

USO DO LED NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E NA SUSTENTABILIDADE DA PRODUÇÃO DE AVES

Gustavo Ponzoni Dos Santos¹
Paulo Reis Junior²
Mari Aurora Favero Reis³

RESUMO

Ao minimizar os impactos das variações climáticas para a produção de aves, avanços tecnológicos possibilitaram a expansão no uso do sistema conhecido como *dark house*, com controle das variáveis, como temperatura, ventilação, pressão e iluminação, em prol do bem-estar animal e do aumento da produtividade avícola. Tendo isso, a pesquisa teve como foco a sustentabilidade energética, com o objetivo de avaliar comparativamente os resultados na produção de aves a partir da substituição das tecnologias na iluminação artificial, sendo avaliados três lotes de aves antes e três lotes em período posterior à substituição do sistema de iluminação por LED. A fim de dinamizar a investigação dos dados, o uso do método de matriz foi empregado como ferramenta de análise, juntamente com testes estatísticos de regressão multivariada. Os resultados demonstraram que a substituição da tecnologia luminosa ocasionou redução no consumo de ração e o aumento no consumo de água. Esse resultado sugere que a tecnologia pode oportunizar mudanças positivas nos índices de conversão alimentar, despertando interesses para novos estudos devido à produção de baixo carbono. E, especialmente na avicultura, a tecnologia demonstrou contribuir com os avanços nos processos produtivos.

Palavras-chave: LED. *Dark house*. Eficiência Energética. Produção de Aves.

¹ Engenheiro Ambiental e Sanitarista. Universidade do Contestado. Campus de Concórdia. Santa Catarina. Brasil. E-mail: ponzoni.santos@gmail.com;

² Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Civil, Sanitária e Ambiental (PMPECSA); Engenheiro de Produção e professor na Universidade do Contestado, Campus de Concórdia. Santa Catarina. Brasil. E-mail: sr.reis.paulo@gmail.com;

³ Doutoranda em Ensino de Ciências no Programa da Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Professora de Física na Universidade do Contestado – Campus de Concórdia. Santa Catarina. Brasil. E-mail: mariaurorafavero@gmail.com.

USE OF THE LED ON THE EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF POULTRY PRODUCTION

ABSTRACT

By minimizing the impacts of climatic variations on poultry production, technological advances have made possible the expansion in the use of the system known as dark house, with control of variables such as temperature, ventilation, pressure and lighting, in favor of animal welfare and increase Productivity of cutting birds. The research focused on energy sustainability, aiming to comparatively evaluate the results in poultry production from the replacement of technologies in artificial lighting, three batches of birds were evaluated before and three batches in a period after the replacement of the LED lighting system. In order to streamline the investigation of the data, the use of the matrix method was used as an analysis tool, along with statistical tests of multivariate regression. The results showed that the replacement of light technology caused a reduction in feed intake and an increase in water consumption. This result suggests that the technology can positively change feed conversion rates, sparking interest in new studies for low-carbon production. And, especially in poultry farming, technology has been shown to contribute to advances in production processes.

Keywords: LED. Dark house. Energy Efficiency. Poultryfarming Production.

1 INTRODUÇÃO

A avicultura é uma atividade do agronegócio brasileiro de grande importância para a economia na região. Entre os aspectos de relevância, é possível destacar que gera empregos e renda, é fonte de proteína alimentar (animal), é fator de estímulo para permanência de famílias no campo e o resíduo pode ser utilizado na geração de biogás (MARIN; BLEY JÚNIOR; GONZALEZ, 2017). Contraditoriamente, as empresas que fomentam a produção de proteína animal vêm buscando tecnologias para a redução dos impactos das variações do clima sobre o ambiente de produção.

Atualmente, os processos de climatização e evolução tecnológica utilizados na iluminação artificial na avicultura têm resultado em mudanças no conforto ambiental, contribuindo para a sanidade e o desenvolvimento do lote. O ônus a ser pago para a inserção da tecnologia foi o aumento significativo do consumo de energia elétrica, especialmente, quando ocorre aumento nas tarifas. A partir do ano de 2015 entrou em vigor o sistema de bandeiras tarifárias⁴ proposto pela Agência

⁴O sistema foi proposto com o objetivo de custear a energia, em horários onde a demanda de energia elétrica com custo padrão superava a produção. Desse modo, podem ser alterados os valores para o consumidor final, à medida que são utilizadas as bandeiras verde, amarela e vermelha. O consumidor pode acompanhar a bandeira do mês no site da ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/tarifas-consumidores/-/asset_publisher/e2INtBH4EC4e/content/bandeira-tarifaria/654800?inheritRedirect=false>.

Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), sendo um dos fatores agravantes para o produtor de proteína animal.

