**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Sustentabilidade de diferentes sistemas de produção de ovos no
Brasil**

Danielle Priscila Bueno Fernandes

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

**Piracicaba
2020**

Danielle Priscila Bueno Fernandes
Engenheira Agrônoma

Sustentabilidade de diferentes sistemas de produção de ovos no Brasil
versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:
Prof. Dr. **THIAGO LIBÓRIO ROMANELLI**

Tese apresentada para obtenção do título de
Doutora em Ciências. Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Agrícolas

Piracicaba
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP

Fernandes, Danielle Priscila Bueno

Sustentabilidade de diferentes sistemas de produção de ovos no Brasil /
Danielle Priscila Bueno Fernandes - - versão revisada de acordo com a
resolução CoPGr 6018 de 2011. - - Piracicaba, 2020.

150 p.

Tese (Doutorado) - - USP / Escola Superior de Agricultura “Luiz de
Queiroz”.

1. Fluxo de material 2. Energia 3. Aquecimento global 4. Bem-estar animal
I. Título

Aos meus pais

Aos meus pais Marcos e Cleide por todo amor dedicado a mim e por caminharem junto comigo durante esse percurso da minha vida.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais por todo o apoio nesse momento tão importante da minha vida. Nunca conseguirei compensar devidamente a dedicação que sempre manifestaram.

Ao meu orientador Prof. Dr. Thiago Libório Romanelli por sua amizade, por ter me acolhido e trabalhado junto comigo.

Ao querido Erick por ter me apoiado, me aproximado ainda mais de Deus e me aconselhado nesse percurso, o que tornou a minha caminhada mais feliz.

Aos meus amigos Sergio Castro e Aérica Nazareno pela parceria e conselhos dados.

A Davilmar Colevatti, secretária administrativa da pós-graduação do departamento de engenharia de biossistemas da ESALQ/USP, por estar sempre disposta a me ajudar. É evidente o carinho e o cuidado que ela tem pelos alunos da pós-graduação.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo auxílio financeiro que foi fundamental para a conclusão dessa pesquisa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
LISTA DE FIGURAS	11
LISTA DE TABELAS	12
1. INTRODUÇÃO	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 Produção animal e o ambiente	19
2.2 Caracterização dos sistemas de produção de ovos	20
2.3 Descrição das etapas da produção de ovos no brasil e insumos utilizados ...	21
2.4 Fluxos de energia nos sistemas de produção de ovos	23
2.5 Impactos ambientais na produção de ovos	25
2.5.1 Impactos ambientais na água	29
2.5.2 Impactos ambientais no solo	31
2.5.3 Odores.....	32
2.5.4 População de moscas e roedores	33
2.5.5 Emissão de gases do efeito estufa	33
2.6 Bem-estar animal e sustentabilidade na produção de ovos	35
Referências	36
3. FLUXOS DE MATERIAL E ENERGIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVOS	49
Resumo.....	49
Abstract	49
3.1 Introdução	50
3.2 Material e métodos	52
3.2.1 Dados coletados nas granjas	52
3.2.2 Limites do estudo e unidade funcional	52
3.2.3 Dados zootécnicos	54
3.2.4 Caracterização dos sistemas de produção de ovos	54
3.2.4.1 Sistema C1	55
3.2.4.2 Sistema C2.....	56
3.2.4.3 Sistema FR.....	57
3.2.5 Fluxos de material	58
3.2.5.1 Ração.....	59
3.2.5.2 Eletricidade.....	59

3.2.5.3 Aquecimento do ambiente	59
3.2.5.4 Mão de obra.....	60
3.2.5.5 Diesel.....	60
3.2.5.6 Pesticidas	60
3.2.5.7 Medicamentos.....	60
3.2.5.8 Desinfetantes	61
3.2.5.9 Edificações	61
3.2.5.11 Água	61
3.2.5.12 Material para cama	63
3.2.5.13 Dejetos.....	63
3.2.6 Depreciação das instalações, máquinas e equipamentos	64
3.2.6.1 Depreciação das instalações	64
3.2.6.2 Depreciação do maquinário	65
3.2.7 Fluxo de energia	66
3.2.7.1 Depreciação energética das instalações	67
3.2.7.2 Depreciação energética do maquinário	67
3.3 Resultados.....	69
3.3.1 Dados zootécnicos.....	69
3.3.2 Fluxos de materiais.....	69
3.3.3 Fluxos de energia	75
3.4 Discussão	78
3.5 Conclusões	82
Referências.....	82
4. DESEMPENHO AMBIENTAL DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVOS NO BRASIL	93
Resumo	93
Abstract.....	93
4.1 Introdução	94
4.2 Material e métodos.....	96
4.2.1 Categorias de impacto ambiental.....	96
4.2.1.1 Eletricidade.....	96
4.2.1.2 Diesel	97
4.2.1.3 Lenha	97
4.2.1.4 GLP (gás liquefeito de petróleo)	97
4.2.1.5 Incubação dos ovos.....	97

4.2.1.6	Maravalha	98
4.2.1.7	Ração.....	98
4.2.1.8	Maquinário	99
4.2.1.9	Emissões dos dejetos	100
4.2.1.9.1	Emissões de CH ₄ associadas aos dejetos	100
4.2.1.9.2	Emissões diretas de N ₂ O.....	101
4.2.1.9.3	Emissões indiretas de N ₂ O devido à volatilização de N	102
4.2.1.9.4	Emissões indiretas de N ₂ O devido à lixiviação de N	103
4.2.1.9.5	Emissão de amônia	104
4.2.1.10	Incineração e compostagem de carcaças	104
4.3	Resultados.....	104
4.4	Discussão	108
4.5	Conclusões.....	112
	Referências	112
5.	DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVOS: BEM-ESTAR ANIMAL E SUSTENTABILIDADE	121
	Resumo	121
	Abstract	121
5.1	Introdução	122
5.2	Material e métodos	124
5.2.1	Avaliação da limpeza da plumagem	125
5.2.2	Avaliação do coxim plantar.....	125
5.2.3	Deformações no esterno	125
5.2.4	Lesões de pele	125
5.2.5	Danos no dedo do pé	126
5.2.6	Patologias oculares	126
5.2.7	Infecções respiratórias	126
5.2.8	Enterite	126
5.2.9	Anormalidades na crista	126
5.2.10	Escore de empenamento	127
5.2.11	Feridas por bicadas na crista	127
5.2.12	Análise estatística	127
5.2.13	Escores	127
5.3	Resultados	128
5.4	Discussão.....	131

5.5 Conclusões	135
Referências.....	135
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	143
APÊNDICES	145

RESUMO

Sustentabilidade de diferentes sistemas de produção de ovos no Brasil

Na avicultura de postura no Brasil, estudos que indiquem quão sustentáveis são os sistemas de produção de ovos ainda são escassos, e, devido a singularidade de cada um desses quanto à infraestrutura, manejo e uso de recursos, os impactos no ambiente e na qualidade de vida dos animais podem ser divergentes. Com o intuito de identificar os pontos críticos e prever os impactos que a atividade pode gerar, o objetivo desse estudo foi analisar a sustentabilidade ambiental de diferentes sistemas brasileiros de produção de ovos. A pesquisa foi dividida em cinco capítulos. No primeiro, foi realizada uma introdução geral sobre o tema. No segundo, uma revisão de literatura sobre aspectos gerais da sustentabilidade na produção animal. No terceiro capítulo, a partir do fluxo de material de cada um dos sistemas de produção de ovos considerados (C1: galpão californiano; C2: galpão fechado, climatizado; FR: free-range) e de índices energéticos dos insumos, foi possível estimar o seu fluxo de energia. Para a caracterização de cada sistema e levantamento do fluxo de material, foram coletados indicadores zootécnicos e realizadas entrevistas com os responsáveis técnicos. Tendo como base o fluxo de material por unidade de massa de ovo, no quarto capítulo foi avaliado o desempenho ambiental de cada um dos sistemas de produção de ovos considerados, aferindo-se o potencial de aquecimento global, de eutrofização e de acidificação. No quinto capítulo, foi avaliado o bem-estar das poedeiras por meio da análise da integridade física das aves. Os resultados evidenciaram que o sistema C2 foi o que apresentou melhor desempenho no uso dos recursos energéticos por unidade de produto. Tendo em vista que a ração, a eletricidade e o diesel são os insumos que mais demandam energia, ressalta-se a necessidade de buscar medidas que visem a sua otimização e uso racional. Ainda, verificou-se que insumos para o aquecimento das aves, métodos de manejo dos dejetos e tratamento de aves mortas podem ser substituídos por outras fontes menos poluidoras e acessíveis ao produtor. Os resultados referentes à avaliação da integridade física das aves, evidenciam que o sistema C1 é inadequado ao bem-estar de poedeiras comparado aos demais. Uma vez que existem opções de sistemas de produção de ovos que oferecem melhores condições de vida às aves, ressalta-se a necessidade de adaptações ou mesmo mudanças para os demais sistemas. Ao comparar os sistemas de produção, verificou-se que o C1, hoje em sua maioria no Brasil, foi o que apresentou os piores resultados, tanto com relação ao desempenho ambiental, quanto ao bem-estar das aves poedeiras. Evidenciou-se ainda que não há um sistema de produção de ovos perfeito quando o assunto é sustentabilidade, visto que cada um deles, em função das suas peculiaridades, apresentam deficiências quanto ao uso de insumos e qualidade de vida das aves, porém, baseando-se nas avaliações efetuadas nesse estudo, há potencial de melhoria, se forem adotadas técnicas simples de gerenciamento ambiental e adaptações nos galpões que contribuam para a melhoria do bem-estar das aves.

Palavras-chave: Fluxo de material, Energia, Gases do efeito estufa, Bem-estar animal

ABSTRACT

Sustainability of different egg production systems in Brazil

In laying poultry in Brazil, studies that indicate how sustainable is egg production systems are still scarce, and due to the uniqueness of each in terms of infrastructure, management and use of resources, impacts on the environment and quality of life animal can be divergent. In order to identify the critical points and predict the impacts that the activity may generate, the aim of this research was to evaluate the sustainability of different Brazilian egg production systems. The research was divided into five chapters. In the first, a general introduction on the topic was given. At second, a literature review was performed based on general aspects of sustainability in livestock production. In the third chapter, from the material flow of each egg production systems considered in this study (C1: Californian style shed; C2: closed shed, climatized; FR: free-range) and energy indices from the inputs, it was possible to estimate the energy flow. For the characterization of each system and survey of the material flow, zootechnical performance indicators were collected and interviews were conducted with employees. Based on the material flow per egg mass unit, in the fourth chapter the environmental performance of each of the egg production systems considered was evaluated, measuring the potential of global warming, eutrophication and acidification. In the fifth chapter, the welfare of laying hens housed in those systems was evaluated by analyzing the physical integrity of the birds. The results showed that the C2 system showed the best performance in the use of energy resources per unit of product. Knowing that feed, electricity and diesel are the inputs that most impact on energy costs, it is emphasized the need to seek measures aimed at the optimization and rational use of inputs. With feed being the input that most needs to focus on the sustainability of poultry rearing systems, there is a recommendation to review feed formulations. In addition, it has been found that poultry warming inputs, manure management methods and treatment of dead birds can be replaced by other less polluting sources accessible to farmers. The results related to the physical integrity evaluation of the birds show that the C1 system present the poorest welfare conditions of laying hens compared to the others. Since there are options for egg production systems that offer better living conditions for birds, the need for adaptations or even changes to other systems is emphasized. When comparing the production systems, it is noteworthy that C1, mostly used in Brazil, presented the worst results, both regarding the environmental performance and the welfare of the laying birds. It was also verified that there is no perfect egg production system when it comes to sustainability, since each one of them, due to their peculiarities, have deficiencies in the use of inputs and quality of life of the birds, however, based on the assessments made in this research, there is potential for improvement of these systems applying simple environmental management techniques and adaptations in the sheds to improve laying hens welfare.

Keywords: Material flow, Energy, Greenhouse gases, Animal welfare

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Diagrama da linguagem energética dos sistemas de produção de ovos considerados (adaptado de Odum, 1996).53
- Figura 2 - Contribuição das fontes poluidoras considerando o PAG (gráfico a), PE (gráfico b) e PA (gráfico c).....107
- Figura 3 - Incidência de aves e escores referentes as alterações na plumagem (a) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 41,85$), no esterno (b) ($p = 0,018$; $\chi^2 = 5,68$), no coxim plantar (c) ($p = 0,034$; $\chi^2 = 10,09$), sujidade (d) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 59$) para cada sistema de produção avaliado129
- Figura 4 - Bicadas na crista (e) ($p = 0,014$; $\chi^2 = 12,59$), as lesões na pele (f) ($p = 0,005$; $\chi^2 = 13,53$), alterações nos dedos dos pés (g) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 30,06$) as anormalidades na crista (h) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 187,39$) e enterite (i) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 50,25$) para cada sistema de produção avaliado130

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efetivo dos rebanhos em função do tipo e do ano de produção	19
Tabela 2 - Fluxos de energia aplicados à produção de ovos.....	24
Tabela 3 - Atividades das granjas, insumos utilizados, resíduos gerados e as possíveis alterações no ambiente.....	27
Tabela 4 - Entradas e saídas dos insumos contabilizados em estudos já publicados	53
Tabela 5 - Descrição dos sistemas produtivos de ovos estudados	54
Tabela 6 - Média de consumo das aves em função da idade e variação da temperatura do ar	62
Tabela 7 - Demanda de água e produtividade das culturas utilizadas para produção de ração.....	63
Tabela 8 - Área utilizada, quantidade de aves, vida útil e tempo de utilização das instalações em função do tempo de alojamento.....	65
Tabela 9 - Índices de energia de entradas conhecidas para os sistemas estudados	67
Tabela 10 - Modelo dos tratores e sua respectiva massa e índice de energia conforme sistema de produção de ovos considerado.....	68
Tabela 11 - Dados zootécnicos referentes às aves criadas nos três sistemas avaliados	69
Tabela 12 - Fluxo de material para o sistema C1 conforme a unidade funcional adotada (UF = 1 kg de ovos) e durante as fases de cria, recria e postura.....	70
Tabela 13 - Fluxo de material para o sistema C2 conforme a unidade funcional adotada (UF = 1 kg de ovos) e durante as fases de cria, recria e postura.....	71
Tabela 14 - Fluxo de material para o sistema FR conforme a unidade funcional adotada (UF = 1 kg de ovos) e durante as fases de cria, recria e postura.....	71
Tabela 15 - Fluxos de energia dos sistemas de produção de ovos em função dos insumos utilizados (UF = 1 kg de ovo).....	75

Tabela 16 – Proporção dos fluxos de energia para as entradas avaliadas para os sistemas C1, C2 e FR	77
Tabela 17 - Emissões de CO ₂ eq em função da massa e da quantidade de aves durante a vida útil	99
Tabela 18 - Potencial de aquecimento global (PAG), de eutrofização (PE) e acidificação (PA) em função da fonte de emissão para os sistemas de produção de ovos avaliados (UF = 1kg de ovo)	105
Tabela 19 - Emissão direta e indireta referente ao consumo de GLP e lenha para os sistemas C1, C2 e FR.	106
Tabela 20 - Variáveis relacionadas à integridade física das aves com seus respectivos escores e sua definição (WELFARE QUALITY, 2009).	128
Tabela 21 - Balanço geral da influência dos sistemas na integridade física das aves	131

1. INTRODUÇÃO

A produção de ovos no Brasil é de aproximadamente 40 bilhões de unidades (ABPA, 2018) com taxa de crescimento de 2 % ao ano para o número de aves alojadas (IEA, 2017). Ainda, segundo a FIESP (2018), as projeções de crescimento para a produção de ovos no Brasil até 2028 é de 44 %. Esse rápido crescimento, demanda a adoção de políticas que regulem as atividades da criação intensiva de animais, dando suporte econômico e ambientalmente sustentável. Para isso, é importante usar práticas de mitigação e explorar novas possibilidades para reduzir a depauperação ambiental, a fim de manter as terras agrícolas produtivas e sustentáveis. Como primeiro passo, é necessário identificar as fontes poluidoras das práticas atuais como ferramenta para entender o gerenciamento agrícola e o seu impacto no ambiente (VETTER et al., 2018).

No Brasil, a produção de ovos é baseada, em sua maioria, nos sistemas intensivos de produção. Esses sistemas, por sua vez, são criticados quanto a sua sustentabilidade, em função dos impactos negativos que podem causar tanto ao ambiente quanto aos animais. Assim, sistemas alternativos surgem na tentativa de minimizar tais impactos e de atender a um nicho de mercado que demanda alimentos produzidos de forma segura e consciente.

A produção de ovos no Brasil ainda tem seus pilares no sistema convencional, em que as aves são criadas em galpões abertos em gaiolas em bateria. Esse sistema tem como característica o alto adensamento de aves, as instalações são antigas e o sistema de produção deficiente em relação à otimização no uso de insumos e mão de obra. Além disso, podem trazer diversos problemas quanto à eficiência produtiva das aves e a geração de resíduos.

No geral, os sistemas de produção de ovos possuem pontos fracos e fortes quanto a sua sustentabilidade, tanto com relação às peculiaridades associadas aos impactos ambientais, quanto na qualidade de vida das aves que podem proporcionar. Essas alterações podem ocorrer em função do manejo, da tecnologia empregada, da logística da granja, do tipo de instalação, dentre outros. Devido a essas divergências, além das alterações no bem-estar das aves, quantidades de insumo por unidade de produto utilizadas refletem em diferentes níveis de depauperação ambiental.

Para estimar os possíveis efeitos ambientais decorrentes de sistemas de produção, o fluxo de material é uma ferramenta fundamental, uma vez que serve como base para estimar demanda de energia, potencial de aquecimento global, de eutrofização e acidificação, entre outros.

Sistemas intensivos são caracterizados ainda, por terem pouca valorização do bem-estar dos animais. Assim, ao surgir a preocupação pública em atender às necessidades básicas de bem-estar das aves, sistemas alternativos de produção de ovos como o *free-range* foram introduzidos no país, fazendo com que programas de certificação que focam no bem-estar animal fossem implantados nas agroindústrias para garantir e comprovar que animais criados livres de gaiolas possuem melhor qualidade de vida. Porém, no contexto ambiental, esses podem ser questionados quanto aos impactos ambientais que podem gerar, visto que estudos realizados no exterior indicam uma variabilidade de resultados quanto à eficiência dos sistemas alternativos em relação aos intensivos, justamente por existir entre os países uma gama de realidades produtivas.

No Brasil, estudos que indiquem quão impactante ao ambiente é a produção de ovos e como este produto está relacionado à depleção ou poluição de um recurso natural ainda são escassos, havendo a necessidade de uma avaliação específica para o país nos diferentes sistemas de produção, com o intuito de estimar as deficiências de cada um deles e encontrar soluções para os problemas identificados.

Adotando como base essa premissa e como foco os principais sistemas de produção de ovos do Brasil, as quantidades de recursos utilizados, os resíduos gerados e os potenciais impactos decorrentes da atividade ao ambiente e aos animais, identificando pontos críticos e indicando sugestões de melhorias para os problemas ambientais identificados, o objetivo desse estudo foi analisar a sustentabilidade de diferentes sistemas de produção de ovos.

Referências

ABPA. Relatório anual 2018. 2018. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>>. Acesso em 27 de setembro de 2019.

- FIESP. Fundação das Indústrias do Estado de São Paulo. OUTLOOK FIESP-Projeções para o agronegócio brasileiro 2028. Disponível em:
<<http://outlookdeagro.azurewebsites.net/OutLookDeagro/pt-BR>>. Acesso em 27 de setembro de 2019.
- IEA. Instituto de Economia Agrícola. Evolução da produção de ovos no estado de são paulo nos últimos dez anos. 2017. Disponível em:
<<http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=14310>>. Acesso em: 27 de setembro de 2019.
- VETTER, S.H.; MALIN, D.; SMITH, P.; HILLIER, J. The potential to reduce GHG emissions in egg production using a GHG calculator—A Cool Farm Tool case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 1068-1076, 2018.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Produção animal e o ambiente

Questionamentos sobre a produção animal com relação a sua sustentabilidade surgiram no mundo em virtude dos potenciais impactos ambientais que essa pode gerar a partir do uso de recursos naturais e energia, liberando componentes residuais no ambiente, responsáveis pela poluição do ar, da água e do solo.

A produção intensiva de animais é baseada na criação em escala industrial, com um número elevado de animais em espaço reduzido. Essa característica do sistema faz com que essa intensificação da produção gere impactos ambientais consideráveis, entrando em foco a degradação ambiental, a intensificação agrícola, a industrialização e a utilização dos recursos naturais (MIRANDA et al., 2017; BÜHRING, 2018).

De acordo com o IBGE (2019), no Brasil o rebanho bovino contabilizou um ligeiro aumento, passando de 212 milhões no ano de 2014 para 213 milhões de cabeças em 2018. As taxas de crescimento do efetivo de aves, contudo, foram mais expressivas, tendo o segmento superado a marca de 1,3 bilhão de cabeças (Tabela 1).

Tabela 1 - Efetivo dos rebanhos em função do tipo e do ano de produção

Tipo de rebanho	Ano				
	2014	2015	2016	2017	2018
	(milhões de cabeças)				
Bovino	212	215	218	215	213
Bubalino	1,31	1,37	1,37	1,38	1,39
Equino	5,45	5,55	5,58	5,51	5,75
Suíno – total	37,93	39,79	40,05	41,38	41,44
Suíno - matrizes de suínos	4,75	4,82	4,82	4,72	4,79
Caprino	8,85	9,62	9,82	10,26	10,69
Ovino	17,61	18,41	18,4	18,61	18,95
Galináceos – total	1320	1330	1347	1426	1468
Galináceos – galinhas	224	222	220	240	246
Codornas	20,33	18,97	13,69	16,21	16,84

Fonte: IBGE (2019).

Ao considerar a cadeia animal em escala mundial quanto aos impactos ambientais que podem gerar, segundo dados publicados pela FAO (2013), a criação de animais é responsável por cerca de 18 % das emissões de gases do efeito

estufa, sendo as principais razões a produção, o processamento e o transporte de ração, o consumo de combustíveis fósseis para a produção de ração e fertilizantes (emissões associadas ao consumo de energia), a fermentação entérica e as emissões por armazenamento de dejetos.

Ao relacionar a produção animal ao crescimento da população consumidora, é possível prever que o grande desafio do produtor será atender às exigências do consumidor, que cada vez mais almeja alimentos de alta qualidade em condições favoráveis ao ambiente (CUPERSCHMID E TAVARES, 2015) e atender à demanda de alimentos e ao mesmo tempo diminuir os impactos ambientais da intensificação da produção (ZOTTI E PAULINO, 2009).

2.2 Caracterização dos sistemas de produção de ovos

Em 2018, a produção de ovos brasileira apresentou um crescimento em relação à 2017 de 8,8 %, totalizando 1,2 bilhão de dúzias e um plantel com cerca de 51,9 milhões de cabeças em 2018 (IEA, 2019), sendo as regiões com maior concentração de unidades produtoras os estados de São Paulo, Minas Gerais, Espírito Santo, Pernambuco, Mato Grosso, Paraná, Rio Grande do Sul e Ceará (ABPA, 2018).

Dentre os sistemas de produção de ovos estão o convencional (sistema intensivo), onde as aves são criadas em gaiolas ou sobre o piso e instalações abertas ou fechadas e os sistemas alternativos (extensivos) como o *free-range*, orgânico, colonial ou tipo caipira (AMARAL et al., 2016).

No Brasil, o principal sistema de produção de ovos se baseia na criação intensiva e em escala industrial de aves alojadas em gaiolas em bateria (SILVA FILHO et al., 2015). Esse sistema é caracterizado por apresentar instalações totalmente fechadas ou abertas, com arração e coleta de dejetos automatizada ou não. Galpões fechados apresentam sistema de climatização com monitoramento e controle da temperatura e umidade relativa do ar; já os abertos normalmente não apresentam nenhum mecanismo de controle das variáveis climáticas no interior das instalações (AMARAL et al., 2016).

Em uma escala menor, há ainda no Brasil, sistemas alternativos como o *free-range* que apresenta instalações abertas com sistema de ventilação, piso com cama, equipamentos como ninhos e poleiros, além do acesso livre da ave a uma área

externa com pastagem. Esse sistema pode ser baseado na produção orgânica ou convencional dos ovos (AMARAL *al.*, 2016).

Na produção orgânica, há uma integração entre produção animal e vegetal. Dessa forma, não é permitido o uso de agrotóxicos, medicamentos químicos, hormônios sintéticos, transgênicos-OGM (organismos geneticamente modificados); limita o uso de fertilizantes químicos, motiva a conservação dos recursos naturais, a ética nas relações sociais e a qualidade de vida dos animais (FIGUEIREDO e SOARES, 2012).

2.3 Descrição das etapas da produção de ovos no Brasil e insumos utilizados

A cadeia produtiva de ovos pode se estender desde as atividades da produção de insumos até o transporte do produto aos pontos de comercialização (KAKIMOTO E SOUZA FILHO, 2013).

Os insumos utilizados podem ser variados como rações, vacinas/medicamentos, a genética, as instalações, as máquinas e os equipamentos (AMARAL, 2016). Para realizar um levantamento sobre os tipos de insumos utilizados, é importante descrever as atividades comumente presentes nas granjas, sendo essas associadas ao ciclo produtivo das aves.

O ciclo produtivo de galinhas poedeiras abrange as fases de cria, recria e postura. Normalmente, as aves são adquiridas dos incubatórios, vacinadas e transportadas para as granjas com um dia de idade. Na granja, a fase de cria tem duração de 1 a 42 dias, cerca de seis semanas (OKA, 2016). Nessa fase, os pintos dependem de aquecimento para garantir o seu conforto térmico e a temperatura interna do galpão deve ser mantida em níveis ideais.

Para receber as aves, inicialmente ocorre a preparação do pinteiro. Nessa fase, são verificados se os equipamentos estão funcionando (comedouros e bebedouros) e se o ambiente está aquecido, com ventilação adequada para manter boa qualidade do ar, por meio do manejo de cortinas. Os produtores utilizam comumente aquecedores a gás liquefeito de petróleo (GLP) e eletricidade, bem como a lenha, desde que haja exploração legalizada e preços acessíveis. (SANTOS *et al.*, 2007). Ainda, é realizada a distribuição de ração e água.

Já a fase de recria ocorre do 42^o ao 112^o dia, ou seja, da 7^a a 17^a semana (período de 10 semanas) (OKA, 2016). Nesse período, insumos para aquecimento

não são mais utilizados para manter a faixa de termoneutralidade das aves e a temperatura interna do galpão é ajustada por meio do manejo de cortinas e ventilação adequada.

As aves são transferidas para os galpões de postura com cerca de 18 semanas de vida e lá permanecem até 80 a 90 semanas. Nesse período, no caso de galpões abertos, é realizado o manejo de cortinas para assegurar a qualidade do ar a níveis adequados, bem como a temperatura interna do galpão. O arrazoamento e a coleta dos ovos podem ser automatizados ou não e o manejo da luz é realizado, controlando o tempo e a intensidade de luz que as aves ficam expostas (fotoperíodo), como meio de melhorar o seu desempenho produtivo (FONSECA, 2016).

O alojamento das aves pode ser baseado no uso de gaiolas ou em criações livres. Quando criadas livres de gaiolas, utilizam-se materiais como maravalha e outros resíduos agrícolas para a cama (BRITO et al., 2016). Durante o ciclo de produção das aves é realizada ainda a manutenção entre os galpões, deixando o nível de cobertura vegetal adequado para diminuir predadores, bem como aplicação de pesticidas e desinfetantes por meio de máquinas e implementos, com consequente utilização do diesel.

O consumo de diesel é verificado ainda em caminhões transportadores de aves sadias, de ovos para classificação, de dejetos e de aves mortas, além de ser utilizado para adquirir insumos constituintes da ração, quando esses provêm de regiões distantes (KAKIMOTO E SOUZA FILHO, 2013).

Nas etapas de classificação, os ovos são conduzidos para um galpão e condicionados à seleção, classificação e armazenamento até a fase de distribuição para os centros comerciais.

Quanto aos resíduos gerados nos sistemas, destacam-se as aves mortas, dejetos e cama aviária. Aves mortas são normalmente incineradas, sendo os dejetos e a cama vendidos como fertilizantes ou reutilizados para produção de energia em biodigestores.

Os principais insumos nas etapas de criação das aves são a ração, composta pelo milho e a soja, e em quantidades menores estão a farinha de carne e ossos (KAKIMOTO E SOUZA FILHO, 2013), a água, o gás para aquecimento, o diesel, o óleo lubrificante, a eletricidade, o material para cama e as aves adquiridas.

Em um aspecto mais amplo, considerando-se que existem diferentes tipos de sistemas de produção de ovos, esses insumos afetam questões de sustentabilidade como mudanças climáticas, uso de combustíveis fósseis, acidificação, eutrofização e lucratividade (DEKKER et al., 2011).

Nos estudos já realizados, observa-se a necessidade de aumento da eficiência de utilização dos insumos nos sistemas e minimização dos impactos ambientais. No caso da ração, sendo um dos insumos mais consumidos, autores comentam sobre a necessidade de se melhorar a conversão alimentar das aves (DEKKER et al., 2011; LEINONEN et al., 2012a,; SILVA et al., 2014; PELLETIER, 2017; ABÍN et al., 2018), bem como buscar alimentos alternativos que demandem menor quantidade de energia para a sua produção (ABÍN et al., 2018) e que mantenham a conversão alimentar das aves (PELLETIER et al., 2013).

Ainda, observando-se as saídas do sistema, as principais preocupações são as aves descartadas e mortas, os dejetos e o transporte dos mesmos. Quanto às aves descartadas, no final do ciclo de postura essas são transportadas até o frigorífico para comercialização. O destino que é dado para os resíduos orgânicos como aves mortas incluem fossas anaeróbicas, compostagem, incineração e aterramento (SANTOS et al., 2017). Já o destino que é dado aos dejetos pode variar em função do sistema de produção em que as aves são submetidas, que conforme a sua umidade e estabilidade química, podem ser destinados à compostagem ou à biodigestão (DELGADO et al., 2017).

2.4 Fluxos de energia nos sistemas de produção de ovos

A análise energética pode ser usada para avaliar o impacto da atividade humana na complexidade e estabilidade dos equilíbrios ambientais em termos de alteração de padrões de fluxos de energia (GIAMPIETRO et al., 1994). Os fluxos de energia, juntamente com os fluxos de matéria ou substâncias, permitem ampliar a visão do sistema como um todo, a quantidade dos recursos que são utilizados e a sua eficiência de utilização, o tipo de produto, os resíduos gerados durante a sua produção e as eficiências nos processos de transformação (GAMEIRO et al., 2017).

Na produção animal, a energia fóssil é um insumo importante, usado principalmente para a produção, transporte, armazenamento e processamento de alimentos para animais. Dependendo da localização (clima), da estação do ano e da

instalações do edifício, também é necessária energia para o controle do ambiente térmico (refrigeração, aquecimento ou ventilação) e para a coleta e tratamento de resíduos de animais, sendo que a energia associada a esses insumos podem ser caracterizados como energia direta ou indireta (incorporada) (FRORIP et al., 2012).

Na produção de ovos, observa-se que a ração e a eletricidade são os insumos que mais se destacam quanto a energia utilizada, sendo a ração a maior responsável pelo potencial de aquecimento global (WILLIAMS et al., 2006; MOLLENHORST et al., 2006; CEDERBERG et al., 2009; WIEDEMANN E MCGAHAN, 2011; LEINONEN et al., 2012; SILVA et al., 2014; PELLETIER, 2017; ABÍN et al., 2018).

No Brasil, estudos contabilizando os fluxos de energia na produção de ovos são escassos. Porém, resultados de pesquisas realizadas no exterior indicam variação da energia consumida entre os tipos de sistemas de produção de ovos e os insumos consumidos (Tabela 2).

