utilizar esta nova tecnologia deve ser a economia que o LED proporcionará aos produtores, devido sua longa vida útil, facilidade de manejo e baixo consumo de energia elétrica.

Outra questão a ser considerada é o uso racional da energia elétrica. No Brasil a demanda total de energia de 2011 a 2020 deverá crescer em mais de 60%, sendo necessário encontrar maneiras de gerar mais energia e racionalizar seu uso (HALMEMAN & RODRIGUES, 2012). O governo vem implementando medidas que redundam em ganhos energéticos, como o PROCEL (Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica). De acordo com Haddad (2015), uma das medidas de conservação com maiores impactos quantitativos é a promoção de iluminação mais eficiente, com a substituição de lâmpadas. Ademais, o PDE (Plano Decenal de Expansão de Energia) prevê ganhos com eficiência energética, considerando que o progresso técnico e as ações de política energética permitirão uma economia de energia elétrica (HALMEMAN & RODRIGUES, 2012).

Os custos com o consumo de energia elétrica refletem diretamente no custo total de produção, interferindo no valor do produto ao mercado consumidor. Segundo Jácome et al. (2014), no Brasil devem ser desenvolvidos estudos sobre iluminação artificial com análises multidisciplinares envolvendo produção de ovos, meio ambiente e consumo de energia elétrica. Portanto, o programa de iluminação ideal seria aquele

que proporcionasse a máxima produção com o mínimo consumo de energia elétrica.

Objetivou-se com este trabalho avaliar a influência das lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e de LED na produção de ovos e nos níveis de iluminâncias, além de analisar a viabilidade técnico-econômica para substituição das lâmpadas LFC por lâmpadas de LED para aviários de poedeiras, visando à redução de consumo de energia elétrica e custos de produção.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em uma granja comercial para produção de ovos do grupo Aviário Santo Antônio – ASA, localizada no município de Nepomuceno, no sul de Minas Gerais. O experimento teve duração de 91 dias. Foram avaliados dois aviários, diferentes apenas nos sistemas de iluminação empregados. O primeiro aviário está equipado com 72 lâmpadas fluorescentes compactas (10 W) e o segundo com 72 lâmpadas de LED (7 W), ambos possuem central de distribuição da rede elétrica individualizada. Ademais, os aviários, com características construtivas semelhantes, possuem as mesmas dimensões (10 m x 120 m), pé direito de 4,50 m, orientação leste oeste, cobertura (inclinação de 25%) com telhas metálicas galvanizadas em formato trapezoidal com 0,65 mm de espessura e fechamentos laterais em cortinas de lona na cor amarela.

Os aviários possuem três baterias de gaiolas, distanciadas uma da outra a 1,0 m, formando quatro corredores para manutenção ao longo de cada instalação. As baterias são compostas por quatro andares de gaiolas sobrepostas. Os andares estão localizados nas alturas de 0,10 m, 0,75 m, 1,40 m e 2,05 m em relação ao piso do galpão, respectivamente, do primeiro ao quarto andar de gaiolas (Figura 1).

A granja adota um programa de iluminação natural e artificial, sendo que, as lâmpadas são ligadas às 18h00min e desligadas às 20h00min; depois são ligadas novamente às 03h00min e desligadas às 06h00min, totalizando, em média, 17 horas de luz (12 horas de luz natural e 5 horas de luz artificial). Cada linha de bateria de gaiolas possui 18 pontos de iluminação artificial, posicionados a 6,30 m um ponto do outro. A altura de instalação das lâmpadas é de 2,70 m em relação ao nível do piso do galpão.