Nos últimos anos sistemas tradicionais, consolidados durante anos na região, estão sendo substituídos por tecnologias que utilizam um sistema moderno de produção (*dark house*), onde contempla equipamentos de controle de temperatura, ventilação, pressão e iluminação, possibilitando avaliar a eficiência energética na conversão da energia elétrica em proteína animal (MATTIOLI et al., 2018). Devido a esse controle, o sistema *dark house* contribui para o desenvolvimento desse tipo de pesquisa, aumento da produtividade e competitividade do agronegócio avícola.

No curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, a situação problema tornou-se tema de pesquisa na disciplina de Física III, onde é contemplado o componente curricular de efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz. O estudo quântico da luz é tema de interesse na disciplina, especialmente, para os cursos de engenharia, uma vez que possibilita explorar situações de contexto do estudante, como características da iluminação artificial, funcionamento da tecnologia LED (*Light Emitting Diode*) e muitas outras tecnologias com aplicações dos semicondutores sensores, transístores e as células fotovoltaicas.

Essa problemática possibilitou desenvolver pesquisa de campo com o propósito de buscar uma solução para a sustentabilidade energética. A pesquisa foi desenvolvida com foco na eficiência na produção, com uso de instrumentos de medição no consumo de energia elétrica, objetivando avaliar as possíveis perdas de energia, destacando os pontos críticos a proporcionar as melhorias no sistema, com foco na conservação da energia. Os avanços tecnológicos estão intrinsecamente relacionados aos custos de produção, fator que resultou na pesquisa em Trabalho de Conclusão do Curso (TCC) de Engenharia Ambiental e Sanitária do acadêmico autor da pesquisa (SANTOS, 2016), em uma Universidade privada em Santa Catarina.

O estudo, apresentado em Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), ocorreu a partir da seguinte pergunta de pesquisa: Qual a possível causa na perda de energia elétrica a ser considerado na eficiência energética do aviário *dark house*? Ao ser respondida essa pergunta, aconteceu a inferência de que as perdas poderiam estar associadas à iluminação artificial. Surgia a hipótese de aumentar a eficiência energética a partir da substituição de lâmpadas incandescentes por Diodos Emissores de Luz (LED). Consequentemente, as investigações originaram outras duas novas perguntas secundárias: (i) Quais as características da tecnologia para a iluminação artificial a ser empregada na substituição das lâmpadas incandescentes na produção de aves? (ii) Qual a influência dessa nova tecnologia sobre os processos produtivos?

Por um lado, a radiação luminosa abrange uma pequena faixa do espectro eletromagnético (faixa visível). Na visão de diversas espécies, a região visível inclui a radiação eletromagnética para comprimentos de onda entre 280nm e 1400nm, em função de seus diferentes processos fotobiológicos (BARGHINI, 2008). Como exemplo, na visão humana a faixa da radiação luminosa do espectro eletromagnético corresponde a uma faixa entre os comprimentos de onda 380nm e

700nm. Quanto à resposta à sensibilidade, o olho humano apresenta sensibilidade fotópica (visão em condição de alta luminosidade) máxima em 555nm e sensibilidade escópica (visão em condição de baixa luminosidade) a cerca de 505nm (RAYCHAUDHURI, 2011). Essas sensibilidades correspondem à faixa luminosa equivalente às cores verde e amarela.

Entretanto, nas aves a sensibilidade luminosa é diferente dos humanos. O espectro visível nas aves varia do comprimento de onda ultravioleta (UV) até o infravermelho (IV), com sensibilidade luminosa máxima variando entre 480nm a 630nm (CANEPPELE et al., 2013). Isso porque, segundo os autores, as aves podem perceber a luz por duas formas diferentes, sob a mesma intensidade de luz: através de seus olhos (como nos humanos) e através da glândula pineal (comumente chamado de "terceiro olho", que se situa na superfície dorsal do cérebro). "A glândula pineal aviária está particularmente envolvida no controle dos ritmos circadianos e da atividade sexual" (CANEPPELE et al., 2013, p. 64).

Por essa razão, pesquisas associando a iluminação com distúrbios metabólicos, estresse e imunidade, deram novos rumos para programas de iluminação artificiais em termos de fotoperíodo e intensidade (LIMA et al., 2014). Também, a iluminação pode ser um estímulo para a alimentação e ingestão de água na fase de recria, ou pode moderar o ganho de peso, aumentando a eficiência da produção e a sanidade do lote na fase de crescimento (PAIXÃO et al., 2011).

A luminosidade natural do Sol apresenta oscilações, tanto de intensidade quanto de fotoperíodo, durante os dias ou durante as estações do ano, a iluminação artificial permite a estabilidade e padronização da iluminação. Por se tratar de um ambiente com variáveis totalmente controladas, a iluminação artificial no *dark house* é controlada por meio de um *Dimmer*, equipamento adotado responsável pela programação da iluminação.