Tabela 2 - Fluxos de energia aplicados à produção de ovos

(continua)				
Sistema produtivo/insumos	Energia utilizada (%)	Unidade Funcional	País	Referência
Comparações entre os sistemas de produção de ovos				
Convencional	24,22	-	União Europeia	Mollenhorst et al., 2006
Celeiro	24,84			
Celeiro com acesso à area externa	25,68			
Aviário com acesso à área externa	25,26			
Convencional	42,22	1 kg ovo	Holanda	Dekker et al., 2011
Celeiro	17,78			
Free-range	17,78			
Orgânico	22,22			
Convencional	20,03	1000 kg ovos	União Europeia	Leinonen et al., 2012
Celeiro	26,34			
Free-range	22,29			
Orgânico	31,34			
Convencional	20,62	1000 kg ovos	Canadá	Pelletier et al. , 2017
Gaiolas enriquecidas	22,12			
Aviário	21,65			
Free-range	21,03			
Orgânico	14,58			

Tabela 2 - Fluxos de energia aplicados à produção de ovos

(continuação)				
Sistema produtivo/insumos	Energia utilizada (%)	Unidade Funcional	País	Referência
Proporção da utilização de insumos				
Eletricidade	73,6	1000 kg ovos	EUA	Pelletier et al. , 2013
Diesel	5,13			
Gasolina	0,48			
Propano	19,11			
Gás natural	1,68			
Diesel	9,88	1 kg ovo	Irã	Ghasempour e Ahmadi, 2016
Eletricidade	1,09			
Gás natural	7,51			
Ração	67,43			
Maquinário	14,08			
Alimentação + água	65,95	1000 kg ovos	União Européia	Leinonen et al., 2012
Eletricidade	23,36			
Gás + óleo	9,51			
Alojamento+ terra	1,18			
Aves	16,65	1000 kg de ovos	Canadá	Pelletier, 2017
Ração	79,02			
Água	0,11			
Energia	2,70			
Manejo de dejetos	0,11			

Cabe ressaltar a importância de serem realizados estudos como este na produção de ovos, visto que a relação entre entradas e saídas é uma maneira mais inclusiva de se avaliar a sustentabilidade dos sistemas agropecuários (FRIGO et al., 2008), permitindo identificar os pontos críticos quanto ao uso dos insumos nos diferentes tipos de sistemas de produção existentes, implementando técnicas melhores de produção, visto que cada sistema possui pontos fortes e fracos em relação à sustentabilidade, tendo em vista as mudanças climáticas, o uso de combustível fóssil, a acidificação, a eutrofização, a lucratividade (DEKKER et al., 2011) e a conservação dos recursos naturais (XIN et al., 2011).

2.5 Impactos ambientais na produção de ovos

A eficiência no uso de insumos e o destino dos resíduos gerados nas granjas são fatores essenciais para garantir a sustentabilidade da cadeia produtiva. Dentro desse tema, estão a conservação dos recursos naturais, a eficiência produtiva e de utilização dos recursos.

Segundo Xin et al. (2011), o impacto nos sistemas ecológicos pode resultar da liberação direta de componentes transportados pelo ar na atmosfera, escoamento direto para os corpos de água, lixiviação para as águas subterrâneas ou deposição indireta dos componentes transportados pelo ar em corpos de água.

A Tabela 3 exemplifica alguns dos possíveis impactos ambientais decorrentes das atividades, consequentes do uso de insumos e dos resíduos gerados dentro das granjas produtoras de ovos.

A fase de produção de ração foi baseada nos estudos de Macêdo e Lima (2014) e Pacheco e Moita Neto (2014). Para essa fase, destacam-se as etapas de classificação e descarga nas moegas, secagem/armazenagem, área de produção e carregamento da ração.

Conforme observado no estudo de Macêdo e Lima (2014), nas áreas de classificação/descarga nas moegas, pode haver a geração de resíduos que são compostos principalmente por grãos encontrados no local de entrada dos veículos e durante a descarga desse insumo. O uso dos elevadores é a atividade que mais consome energia elétrica. A circulação de caminhões e a descarga nas moegas são as atividades responsáveis por maiores emissões atmosféricas, uma vez que podem emitir poeira e extrapolar a área da empresa quando em dias ou locais com condição climática desfavorável.

Já nas atividades de secagem e armazenagem, a emissão atmosférica é atribuída aos secadores. Ainda, resíduos como cascas de lenha, cinzas e fumaça devem ser destinados da maneira mais adequada.

Na área de produção de ração os fatores que mais influenciam na depauperação ambiental são a geração de resíduos e o consumo de energia elétrica, uma vez que a área de produção é automatizada. Nessa mesma atividade, os efluentes gerados se resumem aos resíduos de farelo da ração e óleo de máquinas gerados por elevadores de carga, originando pequena quantidade de efluentes líquidos. Durante o ensaque e o carregamento são gerados resíduos de varrição e é utilizada energia nos equipamentos e, devido a descarga a granel, resulta-se em emissões atmosféricas (MACÊDO E LIMA, 2014).

Tabela 3 - Atividades das granjas, insumos utilizados, resíduos gerados e as possíveis alterações no ambiente

Atividades	Aspectos	Impacto
Produção de ração		
Classificação/Descarga nas moegas	Emissão atmosférica	Poluição atmosférica
	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
	Geração de resíduos	Contaminação do solo
Secagem/armazenagem	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
	Geração de resíduos	Poluição do solo
	Emissão atmosférica	Poluição atmosférica
	Consumo de lenha	Esgotamento de recursos naturais
	Risco de incêndio	Danos ao patrimônio/lesões ou danos fatais
	Proliferação de insetos e roedores	Transmissão de doenças
	Ruídos	Poluição sonora
Área de produção	Geração de resíduos	Poluição do solo
	Geração de efluente	Contaminação da água
	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
	Consumo de GLP	Esgotamento de recursos naturais
	Proliferação de insetos e roedores	Transmissão de doenças
	Ruídos	Poluição sonora
Carregamento	Emissão atmosférica	Poluição atmosférica
	Geração de resíduos	Poluição do solo
	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
Criação das aves		
Cria	Consumo de GLP	Esgotamento de recursos naturais
	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
	Geração de efluente	Contaminação da água
Recria	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
	Geração de resíduos (ração, dejetos, aves mortas)	Poluição do solo e águas subterrâneas
	Proliferação de insetos e roedores	Transmissão de doenças
	Emissão atmosférica	Poluição atmosférica
Postura	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
	Geração de resíduos (ração, dejetos, aves mortas)	Poluição do solo, ar e águas subterrâneas
	Proliferação de insetos e roedores	Transmissão de doenças
	Emissão atmosférica	Poluição atmosférica
	Emissão de odores	Poluição do ar
Coleta, armazenamento e Classificação dos ovos		
	Consumo de energia elétrica	Esgotamento de recursos naturais
	Utilização de embalagens	Descarte de embalagens não utilizadas no ambiente

Adaptado de Mollhenhorst et al. (2006); Cederberg (2009); Dekker et al. (2011); Leinonen et al. (2012); Pelletier et al. (2013); Macêdo e Lima (2014), Pacheco e Moita Neto (2014); Ghasempour e Ahmadi (2016); Pelletier (2017); Abín et al. (2018).

Nas áreas de secagem, armazenamento e produção de grãos, deve haver medidas de controle quanto às possíveis proliferações de insetos e roedores. Quanto ao nível de ruído existente, Pacheco e Moita Neto (2014) destacam sobre a importância do uso de EPI's (equipamentos de proteção individual) para diminuir a exposição ao ruído quando em níveis elevados, bem como a partículas suspensas no ar.

Na fase de criação das aves, verifica-se consumo de GLP ou lenha para aquecimento das aves, consumo de energia elétrica para controle do fotoperíodo, arração e coleta dos ovos, quando automatizadas. Nessa fase, observa-se a geração de resíduos, como a ração desperdiçada durante o período de abastecimento dos silos ou mesmo pelas aves, o que é observado principalmente nos sistemas em que não há arração automático. Uma das formas de evitar o desperdício é por meio de dosadores de ração. Esses equipamentos possuem pesos nas extremidades que garantem a diminuição do desperdício e que esse alimento fique acumulado, regulando de forma segura a sua distribuição em todo o galpão (DELGADO et al., 2016).

Quanto aos dejetos, nos modelos de galpões convencionais de produção de ovos esse resíduo cai diretamente sobre o solo e lá permanece por cerca de 60 dias, mistura-se a restos de ração, ovos quebrados, penas e outras impurezas, emitindo odores e sendo atrativo a insetos e roedores. Ao se depositar sob as gaiolas por períodos prolongados, há ocorrência do processo de decomposição natural com geração de NO₂ (DELGADO et al., 2016).

De acordo com Palhares (2011), uma das formas de diminuir os impactos ambientais provocados por esse resíduo é por meio de estratégias que tragam benefícios para o ambiente ao reduzir a quantidade de resíduo gerado e o seu potencial para poluir, tendo em vista o nitrogênio, o fósforo e os metais excretados; implantar técnicas de tratamento de resíduos, principalmente em locais com lotação alta de animais, e de diminuição da emissão de odores, poeiras e ruídos; motivar a otimização no uso de resíduos como fertilizante, controlando o nitrogênio e o fósforo, principalmente para áreas com alta vulnerabilidade ambiental.

Deve-se retirar diariamente as aves mortas dos galpões e verificar o destino das carcaças para evitar contaminação do solo e da água, que outros animais sejam atraídos e que haja disseminação de patógenos, sendo esse processo realizado por compostagem, incineração ou aterro (PALHARES, 2011).

Gama (2005) verificou que 60 % das granjas produtoras de ovos utilizam a fossa para destinar aves mortas, 25 % a incineração e 15 % o enterramento. Porém, segundo Pedroso-de-Paiva (2008) o uso de fossas e o enterramento de carcaças têm como objeção custo e a possibilidade da contaminação do lençol freático. Já a incineração, além do custo econômico, tem-se o ambiental devido a mineralização da matéria orgânica e utilização de diesel como combustível, sendo

responsável pela emissão de gases nocivos. O mesmo autor afirma ser a compostagem o método mais eficaz e correto para destinar as carcaças de animais mortos, pois permite que esses resíduos orgânicos sejam reciclados.

Na fase de coleta e armazenamento dos ovos, deverá ser dado descarte adequado para às embalagens não utilizadas, bem como armazenamento correto para evitar contato e contaminação por meio do armazenamento de caixas ou bandejas com ovos em estrados no piso e com distância mínima de 1,20 m das paredes e 0,80 m do piso das paredes e forros, conforme Portaria n.º 1 de 21 de Fevereiro de 1990 (MAPA, 1990) . A fase de classificação deve estar voltada para as normas vigentes referentes às operações higiênico-sanitárias e de boas práticas na fabricação dos alimentos para os estabelecimentos (MAZZUCO et al., 2006).

2.5.1 Impactos ambientais na água

Em várias partes do mundo, a quantidade de água adequada tanto para uso e consumo humano quanto animal está diminuindo, além da sua qualidade que está sendo prejudicada. Esse aspecto deve ser reforçado, além do entendimento da sua importância nas atividades biológicas (PENZ JUNIOR, 2003).

Para a avicultura, as formas de impactar o ambiente seria pelo consumo abusivo deste recurso, contaminação por elementos, patógenos e alterações na sua biodiversidade. Segundo Palhares (2011), como ações mitigatórias, destacam-se: correções nos sistemas hidráulicos, nas instalações e no uso do recurso para higienização; correto tratamento dos efluentes e disposição dos resíduos no solo como fertilizantes; mudança nos hábitos de manejo hídrico e de resíduos; utilização de tecnologias nutricionais a fim de diminuir a excreção de elementos.

Para garantir o uso racional da água sem comprometer o sistema de produção de ovos, é necessário monitorar a sua temperatura e qualidade observando se há distribuição e regulação adequada do bebedouro utilizado.

O tipo de bebedouro é fator crucial para manter a qualidade da água e o desempenho zootécnico das aves, assim como observado por Togashi et al. (2008). Segundo esses autores, a taxa de consumo é influenciada pelas condições climáticas do local, ou seja, com o aumento da temperatura, há aumento da taxa de consumo de água e diminuição do consumo de ração, o que torna necessário adotar

tecnologias de controle do ambiente interno para manter as aves em condições de termoneutralidade, sem interferir no seu desempenho zootécnico.

A qualidade das águas é um fator que pode impactar a população e os animais que consomem água dos rios próximos às granjas, sendo uma das formas por meio do carreamento de microrganismos de animais doentes para os corpos hídricos. Devido aos atuais modelos de produção em que os animais são criados em alta densidade, a disseminação de doenças, principalmente por microorganismos que não dependem de contato direto, acaba sendo favorecida, uma vez que são veiculados pela água (OLIVEIRA, 1994 *apud* GAMA, 2004). As bactérias que contaminam a água podem ser oriundas das fezes, do material de expectoração e do muco de animais domésticos e silvestres (GAMA, 2004).

Para diminuir a ação de organismos patogênicos, é necessário filtrar e sanitizar a água destinada aos animais, utilizar bebedouros do tipo nipple, visto que esse modelo não apresenta reserva de água, o que reduz a presença de bactérias, a disseminação de doenças entre as aves e a incidência de problemas respiratórios (GAMA, 2004).

Outro fator comprometedor para impactar o ambiente é a contaminação do lençol freático por dejetos animais. Segundo Simioni (2002), o escoamento de dejetos pode ser resultante da fertilização de culturas ou devido ao seu descarte indevido nos recursos hídricos. O mesmo autor afirma que a matéria orgânica e os nutrientes são os principais responsáveis para a contaminação da água e a sua deposição pode resultar na lixiviação de N-nitratos (NO_3^-) e a veiculação de fósforo (P). Ainda, o aumento da concentração da matéria orgânica e do fósforo pode resultar na eutrofização de lagos ou de reservatórios onde não há movimentação da água.

De acordo com Oviedo-Rondón (2008), os nutrientes contidos nos resíduos avícolas podem contaminar as águas, prejudicando o seu consumo e utilização, devido à presença de bactérias, além do nitrogênio e do fósforo que são os maiores poluidores. Segundo o mesmo autor, a concentração de P nas águas superficiais não deve ser acima de $0,05 \text{ mg P L}^{-1}$ para cursos de água e $0,10 \text{ mg P L}^{-1}$ para lagos e reservatórios.

2.5.2 Impactos ambientais no solo

A agricultura é uma das principais fontes de emissões gasosas de N devido ao uso de fertilizantes nitrogenados, excrementos animais e adubos orgânicos ou N fixado por leguminosas, poluindo assim o ambiente (SINGH et al., 2008). Quando utilizado excrementos animais ou adubo orgânico, ou mesmo no interior dos galpões de produção de aves, pode haver o risco de liberação de diversos componentes nocivos ao ambiente.

Dentre os problemas observados com a aplicação inadequada de resíduos animais e fertilizantes químicos na produção de culturas, estão as perdas de nitrogênio e fósforo que são elementos responsáveis pela eutrofização dos rios e contaminação do lençol freático. Autores comentam que uma das formas de minimizar essas emissões de elementos poluentes, controlando a qualidade do resíduo, é por meio de manejos e estratégias nutricionais. Essa atitude pode ser vantajosa, uma vez que pode ocasionar menor consumo de insumos, diminuição da quantidade e potencial poluidor dos resíduos e redução do custo econômico no que se refere ao aproveitamento ou tratamento de resíduos e na produção (MAZZUCO et al., 2006; SOUSA et al., 2014).

Quando o destino dos dejetos produzidos é realizado de forma inadequada pode haver dificuldade de absorção dos elementos pelo solo, devido ao seu excesso. Ainda, ocasionar a lixiviação ou percolação desses elementos com consequente poluição para os recursos hídricos como águas superficiais e subterrâneas (SILVA et al., 2017).

Segundo Seiffert (2000), o íon amônio (NH_4), cuja forma é dominante no esterco das aves, é convertido em amônia (NH_3) o que eleva o pH. Essa amônia então se volatiliza quando em condições de alta umidade, elevando sua concentração de amônia no interior dos galpões avícolas, o que pode ser nocivo aos animais e trabalhadores quando em níveis inadequados. O mesmo autor afirma que os riscos podem estar associados à diminuição do desempenho zootécnico das aves, riscos à saúde dos operadores, poluição atmosférica e redução do poder fertilizante do esterco pela perda de N para o ar.

Quanto às perdas de fósforo (P), as ações humanas relacionadas ao transporte em fertilizantes, rações animais, culturas agrícolas e outros produtos estão alterando o ciclo global de P, fazendo com que o P se acumule em alguns dos

solos, principalmente os agrícolas (BENNETT et al., 2001). O fósforo é um dos principais responsáveis pelo processo denominado de eutrofização dos corpos d'água (DODDS E SMITH, 2016; SCHINDLER et al., 2016).

No solo, o P pode ser perdido de forma particulada e dissolvida (BENNETT, 2001), por escoamento agrícola (de superfície e subsuperfície) e erosão dos solos, sendo processos importantes que contribuem para a eutrofização da água (SHARPLEY et al., 2003).

Quanto à liberação de P nos dejetos, grande parte do P contido na dieta das aves é eliminado nas excretas (PEREIRA, 2010). Esses resíduos podem ser veiculados para os corpos de água superficiais ou subterrâneas, sendo essas ocorrências mais frequentes nos locais próximos às instalações de criação das aves (SEIFFERT, 2000).

2.5.3 Odores

Em instalações de produção modernas, os odores são gerados principalmente a partir dos edifícios de confinamento, das estruturas de armazenamento de estrume, do próprio dejetos ou do armazenamento do efluente aplicado nas terras cultiváveis e da eliminação de animais mortos (LACEY et al., 2004).

Odores produzidos na produção de gado e aves podem afetar animais, os trabalhadores e as pessoas que vivem nas proximidades, bem como o ecossistema (NIMMERMARK E GUSTAFSSON, 2005). Dentre as principais causas para a formação de odores, está o acúmulo de dejetos (PALHARES, 2011; SANTOS et al., 2017) e a incineração de aves mortas (ADEKOMAYA, 2012). Com a decomposição desses resíduos, resultante da degradação microbiana, ocorre volatilização da amônia, que gera odores e atrai outros animais como insetos e roedores (SANTOS et al., 2017). A emissão de odores pode ser mensurada por meio do método limiar absoluto do olfato métrico, sendo que dentre os fatores que influenciam e participam dessa avaliação citam-se a intensidade, o caráter, o tom hedônico, a frequência e a duração do odor (OVIEDO-RONDÓN, 2008).

Uma das formas de controlar a emissão de odores é por meio do controle da umidade e temperatura do ar, visto que quando esses índices estão altos, há favorecimento do aparecimento de odores (NIMMERMARK E GUSTAFSSON, 2005).

Ainda, o método de compostagem de dejetos e carcaças pode ser viável para a eliminação desse problema (SILVA et al., 2017).

2.5.4 População de moscas e roedores

Dentre os fatores que contribuem para o aparecimento de moscas e roedores, está a emissão de odores e o manejo inadequado dos resíduos (SILVA et al., 2017), sejam eles provocados por resíduos de ração, animais mortos ou dejetos.

Gama (2004), ao caracterizar granjas produtoras de ovos, verificou que o controle de roedores era realizado por todos os locais de processamento de ovos, por empresas terceirizadas ou por funcionários da granja. Ainda, 75 % realizavam esse controle na fábrica de ração e nos galpões, sendo que os restantes não realizavam esse controle em nenhum dos locais citados. Porém, destaca-se a necessidade da realização desse controle, pois em função dos resíduos de ração que são deixados nos galpões, ocorre o aumento da população de moscas e roedores, que podem ser vetores de doenças, tanto para as aves como para os trabalhadores (PALHARES, 2011).

2.5.5 Emissão de gases do efeito estufa

Na criação animal, a liberação de gases do efeito estufa (GEE) ocorre tanto no processo de produção dos ingredientes da ração, quanto no manejo de dejetos e utilização de combustíveis fósseis no interior da granja para manejo dos animais e manutenção. De acordo com a FAO (2014), na agricultura, 40 % das emissões de CO₂ são oriundas da fermentação entérica, 16 % dos dejetos depositados no pasto, 13 % de fertilizantes sintéticos, 10 % da casca de arroz, 7 % do manejo dos dejetos, 5 % da queimada de florestas.

A queima de combustíveis fósseis é a maior contribuinte global de GEE dos insumos utilizados, principalmente CO₂ que é responsável por mais de 60 % das emissões mundiais (OLIVEIRA et al., 2011). Outro fator que compromete a qualidade do ar, está associado à criação de animais, que resulta em emissões consideráveis de amônia (NH₃), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O), oriundos principalmente das excretas dos animais. Tendo em vista o adubo orgânico e mineral, a agricultura sustentável deve visar o uso otimizado dos nutrientes do

adubo uma vez que nutrientes podem ser perdidos através da lixiviação de nitrato e através de emissões gasosas (NH_3 , N_2O , NO_x , N_2); ocorrem ainda emissões de CH_4 para a atmosfera (AMON, et al., 2006).

Quanto às emissões de CH_4 , estimativas na produção animal da EPA (2018) mostram que as aves contribuem em 5 % para emissão de metano, comparado a vacas de leite (52 %), bovinos de corte (5 %), suínos (38 %), ovelhas (0,1 %) e cavalos (0,2 %).

Em pesquisa realizada nos EUA com base na emissão total de amônia resultante da criação de bovinos, suínos e aves, estima-se que em 2030, 32 % das emissões de amônia sejam oriundas da criação de aves (EPA, 2004), sendo que para as emissões de N_2O , cujo gás contribui para o aquecimento global, a EPA (2018) publicou recentemente que a emissão para aves chegou a 9 %, sendo a maior emissão observada em bovinos de corte (44 %).

Nos estudos de avaliação do ciclo de vida realizados por Pelletier et al. (2013), verificou-se que a ração foi o insumo que mais contribuiu com o potencial de aquecimento global, cerca de 80 % de contribuição; já os dejetos contribuíram com 6,8 %. Outros estudos envolvendo a produção de ovos, também evidenciaram tal fato (WILLIAMS et al., 2006; MOLLENHORST et al., 2006 ; CEDERBERG et al., 2009; WIEDEMANN E MCGAHAN, 2011; SILVA et al., 2014; ABÍN et al., 2018).

Comparando-se o potencial de aquecimento global entre os sistemas de produção animal, Ghasempour e Ahmadi (2016) afirmam que, em pesquisa realizada nos Estados Unidos, dos 4,6 % das emissões de gases de efeito estufa gerados pela indústria agrícola, 37 % pertencem à produção de carne bovina, 5,11 % à manutenção e produção de leite de vacas leiteiras, 4,4 % à manutenção e produção de carne suína e 0,06 % à avicultura. Embora as emissões de gases sejam baixas para poedeiras em relação aos outros setores da agropecuária, a produção de resíduos e o consumo de insumos são altos, sendo importante realizar os levantamentos do fluxo de materiais e energia para contabilizar esses impactos e aumentar a eficiência do sistema rumo à sustentabilidade, que possui potencial de diminuir os impactos gerados no ambiente.

2.6 Bem-estar animal e sustentabilidade na produção de ovos

O bem-estar animal pode ser definido como o estado que diz respeito às suas tentativas de lidar com o ambiente (BROOM, 2000). Esse conceito está intimamente relacionado às respostas do animal em função da sua capacidade de adaptação ao ambiente em que está inserido, as quais envolvem respostas fisiológicas e comportamentais (HEMSWORTH et al., 2015).

No caso das aves de postura, seus ovos podem ser produzidos em diferentes tipos de sistemas de criação que possuem como principal divergência a criação de aves em gaiolas ou livres, característica que é altamente influenciadora na expressão comportamental, no desempenho produtivo e na saúde de galinhas poedeiras e na qualidade dos ovos (DAVID et al., 2015; DENLI et al., 2016; DIKMEN et al., 2016; BHANJA E BHADARIA, 2018).

No Brasil, a indústria de produção de ovos está sendo pressionada para mudar as suas práticas de produção, principalmente quando o assunto é a qualidade de vida das aves de postura criadas em sistema convencional. Essa pressão, originada em grande parte por consumidores, faz com que o sistema possa se tornar insustentável se as exigências dos consumidores não forem atendidas, uma vez que os seus valores são afetados e a falta de ética na produção animal é inaceitável, o que pode resultar em acumulação de produto ao haver queda nas vendas (BROOM, 2010).

Em estudo recente, foi constatado que a qualidade dos alimentos é o atributo mais importante na escolha do consumidor brasileiro, sendo que 91 % deles consideram que existe associação entre bem-estar animal e qualidade dos produtos; 70 % acreditam que sistemas de produção que valorizam o bem-estar animal são mais sustentáveis; e 82 % comprariam produtos com selo de produção com bem-estar animal (WORLD ANIMAL PROTECTION, 2016), o que permite concluir que o bem-estar animal está ganhando importância emergente no país.

De acordo com Velarde et al. (2015), o bem-estar animal se torna um pilar importante da sustentabilidade, uma vez que está associado a outros aspectos desse conceito como saúde animal, produtividade, segurança, qualidade e eficiência alimentar. Ao priorizar a qualidade de vida dos animais, outros fatores considerados dentro da esfera da ética na produção de ovos também são impactados, como a otimização no uso de recursos naturais, que por sua vez tem como consequência a

minimização dos impactos ambientais. Outros autores também consideram a qualidade do bem-estar animal como um índice de sustentabilidade em sistemas de produção de ovos (XIN et al., 2011; MENCH et al., 2011; BLATCHFORD et al., 2016; BROOM, 2018; SCHERER et al., 2018).

Estudos evidenciam que, quando o bem-estar das poedeiras é considerado, há melhor conversão alimentar, produtividade, redução da mortalidade e qualidade do ovo (FERNANDES, 2016; BHANJA E BHADAURIA, 2018; SIROVINIK et al., 2018; NETTO et al., 2018), o que otimiza o uso dos recursos por unidade de produto e reduz a quantidade de insumos por ave - como a ração, considerada uma das maiores fontes de poluição na produção animal - e os resíduos gerados (DEKKER et al., 2011; LEINONEN et al., 2012b; SILVA et al., 2014; PELLETIER, 2017; ABÍN et al., 2018).

Ressalta-se assim que o bem-estar é um aspecto que precisa ser considerado na busca rumo à sustentabilidade dos sistemas de produção de ovos, não apenas por questões éticas, mas pensando na produção de um alimento seguro, com qualidade, diferenciado no mercado e com potencial para o produtor obter maior lucratividade.

Referências

- ABÍN, R.; LACA, A.; LACA, A.; DÍAZ, M. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 160-168, 2018.
- ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal - Relatório Anual 2018. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>. Acesso em: 22 abril de 2019.
- AMARAL, G.F.; GUIMARÃES, D. D.; NASCIMENTO, J.C.D.O.F.; CUSTODIO, S. Avicultura de postura: estrutura da cadeia produtiva, panorama do setor no Brasil e no mundo e o apoio do BNDES. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 43, 2016.
- AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; AMON, T.; ZECHMEISTER-BOLTENSTERN, S. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 112, n. 2-3, p. 153-162, 2006.

- ANDRADE, D.C.; ROMEIRO, A.R. Degradação ambiental e teoria econômica: algumas reflexões sobre uma “Economia dos Ecossistemas”. **Economia**, v. 12, n. 1, 2011.
- BELINE, F.; BOURSIER, H.; GUIZIOU, F.; PAUL, E. Modelling of biological nitrogen removal during treatment of piggery wastewater. **Water science and technology**, v. 55, n. 10, p. 11-19, 2007.
- BENNETT, E.M.; CARPENTER, S.R.; CARACO, N.F. Human Impact on Erovable Phosphorus and Eutrophication: A Global Perspective: Increasing accumulation of phosphorus in soil threatens rivers, lakes, and coastal oceans with eutrophication. *AIBS Bulletin*, v. 51, n. 3, p. 227-234, 2001.
- BHANJA, S.K.; BHADARIA, P. Behaviour and welfare concepts in laying hens and their association with housing systems. **Indian Journal of Poultry Science**, v. 53, n. 1, p. 1-10, 2018.
- BLATCHFORD, R.A.; FULTON, R.M.; MENCH, J.A. The utilization of the Welfare Quality® assessment for determining laying hen condition across three housing systems. **Poultry Science**, v. 95, n. 1, p. 154-163, 2016.
- BOER, I.J.M.; CORNELISSEN, A.M.G. A method using sustainability indicators to compare conventional and animal-friendly egg production systems. **Poultry Science**, v. 81, n. 2, p. 173-181, 2002.
- BOGGIA, A.; PAOLOTTI, L.; CASTELLINI, C. Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 01, p. 95–114, 2010.
- BRITO, D.A.P.; BRITO, D.R.B.; GOMES, A.M.N.; SANTOS CUNHA, A.; SILVA FILHO, U.A.; PINHEIRO, A.A. Desempenho produtivo e rendimento de carcaça de frangos criados em diferentes materiais de cama aviária. **Ciência Animal Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 192-197, 2016.
- BROOM, D.M. Animal welfare: an aspect of care, sustainability, and food quality required by the public. **Journal of Veterinary Medical Education**, v. 37, n. 1, p. 83-88, 2010.
- BROOM, D.M. The scientific basis for action on animal welfare and other aspects of sustainability. In: Farming, **Food and Nature**. Routledge, 2018. p. 93-100.
- BÜHRING, G.M.B. **Estrutura conceitual integrando DPSIR, rede causal e serviços ecossistêmicos para análise ambiental dos dejetos na produção**

- intensiva de animais.** 163 p. 2018. Tese (Doutorado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2018.
- BUNTON, B.; O'SHAUGHNESSY, P.; FITZSIMMONS S.; GERING J.; HOFF, S.; LYNGBYE, M.; THORNE, P.S.; WASSON, J.; WERNER, M. Monitoring and modeling of emissions from concentrated animal feeding operations: overview of methods. **Environmental Health Perspectives**, v. 115, n. 2, p. 303, 2007.
- CASTELLINI, C.; BASTIANONI, S.; GRANAI, C.; DAL BOSCO, A.; BRUNETTI, M. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 114, n. 2-4, p. 343-350, 2006.
- CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; HENRIKSSON, M.; SUND, V.; DAVIS, J. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs: 1990 and 2005. Swedish Inst. **Food & Biotechnol., Gothenburg, Sweden**, 2009.
- CUPERSCHMID, N.R.M.; TAVARES, M.C. Atitudes em relação ao meio ambiente e sua influência no processo de compra de alimentos. **Revista Interdisciplinar de Marketing**, v. 1, n. 3, p. 5-14, 2015.
- DAVID, B.; MEJDELL, C.; MICHEL, V.; LUND, V.; MOE, R.O. Air quality in alternative housing systems may have an impact on laying hen welfare. Part II—Ammonia. **Animals**, v. 5, n. 3, p. 886-896, 2015.
- DEKKER, S. E. M.; DE BOER, I. J. M.; VERMEIJ, I.; AARNINK, A.J.A.; KOERKAMP, P. G. Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. **Livestock Science**, v. 139, n. 1, p. 109-121, 2011.
- DENLI, M.; BUKUN, B.; TUTKUN, M. Comparative performance and egg quality of laying hens in enriched cages and free-range systems. **Scientific Papers Series D Animal Science**, v. 59, p. 29-32, 2016.
- DIKMEN, B.Y.; İPEK, A.; ŞAHAN, Ü.; PETEK, M.; SÖZCÜ, A. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). **Poultry Science**, v. 95, n. 7, p. 1564-1572, 2016.
- Disponível em: http://cac.php.unioeste.br/eventos/senama/anais/PDF/ARTIGOS/238_1269912998_ARTIGO.pdf. Acesso em: 3 de junho de 2018.
- DODDS, W.K.; SMITH, V.H. Nitrogen, phosphorus, and eutrophication in streams. **Inland Waters**, v. 6, n. 2, p. 155-164, 2016.

- DONAIRE, D. Considerações sobre a influência da variável ambiental na empresa. **Revista de Administração de Empresas**, v. 34, n. 2, p. 68-77, 1994.
- EPA. 2004. National Emission Inventory—Ammonia Emissions from Animal Husbandry Operations. Disponível em: https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch09/related/nh3inventorydraft_jan2004.pdf. Acesso em: 30 de maio de 2018.
- EPA. 2018. Inventory of U.S. greenhouse gas emission and sinks. Disponível em: https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-01/documents/2018_complete_report.pdf. Acesso em: 25 de maio de 2018.
- FAO – Food and Agriculture Organization. Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2013. Disponível em: <http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/218650/>. Acesso em: 30 de maio de 2018.
- FAO – Food and Agriculture Organization. Major cuts of greenhouse gas emissions from livestock within reach. 2014. Disponível em: <http://www.fao.org/news/story/en/item/197608/icode/>. Acesso em 28 de maio de 2018.
- FERNANDES, D.P.B. **Enriquecimento ambiental para gaiolas convencionais de poedeiras em função de diferentes densidades de alojamento**. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- FERRAZ, S.P. **Análise de inventário de ciclo de vida da produção de ovos e consequências para a gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga. p. 72. 2015.
- FIGUEIREDO, E.A.P.; SOARES, J.P.G. Sistemas orgânicos de produção animal: dimensões técnicas e econômicas. 2012. Disponível em: <http://orgprints.org/21463/1/21463.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2018.
- FONSECA, A.C. Interferência da iluminação na produção e reprodução das aves. 2016. Disponível em: <https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/interferencia-da-iluminacao-na-producao-e-reproducao-das-aves-por-andre-fonseca/20160923-102030-v188>. Acesso em: 26 de maio de 2018.