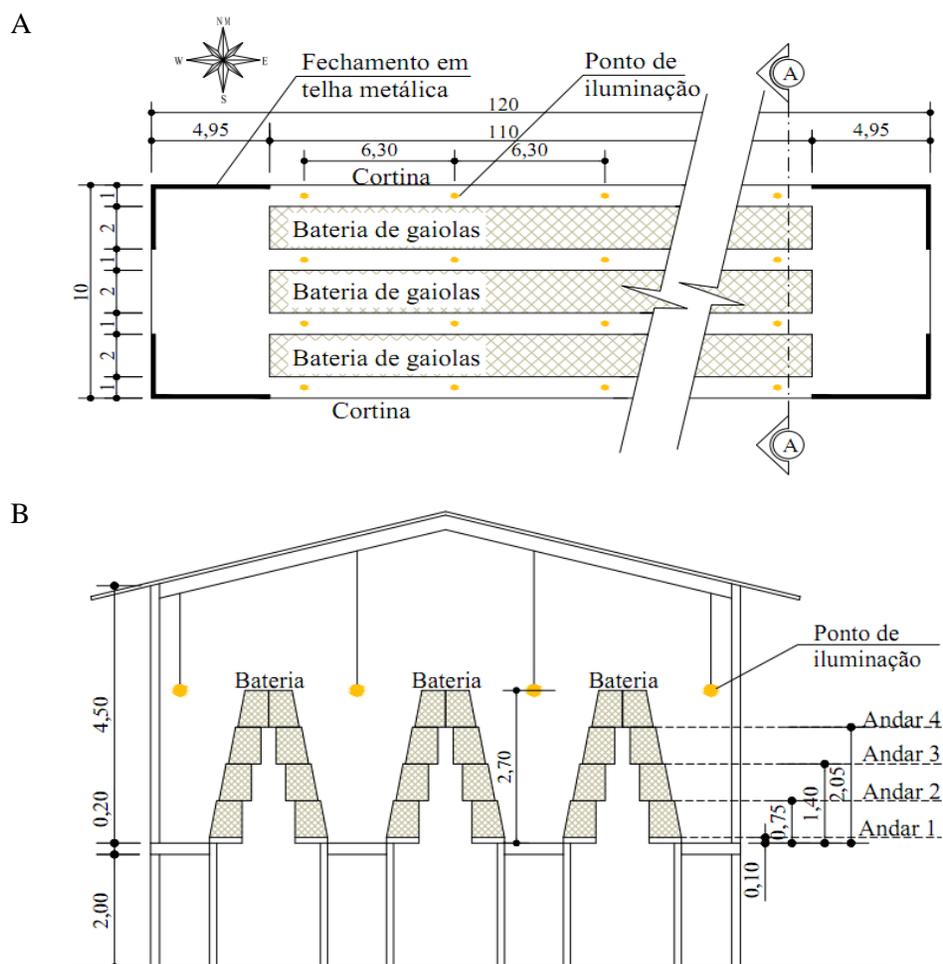


Figura 1 Desenho esquemático do aviário (A) e Corte AA do aviário (B) (sem escala definida). Unidade das cotas: m. Schematic design of the aviary (A) and aviary AA cross-section (no defined scale). Dimension units: m.

Em cada aviário estavam alojadas 30.500 galinhas da linhagem *Hyline W-36* em início de produção (22 semanas de idade).

A propriedade está localizada na área de concessão da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), sendo classificada como unidade

consumidora pertencente ao grupo tarifário alta tensão A4, visto que é caracterizada como empresa rural e possui transformador próprio.

Os sistemas para coleta de ovos e distribuição de água e ração são automatizados. Os ovos são coletados por meio de esteiras localizadas em cada linha de andar e conectadas a uma esteira central que conduz os ovos para a casa de seleção e processamento. A produção de ovos foi registrada diariamente e, posteriormente, calculada a percentagem de postura. Os dados de percentagem de postura foram avaliados semanalmente, sendo cada uma das 13 semanas considerada um bloco.

Para avaliar o ambiente lumínico proporcionado pelos dois sistemas de iluminação estudados, foram coletados dados de iluminâncias no período noturno, sem que houvesse interferências de iluminação natural ou outras fontes de luz externas. Para as medições, realizadas a cada 15 dias, utilizou-se um luxímetro (ICEL, modelo LD-510, exatidão  $\pm 3\%$  para lâmpadas incandescentes e  $\pm 5\%$  para as demais), sendo que, no total foram 6 coletas.