Por muito tempo as lâmpadas incandescentes comuns foram empregadas na iluminação artificial, inclusive, para o setor do agronegócio, em razão de a tecnologia ser conhecida e compatível para tal finalidade. Sua cor branca com tonalidade amarelada proporciona sensação de conforto e bem-estar às aves, mas, em virtude de sua baixa eficiência energética, a fabricação e a comercialização dessa tecnologia foram suprimidas do mercado.

A década recente experimentou um progresso significativo na melhoria das tecnologias para iluminação artificial, a partir de aplicações dos semicondutores, entre elas os diodos emissores de luz (LED), bem como uma melhoria significativa do seu desempenho e eficiência (ALADOV et al., 2010). Conforme os autores, a produção de LED (*Light Emitting Diode*) estava se expandindo rapidamente devido a uma implementação sem precedentes de avanços científicos e tecnológicos em dispositivos comerciais.

No início do século XXI, especialistas estimavam que a eficiência luminosa do LED branco não iria exceder a 60 – 80lm/W até 2010. Porém, em 2010, os LED comerciais já apresentavam eficiência luminosa superior a 110 - 120lm/W. Esse fato transformou o LED na principal fonte de luz para uma ampla gama de aplicações,

incluindo iluminação geral (ALADOV et al., 2010). É estimado que até o ano de 2020 a eficiência do LED aumente para 200lm/W e que substituirão as lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Assim, o LED se tornará o principal dispositivo para a iluminação artificial (JIA; MA; HUNTER, 2007).

A estrutura da tecnologia LED é completamente diferente das lâmpadas convencionais, pelo fato de seu funcionamento ser a partir do efeito fotoelétrico em material semicondutor. De modo geral, quando a eletricidade passa pelo diodo, os átomos do material que constituem o chip são “excitados”, dessa maneira, a energia contida é liberada pelo efeito fotoelétrico. Logo, tanto os fótons (luz) quanto a corrente percorrem uma única direção, ou melhor, a mesma direção.

O Diodo Emissor de Luz (LED) emite radiação contínua pelo espectro eletromagnético em comprimentos de onda que podem variar na escala do infravermelho, visível ou ultravioleta, dependendo do material semicondutor constituinte do LED (RAYCHAUDHURI, 2011). Em virtude de sua característica de opção de comprimento de onda, segundo o autor, existe um extenso campo de aplicação da tecnologia LED.

Quanto aos aspectos ambientais, são necessárias ações com vistas a reduzir os impactos causados pela iluminação artificial para com o meio ambiente. O emprego do LED, além de reduzir o consumo de energia elétrica, pode ser aliado aos aspectos, como a segurança e qualidade de vida, reduzindo os impactos causados pela contaminação dos recursos naturais por materiais contaminantes (FALKOSKI; REIS, 2015).

2 METODOLOGIA

2.1 CONTEXTO DE ESTUDO

O presente trabalho foi desenvolvido em uma propriedade rural no município de Concórdia, no estado de Santa Catarina, Brasil. A produção avícola dessa propriedade ocorre por dois sistemas de produção de aves: modelo climatizado (tradicional na região) e modelo *dark house* (tecnologia controlada). Em Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), para obtenção de título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista (SANTOS, 2016), foi realizado um diagnóstico energético na propriedade durante o período de um ano. O diagnóstico de consumo de energia elétrica nos sistemas produtivos proporcionou a identificação do fluxo de energia e o levantamento das possíveis perdas de energia. Durante o estudo foram observadas as seguintes situações:

- Sistema Modelo Climatizado: Ventilação natural e/ou artificial dependendo da necessidade. Iluminação natural durante o dia, porém com complemento do fotoperíodo à noite e/ou em dias de baixa insolação. Eram utilizadas 10 lâmpadas vapor de sódio de 70W e um *timer* para essa finalidade.

Figura 1 – Sistema de produção de aves do tipo climatizado existente na propriedade estudada



Fonte: Autores, com dados da pesquisa (2015).

- Sistema *dark house*: Sistema totalmente controlado, formando uma espécie de microclima no interior do aviário, pois os equipamentos exaustores e aquecedores, acionados a partir de sensores, exercem a função de monitoramento e renovação de ar, bem como o controle de temperatura. O único contato das aves com a luz nesse sistema era por meio de 90 lâmpadas incandescentes comuns de 60w.

Figura 2 – Sistema de produção de aves do tipo *dark house* existente na propriedade estudada



Fonte: Autores, com dados da pesquisa (2015).