- FRAGA, M. Tempo Fóssil: petróleo, arte e corpo na cosmopolítica do Antropoceno. **Revista Brasileira de Estudos da Presença**, v. 8, n. 1, p. 31-62, 2018.
- FRANÇA, L.G.F. 2014. **Variáveis de influência e proposição de índice de máxima emissão de amônia pela atividade de criação de galinhas poedeiras para o estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 65. 2014.
- FRIGO, M.S.; BUENO, O. D. C.; ESPERANCINI, M. S. T.; FRIGO, E. P.; KLAR, A. E. Análise energética do primeiro ano de cultivo do pinhão manso em sistema irrigado por gotejamento. **Irriga**, v. 13, n. 2, p. 261-271, 2008.
- FRORIP, J.; KOKIN, E.; PRAKS, J.; POIKALAINEN, V.; RUUS, A.; VEERMÄE, I.; LEPASALU, L.; SCHÄFER, W.; MIKKOLA, H.; AHOKAS, J. Energy consumption in animal production-case farm study. **Agronomy Research Biosystem Engineering**. Special, v. 1, p. 39-48, 2012.
- GAMA, N.M.S.Q. Qualidade química e bacteriológica da água utilizada em granjas produtoras de ovos. 87 f. 2005. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária (Patologia Animal)). Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2005.
- GAMA, N.M.S.Q.; GUASTALLI, E.; AMARAL, L., FREITAS, E.; PAULILLO, A. Parâmetros químicos e Indicadores bacteriológicos da água utilizada na dessedentação de aves nas granjas de postura comercial. **Arquivos do Instituto Biológico**, São Paulo, v. 71, n. 4, p. 423-430, 2004.
- GAMEIRO, A.H.; SANTOS, J. P. D.; PALHARES, J. C. P.; BONAUDO, T.; TICHIT, M. Capítulo VIII a contabilidade do fluxo de materiais como método para análise da sustentabilidade da produção animal. **Novos Desafios da Pesquisa em Nutrição e Produção Animal**, p. 150.
- GHASEMPOUR, A.; AHMADI, E. Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. **Journal of environmental Management**, v. 183, p. 980-987, 2016.
- GIAMPIETRO, M.; BUKKENS, S.G.F.; PIMENTEL, D. Models of energy analysis to assess the performance of food systems. **Agricultural Systems**, v. 45, n. 1, p. 19-41, 1994.
- GIANSANTI, R. **O desafio do desenvolvimento sustentável**. São Paulo: Atual, 2003. ISBN 8570568967.

- GLIBERT, P.M.; SEITZINGER, S.; HEIL, C.A.; BURKHOLDER, J.M.; PARROW, M.W.; CODISPOTI, L.A.; KELLY, V. Eutrophication. **Oceanography**, v. 18, n. 2, p. 198, 2005.
- HEMSWORTH, P.H.; MELLOR, D.J.; CRONIN, G.M.; TILBROOK, A.J. Scientific assessment of animal welfare. **New Zealand Veterinary Journal**, v. 63, n. 1, p. 24-30, 2015.
- IBGE. Sistema IBGE de Recuperação automática - SIDRA. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939>>. Acesso em 13 de abr. 2019.
- IEA – Instituto de Economia Agrícola. Estimativa da Produção Animal no Estado de São Paulo em 2018. 2019. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/TerTexto.php?codTexto=14575>>. Acesso em 10 abr. 2019.
- KAKIMOTO, S.K.; SOUZA FILHO, H.M. Cenário da cadeia produtiva do ovo no estado de são paulo. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos. 2013. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STP_177_007_22377.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2018.
- KOZIOSKI, G.V.; CIOCCA, M.L.S. Energia e sustentabilidade em agroecossistemas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 737-745, 2000.
- LACEY, R.E.; MUKHTAR, S.; CAREY, J.B.; ULLMAN, J.L. A review of literature concerning odors, ammonia, and dust from broiler production facilities: 1. Odor concentrations and emissions. **Journal of Applied Poultry Research**, v. 13, n. 3, p. 500-508, 2004.
- LAYRARGUES, P.P. Educação para a gestão ambiental: a cidadania no enfrentamento político dos conflitos socioambientais. **Sociedade e meio ambiente: a educação ambiental em debate**. São Paulo: Cortez, p. 87-155, 2000.
- LEINONEN, I.; WILLIAMS, A.G.; WISEMAN, J.; GUY, J.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Broiler production systems. **Poultry Science**, v. 91, n. 1, p. 8-25, 2012 a.
- LEINONEN, I.; WILLIAMS, A.G.; WISEMAN, J.; GUY, J.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a

life cycle assessment: Egg production systems. **Poultry Science**, v. 91, n. 1, p. 26-40, 2012 b.

LELI, I.T.; ZAPAROLI, F.C.M.; SANTOS, V.C.; OLIVEIRA, M.; REIS, F.A.G.V.

Estudos ambientais para cemitérios: Indicadores, áreas de influência e impactos ambientais. **Boletim de Geografia**, v. 30, n. 1, p. 45-54, 2012.

LIANG, Y.; XIN, H.; WHEELER, E. F.; GATES, R. S.; LI, H.; ZAJACZKOWSKI, J.S.;

TOPPER, P. A.; CASEY, K.D.; BEHREND, B.R.; BURNHAM, D.J.;

ZAJACZKOWSKI, F.J. Ammonia emissions from US laying hen houses in Iowa and Pennsylvania. **Transactions of the ASAE**, v. 48, n. 5, p. 1927-1941, 2005.

MACÊDO, B.F.; LIMA, W.E. Avaliação dos aspectos e impactos ambientais de uma

fabrica de ração animal. 2014. Disponível em:

<http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/AVALIACAO%20DOS%20ASPECTOS%20E%20IMPACTOS%20AMBIENTAIS%20DE%20UMA%20FABRICA%20DE%20RACAO%20ANIMAL.pdf>. Acesso em: 4 de junho de 2018.

Manual de segurança e qualidade para a avicultura de postura, 2004. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/18216/1/MANUALSEGURANCAQUALIDADEaviculturadepostura.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2018.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de inspeção

de produto animal. Portaria nº 1, de 21 de fevereiro de 1990. Disponível em:

<<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/inspecao/produtos-animal/empresario/arquivos/Portaria11990ovos.pdf>>. Acesso em: 13 de jan. 2019.

MAZZUCO, H.; KUNZ, A.; PAIVA, D.P.; JAENISCH, F.R.; PALHARES, J.C.; ABREU,

P.G.; ROSA, P.S.; AVILA, V.S. Boas práticas de produção na postura comercial. **Embrapa Suínos e Aves-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 40 p. 2006.

MENCH, J.A.; SUMNER, D.A.; ROSEN-MOLINA, J.T. Sustainability of egg

production in the United States—The policy and market context. **Poultry Science**, v. 90, n. 1, p. 229-240, 2011.

MIRANDA, C.R.; SEGANFREDO, M.; MATTHIENSEN, A.; MONTICELLI, C.J.;

GUARESI, L.; BERNARDO, E. Avaliação do desempenho ambiental de um estabelecimento familiar da região Oeste Catarinense com produção confinada de animais. In: Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS

- AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 5., 2017, Foz do Iguaçu, Anais... Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2017. SIGERA. p. 405-409., 2017.
- MOLLENHORST, H.; BERENTSEN, P. B. M.; DE BOER, I. J. M. On-farm quantification of sustainability indicators: an application to egg production systems. **British Poultry Science**, v. 47, n. 4, p. 405-417, 2006.
- MORAES, R. Análise de conteúdo. Revista Educação, Porto Alegre, v. 22, n. 37, p. 7-32, 1999.
- MOREIRA, I.V.D. Avaliação de impacto ambiental–AIA. Rio de Janeiro, FEEMA, 1985.
- NETTO, D.A.; LIMA, H.J.D.A.; ALVES, J.R.; MORAIS, B.C.D.; ROSA, M.S.; BITTENCOURT, T.M. Production of laying hens in different rearing systems under hot weather. Acta Scientiarum. **Animal Sciences**, v. 40, 2018.
- NIMMERMARK, S.; GUSTAFSSON, G. Influence of temperature, humidity and ventilation rate on the release of odour and ammonia in a floor housing system for laying hens. 2005. Disponível em: <https://ecommons.cornell.edu/bitstream/handle/1813/10423/BC%2004%20008%20Gustafsson%20final%20Oct2005.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03 de junho de 2018.
- NIMMERMARK, S.; LUND, V.; GUSTAFSSON, G.; EDUARD, W. Ammonia, dust and bacteria in welfare-oriented systems for laying hens. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 16, n. 1, p. 103-113, 2009.
- ADEKOMAYA, O.S. Adaptation of biomass-fired incinerator in poultry mortality management. **Energy**, v. 1, n. 2, 2012.
- OKA, C.H. **Desempenho de poedeiras comerciais submetidas a diferentes métodos de debicagem**. 52 f. 2016. Dissertação (Mestrado em produção animal) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrárias e Tecnológicas de Dracena, Dracena, 2017.
- OLIVEIRA, P.P.A.; PEDROSO, A.; ALMEIDA, R.G.; FURLAN, S.; BARIONI, L.G.; BERNDT, A.; HIGARASHI, M. Emissão de gases nas atividades pecuárias. In: Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. v. 2. 1 CD-ROM., 2011.

- PACHECO, J.C.; MOITA NETO, J.M. Produção de ração para frango de corte: aspectos socioambientais identificados durante o inventário do ciclo de vida. In: IV CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE GESTÃO PELO CICLO DE VIDA. São Bernardo do Campo, 2014. Disponível em: <https://sigaa.ufpi.br/sigaa/verProducao%3FidProducao%3D648316%26key%3D8503432316a74bf302eacf6c652fb6cf+&cd=3&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em 04 de junho de 2018.
- PAIVA, D.P. Compostagem: Destino correto para animais mortos e restos de parição. Embrapa Suínos e Aves–Concórdia, SC. Disponível em http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/4-Dora-compostagem.pdf, 2008. Acesso em: 04 de junho de 2018.
- PALHARES, J.C.P.; KUNZ, A. Manejo ambiental na Avicultura. Embrapa Suínos e Aves-Documents (INFOTECA-E), 2011. Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/920466/1/manejoambiental_naavicultura.pdf. Acesso em: 23 de maio de 2018.
- PELLETIER, N. Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p. 167-180, 2017.
- PELLETIER, N.; IBARBURU, M.; XIN, H. A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. **Journal of Cleaner Production**, v. 54, p. 108-114, 2013.
- PENZ, M. Importância da água na produção de frangos de corte. In: IV Simposio Brasil Sul de Avicultura. 2003. p. 131.
- PEREIRA, R.; MENTEN, J.F.M.; ROMANO, G.G.; SILVA, C.L.S.; ZAVARIZE, K.C.; BARBOSA, N.A.A. Eficiência de uma fitase bacteriana na liberação de fósforo fítico em dietas de frangos de corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.64, n.1, p.137-144, 2012.
- RATTNER, H. Meio ambiente, saúde e desenvolvimento sustentável. **Ciência e saúde coletiva**, v. 14, n. 6, p. 1965-1971, 2009.
- ROCHA, T.M.; DA COSTA, S.R.R. Sistema de gestão ambiental na produção de alimentos e vantagens da certificação iso 14001: uma revisão da literatura. **Revista Científica Hermes - FIPEN**, v. 4, 2011. ISSN 2175-0556.
- SÁNCHEZ, L.E. Avaliação de Impacto Ambiental: conceitos e métodos. 2a ed. São Paulo: Oficina de textos, 2013.

- SANTOS, N.M.; MALHEIROS, R.; TAVEIRA, R.Z. Disposição adequada de resíduos orgânicos gerados no setor de avicultura de produção de frango de corte por meio da compostagem. 2017. Disponível em: <http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2017/I-021.pdf>. Acesso em 03 de junho de 2018.
- SANTOS, T.M.B.; JORGE DE LUCAS JÚNIOR, J.L.; SILVA, F.M. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.658-664, 2007.
- SCHERER, L.; TOMASIK, B.; RUEDA, O.; PFISTER, S. Framework for integrating animal welfare into life cycle sustainability assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 7, p. 1476-1490, 2018.
- SCHINDLER, D.W.; CARPENTER, S.R.; CHAPRA, S.C.; HECKY, R.E.; ORIHEL, D.M. Reducing Phosphorus to Curb Lake Eutrophication is a Success. **Environmental Science Technology**, v. 50, p. 8923-8929, 2016.
- SEIFFERT, N.F. Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental. **Proceedings do Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola**. Concórdia, SC., Brasil, p. 1-20, 2000.
- SHARPLEY, A.N.; DANIEL, T.; SIMS, T.; LEMUNYON, J.; STEVENS, R.; PARRY, R. Agricultural phosphorus and eutrophication. US Department of Agriculture, **Agricultural Research Service**, ARS-149, p. 44, 2003.
- SHEPHERD, T.A.; ZHAO, Y.; LI, H.; STINN, J.P.; HAYES, M.D.; XIN, H. Environmental assessment of three egg production systems—Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions. **Poultry Science**, v. 94, n. 3, p. 534-543, 2015.
- SILVA FILHO, C.A.; CALIXTO, L.F.L.; LEMOS, M.J.; REIS, T.L.; MACEDO, K.B.R. Qualidade de ovos convencionais e alternativos comercializados na região de Seropédica (RJ). **Revista Acadêmica: Ciência Animal**, v. 13, 2015.
- SILVA, V.P., VAN DER WERF, H.M.; SOARES, S.R.; CORSON, M.S Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. **Journal of environmental management**, v. 133, p. 222-231, 2014.
- SILVA, J.B.G.; MARTINEZ, M.A.; MATOS, A.T.; PIRES, C.S.; TERRAÇÃO, G. Mobilidade dos íons nitrato e amônio em área agrícola sob adubação com água residuária de bovinocultura de leite e torta de mamona. **Revista Engenharia Na Agricultura-Reveng**, v. 25, n. 3, p. 200-211, 2017.

- SIMIONI, J.; COMIN, J.J.; SEGANFREDO, M.A.; INGANG, R. Riscos de contaminação do solo, águas subsuperficiais e fitotoxidez às culturas por cobre e zinco aplicados via dejetos de suínos. **Águas Subterrâneas**, n. 1, 2002.
- SINGH, J.; SAGGAR, S.; BOLAN, N. S.; ZAMAN, M. The role of inhibitors in the bioavailability and mitigation of nitrogen losses in grassland ecosystems. **Developments in Soil Science**, v. 32, p. 329-362, 2008.
- SIROVNIK, J.; STRATMANN, A.; GEBHARDT-HENRICH, S.G.; WÜRBEL, H.; TOSCANO, M.J. Feeding from perches in an aviary system reduces aggression and mortality in laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 202, p. 53-62, 2018.
- SOUSA, J.P.L.; ALBINO, L.F.T.; VAZ, R.G.M.V.; RODRIGUES, K.F.; STRINGHINI, J.H.; KNOP, R.M.; KREUZ, B.S. Balanços nutricionais e excreção de nutrientes para frangos alimentados com dietas contendo fitase do 14º ao 24º dias de idade. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 15, n. 2, p. 493-503, 2014.
- SOUZA, R.S. **Economia política do meio ambiente: reflexões sobre os dilemas da razão no pensamento econômico ambiental**. EDUCAT, Instituição Brasileira, Editora Universidade Católica de Pelotas, 1998.
- TILMAN, D.; CASSMAN, K. G.; MATSON, P.A.; NAYLOR, R.; POLASKY, S. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671, 2002.
- TORO, J.; REQUENA, I.; DUARTE, O.; ZAMORANO, M. A Qualitative Method Proposal to Improve Environmental Impact Assessment. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 43, p. 9–20, nov. 2013.
- VELARDE, A.; FÀBREGA, E.; BLANCO-PENEDO, I.; DALMAU, A. Animal welfare towards sustainability in pork meat production. **Meat Science**, v. 109, p. 13-17, 2015.
- WIEDEMANN, S.; MCGAHAN, E. Environmental assessment of an egg production supply chain using life cycle assessment. Australian Egg Corporation Limited, North Sydney. **New South Wales**, 2011.
- WILLIAMS, A.G.; AUDSLEY, E.; SANDARS, D.L. Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Cranfield University and DEFRA Research, Project ISO205,

Bedford. **Erosión hídrica y eólica-Degradación química y exceso de sales-Degradación biológica y física**, 2006.

WORLD ANIMAL PROTECTION. Consumo às cegas – Percepção dos consumidores sobre bem-estar animal. Disponível em: <http://certifiedhumanebrasil.org/wp-content/uploads/2016/12/consumo_as_cegas_brasil.pdf>. Acesso em 14 de nov. 2019.

XIN, H.; GATES, R.S.; GREEN, A.R.; MITLOEHNER, F.M.; MOORE JR, P.A.; WATHES, C.M. Environmental impacts and sustainability of egg production systems. **Poultry Science**, v. 90, n. 1, p. 263-277, 2011.

ZOTTI, C.A.; PAULINO, V.T. Metano na produção animal: Emissão e minimização de seu impacto. Ecologia de pastagens, curso de pós graduação em produção animal sustentável. Disponível em: <http://www.iz.sp.gov.br/pdfs/1259324182.pdf>. Acesso em 10 de dezembro de 2019.

3. FLUXOS DE MATERIAL E ENERGIA DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVOS

Resumo

Os sistemas de produção de ovos avaliados apresentam características diferenciadas quanto ao impacto ambiental que podem gerar. Com a finalidade de prever o impacto indireto que cada sistema pode trazer ao ambiente, o objetivo dessa pesquisa foi caracterizar diferentes sistemas de produção de ovos quanto ao tipo, quantidade de insumos e de energia demandados. O presente estudo caracterizou os principais sistemas de produção de ovos existentes no Brasil, sendo os convencionais com criação das aves em gaiola (C1: galpões abertos; e C2: fechados) e alternativo (FR: *free-range*), tendo como base os fluxos de materiais por massa de ovo. Estabeleceu-se como limite de avaliação os insumos utilizados, a infraestrutura empregada e a produção dos ovos. A partir do fluxo de material de cada um dos sistemas considerados e dos índices energéticos dos insumos, foi possível estimar o fluxo de energia para produção dos ovos (MJ kg^{-1}). Para a caracterização de cada sistema e levantamento do fluxo de material, foram coletados indicadores zootécnicos e realizadas entrevistas com os responsáveis técnicos. Os resultados indicaram que o sistema FR apresentou maior valor de energia incorporada ($9,49 \text{ MJ kg}^{-1}$) comparado a C1 e C2 ($8,58$ e $6,79 \text{ MJ kg}^{-1}$, respectivamente). A ração foi o insumo que apresentou maior impacto nos resultados, representando entre 46 e 58 % da energia total, seguido da eletricidade entre 10 e 39 %, instalações entre 9 e 28 % e óleo diesel, de 2 a 10 %. Conclui-se que entre os sistemas, o sistema C2 foi o que evidenciou melhor desempenho no uso dos recursos energéticos. Tendo em vista que a ração, a eletricidade e o diesel são os insumos que mais geram impactos no custo energético, ressalta-se a necessidade de buscar medidas que visem a otimização dos recursos e o uso racional dos insumos.

Palavras – chave: Energia incorporada, Impacto ambiental, Depreciação energética, Poedeiras

Abstract

The evaluated egg production systems have different characteristics regarding their environmental impact. In order to predict the indirect impact that each system can bring to the environment, the objective of this research was to characterize different egg production systems as to the type, amount of inputs and energy demanded. The present study characterized the main egg production systems in Brazil, being the conventional systems (C1: open sheds; and C2: closed) and alternative (FR: *free-range*), based on the material flows by egg mass. Inputs, infrastructure and egg production were established as the evaluation limit of this research. From the material flow of each of the systems considered and the energy indices of the inputs, it was possible to estimate their energy flow (MJ kg^{-1}). For the characterization of each system and survey of the material flow, zootechnical performance indicators were collected and interviews were conducted with the employees. The results indicated that FR system presented higher incorporated

energy value (9.49 MJ kg^{-1}) compared to C1 and C2 (8.58 and 6.79 MJ kg^{-1} , respectively). Feed was the input that had the greatest impact on results, representing between 46 and 58 % of total energy, followed by electricity between 10 and 39 %, installations between 9 and 28 % and diesel oil, from 2 to 10 %. It was concluded that among the systems, C2 system showed the best performance in the use of energy resources. Given that feed, electricity and diesel are the inputs that most impact energy costs, it is emphasized the need to seek measures aimed at optimizing resources and rational use of inputs.

Keywords: Embodied energy, Environmental impact, Energy depreciation, Laying hens

3.1 Introdução

No Brasil, a produção de ovos é baseada, em sua maioria, nos sistemas intensivos de produção. Tais sistemas são questionados quanto a sua sustentabilidade, em função dos impactos negativos que podem gerar tanto ao ambiente quanto aos animais. Assim, sistemas alternativos surgem na tentativa de minimizar tais impactos e de atender a um nicho de mercado que demanda alimentos produzidos de forma segura e consciente (FERNANDES et al., 2016).

Na cadeia de produção de ovos, a intensificação deveu-se principalmente à introdução do sistema de gaiola em bateria em grande escala, o que resultou na mecanização de distribuição da ração e água, da coleta de ovos e do manejo dos dejetos das aves (BOER E CORNELISSEN, 2002).

O sistema de produção de ovos predominante no Brasil é o convencional, em que as aves são criadas em galpões abertos nas gaiolas em bateria. Esse sistema apresenta alto adensamento de aves, com a finalidade de se ganhar em produtividade. Porém, as instalações são antigas e já se encontram depreciadas, com baixo ou nenhum investimento do produtor, demandando mais mão de obra (KAKIMOTO E SOUZA FILHO, 2013). Além disso, podem trazer diversos problemas quanto a eficiência produtiva das aves (OLIVEIRA et al., 2011; FERNANDES, 2016), a geração de resíduos (LIMA et al., 2016) e a otimização no uso de insumos (AULER et al., 2009; DELGADO et al., 2017).

Segundo Delgado et al. (2017), a avicultura de postura vem sendo pressionada a migrar do sistema convencional, normalmente baseado na criação de aves em galpões do tipo californiano, para o automatizado, visto que esse favorece a criação de aves em maior escala, ponto positivo quando se quer atender uma

população que demanda cada vez mais por alimentos, ainda, resulta em menores custos de produção, preços competitivos, diminuição da quantidade de resíduos e melhor qualidade dos produtos.

Embora essa intensificação tenha sido vantajosa em alguns pontos, a energia de origem fóssil é provavelmente a fonte mais utilizada nos agroecossistemas mais intensivos. Associado a essa fonte de energia está a depauperação ambiental decorrente da sua utilização, seja pelo esgotamento de recursos naturais, poluição e/ou contaminação, devido à excessiva liberação de componentes residuais no ambiente (KOZIOSKI E CIOCCA, 2000).

Para mensurar o impacto ambiental decorrente do uso de energia para a produção de determinado produto, nota-se em pesquisas já realizadas a necessidade de se estabelecer o fluxo de material e a energia total incorporada, pois permitem identificar pontos críticos para que medidas preventivas sejam colocadas em prática, sendo instrumento no processo de gestão ambiental (CASTELLINI et al., 2006; BOGGIA et al, 2010; LEINONEN et al., 2012; SILVA et al., 2014; FERRAZ, 2015).

Estudos desenvolvidos no exterior em que utilizam o fluxo de materiais como principal ferramenta para caracterizar os sistemas de produção de ovos quanto a sua eficiência no uso de recursos, indicam que como todos os sistemas de produção, o avícola apresenta pontos em que pode ser melhorado quanto ao seu desempenho ambiental, direcionando para a busca de medidas alternativas que minimizem os impactos que podem gerar (MOLLHENHORST et al., 2006; CEDERBERG, 2009; DEKKER et al., 2011; LEINONEN et al., 2012; PELLETIER et al., 2013; GHASEMPOUR E AHMADI, 2016; PELLETIER, 2017; ABÍN et al., 2018). Porém, é interessante realizar um levantamento específico da demanda de insumos para a cadeia nacional de produção de ovos, uma vez que as instalações, bem como as condições climáticas e de manejo são diferenciadas e podem interferir no desempenho produtivo das aves e na otimização do uso dos recursos.

Com a finalidade de identificar pontos críticos quanto a eficiência no uso de insumos e indicar sugestões de melhorias quanto aos impactos ambientais que a cadeia de produção de ovos pode gerar, o objetivo desse estudo é caracterizar diferentes sistemas de produção de ovos quanto ao tipo, quantidade de insumos e energia demandados.

3.2 Material e métodos

O presente estudo caracterizou a cadeia brasileira de produção de ovos com base no fluxo de material de sistemas convencionais, com criação de aves em gaiolas (galpões abertos e fechados) e alternativo (*free-range*), onde as aves são criadas livres. As duas granjas produtoras de ovos referentes ao sistema convencional, estão localizadas no município de Bastos (SP), 21°55'19" S e 50°44'02" W e altitude de 445 m. Já a granja baseada no sistema alternativo de produção, se localiza no município de Palhoça (SC), 27° 38' 34" S, Longitude: 48° 40' 10" W e altitude de 3 m.

Cada sistema foi caracterizado por meio de entrevistas realizadas com os responsáveis técnicos. A partir do fluxo de material de cada um dos sistemas considerados, foi possível estimar o seu fluxo de energia, considerando-se como limite de avaliação, desde os insumos utilizados e a infraestrutura empregada até a produção dos ovos. A seguir, serão descritos os sistemas de produção de ovos avaliados, os limites do estudo, a unidade funcional utilizada e os parâmetros considerados para elaboração do fluxo de material e energia.

3.2.1 Dados coletados nas granjas

Em cada uma das granjas estudadas, os dados coletados estiveram relacionados a todo o período de criação (cria, recria e postura) e classificação dos ovos, sendo obtidos por meio de visitas técnicas e da aplicação de um questionário com responsáveis técnicos encarregados por cada etapa de criação (Apêndice A).

Os dados coletados estiveram associados a índices zootécnicos e quantidades dos insumos considerados nesse estudo e utilizados para a produção e classificação dos ovos, que serão descritos a seguir.

3.2.2 Limites do estudo e unidade funcional

Os limites de avaliação desse estudo estão baseados no cultivo e processamento das principais culturas para produção de ração (milho e soja), bem como a infraestrutura depreciada até a produção dos ovos, tendo como entradas: a ração, mão de obra, aves, água, maquinário, instalações, eletricidade, maravalha,

combustível, pesticidas, medicamentos e desinfetantes; e saídas: ovos classificados, dejetos e emissões para o solo, ar e água, para as etapas de cria, recria, postura, classificação e acondicionamento dos ovos (Figura 1).

Figura 1 - Diagrama da linguagem energética dos sistemas de produção de ovos considerados (adaptado de Odum, 1996).

A escolha das entradas e saídas foi baseada nos estudos de Mollhenhorst et al. (2006), Cederberg (2009), Dekker et al. (2011), Leinonen et al. (2012), Pelletier et al. (2013), Ghasempour e Ahmadi (2016), Pelletier (2017), Abín et al. (2018), exposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Entradas e saídas dos insumos contabilizados em estudos já publicados

Entradas	Unidade	Saídas	Unidade
Ração	kg	Ovos	t
Aves	Unidade	Galinhas descartadas	kg
Água	m ³	Dejetos	kg
Eletricidade	kwh	Transporte (aves sadias, ovos, aves mortas, dejetos)	km
Material para cama	kg	Perda de N	kg
Gás natural	m ³	Perda de P	kg
Área	m ²	Galinhas mortas	kg
Mão de obra	h	Permanência dos dejetos nos galpões	semanas
Diesel	L	Permanência dos dejetos no armazenamento	semanas
transporte (km)	km	Taxa de mortalidade	(%)
Óleo lubrificante	L		
GLP	L		
Material de embalagem	kg		

Por meio dessa revisão de literatura, foi possível ampliar a visão sobre a importância de cada insumo no processo produtivo de ovos e aumentar a

quantidade de insumos avaliados em um único estudo, com intuito de concluir uma melhor caracterização para a realidade brasileira.

Para a padronização dos dados foi considerada a unidade funcional de 1 kg de ovos, assim utilizada por outros autores (WILLIANS et al., 2006; CEDERBERG et al., 2009; DEKKER et al., 2011; GHASEMPOUR E AHMADI, 2016).

3.2.3 Dados zootécnicos

Os dados de desempenho zootécnico foram definidos após o acompanhamento de um lote, desde a aquisição das aves até o descarte, conforme os registros da granja sobre o período de cada etapa de criação, a linhagem, a quantidade inicial de aves e de ração consumida, a mortalidade diária, a produção de ovos, a densidade de aves, o tipo de cama e o tempo de inatividade entre ciclos de produção.

O peso do ovo foi obtido mediante o manual referente a linhagem utilizada em cada sistema produtivo (LOHMANN, 2016; DEKALB, 2019).

3.2.4 Caracterização dos sistemas de produção de ovos

O primeiro sistema escolhido apresentava instalações totalmente abertas, naturalmente ventiladas, com galpões do tipo californianos e gaiolas em bateria dispostas em esquema piramidal (C1); o segundo, sistema com galpões fechados, climatizados e disposição vertical de gaiolas (C2); e o terceiro, sistema alternativo, *free-range*, com instalações totalmente abertas, ventilação natural e mecânica, onde as aves eram criadas livres de gaiolas e com acesso a área externa (FR) (Tabela 5).

Tabela 5 - Descrição dos sistemas produtivos de ovos estudados

Caracterização	Sistemas de produção de ovos avaliados		
	C1	C2	FR
Tipo de instalação	Aberta	Fechada	Aberta
Alojamento das aves	Gaiolas	Gaiolas	Livres (acesso à pastagem)
Disposição das gaiolas	Piramidal	Vertical	Sem gaiolas
Controle do ambiente	Sem controle	Climatizado	Sem controle (ventilação mecânica)
Arraçoamento	Manual	Automatizado	Automatizado
Coleta de dejetos	Manual	Automatizado (esteiras)	Manual

3.2.4.1 Sistema C1

A granja produtora associada ao sistema convencional C1 possui 700 mil aves em produção, sendo 660 mil aves de linhagens brancas e 40 mil vermelhas e produção média diária em torno de 530 mil ovos. A granja é composta por escritório, fábrica de ração, galpão para classificação e armazenamento de ovos, galpões de cria com capacidade total de 110 mil aves e galpões de recria com capacidade total de 225 mil aves.

Para caracterização desse sistema, foi acompanhado um lote de aves da linhagem Dekalb White que foram adquiridas com um dia de idade e alojadas nos galpões de cria por 27 dias. Receberam aquecimento por meio de GLP (gás liquefeito de petróleo), cuja temperatura do ar no interior da instalação foi manejada para atender às necessidades térmicas das aves.

O período de recria ocorreu de 28 a 120 dias. As aves foram alojadas em gaiolas dispostas em esquema piramidal e em galpões totalmente abertos.

Com 17 semanas os animais foram transferidos e distribuídos em 8 galpões de produção, onde permaneceram até 92 semanas. Os galpões eram do tipo californiano, construídos em madeira, possuíam telhas de cerâmica e pé direito de 2,10 m, com dimensão de 3 x 105 metros (largura x comprimento), quatro linhas de gaiolas em esquema piramidal, separadas por um corredor central e gaiolas com dimensão de 50 x 40 x 40 cm (largura x profundidade x altura), na densidade de 500 cm² ave⁻¹.

A coleta de ovos era realizada de forma manual. Os ovos postos eram conduzidos por meio de caminhões para o depósito de ovos onde eram classificados, embalados e armazenados.

Não havia sistemas de resfriamento nos galpões dos sistemas de recria e produção. O arração durante todo o ciclo foi manual e a ração produzida na granja. A água provinha de poços e era bombeada até as instalações da granja para dessedentação das aves, limpeza e desinfecção dos galpões, máquinas e veículos. Os dejetos caíam diretamente no piso de terra abaixo das gaiolas e eram retirados em intervalos de quatro a seis meses. As aves mortas eram retiradas diariamente e incineradas. Ainda, a granja possuía uma rotina para aplicação de desinfetantes, pesticidas e seguia um protocolo próprio para vacinação e aplicação de outros medicamentos.