Foram determinadas 3 regiões de amostragens para coleta dos dados, sendo elas nas duas extremidades e no meio do aviário. Em cada amostragem foram coletados dados em 5 pontos ao longo do corredor, caracterizando as regiões localizadas sob as fontes de luz e também as intermediárias. Em cada um desses 5 pontos houve coleta ao nível dos 4 andares de gaiolas nas alturas de 0,40 m, 1,10 m, 1,70 m e 2,40 m (Figura 2).

A variável iluminância foi analisada com 18 repetições, sendo a combinação de 6 dias de coletas dos dados e 3 regiões de amostragem no aviário.

O experimento foi montado seguindo o delineamento em blocos casualizados (DBC). As análises estatísticas da percentagem de postura e das iluminâncias foram processadas por meio do *software* SAS (2012).



iluminação. Foram seis leituras do consumo de energia elétrica em kWh, no período de 91 dias.

Os sistemas elétricos dos aviários avaliados encontram-se em boas condições e adequados para realizar a simples troca da lâmpada utilizada atualmente, fluorescente compacta, pela lâmpada de LED. Devido a este fato, buscou-se uma lâmpada de LED com características técnicas (fluxo luminoso e temperatura de cor) semelhantes ao da fluorescente compacta para que não houvesse grandes variações nos níveis de iluminâncias e para facilitar a substituição das lâmpadas pelo produtor. Portanto, não houve nenhuma alteração nos sistemas elétricos e na posição das lâmpadas.

O número total de lâmpadas avaliadas e suas especificações técnicas estão listados na Tabela 1.

Tabela1 Número total de lâmpadas, fluxo luminoso (lm), temperatura de cor (K), potência total instalada (W) e vida útil das lâmpadas utilizadas no aviário. Total number of light bulbs, luminous flux (lm), color temperature (K), total power installed (W) and life span of light bulbs used in the aviary.

Lâmpada	Total de lâmpadas (un.)	Fluxo luminoso (lm)	Temperatura de cor (K)	Potência (W)	Potência total instalada (W)	Vida útil	
						Fabricante (horas)	Aviário (anos)
<b>LFC</b>	72	590	6500	10	720	8.000	4,38
<b>LED</b>	72	550	6400	7	504	30.000	16,44

Fonte: Catálogo de produtos Osram e Orolux. Site: <http://www.osram.com.br/> e <http://www.ourolux.com.br/> - acesso em 01/04/2015. Nota: LFC, lâmpada fluorescente compacta (10 W) e LED, lâmpada de led (7 W).

A Tabela 2 lista o investimento inicial para os dois tipos de lâmpadas avaliados, realizou-se uma pesquisa em empresas comerciais de materiais elétricos para obtenção destes custos de instalação.

Tabela 2 Custo de instalação (investimento inicial) para os sistemas de iluminação avaliados. Installation cost (initial investment) for the evaluated lighting systems.

<b>Lâmpada</b>	<b>Quantidade (un.)</b>	<b>Custo (R\$)</b>	<b>Investimento inicial (R\$)</b>
<b>LFC</b>	72	7,90	568,80
<b>LED</b>	72	20,00	1.440,00

Dólar comercial de referência em 23/02/2015: US\$1,00 = R\$3,17

Estabelecido o investimento inicial e os custos com energia elétrica dos sistemas de iluminação, foram determinados o fluxo de caixa e a análise da viabilidade econômica por meio dos seguintes indicadores: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e período de recuperação de capital (*payback*), conforme detalhamento a seguir, com base em Casarotto filho e Kopitike (2007).

A taxa mínima de atratividade (TMA) também foi determinada, considerando-se o fato de se estar perdendo a oportunidade de auferir retornos pela aplicação do mesmo capital em investimentos alternativos (CASAROTTO FILHO & KOPITITKE, 2007). Assim, foi definida uma TMA de 15% ao ano (a.a.) ou 1,1715% ao mês (a.m.), conforme adotado em outros estudos (ROSSI et al., 2010; DAVID et al., 2012; SILVA et al., 2014).