Entretanto, em razão da baixa eficiência luminosa da iluminação incandescente, aliada à sua descontinuidade de fabricação e comercialização, houve a necessidade da substituição das lâmpadas incandescentes comuns. O estudo foi desenvolvido a partir das seguintes considerações:

1º) A conservação de Energia ou Eficiência Energética: A geração de energia elétrica gera impactos ao meio ambiente, desde a captação dos recursos naturais até chegar ao consumidor final. A eficiência energética é uma ferramenta estratégica para a redução da demanda e, por consequência, na redução da necessidade de explorar novos recursos. Por essa razão a iluminação proposta deveria contemplar tecnologias mais eficientes e com viabilidade técnica e ambiental.

2º) Compatibilidade de luminosidade: A iluminação tem grande importância para os ambientes de produção, logo, não basta apenas trocar uma tecnologia por outra. A tecnologia deveria atender as necessidades de iluminação para manter o mesmo padrão de iluminação ou melhorar, sem haver prejuízos à visão das aves.

Em virtude dessas justificativas, a iluminação artificial deveria considerar aspectos da iluminação, como cor, comprimento de onda e outras características fornecidas pelas lâmpadas incandescentes comuns, somados à eficiência energética e durabilidade, onde se destacou o uso da iluminação por LED (SANTOS; REIS, 2016). O LED poderia substituir com sucesso a tecnologia antiga e, por conta disso, tornava necessária uma avaliação como continuidade do trabalho desenvolvido.

2.2 PROCEDIMENTOS DE COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Conforme anteriormente relatado, iniciamos a pesquisa com a instalação de medidores para avaliar o consumo de energia elétrica em dois sistemas de produção, na mesma propriedade: um do tipo climatizado e outro *dark hause*, onde se verificou como sistema crítico o consumo de energia no sistema *dark hause* e, portanto, este foi o escolhido para o estudo de eficiência energética. Simultaneamente, realizamos uma avaliação da influência da iluminação artificial por lâmpadas incandescentes comuns na produção de aves, com a coleta dos dados de três lotes de aves alojados nesse sistema, sendo a amostra utilizada como controle para avaliar a eficiência das melhorias a serem realizadas no sistema.

Após a substituição das lâmpadas incandescentes comuns por Diodos Emissores de Luz (LED), foram coletados dados de outros três lotes, pós-alteração do sistema de iluminação. Esses dados, que poderiam ser classificados como dados experimentais, juntamente com os dados de controle, foram analisados com o uso de matrizes, a fim de estabelecer relação quantitativa. A justificativa para a escolha do método ocorre que com o advento da tecnologia computacional cálculos matemáticos que antes eram realizados manualmente, com certa complexidade de uso de múltiplas variáveis, como foi nesse caso, passaram a ser viáveis com uso de matriz.

A aplicação de matriz para a gestão de ambientes complexos facilita o desenvolvimento na cognição dos dados e na tomada de decisão estratégica (JONES; JONES; DECKRO, 1994). E, como o objetivo desse trabalho foi avaliar comparativamente lotes com diferentes tecnologias de iluminação, para tal finalidade o uso de matriz pode ser uma ferramenta adequada, por superar as dificuldades de relacionar dados independentes. Considerando que algumas variáveis necessitam ser adequadas à correção de correlação, o uso dessa estratégia pode indicar as relações intrínsecas (FIFE; HUNTER; MENDOZA, 2016).

Os dados coletados abrangem os resultados técnicos, como número de aves alojadas, peso médio, eficiência produtiva, consumo de ração e água, conversão alimentar entre outros. Todos os dados estão disponibilizados em documentos emitidos pela empresa integradora e em planilhas de gerenciamento armazenadas no computador da propriedade.

Foi utilizado o termo “lote” como o período correspondente ao ciclo de recria e crescimento das aves na propriedade, um ciclo que pode variar entre 39 e 41 dias, seguido de outros 12 a 15 dias de intervalo (vazio sanitário), para preparação de alojamento para o lote seguinte. Ao final de cada lote a empresa integradora fornece um documento contendo todas as informações do respectivo lote (desempenho técnico, remuneração, etc.). O presente estudo foi desenvolvido em comparação de três lotes que antecederam a substituição da iluminação incandescente por LED e três lotes após as mudanças.

Após as devidas correções, nas variáveis com uso de matrizes, os dados foram relacionados por meio de testes de relacionamento entre variáveis e, posteriormente, os testes de regressão univariado. Os resultados desses testes serão apresentados na próxima seção

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados coletados apresentam diferenças quantitativas quanto ao número de aves alojadas, dias de alojamento, consumo de insumos (ração e água) para o sistema produtivo *dark house*. Por essa razão, foi necessário organizar essas variáveis em função da eficiência, ou seja, utilizando matrizes denominadas como:

- **Alojamento:** A matriz alojamento é formada pela quantidade de aves alojadas em cada lote. A média dos lotes alojados originou a “Média Alojamento”. A partir da divisão da matriz “Alojamento” pela matriz “Média Alojamento”, outra matriz foi originada, a “Alojamento M” (Figura 3).