3.2.4.2 Sistema C2

A granja escolhida possui sete galpões climatizados, com gaiolas dispostas em sistema vertical, com capacidade média total de 441228 aves e produção média diária de 307698 ovos. A granja possui duas unidades. Em uma das unidades há galpões de cria, recria e fábrica de ração. Na unidade principal há escritório, fábrica de ração, galpão para classificação e armazenamento de ovos e galpões climatizados com sistema de refrigeração do tipo *pad cooling*.

Nessa granja, as aves são adquiridas com um dia de idade e permanecem nos galpões de cria por 40 dias, no qual é utilizada lenha de eucalipto nos aquecedores para manter a temperatura do ar dentro da zona de conforto térmico das aves. Após 40 dias, as aves são transferidas para galpões de recria, permanecendo até 120 dias.

Com 17 semanas, as aves são transportadas para a unidade de produção, permanecendo até 90 semanas, em média. Os galpões climatizados são fechados e possuem sistema de climatização do tipo *pad cooling*. Nesse sistema de climatização, placas de celulose evaporativas são embebidas com água em uma das extremidades do galpão, e por pressão negativa, proporcionada por exaustores na outra extremidade, gotículas de água atravessam o ambiente e melhoram a sensação térmica das aves.

Segundo Oliveira et al. (2012), no resfriamento evaporativo a água é borrifada nas placas evaporativas com área superficial apropriada, com o intuito de criar uma película de água. A existência de exaustores favorece com que a corrente de ar passe através do painel evaporativo e adquira menor temperatura e maior umidade ao ocorrer a transferência de calor entre a água presente no painel e o ar. O ar que atravessou a instalação, ao sair adquire menor temperatura de bulbo seco e maior umidade relativa, sendo a água reaproveitada e recirculada no sistema por intermédio de uma bomba.

Para a cria e a recria, o arraçãoamento é manual, já para a postura, automatizado, sendo a ração produzida na própria granja. Nos galpões de produção, os ovos postos rolam para esteiras automatizadas que os transportam até o depósito, onde são classificados e armazenados.

Para esse sistema, no período de postura o lote avaliado foi alojado em um galpão climatizado com dimensão de 11 x 110 m (largura x comprimento), pé direito

de 5,50 m, gaiolas em bateria com 77 x 73 cm (largura x profundidade), divididas em seis linhas e três baterias de gaiolas dispostas em esquema vertical, abrigando 13 aves por gaiola na densidade de 432 cm² ave⁻¹.

A estrutura dos galpões era de alvenaria, cortinas e forro de coloração azul, telhados de zinco, com 12 exaustores em uma das extremidades e placas de celulose na extremidade oposta.

Aves que vinham a óbito eram retiradas diariamente, onde eram trituradas e misturadas com serragem em um acelerador de compostagem, cujo produto era vendido como adubo.

Os dejetos eram retirados dos galpões três vezes por semana por esteiras automatizadas. Para as duas unidades, a água era oriunda de poços e utilizada principalmente para consumo das aves, limpeza e desinfecção das instalações, máquinas e veículos.

A granja possuía uma rotina para aplicação de desinfetantes e pesticidas. Ainda, seguia um protocolo próprio para vacinação e aplicação de outros medicamentos.

3.2.4.3 Sistema FR

Para o sistema *free-range*, a granja escolhida possui, atualmente, 96000 aves em produção criadas livres de gaiolas. A empresa é composta por um escritório, galpões de produção e sala para classificação e armazenamento dos ovos. A granja não possui fábrica de ração e sistema de cria e recria. Ainda, a ração para postura, assim como as aves são adquiridas de outra unidade de produção.

Na unidade de produção referente as fases de cria e recria, as aves são obtidas com um dia e permanecem até 105 dias de idade alojadas nas gaiolas em um galpão com estrutura de alvenaria, ventilados naturalmente. Durante o período de cria (45 dias), são utilizados aquecedores à lenha e controlada a temperatura do ar. Após essa fase, as aves são distribuídas ao longo do galpão permanecendo nas mesmas gaiolas até o final da recria. O arraçamento é automatizado e a ração produzida na unidade.

Com 16 a 95 semanas, as aves são alojadas em galpões abertos, naturalmente ventilados com dimensão de 14 x 121 m (largura x comprimento), pé direito de 2,40 m, estrutura de alvenaria, telhas de fibrocimento, uso de cortinas e

forros. Havia 9 exaustores em uma das extremidades do galpão e na extremidade oposta, tijolos vazados com uma estrutura de canos de PVC e aspersores que geravam uma cortina de água para auxiliar na manutenção do padrão de qualidade do ar, quanto a sua temperatura, umidade e concentração de gases nocivos.

Livres de gaiolas e com densidade de alojamento de 1355 cm² ave⁻¹ ou 7,4 aves m⁻², as aves possuem acesso à ninhos automatizados, poleiros, cama de maravalha de pinus e área externa com pastagem. A água era oriunda de poços artesianos e utilizada principalmente para dessedentação das aves, limpeza e desinfecção das instalações, máquinas e veículos.

Nas fases de cria e recria, havia uma rotina de aplicação de desinfetantes. Porém, na fase de postura, essa era realizada somente no final do ciclo de produção, após o descarte das aves. O controle da vegetação indesejada era realizado por meio da aplicação de herbicidas.

Havia monitoramento diário de aves que vinham a óbito, sendo retiradas e destinadas à compostagem, que juntamente com a cama, eram vendidas para fabricação de adubo por uma empresa específica.

3.2.5 Fluxos de material

Os fluxos de material foram definidos em função da unidade funcional adotada (1 kg de ovo). Para isso, foi calculada a massa total dos ovos em função da quantidade de ovos produzidos do lote observado. Por meio da relação entre quantidade de aves em produção e massa total dos ovos, estabeleceu-se um fluxo de referência em aves kg⁻¹ de ovo. Após essa etapa, foi estimada a demanda de cada insumo por ave, que, multiplicada pelo fluxo de referência estabelecido, foi possível ajustar a quantidade de cada insumo à unidade funcional adotada (Equação 1).

$$FM = \frac{i}{NA} FR \dots\dots\dots \text{Eq. (1)}$$

Em que:

Fm = Fluxo de material do insumo em kg, L, kWh, h ou doses por kg de ovo;

i = Consumo total do insumo (kg, L, kWh, h ou doses);

NA = Número de aves;

FR = Fluxo de referência (aves kg^{-1} de ovo).

3.2.5.1 Ração

Foram obtidas as formulações de ração utilizadas com as suas respectivas quantidades produzidas e distribuídas para cada etapa de criação. Foram utilizadas sete formulações de ração, sendo: pré-inicial, inicial, crescimento, pré-postura, postura 1, postura 2 e postura 3.

Das formulações utilizadas, foram considerados os principais ingredientes agrícolas, ou seja, o milho e a soja. Para cada etapa de criação, a quantidade do ingrediente da ração em kg foi transformada em kg de ração por ave e multiplicada pelo fluxo de referência.

3.2.5.2 Eletricidade

Para estimativa dos valores médios de consumo de eletricidade para cada tipo de sistema, foram obtidas as contas de energia elétrica junto ao proprietário da granja e verificados os consumos anuais para cada etapa de criação. Foi estabelecido então o valor diário de energia em kWh, por meio da relação entre o consumo anual, o número anual de aves criadas em cada etapa e o número de dias no ano, tendo os valores em kWh $\text{ave}^{-1} \text{dia}^{-1}$. Com esse dado foi possível estimar a energia consumida por ave para cada ciclo, tendo em vista o período de permanência das aves em cada etapa de criação.

3.2.5.3 Aquecimento do ambiente

Os insumos para aquecimento variaram entre o GLP e a lenha, dependendo do tipo de sistema caracterizado. Os dados sobre os seus respectivos consumos foram obtidos nos registros anuais de compra das granjas e relacionados a quantidade de aves de um dia adquiridas, sendo possível estimar os dados em kg de GLP ou lenha por ave.

3.2.5.4 Mão de obra

A mão de obra foi calculada em função da jornada de trabalho, do número de funcionários, da capacidade de produção de aves da granja e do período de criação (Equação 2).

$$MO = \frac{NT \cdot JT \cdot PC}{NA} \dots\dots\dots \text{Eq.(2)}$$

Em que:

MO = Dispêndio de mão de obra (horas ave⁻¹);

NT = Número de funcionários da granja;

JT = Jornada de trabalho (horas dia⁻¹);

PC = Período de criação (dias);

NA = Capacidade da granja de aves em produção.

3.2.5.5 Diesel

A quantidade de diesel foi calculada em função da quantidade de consumo diário desse combustível (L dia⁻¹), da quantidade total de aves em produção e do período total de criação das aves (dias), sendo estimada assim, a quantidade de diesel em L ave⁻¹ durante um ciclo de criação.

3.2.5.6 Pesticidas

A quantidade de pesticidas foi definida por meio da relação entre o seu consumo diário (kg dia⁻¹), a quantidade total de aves em produção para atender a demanda atual da granja e do período de criação das aves (dias), obtendo-se a quantidade desse insumo em kg ave⁻¹ para o período de um ciclo de criação.

3.2.5.7 Medicamentos

Os medicamentos foram divididos em função da unidade, gerando-se dois grupos, sendo: vacinas (doses ave⁻¹) e demais medicamentos (kg ave⁻¹). Os medicamentos foram calculados em função da quantidade utilizada e da sua relação com o número de aves em cada etapa de criação.

3.2.5.8 Desinfetantes

A quantidade de desinfetantes em litros por ave foi calculada conforme a frequência de aplicação utilizada pela granja e por meio da relação entre a quantidade utilizada para cada etapa de criação e o número de aves.

3.2.5.9 Edificações

Para as edificações, foi considerada a área (m^2) do galpão de produção do lote estudado e a quantidade de aves alojada no mesmo, obtendo-se a área em $m^2 \text{ ave}^{-1}$.

3.2.5.11 Água

Como a água disponível nas granjas é proveniente de poços, a sua quantificação acaba sendo prejudicada. Assim, seu consumo foi estimado por meio da metodologia utilizada por Chapagain e Hoekstra (2003), considerando-se a taxa de água virtual para realizar tal estimativa, ou seja, a água incorporada no produto em si. A água virtual pode ser definida como a água utilizada no processo de produção de um produto, medido no local em que o produto foi produzido ou o volume de água que seria necessário para produzir o produto (CHAPAGAIN E HOEKSTRA, 2004).

Para estimar o consumo desse recurso, foi considerado o conteúdo de água virtual para dessedentação das aves, para produção do alimento e para a manutenção da granja (limpeza, manejo da vacinação, desinfecção de instalações e equipamentos), de acordo com a Equação 3.

$$VWC_a = VWC_{dessed} + VWC_{manut} + VWC_{ração} \dots\dots\dots \text{Eq. (3)}$$

Em que:

VWC_a = Teor de água virtual de uma ave ($m^3 \text{ ave}^{-1}$);

VWC_{dessed} = Água necessária para dessedentação das aves ($m^3 \text{ ave}^{-1}$);

VWC_{manut} = Água necessária para manutenção ($m^3 \text{ ave}^{-1}$);

$VWC_{ração}$ = Conteúdo de água na ração ($m^3 \text{ ave}^{-1}$).

Estudos avaliando a quantidade de água ingerida por galinhas poedeiras são escassos no Brasil. Ao fazer um levantamento bibliográfico (Tabela 6), foi possível separar as informações de consumo em função da idade das aves e da variação de temperatura do ar do local em que cada estudo foi desenvolvido, visto que a idade e a temperatura do ar são fatores preponderantes à variação da ingestão de água pelas aves (SILVA, 2001; BARBOSA FILHO, 2004; ARAÚJO et al., 2008; TOGASHI et al., 2008; OLIVEIRA et al, 2014).

Tabela 6 - Média de consumo das aves em função da idade e variação da temperatura do ar

Idade	Consumo de água (L ave ⁻¹ dia ⁻¹)	Temperatura (°C)	Referência
1ª semana	0,039	35 ^a	Silva (2001)
2 -6 semanas	0,043	-	Bell e Weaver (2002)
7-14 semanas	0,091	21,31 a 31,51 ^b	Araujo et al. (2008)
15-19 semanas	0,17	-	Bell e Weaver (2002)
20 - 23 semanas	0,24	26 ^a	Barbosa Filho (2004)
44-52 semanas	0,24	23 a 31 ^b	Togashi et al. (2008)
Fase de postura	0,25	-	Palhares (2005)

^a Média da temperatura do ar para o período experimental; ^b Temperatura máxima e mínima durante o período experimental.

Na tabela supracitada, devido a ausência de dados de consumo de água da 2ª a 6ª e 15ª a 19ª semanas de criação, foram utilizados os dados de Bell e Weaver (2002), em função da proximidade dos seus resultados com os dados de estudos desenvolvidos no Brasil para as outras semanas avaliadas.

Conforme a metodologia de Chapagain e Hoekstra (2003), a água para manutenção (VWC_{manut}) foi assumida em 50 % da quantidade de água necessária para dessedentação por ave.

O conteúdo de água na ração ($VWC_{ração}$), foi estimado conforme a Equação 4.

$$VWC_{ração} = MP_{ração} + VC_{ração} \dots \dots \dots \text{Eq. (4)}$$

Em que:

$VWC_{ração}$ = Conteúdo de água na ração (m³ ave⁻¹);

$MP_{ração}$ = Água necessária para o preparo da ração (m³ ave⁻¹);

$VC_{ração}$ = Água incorporada nas culturas utilizadas como ingredientes da ração (m³ ave⁻¹).

Os ingredientes considerados foram o milho e a soja. Para estimar a demanda de água de cada cultura, primeiramente foram obtidas informações por meio dos técnicos de cada granja, sobre a região em que os grãos foram adquiridos. Para a granja referente ao sistema convencional não climatizado, o milho e a soja eram obtidos do Mato Grosso do Sul e Goiás, respectivamente. Para o sistema climatizado, ambos do Mato Grosso do Sul. No FR, esses grãos eram oriundos do Mato Grosso. Dados sobre a demanda de água dessas culturas em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$ foram obtidos de Hernandez et al. (2014). Os dados foram então convertidos em $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ do grão, por meio de informações mais recentes da série histórica da estimativa anual do rendimento médio das culturas, coletadas de IBGE (2019) (Tabela 7).

Tabela 7 - Demanda de água e produtividade das culturas utilizadas para produção de ração

Cultura	Soja			Milho			Referência
Sistema de produção	C1	C2	FR	C1	C2	FR	
Estado	GO	MS	MT	MS	MS	MT	
Demanda de água ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	4000	4500	3900	8100	8100	6900	Hernandes et al. (2014)
Produtividade ($\text{kg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$)	3205	2951	3304	6828,5	6828,5	5908	IBGE (2019)
Demanda água ($\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$)	1,25	1,52	1,18	1,19	1,19	1,17	

Para estimar a quantidade de água necessária para o preparo da ração, adotou-se o valor de 50 % do volume total de alimento consumido (CHAPAGAIN E HOEKSTRA, 2003). O resultado foi então ajustado para a unidade funcional estabelecida, em $\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$ de ovo.

3.2.5.12 Material para cama

A massa de material para a cama por ave foi calculada por meio da relação entre a quantidade utilizada durante o ciclo de produção e o número de aves.

3.2.5.13 Dejetos

A quantidade de dejetos estimada para o sistema C1 e C2 foi obtida dos registros de Augusto (2007), com base na matéria natural, considerando-se 0,03 e 0,1 $\text{kg ave}^{-1} \text{dia}^{-1}$ de dejetos produzidos para o sistema C1 e C2, respectivamente. Conforme descrito anteriormente, no sistema C1, a retirada dos dejetos dos galpões

ocorre em baixa frequência. Assim, preferiu-se utilizar médias referentes a 260 dias de confinamento das poedeiras, pois provavelmente, a condição do dejetos analisado pelo autor, estariam mais próximas da considerada nesse estudo.

Para o sistema FR, foram consideradas as quantidades de cama retiradas do galpão referente ao lote avaliado.

3.2.6 Depreciação das instalações, máquinas e equipamentos

Para as instalações, máquinas e equipamentos utilizados na granja, a sua depreciação foi calculada em função do tempo de utilização e da sua vida útil em anos, conforme a metodologia descrita por Romanelli e Milan (2010) e adaptada para este estudo.

3.2.6.1 Depreciação das instalações

Para a depreciação das instalações foi considerada a área da instalação (m^2), da vida útil (anos) e do tempo de utilização (anos) (Equação 5).

$$DI (m^2) = \frac{A}{VU} TU \dots\dots\dots \text{Eq. (5)}$$

Em que:

DI = Depreciação das instalações ($m^2 \text{ ave}^{-1}$);

A = Área utilizada pela instalação ($m^2 \text{ ave}^{-1}$);

VU = Vida útil (anos);

TU = Tempo de utilização (anos).

Para o sistema convencional não climatizado, foram considerados os galpões de produção, que por sua vez são de madeira. Para estas estruturas foi considerada a vida útil de 20 anos. Já para os galpões climatizados, cuja estrutura é de alvenaria, 35 anos. A vida útil das instalações foi baseada nas considerações de Moura et al. (2010) e Vieira e Costa e Silva (2015).

Tendo como base os dados fornecidos pela granja, o tempo de utilização dos galpões foi de 35 anos para o sistema C1, de 13 anos para o C2, de 37 anos para galpões de cria e recria e 13 anos para os de postura do sistema FR (Tabela 8).

Tabela 8 - Área utilizada, quantidade de aves, vida útil e tempo de utilização das instalações em função do tempo de alojamento

Tipo de sistema	Etapas de criação	Área utilizada (m ²)	Aves galpão ⁻¹	Vida útil (anos)	Tempo de utilização (anos)
C1	Cria	480	30000	35	35
	Recria	3600	12000	20	
	Postura	2520	25000	20	
C2	Cria	1316	30960	35	13
	Recria	2193,75	24570	35	
	Postura	1210	61022	35	
FR	Cria	2340	20000	35	37
	Recria				
	Postura	6776	12500	35	

O número de lotes referente ao tempo de utilização dos galpões foi calculado em função da duração do ciclo, do tempo de utilização e do tempo de inatividade entre ciclos de produção.

Após calculada a depreciação das instalações em m² ave⁻¹, essa foi multiplicada pelo fluxo de referência associado a cada sistema para obter valores em m² kg⁻¹ de ovo.

3.2.6.2 Depreciação do maquinário

A depreciação das máquinas foi calculada em função da sua massa (kg), da vida útil (horas) e do tempo de utilização (horas), conforme a Equação 6, considerando-se a vida útil de 10 anos ou 15000 horas (CONAB, 2010).

$$DM (kg) = \frac{M}{VU} TU \dots \dots \dots \text{Eq. (6)}$$

Em que:

DM = Depreciação do maquinário (kg ave⁻¹);

M = Massa do maquinário (kg ave⁻¹);

VU = Vida útil (horas);

TU = Tempo de utilização (horas).

Primeiramente, foi realizado o levantamento das máquinas junto ao proprietário da granja, tendo em vista o tipo, o modelo e a potência das máquinas. Com essas informações, foi possível estimar a massa do maquinário (kg) por meio de levantamentos bibliográficos e com o fabricante.

Conforme os dados coletados, o tempo de utilização (horas dia⁻¹) para máquinas no sistema C1 e C2 foi de 6 horas. Para FR, 3 horas para o período de cria e recria, bem como 4 horas para o período de postura.

3.2.7 Fluxo de energia

O fluxo de energia de cada entrada (EE) foi estabelecido por meio da associação entre o índice de energia e o fluxo de material de cada insumo com base nos fluxos de mão de obra, depreciação de maquinário e instalações, culturas utilizadas, eletricidade, maravalha, diesel, GLP, lenha e produção de aves, conforme a equação utilizada por Romanelli (2007) (Equação 7).

$$EE = \sum_i^I Insumo_i Ind_i \dots \dots \dots \text{Eq. (7)}$$

Em que:

EE = Energia de entrada (MJ kg⁻¹);

Insumo_i = Quantidade por kg de ovo do i-ésimo insumo utilizado (kg kg⁻¹, L kg⁻¹, unidades kg⁻¹);

Ind_i = Conteúdo energético do i-ésimo insumo (MJ kg⁻¹, MJ L⁻¹, MJ unidade⁻¹).

Para estimar a energia incorporada nos insumos foi realizado um levantamento de dados disponíveis na literatura relacionados ao custo energético para obtenção desses insumos (Tabela 9).

Tabela 9 - Índices de energia de entradas conhecidas para os sistemas estudados

Inputs	Unidade	Índice de energia (MJ.unit ⁻¹)	Referência
Mão de obra	h	1,96	Heidari et al. (2011); Payandeh et al. (2017)
Diesel	l	45,7	Boustead and Hancock (1979)
Instalação de madeira	m ²	1700	Buchanan e Levine (1999)
Instalação de alvenaria	m ²	4700	Buchanan e Levine (1999)
Soja GO	kg	3,27	Romanelli et al. (2012)
Soja MS	kg	3,05	Romanelli et al. (2012)
Soja MT	kg	2,83	Romanelli et al. (2012)
Milho	kg	1,76	Veiga et al. (2015)
Herbicidas	kg	355,6	Macedo et al. (2008)
Inseticidas	kg	358	Macedo et al. (2008)
Desinfetantes	kg	0,4187	Najafi et al. (2012); Firouzi et al. (2017)
Elettricidade	kWh	15	Boustead and Hancock (1979)
GLP	kg	31,58	EPE (2016)
Lenha	kg	12,98	EPE (2016)
Maravalha ^a	m ³	19,39	Calculado
Pintos ^b	ave	5,12	Calculado

^aCálculo baseado nos estudos de Ferro et al. (2018) para o cultivo de pinus e de informações técnicas referentes ao processamento da madeira; ^bCalculado em função dos valores de eletricidade e consumo de combustível de Delcín (2018).

3.2.7.1 Depreciação energética das instalações

A energia de entrada referente às instalações foi calculada de acordo com a Equação 9.

$$EI = DI \cdot IE \dots \dots \dots \text{Eq. (9)}$$

Em que:

EI = Energia de entrada das instalações;

IE = Índice de energia das instalações (MJ m⁻²).

3.2.7.2 Depreciação energética do maquinário

A energia de entrada relacionada às máquinas foi calculada conforme a seguinte equação (Eq. 10).

$$EM = DM IE \dots\dots\dots \text{Eq. (10)}$$

Em que:

EM = Energia de entrada das máquinas;

IE = Índice de energia das máquinas e equipamentos (MJ kg^{-1}).

A estimativa do índice de energia do maquinário (MJ kg^{-1}) foi efetuada por meio da equação 3, obtida de Mantoam (2016) (Equação 8).

$$IE = (-0,0057 * M) + 129,2669 \dots\dots\dots \text{Eq. (8)}$$

Em que:

IE = Índice de energia em MJ kg^{-1} ;

M = Massa do maquinário em kg.

A massa do maquinário foi estimada em função de dados publicados na literatura. A Tabela 10 mostra os modelos das máquinas, a massa do maquinário e o seu índice de energia correspondente.

Tabela 10 - Modelo dos tratores e sua respectiva massa e índice de energia conforme sistema de produção de ovos considerado

Sistema de produção de ovos	Modelo	Massa do maquinário (kg)	Referência	Índice de energia (MJ kg^{-1})
C1	Yanmar YA4G	2500	Especificado no trator	115,02
	Yanmar 1145-4	1365	Agritech (2016)	121,49
	New holland TT3840F	2640	New Holland (2019)	114,22
	Yanmar 1175 S	3911	Agritech (2016)	106,97
	New holland TL75E	3880	New Holland (2017)	107,15
	New holland T6 120 c/ lamina	5070	New Holland (2014)	100,37
	Valtra bm 110 c/concha	5936	Valtra (2016)	95,43
	Valmet 68	3030	Santos e Lucas Jr. (2004)	112,00
	Valmet 880	2156	Williams et al. (2006)	116,98
	Valmet 65 id	3320	Santos et al. (2006)	110,34
	Valtra 785	2650	Patrocínio Filho et al. (2013)	114,16
	Massey 235	1735	Williams et al. (2006)	119,38
	Massey 235	1735	Williams et al. (2006)	119,38
C2	Valmet 65	3320	Santos et al. (2006)	110,34
	Valmet 85	1635	Novak et al. (1992)	119,95
	John Deere 505 E	2550	Du et al. (2018)	114,73
	Valtra BM 100	5936	Valtra (2016)	95,43
	Massey Ferguson 50-X	3020	Silva et al. (2006)	112,05
FR	Mahindra 4025 4WD	2360	Mahindra (2019)	115,81
	Agrale 4230	1480	Agrale (2019)	120,83
	Valmet 65	3320	Santos et al. (2006)	110,34
	Massey 4707	4125	Massey Fergusson (2019)	105,75
	Agrale 4100	1160	Agrale (2019)	122,65

3.3 RESULTADOS

3.3.1 DADOS ZOOTÉCNICOS

A partir dos resultados referentes aos dados zootécnicos (Tabela 11), verificou-se que aves do sistema FR apresentaram maior quantidade de ovos por ave alojada comparado aos demais (434,45 ovo ave⁻¹) em função do maior período produtivo, além do maior consumo de ração por ave (115 g ave⁻¹dia⁻¹).

Tabela 11 - Dados zootécnicos referentes às aves criadas nos três sistemas avaliados

Variáveis	C1	C2	FR
Linhagem	Dekalb White	Dekalb White	Lohman Brown
Número de aves lote ⁻¹	27030	62267	49183
Período cria (dias)	28	40	45
Período de recria (dias)	92	80	60
Período de postura (semanas)	75	75	80
Ovo/ave alojada	417,64	416,33	434,45
Peso médio do ovo (g)	62,23	62,23	63,3
Consumo de alimento (g ave ⁻¹ dia ⁻¹)	92	100	115
Mortalidade (%)	9,87	10,95	8
Densidade de aves (cm ² ave ⁻¹)	500	432	1355
Densidade de aves fora do galpão (m ² ave ⁻¹)	NA	NA	0,5
Número médio de aves (aves galpão ⁻¹)	3107	61022	12500
Quantidade de aves por área (aves m ⁻²)	9,86	50,43	7,38
Tipo de cama	NA	NA	Maravalha
Quantidade de cama (m ³)	NA	NA	550
Tempo de inatividade entre ciclos de produção (dias)	60	60	45

A área disponível por ave foi maior no sistema FR (1355 cm² ave⁻¹), apresentando, porém, menor índice de mortalidade (8 %).

Quanto a quantidade de aves por área, verificou-se que no sistema C2 é possível alojar maior número de aves (50,43 aves m⁻²) e em FR, o menor (7,38 aves m⁻²).

3.3.2 FLUXOS DE MATERIAIS

Os diferentes sistemas de produção de ovos apresentam quantidades aproximadas de aves para produzir 1 kg de ovo (0,038 aves para C1, 0,039 para C2 e 0,036 para FR). Entretanto, observa-se determinadas divergências quanto ao fluxo de material que apresentam. Para a ração, verificou-se que essa diferença foi mais pronunciada durante a fase de cria, quando FR evidenciou um consumo quatro vezes maior comparado ao sistema C1, sendo a quantidade de milho e soja

consumida cinco e três vezes maior, respectivamente, quando comparado tanto ao sistema C1 quanto ao C2 (Tabelas 12, 13 e 14).

Tabela 12 - Fluxo de material para o sistema C1 conforme a unidade funcional adotada (UF = 1 kg de ovos) e durante as fases de cria, recria e postura

Entradas	Unidade	Cria	Recria	Postura	Total
1. Aves	Un.	-	-	-	0,038
2. Ração	kg	0,02	0,16	1,86	2,04
a) Milho	kg	0,01	0,09	1,13	1,23
b) Soja	kg	0,01	0,06	0,51	0,57
3. Maquinário	kg		0,023		
4. Água	m ³	0,02	0,2	2,15	2,38
5. Eletricidade	kWh	-	-	-	0,06
6. Material para cama	kg	NA	NA	NA	NA
7. Aquecimento das aves					
a) GLP	kg	0,0013	-	-	0,0013
b) Lenha	kg	NA	NA	NA	NA
8. Mão de obra	h	-	-	-	0,032
9. Diesel	L	-	-	-	0,02
10. Pesticidas	kg	-	-	-	1,13E-05
a) Herbicidas	kg	-	-	-	1,99E-11
b) Inseticidas	kg	-	-	-	1,13E-05
11. Medicamentos					
a) Vacinas	Doses	0,13	0,4	0	0,53
b) Demais medicamentos	kg	2,20E-06	7,90E-07	5,10E-05	5,40E-05
12. Desinfetantes	L	2,20E-06	3,40E-05	2,30E-04	2,60E-04
13. Depreciação instalações	m ²	3,30E-05	6,50E-04	6,60E-04	1,30E-03
14. Área ocupada	m ²	6,20E-04	3,90E-03	3,90E-03	8,30E-03
Saídas					
1. Ovos	kg	1			
2. Dejetos	kg			0,6	
3. Aves mortas	Un.	0,0002	0,0029	0,0035	0,0066

Maiores quantidades de ração consumida durante a cria podem ter ocorrido em função da linhagem e do tempo em que as aves permaneceram nessa fase, que variaram entre os sistemas. Comparando as exigências nutricionais das linhagens Dekalb White (DEKALB, 2019) e Lohmann Brown (LOHMANN, 2016) em seu manual, observa-se que para a linhagem e o período de cria consideradas em C1 (Dekalb White e 28 dias, respectivamente), foi calculada média semanal de 469 g ave⁻¹. Para C2 (Linhagem Dekalb White e 40 dias de cria), 866 g ave⁻¹ e para FR (Linhagem Lohmann Brown, 45 dias de cria), 1209 g ave⁻¹.

Foi possível observar que o sistema C1 obedeceu ao estabelecido no manual, apresentando consumo de 470,58 g ave⁻¹. O sistema C2 evidenciou consumo abaixo do estabelecido no manual (763,69 g ave⁻¹) e o sistema FR, 2136 g ave⁻¹, cujo valor é 43 % acima do recomendado.

Tabela 13 - Fluxo de material para o sistema C2 conforme a unidade funcional adotada (UF = 1 kg de ovos) e durante as fases de cria, recria e postura

Entradas	Unidade	Cria	Recria	Postura	Total
1. Aves	Un.	-	-	-	0,039
2. Ração	kg	0,03	0,15	1,99	2,17
a) Milho	kg	0,01	0,09	1,23	1,34
b) Soja	kg	0,01	0,05	0,46	0,53
3. Maquinário	kg			0,018	
4. Água	m³	0,04	0,18	2,06	2,28
5. Eletricidade	kWh	-	-	-	0,14
6. Material para cama	kg	NA	NA	NA	NA
7. Aquecimento das aves					
a) GLP	kg	NA	NA	NA	NA
b) Lenha	kg	0,0042	-	-	0,0042
8. Mão de obra	h	-	-	-	0,017
9. Diesel	L	-	-	-	0,0023
10. Pesticidas	kg	-	-	-	1,02E-05
a) Herbicidas	kg	-	-	-	4,17E-12
b) Inseticidas	kg	-	-	-	1,02E-05
11. Medicamentos					
a) Vacinas	Doses	0,32	0,43	0	0,75
b) Demais medicamentos	kg	-	-	0,07	0,07
12. Desinfetantes	L	1,30E-03		2,80E-05	6,00E-03
13. Depreciação instalações	m²	1,60E-05	2,30E-05	1,50E-05	5,50E-05
14. Área ocupada	m²	8,20E-04	1,20E-03	7,70E-04	2,70E-03
Saídas					
1. Ovos	kg				
2. Dejetos	kg			2,02	
3. Aves mortas	Un.	0,0008		0,0041	0,0049

Tabela 14 - Fluxo de material para o sistema FR conforme a unidade funcional adotada (UF = 1 kg de ovos) e durante as fases de cria, recria e postura

Entradas	Unidade	Cria	Recria	Postura	Total
1. Aves	Un.	-	-	-	0,036
2. Ração	kg	0,08	0,14	2,21	2,43
a) Milho	kg	0,05	0,07	1,38	1,5
b) Soja	kg	0,03	0,03	0,54	0,6
3. Maquinário	kg			0,012	
4. Água	m³	0,08	0,15	2,31	2,54
5. Eletricidade	kWh	-	-	-	0,24
6. Material para cama	kg	-	-	3,70E-04	3,70E-04
7. Aquecimento das aves					
a) GLP	kg	NA	NA	NA	NA
b) Lenha	kg	0,008	-	-	0,008
8. Mão de obra	h	-	-	-	0,064
9. Diesel	L	-	-	-	0,004
10. Pesticidas	kg	-	-	-	1,20E-06
a) Herbicidas	kg	-	-	-	1,20E-06
b) Inseticidas	kg	-	-	-	-
11. Medicamentos					
a) Vacinas	Doses	0,33	1,22	0,56	2,12
b) Demais medicamentos	kg	-	-	-	-
12. Desinfetantes	L	3,88E-06		6,90E-05	7,40E-05
13. Depreciação instalações	m²	7,88E-05		9,60E-05	1,80E-04
14. Área ocupada	m²	1,42E-03		4,90E-03	6,40E-03
Saídas					
1. Ovos	kg				
2. Dejetos	kg			0,32	
3. Aves mortas	Un.	0,00042		0,0027	0,0032

Embora a quantidade de ração utilizada durante a fase de cria tenha apresentado diferentes quantidades entre os sistemas, essa é responsável por apenas 0,98, 1 e 3 % do total de ração consumida em C1, C2 e FR, respectivamente.