O VPL representa, em valores monetários presentes, a diferença entre os custos e receitas do fluxo de caixa. Se o VPL for positivo, significa que foi recuperado o investimento inicial aplicado à TMA, ou seja, a proposta é atrativa. Quanto maior for o VPL, mais atrativa será a proposta. Ao serem analisadas alternativas com vidas úteis diferentes, lança-se mão do conceito de reposição

contínua, sendo as tecnologias repostas indefinidamente (DAVID et al., 2012). O cálculo do VPL é realizado pela equação 1.

$$VPL = \sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} \quad (1)$$

sendo:

$j$  = período de ocorrência custos/receitas;

$R_j$  = receitas no período  $j$ ;

$C_j$  = custos no período  $j$ ;

$i$  = taxa mínima de atratividade;

$n$  = número total de anos do fluxo de caixa.

A TIR (equação 2) é a taxa de juros que torna nulo o VPL de um investimento e pode ser calculada pelo monitoramento dos fluxos de entrada e saída do caixa. Deve ser comparada à TMA para verificar a rentabilidade do investimento. Para que um investimento seja considerado atrativo, por esse método, é preciso que a TIR seja maior que a TMA.

$$\sum_{j=0}^n R_j(1+i)^{-j} - \sum_{j=0}^n C_j(1+i)^{-j} = 0 \quad (2)$$

O *payback* (equação 3) pode ser definido como o período mínimo para retorno dos investimentos propostos. É um método que não considera a TMA e que relaciona o valor do capital inicial investido com as entradas de caixa (receitas) num período estabelecido (por exemplo, anual ou mensal).

$$Payback = \frac{C_{j=0}}{R_j} \quad (3)$$

Para avaliar a substituição das LFC por lâmpada de LED foram considerados os dados das lâmpadas (custos, vida útil e potência) e do consumo de energia elétrica.

Definiu-se o mesmo horizonte de tempo para os dois tipos de lâmpadas a fim de comparar os custos destes. Logo, o período de 16,44 anos foi utilizado para os cálculos do fluxo de caixa por ser a maior vida útil entre os dois sistemas de iluminação avaliados (Tabela 1). Para definir o número de trocas dividiu-se a vida útil da lâmpada de LED pela da fluorescente compacta, obteve-se o número de 4. Ou seja, as lâmpadas fluorescentes compactas são trocadas 4 vezes e a de LED apenas 1.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As médias dos níveis de iluminâncias noturnas para os dois aviários analisados são ilustrados na Figura 3. Observa-se que as médias de ambos os sistemas de iluminação foram acima da iluminância mínima de 5 lux recomendada por North & Bell (1990). As lâmpadas de LED apresentaram médias superiores às fluorescentes compactas (teste F,  $p < 0,05$ ), apesar dos dois tipos de lâmpadas terem fluxos luminosos semelhantes.

De acordo com Long et al. (2015), as lâmpadas fluorescentes são sensíveis à variações de energia e apresentam elevados valores para depreciação do fluxo luminoso sendo difícil manter a intensidade da luz uniforme durante os ciclos de produção. Os mesmos autores avaliaram a depreciação do fluxo luminoso de lâmpadas de LED em aviários e encontraram diminuição de 27% no nível das iluminâncias após 3.360 horas de uso.

Os dados de iluminâncias apresentados neste trabalho referem-se às lâmpadas novas, porém pelo fato dos aviários serem ambientes úmidos e com muita poeira no ar pode acontecer a diminuição das iluminâncias no decorrer do tempo.