Figura 3 – Matriz para obtenção da densidade das aves no Alojamento

Lote	Alojamento		Média Alojamento		Alojamento M
1	29164	/	28739,83	=	1,01
2	27736				0,97
3	27009				0,94
4	27720				0,96
5	30290				1,05
6	30520				1,06

Fonte: Os Autores (2017).

A finalidade dessa matriz é organizar a relação do número de aves alojadas entre os lotes realizados no *dark house*. Essa matriz indica que quanto maior for a variável na matriz “Alojamento M”, maior é a eficiência na ocupação do espaço disponível no sistema produtivo *dark house*. Em outras palavras, a mesma matriz indica a maior densidade, maior número de aves por metro quadrado.

- **Tempo do lote:** A matriz “Dias” é formada pela quantidade de dias de alojamento em cada lote do sistema produtivo *dark house*. A média de dias de cada lote originou a matriz “média dias”. A partir da divisão da matriz “Dias” pela matriz “Média Dias”, outra matriz foi originada, a “Dias M” (Figura 4).

Figura 4 – Matriz que determina o período de alojamento das aves

Lote	Dias		Média Dias		Dias M
1	41	/	41,33	=	0,99
2	42				1,02
3	41				0,99
4	42				1,02
5	42				1,02
6	40				0,97

Fonte: Os Autores (2017).

A finalidade da matriz “Dias M” é organizar a relação do período da permanência das aves para cada lote de produção. As matrizes “Alojamento M” e “Dias M” são inversamente relativas à produtividade e, portanto, foi necessário dividir a matriz “Alojamento M” pela matriz “Dias M”, resultando na matriz “Eficiência”, a qual sintetiza os valores de Alojamento e dias (Figura 5).

Figura 5 – Matriz que determina a Eficiência (espaço x tempo)

Lote	Alojamento M		Dias M		Eficiencia	
1	1,01		0,99		1,02	
2	0,97		1,02		0,95	
3	0,94		0,99		0,95	
4	0,96		1,02		0,95	
5	1,05		1,02		1,04	
6	1,06		0,97		1,10	

Fonte: Os Autores (2017).

- **Entrada de insumos:** A matriz “Entrada” é composta pelas variáveis Ração e Água, consumidas por cada lote de produção de aves. A soma das variáveis Ração e Água originou a matriz “Insumo”, com a finalidade de avaliar proporcionalidade entre as variáveis Ração e Água. Sendo assim, a divisão da matriz “Entrada” pela matriz “Insumo”, formou a matriz “Função R para A” (Figura 6).

Figura 6 – Matriz que determina as entradas de insumo (ração e água)

Lote	Entrada		Insumos	Função R para A	
	Ração	Água		Ração	Água
1	125110	271433	396543	31,55%	68,45%
2	123160	271433	394593	31,21%	68,79%
3	115520	271433	386953	29,85%	70,15%
4	136540	271433	407973	33,47%	66,53%
5	141180	294101	435281	32,43%	67,57%
6	129310	278967	408277	31,67%	68,33%

Fonte: Os Autores (2017).

Enquanto a entrada é referente aos insumos Ração e Água, a função R para A apresenta a relação entre o consumo de ração e de água em cada lote. Essa matriz tem suas variáveis expressas em porcentagem, com a finalidade de evidenciar a diferença entre as proporções dos valores das variáveis Ração e Água para cada lote.

- **Produção de Entrega:** O objetivo do sistema *dark house* é aumentar a eficiência na conversão de proteína vegetal e água em proteína animal. Portanto, a quantidade de quilos entregue (aves) precisou ser organizada na matriz “Kg Entregues”. A divisão da matriz “Kg Entregues” pela matriz “Insumo” (Ração + Água), seguida pela multiplicação pela matriz “Eficiência”, formou a matriz “Produtividade” (Figura 7), indicando a eficiência na produção de proteína animal.

Figura 7 – Matriz que indica a produtividade nos lotes

Lote	kg entregues	Insumos	Eficiência	Produtividade
1	71040	396543	1,02	18,33%
2	72940	394593	0,95	17,56%
3	68760	386953	0,95	16,84%
4	82060	407973	0,95	19,09%
5	86110	435281	1,04	20,52%
6	80030	408277	1,10	21,51%

Fonte: Os Autores (2017).

- **Para a produtividade:** Considerando que a matriz “produtividade” está diretamente ligada aos insumos, esse fato levou à união da matriz “Produtividade” com a matriz “Função R para A”, originando a matriz “Relação” (Figura 8). Essa matriz tem suas variáveis expressas em porcentagem, com a finalidade de evidenciar a diferença entre a produtividade em função da relação das variáveis (Ração e Água) para cada lote de aves.