Quantidades de ração, de milho e de soja durante a fase de recria, foram aproximadas entre os sistemas. Porém, para a fase de postura, o FR apresentou aumento de 16 % de ração consumida comparado a C1 e 11 % comparado a C2 para produzir 1 kg de ovo, o que pode ter ocorrido em função da exigência nutricional diferenciada para aves da linhagem utilizada e do maior período de postura (95 semanas).

Quanto à água consumida, as maiores discrepâncias entre os sistemas foram verificadas durante a fase de cria, sendo de 0,02 para C1, 0,04 para C2 e 0,08 m³ kg⁻¹ para FR, ou seja, para a fase de cria, o sistema FR apresentou consumo de água quatro vezes maior comparado com o sistema C1. Essa diferença provavelmente ocorreu em função da quantidade dos grãos consumidos na ração. Já para a fase de recria e postura, os resultados entre os sistemas foram aproximados.

Uma vez que os sistemas de cria e recria de C1, C2 e FR são os mesmos, os resultados indicam a necessidade de racionamento da ração distribuída para as aves durante a cria em FR.

A eletricidade foi quatro vezes maior para o sistema FR comparado ao C1 e 1,7 vezes maior que o sistema C2. O sistema C2, por sua vez, foi 2,3 vezes maior que o sistema C1. Esses resultados já eram esperados, visto que tanto o sistema C2 quanto FR são automatizados quanto à coleta de ovos e distribuição de ração, ao contrário do sistema C1, que é manual. Entretanto, o sistema C2 é intensivo, apresentando uma maior quantidade de aves por m², o que garante aumento da eficiência quanto à energia elétrica consumida por kg de ovo.

Como no sistema C1 e C2 as aves são criadas em gaiolas, somente no FR houve utilização de maravalha como material de cama para as aves, apresentando consumo de 0,00037 kg kg⁻¹.

Quanto aos insumos destinados ao aquecimento das aves na fase de cria, foram utilizados o GLP com consumo de 1,3 g kg⁻¹ para C1 e lenha, com 4,2 e 8,2 g kg⁻¹ para C2 e FR, respectivamente.

Os resultados indicam ainda que a quantidade de mão de obra necessária no sistema FR é duas vezes maior que o sistema C1 e 3,8 vezes maior que C2, o que é esperado uma vez que C1 e C2 são sistemas intensivos.

Quanto à depreciação das máquinas, observou-se que o maquinário do sistema C1 apresentou maior depreciação (23 g kg^{-1}) comparado aos demais, porém, se aproximou do sistema C2 (18 g kg^{-1}) e praticamente o dobro de FR (12 g kg^{-1}).

Referente ao diesel, o sistema C1 apresentou consumo sete vezes maior comparado ao sistema C2 e cinco vezes maior que o FR. Esses dados indicam a necessidade de rever a tecnologia adotada e a logística interna da empresa para reduzir o consumo desse combustível.

A quantidade de pesticidas dos sistemas intensivos (C1 e C2) foi aproximadamente nove vezes maior que do FR, o que pode ter ocorrido em virtude da maior área ocupada por essas granjas, necessitando de maior controle e manutenção tanto da vegetação quanto dos insetos e roedores.

Quanto as vacinas aplicadas nas aves, durante as fases de cria, as quantidades utilizadas para o sistema C2 e FR foram aproximadas, porém duas vezes e meia maior que o sistema C1. Já no sistema de recria, os valores de C1 e C2 foram aproximados, mas cerca de três vezes menor que o sistema FR. Na fase de postura, somente o FR fez uso das vacinas, o que garantiu para esse sistema o total de $2,12 \text{ doses kg}^{-1}$, bem como $0,75$ para C2 e $0,53$ para C1.

Para os desinfetantes, foram observadas quantidades mais elevadas para o sistema C2 ($5,97 \text{ L kg}^{-1}$) durante as fases de cria e recria comparado ao sistema C1 ($0,06 \text{ L kg}^{-1}$) e FR ($0,004 \text{ L kg}^{-1}$). Isso ocorre devido a maior frequência de aplicação de desinfetantes durante essas fases. Já na fase de postura, as quantidades de desinfetantes utilizadas no sistema C1 foram oito vezes maiores comparado ao sistema C2 e 3,24 vezes maiores que o sistema FR. No sistema FR o valor de consumo de desinfetantes foi 2,47 vezes maior comparado ao C2.

Em função da maior quantidade aplicada de desinfetantes durante a fase de cria e recria, garantiu com que o sistema C2 fosse o responsável por maiores usos de desinfetantes, cerca de 80 vezes mais que o sistema FR e 22 vezes maior que o sistema C1.

Referente a área utilizada, verifica-se que durante as fases de cria e recria o sistema C1 utiliza cerca de 2,3 e 3,15 vezes mais de área que o sistema C2 e FR,

respectivamente, durante as fases de cria e recria. Entretanto, para o C1, as maiores áreas utilizadas foram observadas para a recria. Conforme observado, na granja referente a esse sistema a quantidade de aves durante a fase de recria para galpões de mesma dimensão, dependia do modelo e da disposição das gaiolas. Nessa avaliação considerou-se um galpão de 12000 aves e 120 x 10 (comprimento x largura). Porém, para essa mesma dimensão, a variação pode variar de 8000 até 13000 aves.

Na fase de postura, o sistema FR utiliza cerca de 21 % a mais de área que o sistema C1. Sendo C2 mais intensivo, a área utilizada por esse sistema é 5,1 e 6,4 vezes menor que C1 e FR, respectivamente. Da área total, durante as três fases de criação, o sistema C2 ocupa 3 e 2,3 vezes menos área que o sistema C1 e FR, respectivamente. Paralelamente, no total, o sistema C1 ocupa 24 % a mais de área comparado a FR.

Com relação à depreciação das instalações, assim como do maquinário, observou-se que no sistema C1 obteve-se os maiores valores de depreciação para todas as fases de criação, sendo C2 o sistema que apresentou a menor depreciação.

Quanto às saídas dos sistemas, observou-se que o maior volume produzido de dejetos está associado ao C2 ($2,02 \text{ kg kg}^{-1}$). Para o sistema FR, a quantidade calculada se refere à mistura de dejetos e cama, apresentando valores de $0,32 \text{ kg kg}^{-1}$, ou seja, menores quantidades de dejetos produzidos comparado aos demais sistemas.

Para a mortalidade nas fases de cria e recria, verificou-se que o sistema C1 apresentou os maiores índices, cerca de 3,9 e 7,4 vezes maior que o sistema C2 e FR, respectivamente. Ainda, o sistema C2 evidenciou mortalidade 2 vezes maior que FR. Os maiores índices de mortalidade encontrados em C1 durante a fase de cria e recria foram acompanhados por menores quantidades aplicadas de vacinas e desinfetantes nessa fase, mesmo possuindo o mesmo sistema de criação que C2 e FR para essas fases. Já na fase de postura, o sistema C2 apresentou 15 % a mais de aves mortas que C1 e 34 % acima de FR. Comparando os sistemas C1 e FR, verificou-se que esse último apresentou redução de 23 %.

3.3.3 FLUXOS DE ENERGIA

Os fluxos de energia associados aos três sistemas permitiram observar que a mão de obra utilizada para produzir um kg de ovo foi maior para o sistema FR comparado aos demais, sendo C2 o sistema que apresentou os menores valores (Tabela 15).

Tabela 15 - Fluxos de energia dos sistemas de produção de ovos em função dos insumos utilizados (UF = 1 kg de ovo)

Entradas	C1	C2	FR
	MJ kg ⁻¹		
1. Mão de obra	0,06	0,03	0,12
2. Diesel	0,89	0,10	0,18
3. Instalações	2,37	0,26	0,82
4. Máquinas agrícolas	0,10	0,08	0,05
5. Ração	4,03	3,96	4,34
a) Soja	1,87	1,61	1,70
b) Milho	2,16	2,35	2,64
6. Pesticidas	4,04E-03	3,65E-03	5,14E-04
a) Herbicidas	7,11E-09	1,48E-09	5,14E-04
b) Inseticidas	4,04E-03	3,65E-03	-
7. Desinfetantes	1,10E-04	2,51E-03	3,08E-05
8. Eletricidade	0,88	2,11	3,67
9. GLP	0,04	-	-
10. Lenha	-	0,05	0,11
11. Maravalha	-	-	0,01
12. Pintos	0,20	0,20	0,19
Total	8,58	6,79	9,49

Quanto ao diesel, o sistema C1 apresentou valores de 0,89 MJ kg⁻¹. Já no sistema C2 foi observado o menor consumo (0,10 MJ kg⁻¹), como esperado, visto que foram evidenciados valores discrepantes comparado aos demais sistemas no seu fluxo de material. Para as instalações, uma vez que o sistema C2 é o mais intensivo e as instalações são novas, a energia consumida por kg de ovo foi a mais baixa comparada aos demais sistemas. O sistema C1 foi o que apresentou a maior depreciação energética (2,27 MJ kg⁻¹).

Considerando-se o total de soja e milho destinados à produção de ração, verifica-se que o FR apresentou demanda energética em 7 % e 9 % acima de C1 e C2. Entre C1 e C2, as quantidades foram aproximadas (4,03 e 3,96 MJ kg⁻¹, respectivamente).

Para a soja cultivada no MS e consumida no sistema C2, a energia total e incorporada no produto apresentou menores valores, cerca de 14 % de energia

abaixo de C1 e 5 % a menos que FR, sendo esse último sistema 9 % a menos de energia incorporada da soja na ração quando comparado a C1.

Já a demanda de energia no milho utilizado em FR foi 18 % maior que C1 e 11 % que C2, apresentando os sistemas, valores de 2,16, 2,35 e 2,64 MJ kg⁻¹ para o C1, C2 e FR, respectivamente.

Os herbicidas, inseticidas e desinfetantes apresentaram os menores valores de energia por unidade funcional. Porém, as maiores quantidades consumidas de herbicidas estão associadas ao sistema FR (0,51 kJ kg⁻¹). Entre os sistemas intensivos, C2 apresentou menores valores comparado a C1 (1,48 e 7,11 mJ kg⁻¹, respectivamente).

Não são utilizados inseticidas no sistema FR. Assim, ao comparar os demais sistemas, observou-se que o C1 apresentou quantidades mais elevadas comparado a C2 (4,04 e 3,65 kJ kg⁻¹, respectivamente). Já para desinfetantes, foi verificado que o sistema C2 foi o que mais consumiu esse insumo (2,51 kJ kg⁻¹), ao contrário de FR que, sendo o sistema que menos fez uso desse insumo, apresentou consumo de 0,031 kJ kg⁻¹.

Quanto à eletricidade, o FR evidenciou valor de consumo 43 % acima de C2. Foi observado valor de 0,88 para C1, 2,11 para C2 e 3,67 MJ kg⁻¹ para FR. O consumo mais elevado para C2 e FR provavelmente ocorreu em função desses sistemas serem automatizados, tanto na distribuição de ração quanto na coleta dos ovos.

Dentre os insumos utilizados para aquecimento das aves, verificou-se que o sistema C1 e C2 que consumiram GLP e lenha, respectivamente, apresentaram menor consumo de energia (40 kJ kg⁻¹ para C1 e 55 kJ kg⁻¹ para C2) comparado a FR (110 kJ kg⁻¹, respectivamente) que consumiram lenha, mesmo essa apresentando baixo consumo de energia incorporada.

A energia utilizada para produção das aves foi aproximada, uma vez que foi considerado o mesmo cenário para todos os sistemas, com pequena diminuição para FR, visto que esse sistema apresenta maior produtividade.

Considerando-se a contribuição das entradas no consumo de energia (Tabela 16), observa-se que a ração, a eletricidade e a depreciação energética das instalações foram responsáveis pelo maior consumo de energia incorporada.

Tabela 16 – Proporção dos fluxos de energia para as entradas avaliadas para os sistemas C1, C2 e FR

Entradas	C1	C2	FR
		%	
1. Mão de obra	0,74	0,50	1,31
2. Diesel	10,31	1,52	1,89
3. Instalações	27,67	3,79	9,14
4. Máquinas agrícolas	1,22	1,15	0,33
5. Ração	46,97	58,23	45,60
a) Soja	21,79	23,64	17,86
b) Milho	25,19	34,59	27,75
6. Pesticidas	0,047	1,50E-04	5,40E-03
a) Herbicidas	8,28E-08 ¹	2,18E-08	5,40E-03
b) Inseticidas	4,70E-02	5,38E-02	-
7. Desinfetantes	1,28E-03	3,70E-02	3,24E-04
8. Eletricidade	10,27	31,06	38,58
9. GLP	0,46	-	-
10. Lenha	-	0,81	1,11
11. Maravalha	-	-	0,08
12. Pintos	2,29	2,91	1,96

No sistema C1, a porcentagem de energia associada ao diesel se aproxima à eletricidade consumida (cerca de 10 %), ao contrário dos demais sistemas em que o diesel representou 1,52 e 1,89 % para C2 e FR, respectivamente. Outro resultado expressivo foi relacionado ao consumo de energia referente a eletricidade no sistema FR. Conforme os dados, a eletricidade representou 39 %, aproximadamente, da energia incorporada ao produto, comparado a 10 % do sistema C1 e 31 % para C2.

Assim como o diesel, a depreciação das instalações foi responsável por influenciar na participação dos demais insumos como a ração e a eletricidade, apresentando valores de 28 % do custo energético total de C1, uma vez que as instalações são antigas e já encontram-se depreciadas.

Embora a maravalha tenha sido utilizada somente no sistema FR, a sua participação quanto ao fluxo de energia desse sistema, contribuiu em apenas 0,08 %.

¹ E representa a base 10 elevada ao número à sua direita. Ex.: E-03 é igual a 10⁻³.

3.4 DISCUSSÃO

Dentre os sistemas avaliados, o FR apresentou maior consumo de ração comparado aos demais. Esses dados corroboram com os encontrados por Dekker et al. (2011) e Pelletier (2017). Dekker et al. (2011) observou valores de 1,99 kg kg⁻¹ para sistemas em gaiolas e 2,33 kg kg⁻¹ para o *free-range*. Já nos dados evidenciados por Pelletier (2017), o sistema *free-range* apresentou 2,17 kg de ração por kg de ovo em comparação com 2 kg de ração por unidade de massa de produto para a produção convencional em gaiolas, ou seja, diferem em 9 %. Esses resultados se aproximam aos encontrados no presente estudo quando compara-se os sistemas FR e C2 – endo que a estrutura desse último, se aproxima da estrutura dos galpões de produção de ovos do exterior - com FR apresentando consumo 10,69 % maior que C2.

Conforme o fluxo de material e energia observados, evidenciou-se a necessidade de melhorar a gestão do consumo de ração para a etapa de cria, seguindo as recomendações técnicas, uma vez que esse insumo é responsável pela maior demanda de energia para sua produção, assim conforme observado nos estudos de Leinonen et al. (2012), Ghasempour e Ahmadi (2016), Sefeedpari et al. (2016) e Pelletier (2017).

Assim como a ração, a eletricidade é um dos recursos mais utilizados para produzir os ovos e um dos que foram responsáveis por maior quantidade de energia incorporada do total utilizado, representando o segundo maior impacto quanto a demanda energética dos sistemas avaliados.

Esse resultado foi encontrado por Leinonen et al. (2012) e Wiedemann e McGahan (2011). Os autores observaram que o uso de eletricidade por kg de ovo foi semelhante entre os sistemas de aves criadas em gaiolas (ambientalmente controlado) e o *free-range*. Para sistemas de aves criadas em gaiolas, Leinonen et al. (2012) e Wiedemann e McGahan (2011) encontraram valores de 25 e 22 %, respectivamente. Já para o *free-range*, 19 e 17 % do total de energia primária utilizada na produção dos ovos. No presente estudo, foram observadas semelhanças para os resultados encontrados entre os sistemas, porém acima do encontrado na literatura (32 e 42 % para o C2 e o FR, respectivamente).

Para os insumos destinados ao aquecimento das aves, a maior energia utilizada foi encontrada em FR. Isso pode ter ocorrido em função da capacidade de

produzir calor do aquecedor (PAULINO et al., 2019), do isolamento do galpão e incidência de correntes de ar, bem como das condições climáticas do local (COBB, 2012), o que pode interferir nos custos para manter a temperatura de conforto dos pintos dentro da zona de termoneutralidade, uma vez que na fase de cria, essas aves necessitam que a temperatura do ar seja mantida entre 32 e 33 °C (NAZARENO et al. 2017). Segundo Cordeiro (2007) aquecedores de fornalha a lenha, como utilizado no sistema FR, para serem eficientes é necessário o isolamento e volume útil adequado do pinteiro, para que o ar aquecido não escape para a região externa à instalação.

Os motivos que conduzem à escolha do tipo de insumo para aquecimento das aves podem ser diversos, dentre eles ressalta-se que a lenha utilizada na produção de aves pode ser escolhida como melhor fonte de energia em função do custo de matéria-prima e prazo de entrega. Por outro lado, o GLP pode ser preferível de acordo com os critérios de eficiência energética, qualidade de vida no trabalho, impacto ambiental e investimento em equipamentos (COLLATTO et al. 2017).

Outro fator que pode ter influenciado na maior quantidade de lenha utilizada por kg de ovo é a densidade de alojamento dos pintos. No sistema FR foram encontradas densidades de 250 cm² ave⁻¹, 218 cm² ave⁻¹ em C1 e 228,75 cm² ave⁻¹ em C2. Devido a proximidade dos fluxos de referência entre os sistemas, ao relacionar a quantidade de insumo para aquecimento por ave, menores quantidades de aves por área em FR contribuíram no aumento da energia referente à lenha.

Os resultados referentes ao fluxo de material para a mão de obra encontrados nesse estudo foram evidenciados também por Agra CEAS Consulting (2004), Sumner et al. (2008, 2010), Sumner et al. (2011), que verificaram maior dispêndio de mão de obra em sistemas alternativos comparado a sistemas de criação de aves em gaiolas e ambientalmente controlados.

A maior porcentagem de diesel para o sistema C1 pode ser devido ao maior porte da granja que, conforme às características do sistema, que, no geral, exigem maior área por kg de ovo, necessitando de maior frequência de utilização das máquinas para manutenção da área, seja para o controle da vegetação e pragas, ou aplicação de desinfetantes ou transporte de insumos.

Ainda, o sistema C1 apresentou maior depreciação energética para o maquinário. Isso ocorreu devido ao maior tempo de utilização dos tratores, uma vez que muitos deles já encontram-se depreciados. O mesmo ocorreu em relação às

instalações desse sistema. Para todas as fases, as instalações encontram-se depreciadas.

O sistema FR foi o que apresentou a maior demanda de energia, o que pode ter ocorrido em função da maior conversão alimentar e valores mais altos para o consumo de eletricidade. Porém, se aproximou do sistema C1, diferenciando-se em 10 %. C2 apresentou os menores valores, sendo 21 % menor que C1 e 29 % abaixo de FR, visto que apresentou otimização no uso de combustíveis e menor depreciação das instalações.

Resultados onde se observou maior demanda energética para o sistema *free-range* comparado a sistemas convencionais foram encontrados por Dekker et al. (2011). Porém, para todos os sistemas avaliados por esses autores foram encontrados valores acima dos encontrados nesse estudo, cerca de 20,7 MJ por kg de ovo para sistemas em gaiola em bateria e 23,1 a 23,8 MJ por kg de ovo para sistemas *free-range*, o que pode ter ocorrido em função das diferenças na metodologia em relação a esse estudo, que se baseiam em índices de energia e entradas diferenciadas.

A energia incorporada pela mão de obra, maquinário, herbicidas, pesticidas, desinfetantes, maravalha, GLP e lenha representaram menos de 2 % da energia total para todos os sistemas avaliados. Resultados semelhantes para a cadeia avícola demonstrando essa menor participação desses insumos nos resultados totais também foram encontrados em estudos de Najafi et al. (2011), Sefeedpari et al. (2016), Pelletier (2017), Skunka et al. (2018).

Por falta de estudos na literatura, não foi considerado o fluxo de energia para os medicamentos, em função de serem utilizados ocasionalmente e em quantidades insignificantes comparado aos resultados totais (ABÍN et al., 2018). Considerando-se apenas o fluxo de material para esse insumo, evidenciou-se que o sistema FR apresentou a maior demanda, o que gera maiores custos, uma vez que os medicamentos utilizados entre os sistemas são semelhantes, assim como observado por Rajendran e Mohanty (2003) para sistemas de criação em cama.

Referente aos dejetos produzidos, em C2 a maior quantidade encontrada ocorreu devido a maior frequência da sua retirada, apresentando características diferenciadas de um dejetos que permanece por períodos longos sob as gaiolas, como maior umidade, teor de nitrogênio e matéria orgânica (AUGUSTO E KUNZ, 2011; DEKKER et al., 2011). Ao contrário do dejetos fresco, para o C1 e FR, a baixa

frequência de retirada e o maior contato com o ambiente externo favorece a sua perda de água, diminuição da quantidade, do volume e estabilização (AUGUSTO, 2007; AUGUSTO E KUNZ, 2011).

A mortalidade evidenciada durante a fase de cria e recria entre os sistemas produtivos deve ser investigada no sistema C1, visto que possui potencial para diminuição, já que o seu sistema de criação para essas fases é semelhante aos demais sistemas avaliados. Para a fase de postura, o sistema climatizado C2 apresentou o maior valor e o FR, o menor. Comparando-se esses valores aos índices zootécnicos observados para cada sistema, verificou-se no sistema C2 alta densidade de galinhas por unidade de área ($432 \text{ cm}^2 \text{ ave}^{-1}$), o que pode acarretar diversos problemas comportamentais e de sanidade que conduzem o lote à maiores índices de mortalidade (FERNANDES, 2016).

Além disso, uma vez que os galpões climatizados são fechados, um sistema de climatização ineficiente juntamente com altas densidades de alojamento, pode dificultar a perda de calor para o ambiente e conduzir ao aumento da mortalidade (KODAIRA, 2015). Entretanto, o nível de mortalidade em um rebanho é, portanto, um indicador quantitativo útil não apenas do bem-estar das aves (e, portanto, da expectativa do consumidor), mas também afeta outros aspectos da sustentabilidade, como a pegada ambiental e a viabilidade econômica do sistema de produção, uma vez que está associado ao aumento da carga ambiental por unidade de produto (WEEKS et al., 2016).

As máquinas agrícolas, embora representem menos de 2 % do total de energia, apresentam diferenças entre os sistemas. A energia depreciada para fabricação e manutenção de máquinas agrícolas em C1 foi cerca de 51 % acima do FR, e juntamente com o maior consumo de diesel, resultaram em impacto expressivo desse insumo no total de energia.

Os resultados permitiram observar que a ração, a eletricidade e o diesel, são os insumos que mais impactam a sustentabilidade dos sistemas, assim merecem maior atenção durante a sua gestão, evitando os desperdícios. Entre os sistemas, o sistema C2 sendo mais intensivo, apresentou otimização quanto ao uso de energia, verificando-se também que, nesse sistema, o avanço da tecnologia para a produção de ovos facilitou o processo de gestão ambiental, principalmente quanto ao manejo de dejetos, distribuição da ração e controle do ambiente térmico das aves.

Os maiores valores de energia referente ao sistema FR para as entradas analisadas, ocorreram em função da menor quantidade de aves por área e assim refletiram na maioria dos insumos utilizados, com exceção da quantidade de milho e soja, que foram aproximadas entre os sistemas, já que sua quantidade é padronizada por ave e por idade. Porém, foi identificado que para o caso avaliado há potencial para diminuição do desperdício de insumos, principalmente em relação à ração e a lenha utilizada para aquecimento das aves.

3.5 Conclusões

Entre os sistemas, o sistema C2 foi o que evidenciou melhor desempenho no uso dos recursos energéticos por unidade de produto. Tendo em vista que a ração, a eletricidade e o diesel são os insumos responsáveis pela maior demanda de energia e que foi identificado potencial de otimização no seu uso, ressalta-se a necessidade de melhoria na gestão da utilização desses recursos.

Referências

- ABÍN, R.; LACA, A.; LACA, A.; DÍAZ, M. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 160-168, 2018.
- Agra CEAS Consulting. Study on the socio-economic implications of the various systems to keep laying hens. Final Report for the European Commission. European Commission, Brussels, Belgium, 2004.
- AGRALE. 2019. Disponível em: <https://www.agrale.com.br/pdf/pt/tratores_4000_trator_agrale_4100_41004_1.pdf?date=1427046266>. Acesso em: 20 de out. 2019.
- AGRALE. 2019. Disponível em: <www.agrale.com.br/pdf/pt/tratores_4000_trator_agrale_4230_42304_1.pdf>. Acesso em: 20 de out. 2019.
- AGRITECH. 2016. Disponível em: <<http://www.agritech.ind.br/pdf/tractors/1145.pdf>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

AGRITECH. 2016. Disponível em:

<<http://www.agritech.ind.br/pdf/tractors/1175%20S%20Agricola.pdf>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

ANDRÉA, M.C.S. **Fluxos de energia em sistemas de produção de forragens**. 106 p. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas).- Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ARAUJO, D.M.; VILAR DA SILVA, J.H., DE ARAUJO, J.A., MAGALHAES TEIXEIRA, E.N., JORDAO FILHO, J.; GOMES RIBEIRO, M.L. Farelo de trigo na alimentação de poedeiras semipesadas na fase de recria. **Revista Brasileira de Zootecnia**, p. 67-72, 2008.

AUGUSTO, K.V.Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. 132 f. 2007. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

AUGUSTO, K.V.Z.; KUNZ, A. Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais. Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro científico (ALICE), 2011.

AULER, J.R.; TEIXEIRA, A.J.C.; TEIXEIRA, A.M.C.; BAPTISTA, É.C.S. Impacto da evolução futura dos preços dos ovos no desempenho de uma granja de aves de postura comercial. **Revista Universo Contábil**, v. 5, n. 2, p. 58-70, 2009.

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

BELL, D.D.; WEAVER, W.D.; NORTH, M.O. (Ed.). Commercial chicken meat and egg production. Springer Science & Business Media, 2002.

BOER, I.J.M.; CORNELISSEN, A.M.G. A method using sustainability indicators to compare conventional and animal-friendly egg production systems. **Poultry Science**, v. 81, n. 2, p. 173-181, 2002.

BOGGIA, A.; PAOLOTTI, L.; CASTELLINI, C. Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 1, p. 95-114, 2010.

- BOUSTEAD, I.; HANCOCK, G.F. **Handbook of industrial energy analysis**. E. Horwood, 1979. 422 p.
- BUCHANAN, A.H.; LEVINE, S.B. Wood-based building materials and atmospheric carbon emissions. **Environmental Science & Policy**, v. 2, n. 6, p. 427-437, 1999.
- CASTELLINI, C.; BASTIANONI, S.; GRANAI, C.; DAL BOSCO, A.; BRUNETTI, M. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 114, n. 2-4, p. 343-350, 2006.
- CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; HENRIKSSON, M.; SUND, V.; DAVIS, J. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs: 1990 and 2005. Swedish Inst. Food & Biotechnol., Gothenburg, Sweden, 2009.
- CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. 2003.
- CHAPAGAIN, A.K.; HOEKSTRA, A.Y. Water footprints of nations. 2004.
- COBB. Manual de Manejo de Frangos de Corte. 2009. Disponível em: <<https://wp.ufpel.edu.br/avicultura/files/2012/04/Cobb-Manual-Frango-Corte-BR.pdf>>. Acesso em: 10 de agosto de 2019.
- COLLATTO, D. C.; MANSILHA, R.B.; CHIWIACOWSKY, L.D; LACERDA, D.P. Multi-Criteria Analysis to Prioritize Energy Sources for Ambience in Poultry Production. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 19, n. 3, p. 363-370, 2017.
- CORDEIRO, M.B. **Análise de imagens na avaliação do comportamento, do bem-estar e do desempenho de pintos de corte submetidos a diferentes sistemas de aquecimento**. 111f. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2007.
- CRUZ, D.L.D.S.; VALE JÚNIOR, J.F.D.; CRUZ, P.L.D.S.; CRUZ, A.B.D.S.; NASCIMENTO, P.P.R.R. Physical and water properties of an Ultisol under natural forest and savanna and planted to pasture in Roraima, Brazil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 38, n. 1, p. 307-314, 2014.
- DALCIN, G. **Quantificação e análise das emissões de gases de efeito estufa em processos da cadeia avícola**. 204 p. 2018. Dissertação (Mestrado em Sistemas Ambientais Sustentáveis). Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, 2018.

- DEKALB. Relatório de produção – Sistema de produção em gaiola. 2019. Disponível em:<<https://www.dekalb-poultry.com/pt-br/products-pt-br/dekalb-white-pt-br/>>. Acesso em 13 de agosto de 2019.
- DEKKER, S. E. M.; DE BOER, I. J. M.; VERMEIJ, I.; AARNINK, A.J.A.; KOERKAMP, P. G. Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. **Livestock Science**, v. 139, n. 1, p. 109-121, 2011.
- DELGADO, M.F.; PIACENTE, F.J.; SALLA, A. Diagnóstico ambiental da produção avícola de postura: estudo sobre os dois principais sistemas de produção sob a ótica dos seus resíduos sólidos. **Revista de Micro e Pequenas Empresas e Empreendedorismo da Fatec**, v. 3, n. 1, p. 18-40, 2017.
- DU, J.; NOGUCHI, R.; AHAMED, T. Feasibility Study of Motor Powered Agricultural Tractors Based on Physical and Mechanical Properties of Energy Sources. *Agricultural Information Research*, v. 27, n. 2, p. 14-27, 2018.
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2017: Ano Base 2016. EPE, Rio de Janeiro, 2016.
- FERNANDES, D.P.B. **Enriquecimento ambiental para gaiolas convencionais de poedeiras em função de diferentes densidades de alojamento**. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) .Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- FERRAZ, S.P. **Análise de inventário de ciclo de vida da produção de ovos e consequências para a gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga. p. 72. 2015.
- FERRO, F.S.; SILVA, D.A.L.; LAHR, F.A.R.; ARGENTON, M.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S. Environmental aspects of oriented strand boards production. A Brazilian case study. **Journal of cleaner production**, v. 183, p. 710-719, 2018.
- FRANCETTO, T. R., ALONÇO, A. D. S., BRANDELERO, C., CHAGAS, G. S., & CIROLINI, R. S. Consumo horário de combustível em função do emprego de diferentes discos de corte associados ao sulcador disco duplo. In: XLIV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2015, São Pedro. Anais... Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015.
- GHASEMPOUR, A.; AHMADI, E. Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. **Journal of environmental Management**, v. 183, p. 980-987, 2016.