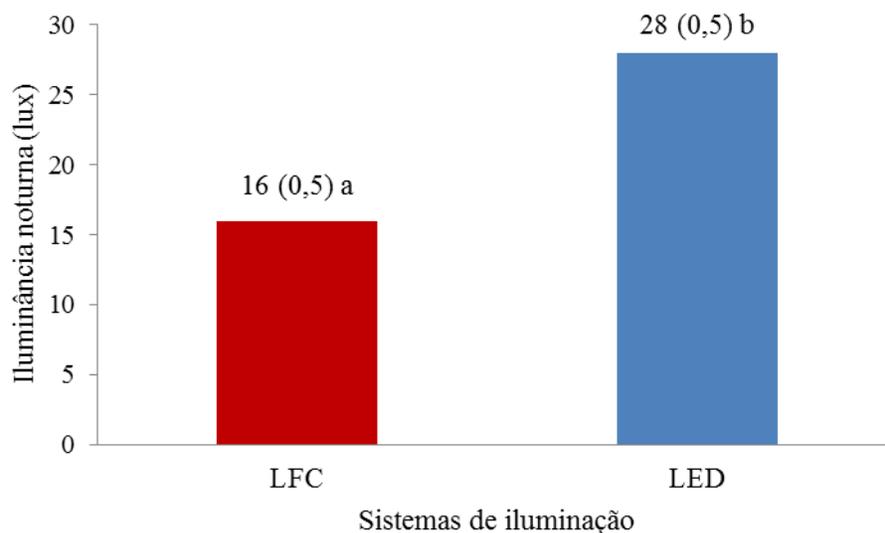


Figura 3 Médias e erros padrões (entre parênteses) das iluminâncias no período noturno para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de F, ao nível de 5% de probabilidade. Means and standard errors (between blankets) of night illuminances for aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode (LED) lamps. Means with the same letter do not differ significantly by F test at the 5% of probability.

Jácome (2009) ao avaliar diferentes tipos de lâmpadas para produção de ovos em sistemas de baterias de gaiolas verificou que ocorre uma correlação negativa entre o aumento nos níveis de iluminâncias e as características de qualidade dos ovos. Segundo o mesmo autor, as aves que ficam expostas ao ponto luminoso no andar mais baixo em relação à bateria de gaiolas e com exposição da região transcranial ao fluxo luminoso apresentam melhores rendimentos em relação à qualidade do ovo, indicando que o estímulo luminoso via transcraniana traz resultados mais efetivos para fins de reprodução do que o estímulo por via ocular.

Renema et al. (2001) avaliaram a influência dos níveis de iluminação na produção e qualidade de ovos e concluíram que a intensidade da luz afeta a maturação sexual e a produção de ovos. Nesta pesquisa, as aves que receberam 1 lux de iluminação apresentaram redução na taxa de produção e as que receberam 500 lux apresentaram ovos menores e com menos qualidade na casca, logo foram determinados os limites de iluminâncias entre 1 e 500 lux para produção mais eficiente nos diferentes andares.

O sistema de criação de poedeiras em andares de gaiolas apresenta como característica diferentes níveis de iluminâncias para estes andares, ou seja, à medida que se aproxima da fonte de luz as iluminâncias são maiores. O aviário iluminado com lâmpadas fluorescentes compactas apresentou valores de iluminâncias mais próximas do mínimo recomendado nos andares 1 e 2 (7,5 e 10,5 lux, respectivamente), sugerindo que, para este tipo de lâmpada, a localização de instalação destas está adequada. Já o aviário equipado com lâmpadas de LED apresentou médias de iluminâncias bastante superiores desde o andar 1 (12,5 lux). Essa situação indica que é necessário um estudo para rever a localização das lâmpadas, objetivando uma melhor distribuição do fluxo luminoso e menores valores de iluminâncias. A alteração poderá trazer benefícios também para redução dos custos com energia, devido ao fato de serem utilizadas menos lâmpadas no aviário.

Long et al. (2015) observaram situação semelhante ao avaliar lâmpadas fluorescentes compactas e de LED para iluminação de aviários para poedeiras, os dois tipos de lâmpadas apresentaram diferentes padrões para a diminuição da intensidade da luz, sugerindo a necessidade de reorganização das lâmpadas de LED para se obter uma distribuição mais uniforme.

Os dados de percentagem de postura para os dois aviários avaliados são ilustrados na Figura 4.