Figura 8 – Matriz que relaciona a “Produtividade” em função dos insumos de entrada

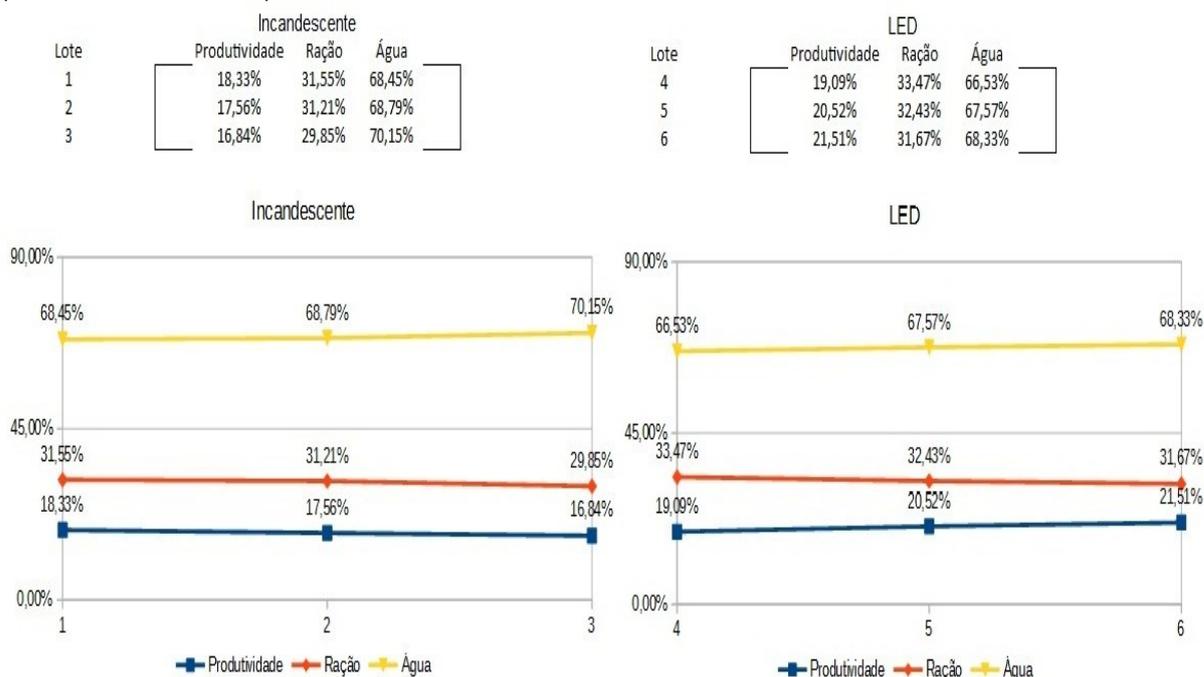
Lote	Produtividade	Função R para A		Produtividade	Relação	
		Ração	Água		Ração	Água
1	18,33%	31,55%	68,45%	18,33%	31,55%	68,45%
2	17,56%	31,21%	68,79%	17,56%	31,21%	68,79%
3	16,84%	29,85%	70,15%	16,84%	29,85%	70,15%
4	19,09%	33,47%	66,53%	19,09%	33,47%	66,53%
5	20,52%	32,43%	67,57%	20,52%	32,43%	67,57%
6	21,51%	31,67%	68,33%	21,51%	31,67%	68,33%

Fonte: Os Autores (2017).

A matriz “Produtividade” sugere que à medida que o consumo de ração diminui e o consumo de água aumenta, a produtividade também aumenta para os casos dos lotes 4, 5 e 6. Entretanto, nos lotes 1, 2 e 3 a redução do consumo de ração, mesmo com o aumento no consumo de água, apresentou resultados contrários, com redução na produtividade.

Esse fato pode estar relacionado ao conforto e bem-estar proporcionados com a iluminação e sua reprogramação de fotoperíodo. Para a representação gráfica (Figura 9) dos dados pertinentes às duas tecnologias diferentes de iluminação no processo *dark house*, a matriz “relação” (Figura 8) foi dividida em lotes com lâmpadas “Incandescentes” (lotes 1, 2, 3) e lotes com lâmpadas de “LED” (lotes 4, 5 e 6).

Figura 9 – Análise comparativa dos resultados na produção, nos sistemas de iluminação (Incandescente e LED)



Fonte: Os Autores (2017).

A representação gráfica, para o sistema de iluminação incandescente, originou retas com inclinações semelhantes para as variáveis ração e produtividade. Esse resultado sugere que a redução de consumo da ração irá proporcionar redução da produtividade, na transformação de proteína vegetal em animal. No entanto, para a tecnologia de iluminação LED, a representação gráfica apresentou inclinação diferente nas retas das variáveis ração e produtividade. A redução de consumo da ração resultou em aumento de produtividade para os três lotes avaliados (Figura 10).