- HEIDARI, M.D.; OMID, M.; AKRAM, A. Optimization of energy consumption of broiler production farms using data envelopment analysis approach. **Modern Applied Science**, v. 5, n. 3, p. 69, 2011.
- HERNANDES, T.A.D.; BUFON, V.B.; SEABRA, J.E.A. Water footprint of biofuels in Brazil: assessing regional differences. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 8, n. 2, p. 241-252, 2014.
- HOEKSTRA, A.Y.; HUNG, P.Q. Virtual water trade. A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. **Value of water research report series**, v. 11, p. 166, 2002.
- IBGE. Levantamento sistemático da produção agrícola. 2019. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>>. Acesso em 05 de abril de 2019.
- JOHN DEERE. 2019. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/tratores/s%C3%A9rie-5e-utilitarios-55cv-95cv/5055e/>>. Acesso em: 20 out. De 2019.
- KAKIMOTO, S.K.; SOUZA FILHO, H.M. Cenário da cadeia produtiva do ovo no estado de são paulo. XXXIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. A Gestão dos Processos de Produção e as Parcerias Globais para o Desenvolvimento Sustentável dos Sistemas Produtivos. 2013. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2013_TN_STP_177_007_22377.pdf. Acesso em: 20 de maio de 2018.
- KODAIRA, V. **Avaliação de sistema de climatização em Poedeiras comerciais**. 97 f. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Animal) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, 2015.
- KOZIOSKI, G.V.; CIOCCA, M.L.S. Energia e sustentabilidade em agroecossistemas. **Ciência Rural**, v. 30, n. 4, p. 737-745, 2000.
- LEACH, G.; SLESSER, M. **Energy equivalents of network inputs to food producing processes**. Strathclyde University, 1973.
- LEINONEN, I.; WILLIAMS, A.G.; WISEMAN, J.; GUY, J.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. **Poultry Science**, v. 91, n. 1, p. 26-40, 2012.
- LIMA, P.G.; BRAGA, W.R.O.; LOURENZANI, A.E.B.S.; FORTI, J.C. Análise da gestão de resíduos sólidos gerados por galinhas poedeiras em uma granja

- familiar. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 10, n. 4, p. 403-415, 2016.
- LOHMANN. Acompanhamento de lotes. Disponível em: <<https://ltz.com.br/copia-acompanhamento-de-lotes-1>>. Acesso em 10 de agosto de 2019.
- MAHINDRA. 2019. Disponível em: <<https://www.aimsales.com.au/wp-content/uploads/MAHINDRA-4025-2-4WD-Brochure-Web1.pdf>>. Acesso em: 20 de out. 2019.
- MANTOAM, E.J. **Inventário de materiais, energia e emissões dos gases de efeito estufa na vida útil de máquinas agrícolas**. 123 p. 2016. Tese (Doutorado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- MANTOAM, E.J.; ROMANELLI, T.L.; GIMENEZ, L.M. Energy demand and greenhouse gases emissions in the life cycle of tractors. *Biosystems engineering*, v. 151, p. 158-170, 2016.
- MASSEY FERGUSON. 2019. Disponível em: <<http://www.masseyferguson.com.br/assets/especificacaoProduto/FOP%20FV%20MF%204700%20BAIXA.pdf>>. Acesso em: 20 de out. 2019.
- MILOTA, M.R.; WEST, C.D. HARTLEY, I.D. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood lumber production. **Wood and Fiber Science**, 37 Corrim Special Issue, pp. 47 – 57, 2005.
- MOLLENHORST, H.; BERENTSEN, P. B. M.; DE BOER, I. J. M. On-farm quantification of sustainability indicators: an application to egg production systems. **British Poultry Science**, v. 47, n. 4, p. 405-417, 2006.
- MOURA, J.F.P.; PIMENTA FILHO, C.; GONZAGA NETO, S.; LEITE, S.V.F.; GUILHERMINO, M.M.; MENEZES, M.P.C. Análise econômica da exploração de leite no cariri paraibano. **Acta Scientiarum**. Animal Sciences, v. 32, n. 2, 2010.
- NAJAFI, S.; KHADEM, ALHOSSEINI N.; AHMADAULI, O. Investigation of energy efficiency of broiler farms in different capacity management systems. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, v.2, n.2, p. 185-189, 2012.
- NAZARENO, A.C.; Silva, I.J.; Vieira, F.; Camargo, J.R.; Medeiros, S.R. Caracterização do microclima dos diferentes layouts de caixas no transporte de ovos férteis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 17, n. 3, 2013.

NEW HOLLAND. 2014. Disponível em:

<www.dalloggio.com.br/download/assets/files/all/5697953bb550b.pdf. Acesso em: 20 de out. 2019.

NEW HOLLAND. 2017. Disponível em:

<<https://www.pmemaquinas.com.br/files/meta/43470c6d-8f03-4ef4-b1a7-9c1539fb362b/d4ec0e5f-fb65-4f66-baaf-7e226c373a78/10.pdf>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

NEW HOLLAND. 2019. Disponível em:

<<http://newhollandmaisalimentos.com.br/Produtos.aspx>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

NISHIMURA, R. Análise de balanço energético de sistema de produção de biogás em granja de suínos: implementação de aplicativo computacional. 84 p. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.

NOVAK, L.R.; MANTOVANI, E.C.; MARTYN, P.J.; FERNANDES, B. Efeito do tráfego de trator e da pressão de contato pneu/solo na compactação de um Latossolo Vermelho-Escuro Álico, em dois níveis de umidade. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 27, n. 12, p. 1587-1595, 1992.

ODUM, H.T. **Environmental accounting: emergy and environmental decision making**. New York: Wiley, 370 p. 1996.

OLIVEIRA, D.; NASCIMENTO, J.W.; CAMERINI, N.L.; SILVA, R.C.; FURTADO, D.A.; ARAUJO, T.G. Desempenho e qualidade de ovos de galinhas poedeiras criadas em gaiolas enriquecidas e ambiente controlado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 18, n. 11, 2014.

OLIVEIRA, P.P.A.; PEDROSO, A.; de Almeida, R. G.; Furlan, S.; Barioni, L. G.; Berndt, A.; ... & HIGARASHI, M. Emissão de gases nas atividades pecuárias. In: Embrapa Suínos e Aves-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. Anais... Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. v. 2. 1 CD-ROM., 2011.

OLIVEIRA, R.S. Eficiência de painéis de fibras vegetais utilizados para sistemas de resfriamento evaporativo direto: um estudo experimental. **Revista Tecnologia**, v. 33, n. 1, p. 32-45, 2012.

- PALHARES, J.C.P. Estimando o consumo de água de suínos, aves e bovinos em uma propriedade. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2005.
- PATROCÍNIO FILHO, A.P ; PIMENTA, W.A.; CORTEZ, J.W. ; NAGAHAMA, H.J. ; COSTA, F.A.M.; RAMOS, R.L. Densidade e porosidade total do Argissolo Amarelo submetido a níveis de carga de diferentes tratores agrícolas de pneus. In: XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do solo, 2013, Florianópolis. Anais... Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013.
- PAULINO, M.T.F.; OLIVEIRA GRIESER, D.; TOLEDO, J.B. Criação de frangos de corte e acondicionamento térmico em suas instalações: Revisão. PUBVET, v. 13, p. 170, 2019.
- PAYANDEH, Z.; KHEIRALIPOUR, K.; KARIMI, M.; KHOSHNEVISAN, B. Joint data envelopment analysis and life cycle assessment for environmental impact reduction in broiler production systems. **Energy**, v. 127, p. 768-774, 2017.
- PELLETIER, N. Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type. **Journal of Cleaner Production**, 152, p. 167-180, 2017.
- PELLETIER, N.; IBARBURU, M.; XIN, H. A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. **Journal of cleaner production**, v. 54, p. 108-114, 2013.
- RAJENDRAN, K.; MOHANTY, S. Comparative economic analysis and constraints in egg production under cage vs. deep litter systems of rearing in India. **International Journal of Poultry Science**, v. 2, n. 2, p. 153-158, 2003.
- ROMANELLI, T.L. **Sustentabilidade energética de um sistema de produção da cultura de eucalipto**. 122 f. 2007. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Recursos Florestais)–Universidade de São Paulo/Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.
- ROMANELLI, T.L.; MILAN, M. Material flow determination through agricultural machinery management. **Scientia Agricola**, v. 67, n. 4, p. 375-383, 2010.
- ROMANELLI, T.L.; NARDI, H.S.; SAAD, F.A. Material embodiment and energy flows as efficiency indicators of soybean (*Glycine max*) production in Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 261-270, 2012.
- SANTOS, F.L.; FERNANDES, H.C.; RINALDI, P.C.N. Desenvolvimento de uma planilha eletrônica para a determinação da potência disponível na barra de tração de tratores agrícolas. **Engenharia na Agricultura**, v. 14, p. 122-130, 2006.

- SANTOS, T.; LUCAS JÚNIOR, J. Balanço energético em galpão de frangos de corte. Engenharia Agrícola, p. 25-36, 2004.
- SEFEEDPARI, P.; RAFIEE, S.; AKRAM, A.; CHAU, K. W.; PISHGAR-KOMLEH, S. H. Prophesying egg production based on energy consumption using multi-layered adaptive neural fuzzy inference system approach. **Computers and electronics in agriculture**, v. 131, p. 10-19, 2016.
- SILVA, I.J.O. Ambiência na produção de aves em clima tropical. Jaboticabal: SBEA, v. 1, p. 67-87, 2001.
- SILVA, V.P.; VAN DER WERF, H.M.; SOARES, S.R.; CORSON, M.S. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: an LCA approach. **Journal of Environmental Management**, v. 133, p. 222-231, 2014.
- SKUNCA, D.; TOMASEVIC, I.; NASTASIJEVIC, I.; TOMOVIC, V.; DJEKIC, I. Life cycle assessment of the chicken meat chain. **Journal of cleaner production**, v. 184, p. 440-450, 2018.
- SUMNER, D.A.; MATTHEWS, W.A.; MENCH, J.A.; ROSEN-MOLINA, J.T. The economics of regulations on hen housing in California. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 42, n. 3, p. 429-438, 2010.
- SUMNER, D.A.; ROSEN-MOLINA, J.T.; MATTHEWS, W.A.; MENCH, J.A.; K.R., RICHTER. Economic Effects of Proposed Restrictions on Egg-laying Hen Housing in California. Davis, CA: University of California Agricultural Issues Center, 2008. Disponível em: <http://aic.ucdavis.edu/publications/eggs/egg_initiative.htm>. Acesso em 13 de agosto de 2019.
- TOGASHI, C.K.; ANGELA, H.L.; FREITAS, E.R.; GUASTALLI, A.L.; BUIM, M.R.; SOARES, N.M.; GAMA, N.S. Efeitos do tipo de bebedouro sobre a qualidade da água eo desempenho e qualidade dos ovos de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, n. 8, 2008.
- VALTRA. 2016. Disponível em: <<http://www.valtra.com.br/assets/especificacaoProduto/BM100%20BAIXA%20FOP.pdf>>. Acesso em: 20 out. De 2019.
- VALTRA. 2016. Disponível em: <<http://www.valtra.com.br/assets/especificacaoProduto/BM100%20BAIXA%20FOP.pdf>>. Acesso em: 20 de out. 2019.

- VEIGA, J.P.S.; ROMANELLI, T.L.; GIMENEZ, L.M.; BUSATO, P.; MILAN, M. Energy embodiment in Brazilian agriculture: an overview of 23 crops. **Scientia Agricola**, v. 72, n. 6, p. 471-477, 2015.
- VIEIRA, J.C.; COSTA E SILVA, M.R. Modernização e intensificação da produção leiteira em debate, Piracanjuba/Goiás (1990-2013). **Estudos Sociedade e Agricultura**, v. 23, n. 1, 2015.
- WEEKS, C.A.; LAMBTON, S.L.; WILLIAMS, A.G. Implications for welfare, productivity and sustainability of the variation in reported levels of mortality for laying hen flocks kept in different housing systems: a meta-analysis of ten studies. **PLoS One**, v. 11, n. 1, p. e0146394, 2016.
- WIEDEMANN, S.G.; MCGAHAN, E.J. Environmental assessment of an egg production supply chain using life cycle assessment. Australian Egg Corporation Limited: Sydney, 2011.
- WILLIAMS, A. G.; AUDSLEY, E.; SANDARS, D. L. Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Cranfield University and DEFRA Research, Project ISO205, Bedford. Erosión hídrica y eólica-Degradación química y exceso de sales-Degradación biológica y física, 2006.

4. DESEMPENHO AMBIENTAL DE DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVOS NO BRASIL

Resumo

Os diferentes sistemas de produção de ovos associado à suas demandas de insumos e aos resíduos originados podem resultar em impactos ambientais, surgindo a necessidade de caracterizá-los, pela escassez de estudos que avaliem a sustentabilidade na cadeia de produção de ovos no Brasil. Assim, o objetivo desse estudo é caracterizar diferentes sistemas de produção de ovos quanto aos seus potenciais impactos ambientais. Foram caracterizados os principais sistemas de produção de ovos, sendo eles: os convencionais (C1: galpão aberto; e C2: climatizado) e alternativo (FR: *free-range*), tendo como indicador a demanda material por massa de ovo. O limite de avaliação abrangeu desde os insumos utilizados e a infraestrutura empregada até a produção dos ovos. A partir dos fluxos de material de cada um dos sistemas considerados, foi possível estimar o seu desempenho ambiental por meio de indicadores como: o potencial de aquecimento global (PAG), de acidificação (PA) e de eutrofização (PE). De acordo com os dados encontrados, o sistema C1 apresentou maiores valores de potencial de aquecimento global, com cerca de 7 % acima de FR; já o sistema C2 foi o menor, em 14 % e 8 % abaixo de C1 e FR, respectivamente. Para o PE, o sistema C2 evidenciou o menor valor (9,26 g de PO₄eq); já no sistema C1 obteve-se as maiores emissões (13,1 g PO₄eq), diferindo em cerca de 9 e 30 % de FR e C2, respectivamente. Quanto ao PA do sistema FR foi observada emissão em 34 % acima de C1 e 32 % maior que C2, o que pode ter ocorrido em virtude das emissões oriundas dos dejetos e da ração, cujas fontes foram as que mais contribuíram nos resultados totais de PA. Dos recursos utilizados dentro de cada sistema, a ração representa 71 % do PAG para C1, 85 % para C2 e 88 % para FR. Já o diesel, cerca de 15 % para C1, 2% para C2 e 3 % para FR. Conforme observado, ao comparar os diferentes sistemas de produção de ovos, a ração é o insumo que mais necessita de foco quanto a sustentabilidade dos sistemas de criação das aves, havendo a necessidade de revisão das formulações das rações. Ainda, verificou-se que insumos para o aquecimento das aves, métodos de manejo dos dejetos e tratamento de aves mortas deveriam ser substituídos por outras fontes menos poluidoras e acessíveis ao produtor.

Palavras-chave: Aquecimento global, Acidificação, Eutrofização, Emissões, Análise de ciclo de vida, Sustentabilidade

Abstract

The different egg production systems associated with their input and waste demands can result in environmental impacts, resulting in the need to characterize them due to the scarcity of studies that evaluate the sustainability in the egg production chain in Brazil. Thus, the aim of this study is to characterize different egg production systems regarding their potential environmental impacts. The main egg production systems were characterized, namely: conventional (C1: open shed; and C2: acclimatized) and alternative (FR: *free-range*), having as indicator the material demand for egg mass. The assessment limit ranged from the inputs and the

infrastructure used to egg production. From the material flows of each of the systems considered, it was possible to estimate their environmental performance through indicators such as: global warming potential, acidification, eutrophication. According to the data found, C1 system presented higher values of global warming potential, with about 7 % above FR. The smallest C2 system, at 14 % and 8 % below C1 and FR, respectively. For PE, C2 system presented the lowest value (9.26 g of PO₄eq), while C1 system has the highest emissions (13.1 g PO₄eq), differing by 9 and 29 % of RF and C2, respectively. Regarding the PA from the FR system, emissions were observed in 34 % above C1 and 32 % higher than C2, which may have been due to emissions from manure and feed, whose sources were the ones that contributed the most to the total results of PA. From the resources used within each system, feed represents 71 % of GWP for C1, 85 % for C2 and 88 % for FR. Diesel, in turn, figured around 15 % for C1, 2 % for C2 and 3 % for FR. As observed, when comparing the different egg production systems, feed is the input that most require focus on the sustainability of poultry farming systems, with the need to review feed formulations. In addition, it has been found that poultry warming inputs, manure management methods and treatment of dead birds can be replaced by other less polluting sources and also accessible to producers.

Keywords: Global warming, Acidification, Eutrophication, Emissions, Life cycle assessment, Sustainability

4.1 Introdução

O grande desafio da indústria avícola é produzir alimentos de qualidade, reduzir os impactos ambientais da produção intensiva de alimentos, atender as expectativas dos consumidores, satisfazer as regulamentações ambientais e maximizar a lucratividade. Em função desses fatores, diversos sistemas de produção de ovos surgiram, intensivos e alternativos; porém, um único sistema não reúne todas essas características (FREEMAN et al., 2009).

Sistemas alternativos foram criados para atender as necessidades de bem-estar dos animais e as exigências de um nicho de mercado (PETTERSON et al., 2016; CAMPBELL et al., 2017). Entretanto, estudos indicam que podem apresentar resultados aproximados a sistemas intensivos quanto ao impacto ambiental (MOLLENHORST et al., 2006; LEINONEN et al. 2012; PELLETIER et al., 2017), embora a criação convencional de aves possa maximizar a lucratividade em detrimento do bem-estar das aves.

Sabe-se que a demanda por insumos na agropecuária pode resultar em depauperação do ambiente, com consequentes impactos ambientais. De acordo com Boggia et al. (2010) e Silva et al. (2014), a fase de produção de alimentos

contribui mais para o aumento do impacto ambiental do sistema em geral do que a fase de criação de animais, principalmente quanto à emissão de gases do efeito estufa, que é uma das principais consequências geradas pela atividade (BUNTON et al., 2007; NIMMERMARK et al., 2009; XIN et al., 2011; LEINONEN et al., 2012; SHEPHERD et al., 2015). Juntamente com a ração, estudos indicam a eletricidade como um dos grandes responsáveis na geração de impactos ambientais na cadeia de produção de ovos (LEINONEN et al., 2012; PELLETIER et al., 2013; GHASEMPOUR e AHMADI, 2016; PELLETIER, 2017),

Formas de minimizar esses impactos são por meio do planejamento e gerenciamento dos recursos, melhorando o desempenho em áreas-chave como uso da água, consumo de energia e poluição ambiental (GHASEMPOUR E AHMADI, 2016).

Uma das ferramentas utilizadas como instrumento no processo de gestão ambiental é a predição dos possíveis impactos ambientais decorrentes da atividade, pois permite realizar o levantamento das fontes poluidoras e o potencial de melhoria quanto ao seu desempenho ambiental, identificando pontos críticos para que medidas preventivas sejam colocadas em prática (CASTELLINI et al., 2006; MOLLHENHORST et al., 2006; CEDERBERG, 2009; BOGGIA et al., 2010; DEKKER et al., 2011; LEINONEN et al., 2012; PELLETIER et al., 2013; SILVA et al., 2014; FERRAZ, 2015; GHASEMPOUR E AHMADI, 2016; PELLETIER, 2017; ABÍN et al., 2018).

No Brasil, estudos que avaliem a sustentabilidade dos diferentes sistemas de produção de ovos são escassos, o que faz com que surja a necessidade de caracterizá-los, visto que o país apresenta peculiaridades tanto com relação às instalações, quanto com às condições climáticas e de manejo que são fatores que podem interferir no desempenho produtivo das aves, na otimização do uso dos recursos e consequentemente no potencial de sustentabilidade da atividade.

Tendo em vista essa premissa, para realizar uma predição dos possíveis impactos ambientais que a atividade pode gerar, o objetivo desse estudo é caracterizar diferentes sistemas de produção de ovos quanto aos potenciais impactos ambientais que podem gerar (potencial de aquecimento global, eutrofização e acidificação).

4.2 Material e Métodos

O presente capítulo baseou-se na caracterização de três distintos sistemas de produção de ovos, sendo os convencionais (galpões abertos:C1 e fechados:C2) e alternativo (*free-range*:FR).

A partir do fluxo de material de cada um dos sistemas considerados, foi possível estimar o seu desempenho ambiental por meio de indicadores como: potencial de aquecimento global em uma escala de tempo de 100 anos (PAG), em kg de CO₂ eq kg⁻¹ de ovo; de acidificação (PA), em g de SO₂eq, e de eutrofização (PE), em g de PO₄eq por kg de ovo.

A descrição dos sistemas de produção de ovos avaliados, os limites do estudo, a unidade funcional utilizada e os parâmetros considerados para elaboração do fluxo de material estão evidenciados no capítulo 3.

4.2.1 Categorias de impacto ambiental

Foram avaliados os impactos nas seguintes categorias: potencial de aquecimento global, em kg de CO₂eq kg⁻¹ de ovo; de acidificação, em g de SO₂eq, e de eutrofização, em g de PO₄eq (GUINÉE et al., 2002).

Para a estimativa das categorias de impacto ambiental supracitadas, foram consideradas as seguintes entradas: Eletricidade, diesel, lenha, produção de aves (incubação dos ovos), GLP, maravalha, ração, maquinário, infraestrutura (galpões de postura) e área externa ocupada pelas aves. Para o cálculo de cada categoria de impacto ambiental considerada, foi utilizado o software OpenLCA 1.9.0 (2018), método CML 2001.

4.2.1.1 Eletricidade

Para as emissões relacionadas à eletricidade foram utilizados os dados de Ribeiro (2003), considerando-se a construção e operação da usina para estimativa das emissões brasileiras. Foram consideradas as quantidades emitidas de CH₄, CO, CO₂, NO_x e SO_x (1,32.10⁻⁴; 5,10.10⁻⁷; 1,19.10⁻³; 1,41.10⁻⁶; e 1,46.10⁻⁷ kg kWh⁻¹ produzido, respectivamente).

4.2.1.2 Diesel

Para o diesel, foram utilizados dados de emissão de gases da produção, considerados por Marzullo (2007), e queima de combustíveis fósseis indicados por GHG protocol v2018.1.4 (2018), EMEP/CORINAIR (2000) e EMEP/EEA (2016) para fontes fixas e estacionárias.

4.2.1.3 Lenha

Para a lenha, fatores de emissão relacionados à produção de eucalipto foram retirados de Barrantes (2016). Para as emissões diretas, dados referentes ao CO₂, CH₄ e NO₂ emitidos foram retirados de GHG protocol v2018.1.4 (2018), sendo 1,82 Mg de CO₂, 5,43 kg de CH₄ e 72,0 g de NO₂ por kg de lenha utilizada. De acordo com a ferramenta, esses dados foram calculados com base no teor de carbono na madeira (0,496 %) e no PCI (18087 MJ kg⁻¹), usando dados da publicação SPT 008/1982 da Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. Demais emissões atmosféricas como NO_x, SO_x e CO foram retiradas de EPA (1999) e Cetesb (2009).

4.2.1.4 GLP (gás liquefeito de petróleo)

As emissões referentes à produção de GLP foram retiradas de Kaushik e Muthukumar (2018). Fatores de emissão relacionado à combustão foram obtidos de MCTIC (2016) e se referem à combustão estacionária, cujos dados são considerados para a realidade brasileira de acordo com GHG protocol v2018.1.4 (2018) e de EMEP/CORINAIR (2009) para as demais emissões atmosféricas como CO, NO_x e SO_x.

4.2.1.5 Incubação dos ovos

Para a produção de pintos de 1 dia, foram considerados a eletricidade (em kWh) e o uso de diesel (litros) necessários para a incubação dos ovos. Esses dados foram retirados de Dalcín (2019), baseando-se na média do uso desses insumos

durante dois anos consecutivos. A partir do número de ovos incubados e, considerando a taxa de eclosão de 0,88 (ROSA e AVILA, 2000), foi possível calcular a quantidade de aves nascidas, calcular o valor dos insumos por ave e, multiplicando-se o valor encontrado pelo fluxo de referência relativo a cada sistema de produção de ovos, foi possível encontrar a quantidade de diesel e eletricidade por kg de ovo produzido. As emissões referentes à eletricidade e diesel foram coletadas de Ribeiro (2003), Marzullo (2007) e da ferramenta GHG protocol 2018.1.4 (2018), respectivamente.

4.2.1.6 Maravalha

Dados relacionados às emissões de gases para produção da maravalha foram definidas em função das informações obtidas da indústria referente à quantidade de madeira e rendimento da maravalha. Foram consideradas as seguintes etapas de produção: cultivo de pinus, geração de energia, corte, secagem e enfardamento.

A partir do conhecimento do processo de produção, foi realizado o levantamento da potência dos equipamentos necessários ao processo produtivo e horas trabalhadas, para contabilização da eletricidade. Dados referentes ao cultivo de pinus foram retirados de Ferro et al. (2018). Dados referentes ao processo de secagem da madeira foram obtidos de Milota et al. (2005), utilizados também por Ferro et al. (2018) para modelar sistemas brasileiros de produção de painéis.

4.2.1.7 Ração

Para a ração, foram consideradas as emissões para o ar, solo e água, nos estágios de produção, processamento e secagem dos grãos. O cálculo da emissão de gases foi realizado em função da soja e do milho, ambos os ingredientes produzidos no centro-oeste do Brasil. Para a soja, foi considerado o seu cultivo, secagem do grão e processamento. Já para o milho, o seu cultivo e secagem do grão. Os dados foram obtidos a partir do inventário para produção de ração de frangos de corte dos estudos de Alvarenga et al. (2012), adaptado para esse estudo, ao adequá-lo à quantidade de milho e soja contido na ração das aves dos três sistemas de produção.

4.2.1.8 Maquinário

As emissões de gases (em massa de CO₂eq) relacionadas à fabricação e manutenção de tratores foram estimadas em função de estudo elaborado por Mantoam (2016), conforme a Equação 11.

$$IEMM = -0,0003 M + 5,9845 \dots\dots\dots \text{Eq. (11)}$$

Em que:

IEMM = Indicador emissões pela massa (em kg CO₂eq kg⁻¹);

M = Massa do trator (em kg).

As emissões totais foram calculadas em função da soma das emissões demandadas na fabricação e na manutenção de tratores. O ciclo de vida útil considerado para todas as máquinas foi de 15000 horas, conforme a Conab (2010) (Tabela 17).

Tabela 17 - Emissões de CO₂eq em função da massa e da quantidade de aves durante a vida útil

Sistema de produção	Modelo	Massa do maquinário (kg)	Emissão pela massa (kg de CO ₂ eq kg ⁻¹)	Emissão por ave (kg CO ₂ eq ave ⁻¹)
C1	Yanmar YA4G	2500	5,23	0,004
	Yanmar 1145-4	1365	5,58	0,002
	New holland TT3840F	2640	5,19	0,004
	Yanmar 1175 S	3911	4,81	0,006
	New Holland TL75E	3880	4,82	0,006
	New Holland T6 120	5070	4,46	0,007
	Valtra bm 110	5936	4,20	0,008
	Valmet 68	3030	5,08	0,005
	Valmet 880	2156	5,34	0,004
	Valmet 65 id	3320	4,99	0,005
	Valtra 785	2650	5,19	0,004
	Massey 235	1735	5,46	0,003
	Massey 235	1735	5,46	0,003
Total				0,062
C2	Valmet 65	3320	4,99	0,007
	Valmet 85	1635	5,49	0,004
	John Deere 505 E	2550	5,22	0,006
	Valtra BM 100	5936	4,20	0,011
	Massey Ferguson 50-X	3020	5,08	0,007
Total				0,034
FR	Mahindra 4025 4WD	2360	5,28	0,019
	Agrale 4230	1480	5,54	0,013
	Valmet 65	3320	4,99	0,025
	Massey 4707	4125	4,75	0,023
	Agrale 4100	1160	5,64	0,008
Total				0,088

Os dados de emissões totais referente a cada máquina foram divididos pelo número de aves criadas durante o ciclo de vida, considerando-se a capacidade total

de criação de aves para postura da granja, o período de criação e o tempo de inatividade entre ciclos de produção.

Resultados de emissões de CO₂eq ave⁻¹ foram multiplicados pelo fluxo de referência para obter valores em kg CO₂eq kg⁻¹ de ovo.

4.2.1.9 Emissões dos dejetos

Os dejetos das aves são fontes de emissões gasosas diretas de amônia (NH₃), óxido nitroso (N₂O) e, em menor medida, metano (CH₄) que ocorrem durante a habitação das aves, o armazenamento e o manejo na terra (LEINONEN et al., 2012).

Para a estimativa das emissões atmosféricas geradas em cada sistema de produção de ovos, foi utilizada a metodologia proposta pelo IPCC (2006).

4.2.1.9.1 Emissões de CH₄ associadas aos dejetos

O cálculo das emissões de CH₄ que se referem ao manejo dos dejetos foi realizado a partir da Equação 12.

$$CH_{4Dejetos} = \sum_k \left(\frac{FE_T N(T)}{10^6} \right) \dots \dots \dots \text{Eq. (12)}$$

Em que:

CH_{4Dejetos} = emissões de CH₄ provenientes do manejo de dejetos, para uma população definida (kg CH₄ ano⁻¹);

FE_(T) = fator de emissão para a população de animais definida (kg CH₄ cabeça⁻¹ano⁻¹);

N_(T) = o número de cabeças de espécies animais/categoria T;

T = espécie/categoria

O fator de emissão para a população de aves em kg CH₄ cabeça⁻¹ano⁻¹ foi de 0,03, conforme estabelecido por IPCC (2006) para galinhas poedeiras criadas em sistemas sem cama. Os dados foram então transformados em kg de CH₄ por ciclo de produção considerando-se o período total de criação das aves.

4.2.1.9.2 Emissões diretas de N₂O

A estimativa das emissões diretas de N₂O foi realizada a partir da Equação 13:

$$N_2O_D = \left[\sum_S \left[\sum_T (N_{(T)} N_{ex(T)} MS_{(T,S)}) \right] FE_{3(S)} \right] \frac{44}{28} \dots \text{Eq. (13)}$$

Em que:

N₂O_D = emissões diretas de N₂O (kg ano⁻¹);

S = sistema de manejo de dejetos;

T = categoria animal;

N_(T) = número de cabeças da categoria animal T;

N_{ex(T)} = média anual da excreção de N por cabeça de categoria animal T (kg N ave⁻¹ ano⁻¹);

MS_(T,S) = fração de nitrogênio total excretado anualmente para cada categoria animal T, do sistema de manejo de dejetos S;

FE_{3(S)} = fator de emissão para as emissões diretas de N₂O do sistema de manejo de dejetos S, (kg N₂O-N kg⁻¹ N);

44/28 = conversão das emissões de N₂O-N para emissões de N₂O.

A N_{ex(T)} foi calculada em função do peso vivo (PV) médio das aves para cada linhagem estudada e dos valores padrão para a taxa de excreção de nitrogênio (kg N (1000 kg PV)⁻¹ dia⁻¹) estabelecido por IPCC (2006) de 0,6 para aves menores que um ano e 0,82 para aves com idade maior ou igual a 1 ano. O peso para cada semana de criação foi coletado do manual de cada linhagem estudada (Dekalb White e Lohmann Brown).

Para o sistema FR foi considerado que 12 % do total do dejetos foi excretado na área externa ao galpão, cuja proporção foi utilizada por Misselbrook et al. (2000).

O MS_(T,S) considerado foi de 0,03, conforme especificado por IPCC (2006). Para o sistema C1 foi estabelecido um FE_{3(S)} de 0,02, assim como recomendado para áreas confinadas abertas. Em função da retirada periódica dos dejetos do interior do galpão no sistema C2, considerou-se nulo o valor de FE_{3(S)} (IPCC, 2006).

Para o sistema FR, considerou-se um $FE_{3(S)}$ de 0,001, devido a cama disponível às aves e de 0,02 referente a área externa do galpão (IPCC, 2006).

4.2.1.9.3 Emissões indiretas de N_2O devido à volatilização de N

Das emissões indiretas de N_2O que se referem ao manejo de dejetos, as principais estão na forma de NH_3 e NO_x . A mensuração dessas emissões que se caracterizam pela consequente perda de nitrogênio, assim volatilizado, foi calculada por meio da Equação 14 (FERRAZ, 2015).

$$N_{Volatilização-MMS} = \sum_S \left[\sum_T \left[(N_{(T)} N_{ex(T)} MS_{(T,S)}) \left(\frac{Frac_{gasMS}}{100} \right)_{(T,S)} \right] \right] \dots \text{Eq. (14)}$$

Em que:

$N_{volatilização-MMS}$ = quantidade de N perdido, a partir do manejo do dejetos, devido à volatilização da NH_3 e NO_x ($kg\ N\ ano^{-1}$);

S = sistema de manejo de dejetos;

T = categoria animal;

$N_{(T)}$ = número de cabeças da categoria animal T;

$N_{ex(T)}$ = média anual de excreção de N por cabeça da categoria animal T ($kg\ N\ animal^{-1}ano^{-1}$);

$MS_{(T,S)}$ = fração de nitrogênio total excretado anualmente para cada categoria animal T, manejada no sistema de tratamento de dejetos S;

$Frac_{gasMS}$ = percentual de Nitrogênio gerenciado para T categoria de animais que volatiliza como NH_3 e NO_x no sistema de manejo de dejetos S (%).