Os usos das lâmpadas LFC e LED não influenciaram a PP de ovos (teste F,  $p > 0,05$ ), corroborando com as pesquisas desenvolvidas por diversos autores (ER et al., 2007; GONGRUTTANANUN, 2011; BORILLE et al., 2013, LONG et al., 2015).

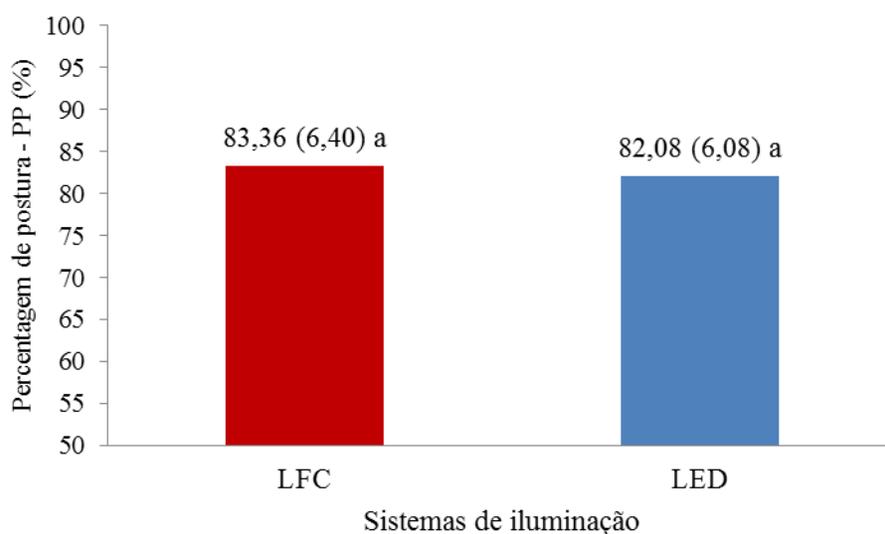


Figura 4 Médias e erros padrões (entre parênteses) das percentagens de posturas para os aviários equipados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) e lâmpadas de diodo emissor de luz (LED). Médias seguidas de mesmas letras não diferem entre si, pelo teste de F, ao nível de 5% de probabilidade. Means and standard errors (between blankets) of egg laid percentage (PP) for aviaries equipped with compact fluorescent lamps (CFL) and light emitting diode (LED). Means with the same letter do not differ significantly by F test at the 5% of probability.

A tabela 3 lista os dados do consumo de energia elétrica ao final do período de 91 dias.

O sistema de iluminação que apresentou menor custo com energia elétrica foi o composto por lâmpadas de LED. A substituição das lâmpadas fluorescentes compactas por LED proporciona uma economia mensal de 43,20% nos custos com energia elétrica. Este resultado deve-se ao fato

desta lâmpada apresentar menor potência quando comparada à fluorescente compacta. Ou seja, o LED é mais eficiente por conseguir maior proporção na conversão de energia elétrica em energia luminosa. De acordo com Rossi et al. (2010), os melhores resultados em uma análise do uso eficiente de energia elétrica são aqueles que apresentam menores valores de demanda de potência e consumo e maior valor de fator de potência.

Tabela 3 Consumo e custos de energia elétrica para o período do experimento, mensal e período de vida útil dos dois sistemas de iluminação. Consumption and energy costs for the period of the experiment, monthly and lifetime of the two lighting systems.

Tipos de lâmpadas	Consumo de energia elétrica (KWh) 91 dias experimento	Custo 91 dias (R\$)	Custo mensal (R\$)	Custo por período de 4,38 anos (R\$)
LFC	403	132,32	43,62	2.325,05
LED	229	75,19	24,78	1.321,20

Tarifa de consumo de energia elétrica da Companhia Energética de Minas Gerais SA (CEMIG) é de R\$0,32833572 kWh<sup>-1</sup>.

Apesar da lâmpada de LED ser mais eficiente, apresentar maior vida útil e menor custo com energia elétrica faz-se necessário proceder a uma análise econômica, com auxílio da matemática financeira, para avaliar a viabilidade de substituição do sistema de iluminação e o período para o retorno do investimento.