Figura 10 – Análise de regressão univariada

RESUMO DOS RESULTADOS

Matriz “ Função R para A”

<i>Estadística de regressão</i>	
R múltiplo	1,0000
R-Quadrado	1,0000
R-quadrado ajustado	1,0000
Erro padrão	0,0000
Observações	6

ANOVA

	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>
Regressão	1	0,000733	0,000733	2,43E+30	0,0000
Resíduo	4	1,21E-33	3,02E-34		
Total	5	0,000733			

	<i>Coefficientes</i>	<i>erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>superior 95%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	1	4,38E-16	2,28E+15	0,0000	1	1	1
Água	-1	6,42E-16	-1,6E+15	0,0000	-1	-1	-1

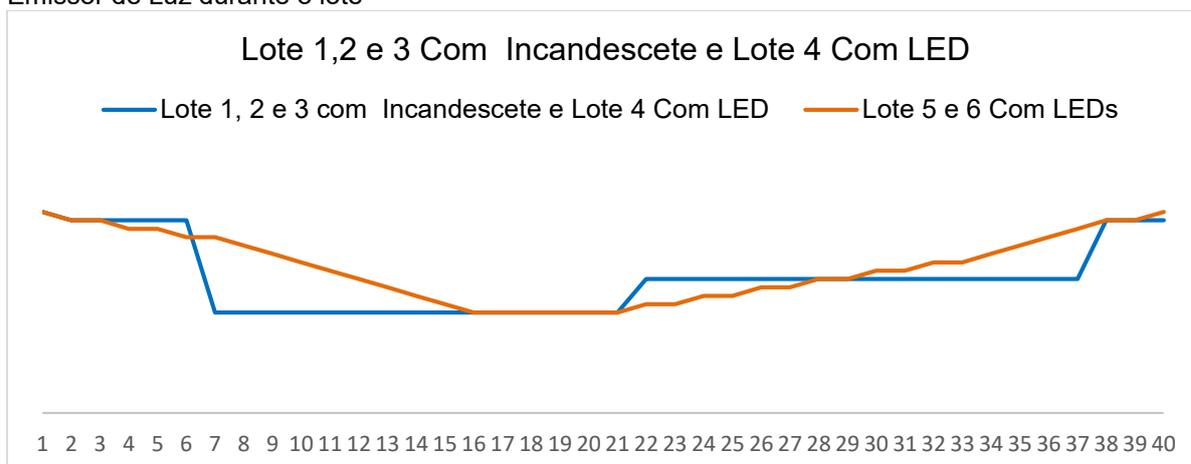
Fonte: Os Autores (2017).

Outro fato a ser observado na análise é que em ambas as tecnologias, a redução de consumo da ração é inversamente proporcional ao aumento no consumo de água. A fim de verificar essa relação apresentada, em ambos os sistemas de iluminação foi realizada uma regressão univariada. Para a matriz “Função R para A”, foi utilizada a variável Ração como variável dependente e a variável água como variável independente.

A regressão apresentou o “F de significância” menor que 0,05, o que demonstra que o modelo matemático apresenta relação da variável ração com a variável água. O “valor-P” para água foi também menor que 0,05, o que demonstra que há relação entre o consumo de água e a redução de consumo de ração. A análise do R^2 e do $R^2(\text{ajustado})$ demonstrou alta probabilidade estatística na relação entre as duas variáveis (Ração e Água).

Na posse desses resultados e sabendo que a iluminação artificial tem grande importância para a produção de aves, consideramos as possibilidades decorrentes das mudanças realizadas durante a alteração do sistema de iluminação. Nesse caso, a programação da intensidade luminosa e fotoperíodo das aves teve sua curva ajustada no sistema LED, conforme apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Programação de iluminação artificial com emprego de lâmpada incandescente e Diodo Emissor de Luz durante o lote



Fonte: Os Autores (2017).

O primeiro programa apresentado na linha mais escura representa os ajustes na intensidade luminosa (com *dimmer*) no período de estudo com iluminação incandescente. O segundo programa (apresentado na linha de cor clara), para o sistema de iluminação de LED, apresenta maior controle nos ajustes da incidência luminosa no fotoperíodo sobre as aves, proporcionando conforto e bem-estar nas aves durante as transições. Essa inferência de pesquisa sugere novos estudos, a fim de avaliar a influência da programação luminosa no desenvolvimento das aves, bem como a influência dessa variável na produção de proteína animal.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme relatado no início deste estudo, com foco na sustentabilidade energética, a pesquisa surgiu na disciplina de Física III, na Engenharia Ambiental e Sanitária, como foco da sustentabilidade energética na produção de aves em propriedade rural no interior de Santa Catarina, com o objetivo de avaliar comparativamente os resultados na produção de aves a partir da substituição de lâmpadas incandescentes por Diodos Emissores de Luz (LED). Os resultados demonstraram a viabilidade na substituição das tecnologias para iluminação artificial, demonstrando resultados qualitativos e quantitativos significativos.