Após o cálculo do N volatilizado, foi possível estimar as emissões indiretas totais de N_2O , a partir da Equação 15:

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{volatilização-MMS} FE_4) \frac{44}{28} \dots \text{Eq. (15)}$$

Em que:

$N_2O_{G(mm)}$ = emissões indiretas de N_2O devido à volatilização de N, a partir do manejo dos dejetos, em $kg\ N_2O\ ano^{-1}$.

FE_4 = fator de emissão para emissões de N_2O a partir da deposição atmosférica nos solos e em águas superficiais, $kg\ N_2O-N\ (kg\ NH_3-N+NO_X-N_{volatilizado})^{-1}$.

Para as emissões indiretas, o $Frac_{gasMS}$ considerado foi de 55 % para sistemas sem cama. Para o sistema FR, em função da presença de cama, o IPCC (2006) recomenda um $Frac_{gasMS}$ de 40 % referente à área de alojamento das aves e de 20 % para a área externa.

Para todos os sistemas, assim como para a área externa do sistema FR, o FE_4 adotado foi de 0,01, conforme indicado por IPCC (2006).

4.2.1.9.4 Emissões indiretas de N_2O devido à lixiviação de N

No sistema FR em que as aves possuem acesso à área externa para pastejo, diferentes proporções de dejetos são depositados na área interna e externa ao galpão, o que pode ocasionar em emissões de óxido nitroso por lixiviação de nitrogênio (FAO, 2016). Assim, o IPCC (2006) orienta que essas emissões indiretas sejam calculadas conforme a Equação 16 e 17:

$$N_{Lixiviado-MMS} = \sum_S \left[\sum_T \left[(N_{(T)} N_{ex(T)} MS_{(TS)}) \left(\frac{Frac_{gasMS}}{100} \right)_{(TS)} \right] \right] \dots \text{Eq. (16)}$$

Em que:

$N_{Lixiviado-MMS}$ = quantidade de N lixiviado do sistema de manejo do dejetos ($kg\ N\ ano^{-1}$);

$Frac_{gasMS}$ = percentual de nitrogênio gerenciado para T categoria de animais devido ao escoamento e lixiviação (%).

$$N_2O_{L(mm)} = (N_{Lixiviado-MMS} FE_5) \frac{44}{28} \dots \text{Eq. (17)}$$

Em que:

$N_2O_{L(mm)}$ = emissões indiretas de N_2O devido à lixiviação de N, a partir do manejo dos dejetos, em $kg\ N_2O\ ano^{-1}$;

FE_5 = fator de emissão para emissões de N_2O a partir da lixiviação e escoamento, $kg\ N_2O-N\ (kg\ N_{lixiviado/escoado})^{-1}$.

Conforme recomendado por IPCC (2006), o $Frac_{Lixiviação}$ e o FE_5 adotado foi de 30 % e 0,0075, respectivamente.

Os dados referentes às emissões diretas e indiretas de N_2O foram convertidos em kg de N_2O por ciclo de produção.

4.2.1.9.5 Emissão de amônia

Para a amônia, considerou-se as médias encontradas em estudo de Gac et al. (2007), no qual os autores definiram os fatores de emissão de amônia em função do levantamento de 167 estudos na área, com base no nitrogênio excretado por ave. A quantidade de nitrogênio excretado por animal foi calculada conforme já descrito nesse estudo, em função do peso e da idade das aves.

4.2.1.10 Incineração e compostagem de carcaças

Conforme descrito anteriormente, no sistema C1 o descarte de aves mortas é feito por meio de incineração. Para estimar as emissões que ocorrem durante a incineração foram utilizados fatores de Schleicher et al. (2001), Chen et al. (2004), Santarsiero et al (2005), Toda (2006), Aasestad (2008), EEA (2009) e Webfire (2012), considerados por Hjelgaard (2013).

As emissões consequentes da compostagem em C2 e FR foram estimadas com base nos dados de Oliveira et al. (2018).

4.3 Resultados

A partir dos cálculos realizados para a estimativa dos impactos ambientais decorrentes das atividades nos diferentes sistemas produção de ovos, foi observado

que o sistema C1 causou o maior impacto ambiental, tendo em vista os maiores valores encontrados para o PAG e PE (Tabela 18).

Tabela 18 - Potencial de aquecimento global (PAG), de eutrofização (PE) e acidificação (PA) em função da fonte de emissão para os sistemas de produção de ovos avaliados (UF = 1kg de ovo)

Fonte de emissão	Categorias de impacto ambiental								
	PAG (g CO ₂ eq)			PE (g PO ₄ eq)			PA (g SO ₂ eq)		
	C1	C2	FR	C1	C2	FR	C1	C2	FR
1. Ração (total)	276	284,49	318,96	7,86	8,19	9,2	16,47	17,82	19,95
a. Milho	220	232,41	260	5,47	5,97	6,68	15,51	16,92	18,94
b. Soja	56	52,08	58,96	2,39	2,22	2,52	0,96	0,9	1,01
2. Maquinário	2,40	1,30	3,20	-	-	-	-	-	-
3. Eletricidade	0,27	0,63	1,08	1,1E-05	2,57E-05	4,4E-05	5,92E-05	1,38E-04	2,37E-04
4. GLP	4,04	-	-	4,06	-	-	4,15E-03	-	-
5. Lenha	-	1,16	0,97	-	1,11E-03	2,18E-03	-	2,63E-03	5,13E-03
6. Incubação	0,039	0,040	0,037	4,21E-05	4,32E-05	3,98E-05	2,26E-04	2,32E-04	2,14E-04
7. Diesel	58,68	6,75	11,73	0,11	0,01	0,02	0,61	0,07	0,12
8. Maravalha	-	-	0,36	-	-	0,0035	-	-	0,019
9. Tratamento de aves mortas	0,6	0,15	0,11	0,020	0,021	0,016	0,1	0,11	0,084
10. Emissão dos dejetos	47,73	41,08	28,04	1,04	1,04	2,68	5,58	5,6	14,41
Total	389,76	335,60	364,49	13,09	9,26	11,92	22,76	23,60	34,59

De acordo com os dados encontrados, os maiores valores de PAG encontrados em C1 estão cerca de 6,67 % acima de FR. Já o sistema C2 os menores valores, com 14 % e 8 % abaixo de C1 e FR, respectivamente.

Para o PE, o sistema C2 apresentou o menor valor (9,26 g PO₄eq), já no sistema C1 obteve-se as maiores emissões (13,09 g PO₄eq), diferindo em 9 e 29,23 % de FR e C2, respectivamente.

Quanto ao PA do sistema FR, foi observada emissão em 34 % acima de C1 e 32 % maior que C2, o que pode ter ocorrido em virtude das emissões oriundas dos dejetos e da ração, cujas fontes foram as que mais contribuíram nos resultados totais de PA.

Considerando-se as fontes poluidoras, verificou-se que emissões referentes às aves produzidas no incubatório, apresentaram valores aproximados entre os sistemas para todas as categorias de impacto ambiental consideradas, o que ocorreu em função da proximidade entre o seu fluxo de referência e por ter sido utilizado o mesmo cenário para os três sistemas.

Quanto ao cultivo do milho e da soja, as maiores emissões se referem ao sistema FR para todas as categorias de impacto ambiental. Tendo em vista os valores totais para a ração relacionados ao cultivo e processamento do milho e da soja, o sistema FR apresentou maiores resultados de emissões para PAG, que diferiu em 13 e 11 % de C1 e C2, respectivamente. Para PE, o sistema FR foram evidenciados valores em cerca de 15 % acima de C1 e 11 % de C2. Ainda, as

Quanto ao tratamento dado às aves que foram à óbito durante o ciclo produtivo, observa-se que o maior impacto nos resultados foi com relação ao PAG. Os dados evidenciam que o sistema C1 é o maior poluidor (0,6 g de CO₂eq) comparado à C2 e FR (0,15 e 0,11 g de CO₂eq, respectivamente).

Tendo em vista a contribuição em porcentagem das fontes poluidoras dentro de cada sistema, verifica-se que a ração, o diesel e os dejetos foram as que mais contribuíram para o PAG (Figura 2).

Figura 2 - Contribuição das fontes poluidoras considerando o potencial de aquecimento global (PAG) (a), o potencial de eutrofização (PE) (b) e o potencial de acidificação (PA) (c)

Dos recursos utilizados dentro de cada sistema, a ração representa 71 % do PAG para C1, 85 % para C2 e 88 % para FR. Já o diesel, cerca de 15 % para C1, 2 % para C2 e aproximadamente 3 % para FR. A maiores emissões verificadas em C1 para o diesel pode ser resultado do maior porte da granja, maior necessidade de manutenção, transporte de insumos, aplicação de defensivos agrícolas e dos desinfetantes. Porém, é relevante a necessidade de investigar formas de otimizar o uso desse insumo, visto que sua representação no total dessas emissões é discrepante, comparado às demais granjas.

Quanto a emissão de dejetos, foram encontrados valores de aproximadamente 12 % para C1 e C2 e 8 % para FR, sendo que os demais insumos representaram valores iguais ou menores que 1 %.

Para a PE, a ração e o GLP consumido foram os insumos que mais influenciaram no seu aumento. Em C1, a ração representou 60 % do PE, sendo 88 % em C2 e 77 % em FR. O GLP foi responsável por aproximadamente 35 % do PE, o que evidencia a necessidade de ser adotada uma fonte de energia mais limpa para aquecimento das aves. As demais fontes contribuíram com menos de 1 % nessa categoria de impacto ambiental.

Tendo em vista o PA, observou-se que essa categoria de impacto ambiental variou em função da ração e do diesel. De acordo com os resultados, em C1 a ração contribuiu em 72 % do valor total de PA, 76% para C2 e 58 % para FR. A produção e combustão do diesel, contribuiu em aproximadamente 3 % em C1, 0,29 % em C2 e 0,36 % em FR.

4.4 Discussão

A partir dos resultados encontrados, verificou-se que o sistema C1 foi o maior poluidor, tendo em vista os maiores valores de PAG e PE. Esse sistema, caracterizado por ser convencional, aberto com criação das aves em gaiolas em bateria, é o mais comum no Brasil, representando mais de 95 % dos sistemas existentes (RUSSO, 2019). Porém, conforme o caso considerado, sendo C1 uma granja de alta capacidade de produção, ao compará-la com os demais sistemas, observa-se a necessidade de rever formas de otimizar os insumos já utilizados ou, uma vez que esse sistema convencional é menos viável no ponto de vista ambiental,

seria interessante adaptá-lo para as demais opções de sistemas de criação que são menos agressivos ao ambiente.

Quanto aos resultados encontrados no sistema *free-range*, embora estudos desenvolvidos no exterior tenham limites de avaliação diferentes e, conseqüentemente, diferentes faixas de valores relacionados às categorias de impacto ambiental, observa-se que sistemas alternativos apresentam maior PAG, PE e PA que sistemas de criação em gaiolas (MOLLENHORST et al., 2006; DEKKER et al., 2011; LEINONEN et al., 2012), assim como encontrado neste estudo ao comparar o sistema C2 - que possui características semelhantes aos sistemas de criação em gaiolas em bateria encontrados no exterior - com o sistema FR.

Nessa mesma linha, outros resultados foram verificados também por Wiedemann e Mcghan (2011). Os autores observaram que o total de gases do efeito estufa para o sistema *free-range* foi 23 % acima do sistema de criação em gaiolas e ambientalmente controlado.

Considerando-se os recursos utilizados para a produção de 1 kg de ovo, observa-se que a ração consumida no sistema FR apresentou os maiores valores para todas as categorias de impacto ambiental, o que está relacionada a menor conversão alimentar encontrada, que por sua vez é decorrente da demanda da linhagem por maiores quantidades de ração (LOHMANN, 2019), bem como das atividades de locomoção (AHAMMED et al., 2014).

De acordo com Dekker et al. (2011), devido a ração ser a maior responsável pelo impacto ambiental na produção de ovos, alternativas seriam tentar melhorar a conversão alimentar, diminuindo o impacto ecológico resultante do cultivo de ingredientes da ração, aumentar o rendimento da colheita por hectare, otimizar a quantidade e o tipo de operações de campo, bem como a fertilização relacionada ao rendimento da colheita.

Quanto à eletricidade, as emissões foram maiores para o sistema FR em função da menor densidade de aves por galpão, assim como observado por Leinonen et al. (2012). Ghasempour e Ahmadi (2016) afirmam que formas de otimizar o consumo de energia elétrica é por meio da utilização de equipamentos de menor consumo e remover equipamentos antigos e fundidos.

Wiedemann e Mcghan (2011) verificaram que os três maiores contribuintes para emissões de gases do efeito estufa foram a ração, a eletricidade e a emissão de dejetos. No presente estudo, assim como a ração e os dejetos, o diesel foi um

dos insumos que mais contribuiu ao aumento do PAG, com cerca de 15 % das emissões totais. Já a eletricidade não foi um recurso relevante nesse sentido, uma vez que as emissões foram menores que 1 % do total para todos os sistemas avaliados.

Os resultados encontrados também se aproximam dos encontrados por Pelletier et al. (2013). Esses autores observaram a participação do consumo de ração e das emissões dos dejetos em 82 % e 6,8 %, respectivamente, do total das emissões de gases do efeito estufa para sistemas de produção de ovos. Porém, no presente estudo, as faixas encontradas foram de 73 a 89 % para a ração e de 8 a 12 % para as emissões de dejetos.

Como esperado, a ração foi o insumo que obteve os maiores valores relacionados aos indicadores de impacto ambiental. Os resultados informam ainda que para o sistema C2, as quantidades de PAG, PA e PE foram superiores ao sistema C1. Uma vez que o fluxo de referência é aproximado e a linhagem desses sistemas é a mesma, provavelmente há potencial de redução no consumo de milho sem prejuízo no desempenho das aves.

Essa maior contribuição da ração nos resultados totais das categorias de impacto ambiental também foram encontrados por Leinonen et al. (2012), Pelletier et al. (2013), Ghasempour e Ahmadi (2017), Pelletier (2017), Abín et al. (2018) e Vetter et al. (2018), o que faz considerar que o fornecimento de ração com menor custo ambiental deve ser considerado um ponto prioritário de alavancagem para o gerenciamento da sustentabilidade neste setor.

De acordo com Pelletier (2018), isto requer o envolvimento de empresas de moagem e formuladores de ração no desenvolvimento de iniciativas de sustentabilidade da cadeia de suprimentos com foco na ração. O mesmo autor afirma que o desafio da indústria de ovos será melhorar o desempenho ambiental por meio da “genética da sustentabilidade”, com a finalidade das aves manterem os altos ganhos de eficiência no uso de recursos em sistemas alternativos de habitação que satisfazem as demandas do mercado com relação a considerações de bem-estar animal e também utilizam recursos alimentares sustentáveis. Ainda, maximizar a eficiência do uso de nutrientes, por meio de formulação cuidadosamente elaborada, do manejo da ração e dos dejetos.

Os maiores valores de PAG e PE dos dejetos para C1, ocorreram em função da diferença entre a excreção de N, a frequência na remoção de esterco e a forma

da deposição, se diretamente ao solo ou não. Vetter et al. (2018) afirmam que evitar o acúmulo prolongado dos dejetos pode reduzir as emissões de gases do efeito estufa. Uma alternativa para evitar esse acúmulo é a compostagem, que conforme Sardá et al. (2010), pode reduzir as emissões comparado ao manejo do dejetos em esterqueira e, ao terminar o processo de fermentação aeróbia, a emissão de gases cessa. Além disso, de acordo com Price e Carpenter-Boggs (2008), a compostagem é uma prática ecologicamente segura quando realizada de forma adequada, uma vez que reduz a quantidade de patógenos, permite o aproveitamento de nutrientes, além do descarte imediato da carcaça durante todo o ano com custo baixo.

Pelletier et al. (2013) encontraram valores de perdas por emissões associadas ao manejo de dejetos de aves produtoras de ovos em cerca de 9 %, em pesquisa realizada nos EUA. Conforme afirmam os autores, essas emissões incluem pequenas quantidades de metano e, mais criticamente, perdas de nitrogênio como compostos gasosos, incluindo amônia e óxido nitroso. As perdas de nitrogênio podem ser reduzidas por aprimoramento da eficiência no uso de alimentos, calibração da dieta, programas genéticos para eficiência no uso de N e estratégias de manejo de dejetos que minimizam a perda de N no momento da excreção e durante o armazenamento e aplicação.

Juntamente com a ração, o GLP foi um dos insumos responsáveis por maior potencial de eutrofização. Uma das alternativas para reduzir essas emissões na utilização do GLP, seria a sua substituição por biogás, uma vez que pode reduzir, além do uso do GLP, a utilização da eletricidade (CORNEJO E WILKIE, 2010).

Tendo em vista que a ração foi a responsável por maiores impactos ambientais, torna-se relevante a maximização da eficiência do uso de alimentos para animais, buscando alcançar eficiências comparáveis às instalações com melhor desempenho. Ainda, deve-se incluir atenção às fases primárias de cultivo, processamento e transporte de insumos da ração, como alternativa para se obter uma ração de menor custo ambiental (PELLETIER et al., 2013).

Os dados referentes às emissões relacionadas ao tratamento que foi dado às aves que morreram durante o ciclo de produção, indicam que o sistema C1 possui valor de PAG em aproximadamente seis vezes maior que os demais sistemas. Tendo em vista que o sistema C1 pratica a incineração das aves, recomenda-se a substituição dessa atividade por outra menos poluente, como evidenciado no C2 e FR em que realizam a compostagem.

A incineração das aves, além de ser preocupante quanto às emissões gasosas, apresenta riscos à saúde pública e resíduos que não podem ser aproveitados posteriormente, ao contrário da compostagem (GWYOTHER et al., 2011).

No sistema C2, é utilizado ainda o acelerador de compostagem. Essa prática fornece agitação, aeração e mistura do composto, para produzir um produto final consistente e uniforme, sem problemas relacionados a odores ou lixiviação, além de reduzir o tempo de compostagem (KALAMDHAD et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2018).

Por meio das informações obtidas entre os sistemas, observa-se a importância de se explorar o gerenciamento de insumos e resíduos na cadeia de produção animal, e no caso considerado, na produção de ovos, tendo em vista a sustentabilidade do sistema, uma vez que foi possível também conhecer melhores técnicas de gerenciamento de insumos e resíduos para que outras granjas com essa deficiência possa adaptar em seu sistema de produção, sem comprometer o seu desempenho e por vezes otimizar o uso dos seus insumos.

4.5 Conclusões

O sistema C1 foi responsável por maiores contribuições no potencial de aquecimento global e de eutrofização, sendo C2 o sistema menos poluidor. Conforme observado, ao comparar os diferentes sistemas de produção de ovos, a ração é o insumo que mais necessita de foco quanto à sua gestão, havendo a necessidade de revisão das formulações das rações. Ainda, verificou-se que insumos para o aquecimento das aves, métodos de manejo dos dejetos e tratamento de aves mortas podem ser substituídos por outras fontes menos poluidoras e acessíveis ao produtor.

Referências

AASESTAD, K. The Norwegian emission inventory 2008. Documentation of methodologies for estimating emissions of greenhouse gases and long-range trans-boundary air pollutants. Statistisk sentralbyrå. **Reports**, v. 48, p. 252, 2008.

- ABÍN, R.; LACA, A.; LACA, A.; DÍAZ, M. Environmental assesment of intensive egg production: A Spanish case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 179, p. 160-168, 2018.
- AHAMMED, M.; CHAE, B.J.; LOHAKARE, J.; KEOHAVONG, B.; LEE, M.H.; LEE, S.J.; KIM, D.M.; OHH, S.J. Comparison of aviary, barn and conventional cage raising of chickens on laying performance and egg quality. **Asian-Australasian journal of animal sciences**, v. 27, n. 8, p. 1196, 2014.
- ALVARENGA, R.A.F.; SILVA JÚNIOR, V.P.; SOARES, S.R. Comparison of the ecological footprint and a life cycle impact assessment method for a case study on Brazilian broiler feed production. **Journal of cleaner production**, v. 28, p. 25-32, 2012.
- BARRANTES, L.D.S.; MATSUURA, M.D.S.; MOREIRA, J.; UGAYA, C. Avaliação do ciclo de vida da madeira de eucalipto para produção de energia no Brasil. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DO CICLO DE VIDA, 5., 2016, Fortaleza. Anais... Fortaleza: Associação Brasileira de Ciclo de Vida, 2016. p. 384-390., 2016.
- BOGGIA, A.; PAOLOTTI, L.; CASTELLINI, C. Environmental impact evaluation of conventional, organic and organic-plus poultry production systems using life cycle assessment. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 1, p. 95-114, 2010.
- BUNTON, B.; O'SHAUGHNESSY, P.; FITZSIMMONS S.; GERING J.; HOFF, S.; LYNGBYE, M.; THORNE, P.S.; WASSON, J.; WERNER, M. Monitoring and modeling of emissions from concentrated animal feeding operations: overview of methods. **Environmental Health Perspectives**, v. 115, n. 2, p. 303, 2007.
- CAMPBELL, D.L.M.; HINCH, G.N.; DOWNING, J.A.; LEE, C. Outdoor stocking density in free-range laying hens: effects on behaviour and welfare. **Animal**, v. 11, n. 6, p. 1036-1045, 2017.
- CASTELLINI, C.; BASTIANONI, S.; GRANAI, C.; DAL BOSCO, A.; BRUNETTI, M. Sustainability of poultry production using the emergy approach: Comparison of conventional and organic rearing systems. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 114, n. 2-4, p. 343-350, 2006.
- CEDERBERG, C.; SONESSON, U.; HENRIKSSON, M.; SUND, V.; DAVIS, J. Greenhouse gas emissions from Swedish production of meat, milk and eggs:

- 1990 and 2005. Swedish Inst. **Food & Biotechnol., Gothenburg, Sweden**, 2009.
- CETESB. Plano de redução de emissões de fontes estacionárias. 2009. Disponível em: < <https://cetesb.sp.gov.br/ar/wp-content/uploads/sites/28/2015/12/Guia-MTPD-Fontes-de-Combust%C3%A3o.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2019.
- CHEN, S.; HUNG, M.C.; HUANG, K.L.; HWANG, W.I. Emission of heavy metals from animal carcass incinerators in Taiwan. **Chemosphere**, v. 55, n. 9, p. 1197-1205, 2004.
- CONAB. Custos de produção agrícola: a metodologia da CONAB. Brasília: CONAB, 2010. 60 p.
- CORNEJO, C.; WILKIE, A.C. Greenhouse gas emissions and biogas potential from livestock in Ecuador. **Energy for sustainable development**, v. 14, n. 4, p. 256-266, 2010.
- DALCIN, G.; ROSSATO, F.I.; HENKES, J. A.; JOHANN, L. Uma análise nas emissões de gases do efeito estufa em processos da cadeia avícola. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 620-638, 2019.
- DEKKER, S.E.M.; DE BOER, I.J.M.; VERMEIJ, I., AARNINK, A.J.A.; KOERKAMP, P.G. Ecological and economic evaluation of Dutch egg production systems. **Livestock Science**, v. 139, n. 1-2, p. 109-121, 2011.
- EEA - European Environment Agency. The EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook, Technical report No 9/2009. 2009. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventoryguidebook-2009>>. Acesso em 2 de mai. 2019.
- EMEP/CORINAIR. Emission Inventory Guidebook, Other mobile sources & machinery (B810-1). European Environment Agency, Paris, 1996.
- EPA. Wood Waste Combustion In Boilers. 1999. Disponível em: <https://www3.epa.gov/ttn/chief/old/ap42/ch01/s06/final/c01s06_feb1999.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2019.
- EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY (EEA). EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook 2016: technical guidance to prepare national emission inventories. **EEA-Report**, p. 21, 2016.
- FAO – Food and Agriculture Organization. Greenhouse Gas Emissions from Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2016. Disponível em:

<http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/en/c/218650/>.

Acesso em: 30 de maio de 2018.

- FERRAZ, S.P. **Análise de inventário de ciclo de vida da produção de ovos e consequências para a gestão ambiental**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Itapetinga. p. 72. 2015.
- FERRO, F.S.; SILVA, D.A.L.; ICIMOTO, F.H.; LAHR, F.A.R.; GONZÁLEZ-GARCÍA, S. Environmental Life Cycle Assessment of industrial pine roundwood production in Brazilian forests. **Science of The Total Environment**, v. 640, p. 599-608, 2018.
- FREEMAN, S.R.; POORE, M.H.; MIDDLETON, T.F.; FERKET, P.R. Alternative methods for disposal of spent laying hens: Evaluation of the efficacy of grinding, mechanical deboning, and of keratinase in the rendering process. **Bioresource technology**, v. 100, n. 19, p. 4515-4520, 2009.
- GAC, A.; BÉLINE, F.; BIOTEAU, T.; MAGUET, K.A. French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a mass-flow approach. **Livestock Science**, v. 112, n. 3, p. 252-260, 2007.
- GHASEMPOUR, A.; AHMADI, E. Assessment of environment impacts of egg production chain using life cycle assessment. **Journal of environmental Management**, v. 183, p. 980-987, 2016.
- GHG protocol. Ferramenta de cálculo. 2018. Disponível em: <<https://www.ghgprotocolbrasil.com.br/ferramenta-de-calculo>>. Acesso em 10 jun. 2018.
- GUINÉE, J.; GORÉ, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJN, R.; KONING, A.; OERS, L. VAN; WEGENER, S. A.; SUH S.; UDO DE HAES, H.A., BRUIJN, H. DE, DUIN, R. VAN; HUIJBREGTS, M.A.J. Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards (Eco-Efficiency in Industry and Science. Vol 7), Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 2002.
- GWYTHYER, C.L.; WILLIAMS, A.P.; GOLYSHIN, P.N.; EDWARDS-JONES, G.; JONES, D.L. The environmental and biosecurity characteristics of livestock carcass disposal methods: A review. **Waste Management**, v. 31, n. 4, p. 767-778, 2011.

- HJELGAARD, K. Danish Emission Inventory for Waste Incineration and Other Waste. and no.: Scientific Report from DCE–Danish Centre for Environment and Energy, n. 70, 2013.
- INTERGOVERNMENTAL Panel on Climate Change – IPCC. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories**. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. 2006.
- KALAMDHAD, A.S.; SINGH, Y.K.; ALI, M.; KHWAIRAKPAM, M.; KAZMI, A.A. Rotary drum composting of vegetable waste and tree leaves. **Bioresource technology**, v. 100, n. 24, p. 6442-6450, 2009.
- KAUSHIK, L.K.; MUTHUKUMAR, P. Life cycle Assessment (LCA) and Techno-economic Assessment (TEA) of medium scale (5–10 kW) LPG cooking stove with two-layer porous radiant burner. **Applied Thermal Engineering**, v. 133, p. 316-326, 2018.
- LEENSTRA, F.; MAURER, V.; GALEA, F.; BESTMAN, M.; AMSLER-KEPALAITE, Z.; VISSCHER, J.; VERMMEIJ, I.; VAN KRIMPEN, M. Laying hen performance in different production systems; why do they differ and how to close the gap? Results of discussions with groups of farmers in The Netherlands, Switzerland and France, benchmarking and model calculations. **European Poultry Science**, v. 78, p. 1-10, 2014.
- LEINONEN, I.; WILLIAMS, A.G.; WISEMAN, J.; GUY, J.; KYRIAZAKIS, I. Predicting the environmental impacts of chicken systems in the United Kingdom through a life cycle assessment: Egg production systems. **Poultry Science**, v. 91, n. 1, p. 26-40, 2012.
- LOHMANN. Acompanhamento de lotes. 2019. Disponível em: <<https://ltz.com.br/copia-acompanhamento-de-lotes-1>>. Acesso em 10 de agosto de 2019.
- MARZULLO, R.C.M.M. **Análise de ecoeficiência dos óleos vegetais oriundos da soja e palma, visando a produção de biodiesel**. 2007. 303 f. 2007. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química)–Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MILOTA, M. R.; WEST, C.D.; HARTLEY, I.D. Gate-to-gate life-cycle inventory of softwood lumber production. *Wood and Fiber Science*, 37 Corrim Special Issue, pp. 47 – 57, 2005.

- MISSELBROOK, T.H.; VAN DER WEERDEN, T.J.; PAIN, B.F.; JARVIS, S.C.; CHAMBERS, B.J.; SMITH, K.A.; PHILLIPS, V.R.; DEMMERS, T.G.M. Ammonia emission factors for UK agriculture. **Atmospheric environment**, v. 34, n. 6, p. 871-880, 2000.
- MOLLENHORST, H.; BERENTSEN, P. B. M.; DE BOER, I. J. M. On-farm quantification of sustainability indicators: an application to egg production systems. **British poultry science**, v. 47, n. 4, p. 405-417, 2006.
- NIMMERMARK, S.; LUND, V.; GUSTAFSSON, G.; EDUARD, W. Ammonia, dust and bacteria in welfare-oriented systems for laying hens. **Annals of Agricultural and Environmental Medicine**, v. 16, n. 1, p. 103-113, 2009.
- OLIVEIRA, M.M.D.; COLDEBELLA, A.; BELLI FILHO, P.; OLIVEIRA, P.A.V.D. Aeration frequency on accelerated composting of animal carcasses. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, n. 6, p. 653-665, 2018.
- OpenLCA 1.9.0 (2018). Disponível em: <<http://www.openlca.org/>>. Acesso em 20 jun. 2019.
- PELLETIER, N. Changes in the life cycle environmental footprint of egg production in Canada from 1962 to 2012. **Journal of Cleaner Production**, v. 176, p. 1144-1153, 2018.
- PELLETIER, N. Life cycle assessment of Canadian egg products, with differentiation by hen housing system type. **Journal of Cleaner Production**, v. 152, p. 167-180, 2017.
- PELLETIER, N.; IBARBURU, M.; XIN, H. A carbon footprint analysis of egg production and processing supply chains in the Midwestern United States. **Journal of cleaner production**, v. 54, p. 108-114, 2013.
- PETTERSSON, I.C.; WEEKS, C.A.; WILSON, L.R.M.; NICOL, C.J. Consumer perceptions of free-range laying hen welfare. **British Food Journal**, v. 118, n. 8, p. 1999-2013, 2016.
- PRICE, C.; CARPENTER-BOGGS, L. On-farm composting of large animal mortalities. WSU Extension Bulletin #EB2031E. Pullman, WA. 2008. 10p.
- RIBEIRO, F.M. **Inventário de ciclo de vida da geração hidrelétrica no Brasil- Usina de Itaipu: primeira aproximação**. São Paulo. 456f. 2003. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, São Paulo, 2003.

- ROSA, P.S.; AVILA, V.S. Variáveis relacionadas ao rendimento da incubação de ovos em matrizes de frangos de corte. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, p. 1–3, 2000.
- RUSSO, J.C. Tudo que você precisa saber sobre os sistemas de produção de ovos. 2019. Disponível em: <<https://www.aviculturaindustrial.com.br/imprensa/tudo-que-voce-precisa-saber-sobre-os-sistemas-de-producao-de-ovos/20190326-113131-t740>>. Acesso em: 04 de outubro de 2019.
- SANTARSIERO, A.; SETTIMO, G.; CAPPIELLO, G.; VIVIANO, G.; DELL'ANDREA, E.; GENTILINI, L. Urban crematoria pollution related to the management of the deceased. **Microchemical journal**, v. 79, n. 1-2, p. 307-317, 2005.
- SARDÁ, L.G.; HIGARASHI, M.M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P.A.; COMIN, J.J. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 1008-1013, 2010.
- SCHLEICHER, O.; JENSEN, A.A.; BLINKSBJERG, P. Måling af dioxinmissionen fra udvalgte sekundære kilder. **DEPA Miljøprojekt**, n. 649, 2001.
- SHEPHERD, T.A.; ZHAO, Y.; LI, H.; STINN, J.P.; HAYES, M.D.; XIN, H. Environmental assessment of three egg production systems—Part II. Ammonia, greenhouse gas, and particulate matter emissions. **Poultry Science**, v. 94, n. 3, p. 534-543, 2015.
- SILVA, V.P., VAN DER WERF, H.M.; SOARES, S.R.; CORSON, M.S Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. **Journal of environmental management**, v. 133, p. 222-231, 2014.
- TODA, E. POPs and heavy metals emission inventory of Japan. Japanese Ministry of Environment, Tokyo, 2005.
- VETTER, S.H.; MALIN, D.; SMITH, P.; HILLIER, J. The potential to reduce GHG emissions in egg production using a GHG calculator—A Cool Farm Tool case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 202, p. 1068-1076, 2018.
- WEBFIRE, 2012: United States Environmental Protection Agency database, 1992. Disponível em: <<http://cfpub.epa.gov/oarweb/index.cfm?action=fire.simpleSearch>>. Acesso em 18 mai. 2019.