Na Tabela 4 são listados os resultados da análise econômica das lâmpadas avaliadas. Os valores do VPL, da TIR e do *payback* do sistema composto por lâmpadas de LED foram comparados com o sistema de lâmpadas fluorescentes compactas.

Tabela 4 Resultados das avaliações econômicas para substituição do sistema composto por lâmpadas fluorescentes compactas (LFC) por lâmpadas de LED. Results of the economic evaluations for the replacement of the system comprised of fluorescent compact lamps (CFL) by light emitting diode lamps (LED).

Substituição dos sistemas	TIR (%)	VPL (R\$)	Payback	
			Período	Ano
LFC por LED	95	137,07	2,08	9,11

TIR: taxa interna de retorno e VPL: valor presente líquido.

A substituição do sistema composto por lâmpada fluorescente compacta por lâmpada de LED incandescente apresenta elevadas taxas internas de retorno (TIR). A TIR deve ser comparada à taxa mínima de atratividade (TMA) para verificar a rentabilidade do investimento. Segundo David et al. (2012), para que um investimento seja considerado atrativo, por esse método, é preciso que a TIR seja maior que a TMA. Como para essas análises considerou-se a TMA de 15% (ROSSI et al., 2010; DAVID et al., 2012; SILVA et al., 2014), pode-se dizer que o investimento para a aquisição das lâmpadas de LED é considerado atrativo.

O tempo de retorno do investimento inicial para substituir a lâmpada fluorescente compacta (LFC) pela de LED é de 9,11 anos.

#### **4 CONCLUSÕES**

A percentagem de produção de ovos de poedeiras *Hy Line W-36* não foi influenciada negativamente pelo uso de lâmpadas de LED.

Os aviários iluminados com lâmpadas de LED apresentaram maiores níveis de iluminâncias quando comparados com os iluminados com lâmpadas fluorescentes compactas (LFC), sugerindo a necessidade de reposicionamento das lâmpadas.

As lâmpadas de LED proporcionam uma redução mensal de 43,20% nos custos com energia elétrica. A análise técnico-econômica indica que o investimento para substituição dos sistemas de iluminação é atrativo, sendo 9,11 anos o período para o retorno do investimento referente à substituição das lâmpadas LFC por LED.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores expressam os seus agradecimentos à CAPES, à FAPEMIG e ao CNPq pelo suporte financeiro e ao grupo Aviário Santo Antônio por disponibilizar suas instalações para realização desta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

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

BORILLE, R.; GARCIA, R. G.; ROYER, A. F. B.; SANTANA, M. R.; COLET, S.; NAAS, I. A.; CALDARA, F. R.; ALMEIDA PAZ, I. C. L.; ROSA, E. S.; CASTILHO, V. A. R. The use of light-emitting diodes (LED) in commercial layer production. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v. 15, n. 2, p. 135-140, 2013.

CASAROTTO FILHO, N.; KOPITTKE, B. H. *Análise de investimentos: matemática financeira, engenharia econômica, tomada de decisão, estratégia empresarial*. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 468p.

DAVID, E.; ROSSI, L. A.; PAGLIARDI, O. Technical and economic analysis of replacing artificial lighting system to induction of photoperiod effect in begonia's seedlings in greenhouse. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.32, n.4, p.663-668, jul./ago. 2012.

ER, D.; WANG, Z.; CAO, J.; Effect of monochromatic light on the egg quality of laying hens. *The Journal Applied Poultry Research*, v. 16, n. 4, p. 605-612, 2007.

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

HADDAD, J. A lei de eficiência energética e o estabelecimento de índices Mínimos de eficiência energética para equipamentos no Brasil. *Revista Brasileira de Energia*. V. 11, n. 1, p. 1-8, 2015.

HALMEMAN, R. J.; RODRIGUES, S. A. Matriz energética brasileira: uma reflexão sobre a situação atual e possíveis riscos de “apagões”. *Bioenergia em revista: diálogos*, ano 2, n.1, p. 11-26, jan./jun. 2012.