As análises indicam que a substituição das lâmpadas incandescentes comuns por lâmpadas de LED, associada às mudanças de programação no fotoperíodo e intensidade luminosa, com o aumento do alojamento, resultou na redução no consumo de ração e no aumento no consumo de água. Esse resultado pode proporcionar mudanças positivas nos índices de conversão alimentar das aves, despertando interesses para novos estudos e, possivelmente, em novas investigações em prol da produção de baixo carbono. A pesquisa é inconclusiva quanto à quantidade ótima de aves a serem alojadas associadas às mudanças na

iluminação artificial, entretanto, os resultados heurísticos alcançados direcionam à tomada de decisão para novos métodos e processos.

Nesse sentido, a retratação da realidade foi insuficiente para entender o processo e os resultados alcançados. Uma investigação epistemológica da realidade pode ter proporcionado conhecimento de eventos ocultos, ocasionando avanços mencionados na produção. A continuação desta pesquisa pode promover o desenvolvimento de novas técnicas e conhecimentos para novas aplicações na conservação da energia. Quanto à tecnologia LED, esta tem demonstrado evolução na aplicação em diferentes segmentos na iluminação artificial. Somado à evolução da tecnologia e aumento de eficiência, o uso do LED tem contribuído para a sustentabilidade energética e ambiental. Especialmente, na avicultura, a tecnologia demonstrou contribuir com avanços nos processos produtivos.

REFERÊNCIAS

Aladov AV et al. On modern high-power LEDs and their lighting application. *Light and Engineering*. 2010; 18(3): 16-29, 2010.

Barghini A. Influência da Iluminação Artificial sobre a Vida Silvestre: técnicas para minimizar os impactos, com especial enfoque sobre os insetos. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*. 2008: 229.

Caneppele FL et al. A sensibilidade espectral do olho das aves e a importância da composição espectral das fontes de luz artificial (USP, Ed.). III Simpósio de Sustentabilidade & Ciência Ambiental. Anais... [online]. São Paulo: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo; 2013. Disponível em: <<http://sisca.com.br/simposio2013/anais.php>>

Falkoski C, Reis MAF. Benefícios econômicos e ambientais da sustentabilidade energética na iluminação de ambientes externos. In: *Jornada de Iniciação Científica (JINC)*, 9., 2015. Anais... Concórdia, SC: UnC; 2015.

Fife DA, Hunter MD, Mendoza JL. Estimating Unattenuated Correlations With Limited Information About Selection Variables. *Organizational Research Methods*. 2016; 19 (4): 593-615.

Jia D, Ma Y, Hunter DN. Long persistent light emitting diode indicators. *European Journal of Physics*. 2007 set.; 28(5): 833-840.

Jones RE, Jones KM, Deckro RF. Strategic decision processes in matrix organizations. *European Journal of Operational Research*. 1994; 78 (2): 192-203.

Lima KAO et al. Impacto da iluminação artificial no comportamento de frangos de corte. *Revista Agrarian*. 2014; 7(24): 301-309.

Marin MZ, Bley Júnior CJ, Gonzalez RHA. Espaços rurais: além dos alimentos, a vocação energética. Boletim de Geografia. 2017 maio; 34 (3): 63.

Mattioli MC et al. Energy analysis of broiler chicken production system with dark house installation. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. 2018 set; 22(9): 648-652.

Paixão SJ et al. Preferência de frangos de corte criados sob distintos tipos de lâmpadas. In: Congresso de Ciência e Tecnologia da UTFPR, 1., Seminário: Sistemas de Produção Agropecuária, 5., Simpósio de Ciências Florestais e Biológicas, 1., 2011. Anais... Dois Vizinhos: Expo UT2011; 2011.

Raychaudhuri B. On the determination of the emission wavelength of an infrared LED with common laboratory instruments. European Journal of Physics. 2011; 32(4): 935-945.

Santos GP. LED e eficiência energética visando a sustentabilidade do agronegócio avícola: estudo de caso em aviário climatizado e dark house; 2016.

Santos GP, Reis MAF. Iluminação artificial com uso de leds na produção avícola em sistema dark house. In: Jornada de Iniciação Científica (10 JINC), 10., 2016. Anais... Concórdia: SCEMBRAPA; UnC; 2016.

Artigo recebido em: 25/09/2018

Artigo aprovado em: 19/10/2018

Artigo publicado em: 25/02/2019