HY-LINE. MANUAL DE PADRÕES DE DESEMPENHO HY-LINE W-36, 2011. Disponível em: <http://www.hylinedobrasil.com.br>. Acessado em 23/04/2015.

HUBER-EICHER, B.; SUTER, A.; SPRING-STÄHLI, P. Effects of colored light-emitting diode illumination on behavior and performance of laying hens. *Poultry Science*, v. 92, p. 869–873, 2013.

JÁCOME, I. M. T. D. Diferentes sistemas de iluminação artificial usados no alojamento de poedeiras leves. 2009. 144 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola / Construções e Ambiência) - Unicamp, Campinas, 2009.

JÁCOME, I. M. T. D.; ROSSI, L. A.; BORILLE, R. Influence of Artificial Lighting on the Performance and Egg Quality of Commercial Layers: a Review. *Revista Brasileira de Ciência Avícola*, v.16, n.4, p. 337-344, Out./ Dez. 2014.

LONG, H.; ZHAO, Y.; WANG T., Z. NING, XIN, H. Effect of light-emitting diode vs. fluorescent lighting on laying hens in aviary hen houses: Part 1 – Operational characteristics of lights and production traits of hens. *Poultry Science*, Champaign , v. 00, p. 1–11, 2015.

MENDES, A. S.; REFFATI, R.; RESTELATTO, R.; PAIXÃO, S. J. Visão e iluminação na avicultura moderna. *Revista Brasileira Agrociência*, v. 16, n. 1-4, p. 05-13, jan./dez. 2010.

MIN, J. K.; HOSSAN, M. S.; NAZMA, A.; JAE, C. N.; HAN, T. B.; HWAN, K. K.; DONG, W. K.; HYUN, S. C.; HEE, C. C.; OK, S. S. 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, jun./2012.

NORTH, M. O. & BELL, D.D. *Commercial Chicken Production Manual*. New York: Van Nostrand Reinhold, 913p., 1990.

NUNES, K. C.; GARCIA, R. G.; BORILLE, R.; NÄÄS, I. A.; SANTANA, M. R. Led como fonte de luz na avicultura de postura. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, v.9, n.17; p. 1765, 2013.

OLANREAWAJU, H. A.; THAXTON, J. P.; DOZIER, W. A., PURSWELL, J.; ROUSH, W. B., BRANTON, S. L. A review of lighting programs for broiler production. International Journal of Poultry Science, v. 5, n. 4, p. 301-308, 2006.

PEREIRA, P. A.; YANAGI JUNIOR, T.; SILVA, J. P.; LIMA, R. R.; CAMPOS, A. T.; ABREU, L. H. P. Technical evaluation of artificial lighting systems for broiler houses. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.32, n.6, p.1011-1024, nov./dez. 2012.

RENEMA, R. A.; ROBINSON, F. E.; FEDDES, J. J. R.; FASENKO, G. M.; ZUIDHOF, M. J. Effects of Light Intensity from Photostimulation in Four Strains of Commercial Egg Layers: 2. Egg Production Parameters. Poultry Science, v. 80, p. 1121–1131, 2001.

ROSSI, L. A.; DAVID, E.; SARUBBI, J.; PAGLIARDI, O. Viabilidade técnico-econômica do uso de diferentes tecnologias de iluminação para indução de fotoperíodo na produção de mudas de crisântemo. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.5, p.811-818, set./out. 2010.

SILVA, G. F.; TAVARES, B. O.; PEREIRA, D. F. Comportamento de poedeiras em função de diferentes fontes de iluminação monocromáticas. BioEng, Tupã, v.6 n.3, p. 148-158, Set/Dez., 2012.

SILVA, D. A. L.; CARDOSO, E. A. C.; VARANDA, L. D.; CHRISTOFORO, A. L.; MALINOVSKI, R. A. Análise de viabilidade econômica de três sistemas produtivos de carvão vegetal por diferentes métodos. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.38, n.1, p.185-193, 2014.