- WIEDEMANN, S.; MCGAHAN, E. Environmental assessment of an egg production supply chain using life cycle assessment. Australian Egg Corporation Limited, North Sydney. **New South Wales**, 2011.
- XIN, H.; GATES, R.S.; GREEN, A.R.; MITLOEHNER, F.M.; MOORE JR, P.A.; WATHES, C.M. Environmental impacts and sustainability of egg production systems. **Poultry Science**, v. 90, n. 1, p. 263-277, 2011.

5. DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE OVOS: BEM-ESTAR ANIMAL E SUSTENTABILIDADE

Resumo

O bem-estar de poedeiras no Brasil pode ser deficiente, visto que normalmente se baseia no sistema convencional de produção de ovos, cujo sistema é mundialmente criticado e caracterizado por fornecer condição de vida precária às aves. Entretanto, alguns sistemas mais modernos, ou mesmo alternativos, embora tenham algumas deficiências ainda assim podem proporcionar melhores condições de vida. Com o intuito de estender a relevância do bem-estar de poedeiras e responder aos desafios referentes à sustentabilidade do sistema de produção de ovos, o objetivo desse estudo é avaliar o bem-estar das aves nos diferentes sistemas de produção de ovos. O presente estudo considerou os principais sistemas de produção existentes no Brasil, sendo os convencionais (C1: galpões abertos; e C2: fechados) e alternativo (FR: free-range). Para fazer inferências sobre o bem-estar das aves foi utilizado o protocolo Welfare Quality®, tendo como base a avaliação física das aves. Foram avaliadas 100 aves de cada sistema da linhagem Hisex e consideradas as seguintes variáveis: condição da plumagem, deformações no esterno, feridas por bicadas na crista, avaliação do coxim plantar, lesões na pele, danos nos dedos, sujeidade, patologia ocular, infecção respiratória, anormalidade na crista e enterite. Conforme os resultados, foi possível observar as deficiências de cada um dos sistemas avaliados. O C1 se caracterizou por ser o sistema que apresentou resultados insatisfatórios, comparado aos demais sistemas, para a condição das penas, danos no coxim plantar, sujeidade, lesões na pele, danos nos dedos, anormalidades na crista e enterite. No FR, a maior deficiência desse sistema se refere às deformações no esterno e a agressividade observada em função da maior quantidade de aves com bicadas na crista. Os resultados referentes à avaliação da integridade física das aves evidenciam que o sistema C1 é inadequado ao bem-estar de poedeiras comparados ao demais. No sistema *free-range* (FR), embora tenha apresentado deficiências quanto as deformações no esterno e as bicadas na crista, os galpões são passíveis de adaptações para minimização desses problemas.

Palavras-chave: Poedeiras, Integridade física, Sistema convencional, Sistemas alternativos

Abstract

Welfare of laying hens in Brazil may be poor, as egg production is based on the conventional egg production system, whose is worldwide criticized and characterized by providing poor living conditions for birds. However, some more modern or even alternative systems, although they have some shortcomings, can still provide better living conditions. In order to extend the relevance of laying hens welfare and to address the interconnected challenges to the sustainability of the egg production system, the aim of this study is to evaluate the welfare of birds in different egg production systems. The present study considered the main production systems existing in Brazil, being the conventional (C1: open sheds; and C2: closed) and alternative (FR: free-range). In order to make inferences about the welfare of laying

hens, the Welfare Quality® protocol was used, based on the physical evaluation of birds. 100 laying hens of Hisex bloodline from each system was evaluated, considering the following variables: plumage damage, keel bone deformation, comb pecking wounds, foot pad dermatitis, skin lesions, toe damage, plumage cleanliness, eye pathologies, respiratory infections, comb abnormalities and enteritis. According to the results, it was possible to observe the deficiencies of each of system. C1 was characterized by being the system that presented unsatisfactory results, compared to the other systems, based on plumage damage, foot pad dermatitis, plumage cleanliness, skin lesions, toe damage, comb abnormalities and enteritis. In FR, the greatest deficiency of this system refers to the bone deformations and the aggressiveness observed due to the greater number of birds with comb pecking wounds. The results regarding the physical integrity evaluation of the birds show that the C1 system is inadequate to the welfare of laying hens compared to the others. Since there are options for egg production systems that offer better living conditions for laying hens, the requirement for adaptations or even changes to other systems is emphasized.

Keywords: Laying hens, Physical integrity, Conventional system, Alternative system

5.1 Introdução

Na cadeia avícola, ao surgir a preocupação pública em atender às necessidades básicas de bem-estar das aves, sistemas alternativos de produção de ovos como o free-range foram introduzidos no país, na tentativa também de atender a um nicho de mercado que demanda alimentos produzidos de forma segura e consciente (FERNANDES et al., 2016). Com a intensificação agropecuária pouco se valorizou a qualidade de vida dos animais (CARVALHO, 2013; BRAGA et al., 2018).

Embora muitos fatores possam afetar o bem-estar de galinhas poedeiras comerciais alojadas em gaiolas ou não, alguns problemas de bem-estar em sistemas de confinamento geralmente envolvem restrições comportamentais, enquanto os problemas em sistemas mais extensos envolvem saúde e higiene (WIDOWSKI et al., 2016). Em virtude das pressões por produtos oriundos de animais criados dentro das boas práticas de bem-estar, esquemas de certificação ambiental buscam integrar o bem-estar animal como requisito para a sustentabilidade na produção animal. Nessa perspectiva, considera-se que a produção animal não pode se aproximar da sustentabilidade se não houver qualidade de vida adequada ao animal (WATHES et al., 2013). Devido aos diferentes sistemas de criação existentes no país e à consequente diversidade de estruturas habitacionais e de manejo em que os animais vivem, deve-se melhorar o entendimento sobre as suas necessidades e

preferências e até que ponto seu bem-estar pode ser comprometido por essas práticas de manejo e criação (BULLER et al., 2018).

De acordo com Blatchford et al. (2016), o uso de medidas baseadas em animais é importante na avaliação de diferentes tipos de sistemas habitacionais, uma vez que existem diferenças inerentes entre os sistemas que podem afetar a utilidade das medidas que são baseadas na resposta do animal ao ambiente no qual vivem. Conforme se discute na ciência do bem-estar animal, busca-se a adoção de sistemas que possam atender às cinco liberdades do bem-estar animal, assim adaptadas por Farm Animal Council (FAWC, 2011), ou seja: livre de fome e sede, livre de injúrias e doenças, livre de medo e ansiedade, livre de desconforto e livre para expressar o seu comportamento natural.

Os sistemas convencionais de produção de ovos predominantes no Brasil mostram-se comprometedores ao bem-estar animal. Dentre as consequências estão o comprometimento cognitivo, aumento do medo, depressão, agressividade, integridade óssea, qualidade das penas, saúde dos pés (NORGAARD-NIELSEN, 1990; BRYAN JONES E WADDINGTON, 1992; TANAKA E HURNIK, 1992; NORGAARD-NIELSEN et al., 1993; SHERWIN, 1995; MCADIE et al., 2005; WYSOCKI et al., 2010; LAY et al., 2011; STOJCIC et al., 2012; FERNANDES et al., 2015).

Por sua vez, o free-range, criado para minimizar alguns impactos negativos trazidos pelo sistema convencional de criação, apresenta resultados positivos como maior conforto, melhor qualidade de penas e dos ossos (NISTOR et al., 2015; DIKMEN et al., 2016; HONG et al., 2017; TAVARES et al., 2018).

Tendo em vista esses aspectos, ressalta-se a necessidade, não somente de comparar sistemas, mas de identificar as deficiências de cada um quanto ao impacto que podem gerar à qualidade de vida dos animais, de forma a contribuir para possíveis adaptações que possam minimizar tais impactos.

Com o intuito de estender a relevância do bem-estar de poedeiras e responder aos desafios interligados à sustentabilidade do sistema de produção de ovos, o objetivo desse estudo é avaliar o bem-estar das aves nos diferentes sistemas de produção de ovos.

5.2 Material e métodos

Esse estudo foi baseado na avaliação da integridade física de aves poedeiras alojadas em três sistemas de criação de aves, sendo dois deles com criação de aves nas gaiolas em bateria, ambos localizados no município de Bastos (SP), 21°55'19" S e 50°44'02" W e altitude de 445 m, sendo o primeiro deles, C1, com galpões californianos, abertos e o segundo, C2, com galpões fechados, climatizados. O terceiro sistema escolhido, *free-range* (FR), se baseava na criação de galinhas livres de gaiolas e se localizava no município de Pariquera-Açu (SP), 24° 42' 37" S e 47° 53' 2" W e altitude de 24 m.

Com o intuito de avaliar o bem-estar das poedeiras, foi utilizado o protocolo de bem-estar de aves, Welfare Quality protocol (WELFARE QUALITY, 2009), cujo material inclui tanto a condição física quanto comportamental das aves, apresentando uma maneira prática para realizar tais avaliações. Nesse estudo, porém, foram consideradas apenas as avaliações físicas das aves.

Em cada granja foram avaliadas 100 aves da linhagem Hisex White (para os sistemas C1 e C2) e Hisex Brown (para o sistema FR) no final do período produtivo. Em C1, as aves tinham 92 semanas de idade; já em C2 e FR, 84 semanas.

As áreas de coleta das amostras seguiram a metodologia proposta por Blachford et al. (2016). Para o sistema C1 e C2, foram coletadas quatro aves por gaiola ao longo da área de alojamento e em pontos equidistantes ao longo do galpão nas camadas superior, intermediária e inferior das linhas de gaiolas.

No sistema FR, as aves foram coletadas ao longo do galpão, separando os animais que já haviam sido observados para que a mesma ave não fosse avaliada novamente. Essas aves eram alojadas em galpões abertos, naturalmente ventilados com dimensão de 64 m², pé direito de 2,40 m, estrutura de alvenaria, telhas de fibrocimento e uso de cortinas. Livres de gaiolas e com densidade de alojamento de 2.133 cm² ave⁻¹ ou 4,7 aves m⁻², as aves possuíam acesso à ninhos, poleiros, cama de casca de arroz e área externa com pastagem.

Para avaliação das poedeiras, os critérios de bem-estar considerados associaram-se a um bom alojamento como: densidade de alojamento e sujidade; a boa saúde das aves: Deformações no esterno, lesões na pele, no coxim plantar e danos nos dedos, mortalidade, patologias oculares, infeccções respiratórias, enterite,

parasitas e anormalidade na crista; e a expressão do comportamento social, considerando-se os danos na plumagem e as bicadas na crista.

Exemplos dos critérios para avaliação da integridade física das aves estão disponíveis no Apêndice B.

5.2.1 Avaliação da limpeza da plumagem

A avaliação da limpeza da plumagem foi realizada por meio de observações no peito das aves, comparando-o de acordo com escores de 0 (melhor condição) a 3 (pior condição), assim definidos no protocolo.

5.2.2 Avaliação do coxim plantar

Esta avaliação foi realizada por meio do exame dos pés das aves, sendo escolhido o pé com a pior condição para classificação.

5.2.3 Deformações no esterno

O esterno é normalmente uma reta sem inclinação, inchaço, desvios ou outra anormalidade palpável. Anormalidades podem ser causadas por poleiros mal elaborados, quebras curadas (fraturas) ou por descalcificação da quilha. Esta deformação do esterno é qualquer anormalidade na reta normal da quilha (WELFARE QUALITY, 2009).

A avaliação das deformações do esterno foi baseada em observações do peito da galinha, olhando-o (no caso de peito sem penas) ou apalpando-o com os dedos ao lado e sobre o esterno.

Posteriormente, foram atribuídos às observações, escores de deformação no esterno avaliado, que variaram de 0 a 2.

5.2.4 Lesões de pele

Lesões cutâneas são feridas que ainda não cicatrizaram. Conforme estabelecido em Welfare Quality protocol (2009) considera-se lesão se houver três ou mais pequenos ferimentos em forma de bicos pontiagudos (orifícios) e/ou

arranhões. Tendo como base essas informações, foram observadas a parte dorsal e os pés da galinha quanto à incidência de lesões na pele.

5.2.5 Danos no dedo do pé

Conforme a arquitetura dos equipamentos, os dedos podem ficar presos e feridos (ou mesmo arrancados). Dano do dedo do pé é definido como ferimentos em um ou mais dedos e/ou falta (ou partes) de um ou mais dedos. As avaliações finais foram baseadas no número de aves com danos nos dedos avaliados.

5.2.6 Patologias oculares

As patologias oculares incluem inchaço das pálpebras e da pele ao redor dos olhos, com fechamento dos olhos. A pontuação final foi baseada na quantidade de aves encontradas com algum tipo de patologia ocular.

5.2.7 Infecções respiratórias

As infecções respiratórias causam esforço respiratório aumentado ou laborioso, espirros e são frequentemente associadas a sons respiratórios audíveis. A quantidade de aves encontradas com essas características foram então, registradas.

5.2.8 Enterite

A enterite inclui infecções intestinais ou anormalidades no metabolismo digestivo, resultando frequentemente em estado fecal alterado - fezes descoloridas ou aumento do conteúdo líquido ou diarreia. Baseando-se nessas informações, foi registrada a quantidade de aves com evidência de enterite.

5.2.9 Anormalidades na crista

Uma crista normal tem comumente coloração vermelha e ausência de ferimentos e arranhões. Foi registrada a quantidade de aves com anormalidades na crista. Exemplos de anormalidades incluem áreas da crista azuis ou pretas. Ainda,

as galinhas no pico da produção podem ter uma crista ligeiramente mais pálida, mas cristas muito pálidas podem indicar anemia. Se as aves estiverem desidratadas, as cristas podem parecer ressecadas e azuis.

5.2.10 Escore de empenamento

Para aferição do escore de empenamento foram observadas três zonas do corpo da ave: cabeça-pescoço, costas e região cloacal. Essas regiões foram relacionadas ao bem-estar da ave, visto que os danos na plumagem em outras zonas refletem somente os efeitos do sistema (BILCIK e KEELING, 1999 apud WELFARE QUALITY, 2009).

Após a caracterização de cada parte do corpo quanto ao desgaste das penas (em a, b, ou c) foram atribuídos para cada ave escores de 0 a 2.

5.2.11 Feridas por bicadas na crista

Esta avaliação foi realizada a nível individual por meio da contagem e registro de feridas por bicadas na crista.

5.2.12 Análise estatística

O teste de normalidade de Shapiro-Wilk foi realizado e, como os dados não apresentaram distribuição normal, foi aplicado o teste não-paramétrico de qui-quadrado para comprovar se a frequência observada diferia significativamente da esperada e verificar a associação entre as variáveis categóricas. Verificada a associação global entre as variáveis a 5 % de significância, observou-se se havia associação local entre categorias, calculando-se os resíduos padronizados que fornecem um escore de z para cada associação local. Essas análises foram efetuadas por meio do pacote estatístico SAS (SAS Institute, 2010).

5.2.13 Escores

Para cada variável referente à avaliação física das aves, foram atribuídos escores, conforme exposto na Tabela 20.

Tabela 20 - Variáveis relacionadas à integridade física das aves com seus respectivos escores e sua definição (WELFARE QUALITY, 2009).

Variável	Escore
Condição da plumagem	a - Nenhum ou ligeiro desgaste, plumagem completa ou quase completa; b - Desgaste moderado, ou seja, penas danificadas (desgastada ou deformada) com uma ou mais áreas sem penas (menor que 5 cm de diâmetro na maior extensão); c - Pelo menos uma área de penas com diâmetro maior que 5 cm. 0 - Todas as partes do corpo têm escore 'a'; 1 - Uma ou mais partes do corpo têm escore 'b', mas nenhuma parte do corpo tem pontuação 'c'; 2 - Uma ou mais partes do corpo têm escore 'c'.
Feridas por bicadas na crista	0 - Não há provas de feridas; 1 - Menos de 3 feridas; 2 - Com 3 feridas ou mais.
Avaliação do coxim plantar	0 - Pés intactos, nenhuma ou mínima proliferação de epitélio; 1 - Necrose ou proliferação de epitélio ou pé com inchaço crônico sem ou com inchaço moderado; 2 - Inchaço (dorsalmente visível).
Deformação no esterno	0 - Não há desvios, deformações ou seções espessas, com o esterno completamente em linha reta; 2 - Desvio ou deformação do esterno (incluindo seções espessas).
Lesões de pele	0 - Nenhuma lesão, somente um bico (dano puntiforme <0,5 cm de diâmetro) ou arranhões; 1 - pelo menos uma lesão <2 cm de diâmetro na maior extensão ou igual a 3 bicos ou arranhões; 2 - pelo menos 1 lesão ≥ 2 de diâmetro na maior extensão.
Dano no dedo do pé	0 - Nenhuma evidência de dano nos dedos; 1 - Ave com evidência de dano nos dedos;
Patologias oculares	0 - Nenhuma evidência de patologias oculares; 1 - Ave com evidência de patologias oculares.
Infecções respiratórias	0 - Nenhuma evidência de infecções respiratórias; 1 - Ave com infecção respiratória.
Enterite	0 - Nenhuma evidência de enterite; 1 - Ave com evidência de enterite.
Anormalidades na crista	0 - Nenhuma anormalidade na crista; 1 - Ave com evidência de anormalidade na crista.
Limpeza das penas	0 - Ave limpa; 1 - Ave ligeiramente suja; 2 - Ave moderadamente suja; 3 - Ave muito suja na região ventral.

5.3 Resultados

Dos lotes avaliados, a densidade de alojamento no período de postura foi de 500 cm² ave⁻¹ para C1, 432 para C2 e 2133 para FR.

No final do período produtivo, não foram observadas aves com patologias oculares. Quanto à incidência de aves com problemas respiratórios, os resultados observados não foram significativos ($p = 0,11$), sendo identificadas apenas três aves no sistema C2.

Dando prosseguimento às avaliações, verificou-se que os sistemas influenciam na qualidade da plumagem das aves. De acordo com os dados, no sistema C1, 73 % das aves apresentaram escore 2 (condição com maior desgaste das penas), sendo os maiores resultados encontrados, ao contrário do C2, que apresentou porcentagens menores (38 % das aves). Já o sistema FR apresentou quantidade significativamente maior de aves com escore 1 (desgaste menos severo), cerca de 40 % das aves. Para esse sistema, a quantidade de aves com escore 2, não foi significativa (Figura 3).

Figura 3 - Incidência de aves e escores referentes as alterações na plumagem (a) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 41,85$), no esterno (b) ($p = 0,018$; $\chi^2 = 5,68$), no coxim plantar (c) ($p = 0,034$; $\chi^2 = 10,09$), sujidade (d) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 59$) para cada sistema de produção avaliado

O sistema de produção que mais exerceu efeito na quantidade de aves com deformações no esterno foi o FR. Esse efeito pode ter sido mais pronunciado em virtude dos poleiros existentes nos galpões, que possuem a finalidade de favorecer o comportamento natural das aves de empoleirar.

Quando às deformações no coxim plantar, observou-se que a incidência nas aves foi baixa, porém, apresentou C1 quantidade de aves com escore 1 significativamente maior que os demais sistemas, cerca de 4 % das aves, ou seja, foram observadas aves com lesões mais amenas. Embora tenha-se encontrado

aves com lesões mais severas (escore 2) no sistema C2, sua incidência não foi significativa.

De acordo com os dados, o sistema C1 apresentou resultados significativos para a sujidade. Cerca de 58 % das aves apresentaram escore 1. Para essa variável, o sistema FR apresentou os menores resultados e, referente aos demais escores, não foram encontradas porcentagens significativas de aves. A maior quantidade de aves com limpeza das penas deficiente (escore 3) foi observada no C2, porém, somente em 6 % das aves.

Para as bicadas na crista, observou-se que o FR foi o sistema que apresentou deficiência significativa nesse aspecto, sendo o escore 2 encontrado em 42 % das aves. Já o sistema C2 evidenciou a menor quantidade de aves com alterações mais severas, cerca de 24 % das aves (Figura 4).

Figura 4 - Bicadas na crista (e) ($p = 0,014$; $\chi^2 = 12,59$), as lesões na pele (f) ($p = 0,005$; $\chi^2 = 13,53$), alterações nos dedos dos pés (g) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 30,06$) as anormalidades na crista (h) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 187,39$) e enterite (i) ($p = <0,0001$; $\chi^2 = 50,25$) para cada sistema de produção avaliado

Para as lesões na pele e nos dedos, o C1 foi o único sistema que apresentou quantidade maior e significativa de aves com essas alterações, cerca de 13 % das aves tinham escoriações na pele e 46 % nos dedos. Para os dedos, o sistema C2 evidenciou resultados significativos e menores.

Anormalidades na crista também foram mais evidenciadas no C1, representando cerca de 83 % das aves. As anormalidades comumente encontradas se referem à cristas azuis e pálidas. No sistema C2 essa anormalidade foi encontrada em 26 % das aves e não foi evidenciada em aves do sistema FR.

Ao fazer um balanço quanto à integridade física das aves (Tabela 21), o sistema que mais apresentou deficiências foi o C1, se destacando por influenciar negativamente o bem-estar das aves ao não serem evidenciados resultados positivos na maioria das variáveis avaliadas, sendo o C2, o sistema que apresentou reflexos menos negativos do sistema nas aves, com a maior deficiência observada na limpeza das penas.

Tabela 21 - Balanço geral da influência dos sistemas na integridade física das aves

Sistema de alojamento	Variáveis								
	Penas	Esterno	Coxim Plantar	Sujidade	Bicadas na crista	Lesões na pele	Dano nos dedos	Anormalidade na crista	Enterite
C1	-		-	-		-	-	-	-
C2	+				+		+	+	+
FR		-	+	+	-				+

+: Melhorou a integridade física; -: Piorou a integridade física

Porém, no FR, com exceção da sujidade e das alterações no coxim plantar, os resultados mostram que as principais deficiências no sistema se referem às deformações no esterno e a agressividade entre as aves, observadas pela maior quantidade de aves com escore de bicadas mais severas na crista. Ainda, os resultados demonstram que esse sistema não foi capaz de causar impactos negativos na quantidade de aves com alteração nas penas, na pele, nos dedos e nas anormalidades na crista.

5.4 Discussão

Este estudo mostra que os sistemas de alojamento são divergentes e deficientes com relação ao bem-estar de galinhas poedeiras. O sistema de

alojamento convencional, aberto, onde as aves foram criadas em gaiolas em bateria, hoje em sua maioria no Brasil, foi o único sistema que não apresentou resultados positivos para o bem-estar das aves.

Conforme os resultados obtidos para a condição das penas, observa-se que o sistema C1 destacou-se por apresentar os piores resultados. A condição das penas normalmente se deteriora com a idade, com algumas aves quase completamente desnudadas no final do período de postura (YAMAK E SARICA, 2012; CAMPE et al., 2018), sendo que os fatores que mais influenciam na danificação das penas são a abrasão das aves com as gaiolas e comportamentos agonísticos entre elas (WELFARE QUALITY, 2009; GUINEBRETIERE et al., 2013; BLATHFORD et al., 2016).

Estudos ainda mostram que a densidade de alojamento das aves pode influenciar na integridade das penas, por exemplo, quanto maior a área de alojamento por ave, maior o empenamento (CUNNINGHAM E GVARYAHU, 1987; DAVAMI et al., 1987; ONBASYLAR E AKSOY, 2005; SARICA et al., 2008). Porém, aves do C2, em cujo sistema foi observada a menor porcentagem de aves com baixa qualidade de penas, encontravam-se alojadas em locais com áreas por ave ligeiramente inferiores a C1 ($500 \text{ cm}^2 \text{ ave}^{-1}$ para C1 e $432 \text{ cm}^2 \text{ ave}^{-1}$ para C2), o que faz com que a densidade de alojamento não seja um fator comprometedor à qualidade das penas entre os sistemas.

Nesse caso, comportamentos agonísticos entre as aves associados ao arranque de penas, pode ter favorecido para promover o resultado identificado, uma vez que o sistema C1 apresentou ainda, maior porcentagem de bicadas na crista comparado a C2, embora essa não tenha sido significativa quando os três sistemas foram considerados. Ainda, o próprio design das gaiolas pode ter influenciado (BLATCHFORD et al., 2016), principalmente para os danos no pescoço e na cabeça, conforme exposto por Welfare Quality (2009), cujos danos ocorrem devido à abrasão.

A intensidade luminosa também pode ter sido um fator crucial que definiu as diferenças entre os sistemas C1 e C2, obtendo nesse último os melhores resultados em função da menor intensidade de luz que garantiram a maior cobertura e qualidade das penas (KJAER E VESTERGAARD, 1999).

Danos nas penas devem ser evitados nos sistemas, uma vez que aves que carecem da proteção da cobertura de penas, podem ser mais propensas a serem

vítimas de canibalismo, pois sua pele nua pode ser mais facilmente danificada por arranhões, bicadas e batidas (MCADIE E KEELING, 2000). No presente estudo, o C1, cujo sistema apresentou aves com penas mais danificadas, foi responsável ainda por maior quantidade de aves com lesões na pele.

A estrutura das gaiolas no sistema convencional indicou ser prejudicial às aves, não só quanto aos resultados referentes à qualidade das penas, mas também aos ferimentos encontrados nos dedos dos pés.

Estudos que comparam os três sistemas quanto ao empenamento, mostram que o sistema free-range pode apresentar qualidade de penas superior (SHERWIN et al., 2010), aproximada (DIKMEN et al., 2016) ou semelhante aos sistemas de criação de aves em gaiolas (BLACHFORD et al., 2016). No presente estudo, o sistema FR apresentou qualidade de penas intermediária comparada aos demais, porém, aproximada ao sistema C2, cujo sistema se aproxima dos encontrados no exterior.

Quanto às deformações no esterno, Harlander-Matauschek et al. (2015), afirmam que essas se estendem a todos os sistemas de produção de ovos. Entretanto, essas alterações na quilha, assim verificada mais frequentemente nas aves criadas no sistema FR, foram observadas também por Blachford et al. (2016). Resultados semelhantes foram encontrados por Petrik et al. (2015) para galinhas criadas livres de gaiolas. Esses autores verificaram que 48 % dessas aves apresentaram dano na quilha. Já no sistema convencional, em 25 % das aves foram evidenciadas essas alterações.

Conforme os autores, o acesso a poleiros e movimentos de vôo tem efeito mais pronunciado nas deformações da quilha. Os resultados aqui encontrados, se aproximam de Wilkins et al. (2011), que encontraram incidência acima de 80 % para sistemas em que poleiros estavam disponíveis.

Estudo desenvolvido por Nasr et al. (2012) comprovaram que as aves que possuem deformações ósseas na quilha sentem dor, diminuindo a sua mobilidade. Essas alterações podem ocorrer devido à pressão de longo prazo no osso da quilha e colisões, decorrentes do uso frequente de poleiros e/ou design inadequado (ELSON E CROXALL, 2006). Formas de diminuir desvios ou fraturas é por meio de adaptações no sistema de alojamento como a inserção de materiais macios no poleiro (PICKEL et al., 2011; STRATMANN et al., 2015a), uso de rampas entre os

poleiros (STRATMANN et al., 2015b; HEERKENS et al., 2016), bem como a modificação da altura dos poleiros (WILKINS et al., 2011).

Lesões no coxim plantar também indicam um design inadequado do poleiro, que podem evoluir à incidência de *bumblefoot* - lesão bulbosa localizada no coxim plantar, devido à penetração de um corpo estranho seguida por invasão de *S. aureus* (LAY et al., 2011) - principalmente se o poleiro estiver contaminado com fezes (ELSON E CROXALL, 2006). Os resultados encontrados no presente estudo indicam que esse não foi um fator comprometedor ao sistema FR, uma vez que não foi encontrado evidência de aves com alterações no coxim plantar, diferentemente do sistema C1, em que alterações nessa região foram mais frequentes e significativas.

Maior quantidade de aves com alterações no coxim plantar encontradas em C1 podem ter ocorrido em função do aumento da carga de compressão dos pés com o piso do arame da gaiola (WEITZENBÜRGER et al., 2006).

Quanto as alterações na crista, no FR não foram encontradas aves com anormalidades na crista, porém foi o sistema com maior porcentagem de aves com o escore mais severo de bicadas (escore 2). Essa maior agressividade encontrada no sistema FR em função das bicadas na crista, podem ocorrer com a finalidade da ave estabelecer uma hierarquia social (PETEK E MCKINSTY, 2010), normalmente de aves com corpo mais longo, que direcionam as bicadas para aves com crista grande (CLOUTIER E NEWBERRY, 2002). De acordo com o exposto por Appleby e Hughes (1991) e Bhanja e Bhadauria (2018), sistemas alternativos frequentemente expõem as aves a agressão de aves dominantes e ao risco de canibalismo.

Métodos de minimizar o comportamento agressivo das aves é por meio da inserção de enriquecimento ambiental no ambiente de alojamento das aves, uma vez que promovem distração e tranquilidade às aves, o que pode diminuir as bicadas nas penas e na crista entre esses animais, além de ser uma ferramenta barata e acessível aos produtores (GVARYAHU et al., 1989; REED et al., 1993; SHERWIN, 1995; MCADIE et al., 2005; LEONE E ESTEVEZ, 2008; KIM E SUFKA, 2011; MOROKI E TANAKA, 2015; FERNANDES, 2016; BRANTSÆTER et al., 2017; ZEEP et al., 2018).

Quanto à sujeidade das aves, ressalta-se a importância de as penas serem mantidas limpas, uma vez que servem tanto para aquecimento corporal, quanto para proteger as aves de lesões, infecções de pele e da umidade do ar. O escore mais

encontrado para os lotes avaliados foi o 1, ou seja, de aves ligeiramente sujas (WELFARE QUALITY, 2009). Essa quantidade elevada de aves ligeiramente sujas encontradas no sistema C1 pode ter ocorrido devido à maior incidência de enterite nas aves avaliadas.

5.5 Conclusões

Os resultados referentes à avaliação da integridade física das aves, evidenciam que o sistema C1 é inadequado ao bem-estar de poedeiras comparados ao demais. Uma vez que existem opções de sistemas de produção de ovos que oferecem melhores condições de vida às aves, ressalta-se a necessidade de adaptações ou mesmo mudanças para os demais sistemas.

Referências

- APPLEBY, M.C.; HUGHES, B.O. Welfare of laying hens in cages and alternative systems: environmental, physical and behavioural aspects. **World's Poultry Science Journal**, v. 47, n. 2, p. 109-128, 1991.
- BHANJA, S.K.; BHADARIA, P. Behaviour and welfare concepts in laying hens and their association with housing systems. **Indian Journal of Poultry Science**, v. 53, n. 1, p. 1-10, 2018.
- BILCIK, B.; KEELING, L.J. Changes in feather condition in relation to feather pecking and aggressive behaviour in laying hens. **British Poultry Science**, v. 40, n. 4, p. 444-451, 1999.
- BLATCHFORD, R. A.; FULTON, R. M.; MENCH, J. A. The utilization of the Welfare Quality® assessment for determining laying hen condition across three housing systems. **Poultry Science**, v. 95, n. 1, p. 154-163, 2016.
- BRAGA, J.S.; MACITELLI, F.; LIMA, V.A.; DIESEL, T. O modelo dos “Cinco Domínios” do bem-estar animal aplicado em sistemas intensivos de produção de bovinos, suínos e aves. **Revista Brasileira de Zootecias**, v. 19, n. 2, 2018.
- BRANTSÆTER, M.; TAHAMTANI, F.M.; NORDGREEN, J.; SANDBERG, E.; HANSEN, T.B.; RODENBURG, T.B.; MOE, A.M.; JANCZAK, A.M. Access to litter during rearing and environmental enrichment during production reduce

- fearfulness in adult laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 189, p. 49-56, 2017.
- BROOM, D.M. The scientific basis for action on animal welfare and other aspects of sustainability. In: Farming, **Food and Nature**. Routledge, 2018. p. 93-100.
- BULLER, H; BLOKHUIS, H.; JENSEN, P.; KEELING, L. Towards farm animal welfare and sustainability. **Animals**, v. 8, n. 6, p. 81, 2018.
- CAMPE, A.; HOES, C.; KOESTERS, S.; FROEMKE, C.; BOUGEARD, S.; STAACK, M.; BESSEI, W.; MANTON, A.; SCHOLZ, B.; SCHRADER, L.; THOBE, P.; KNIERIM, U. Analysis of the influences on plumage condition in laying hens: How suitable is a whole body plumage score as an outcome?. **Poultry Science**, v. 97, n. 2, p. 358-367, 2018.
- CARVALHO, C.C.; ANTUNES, R.C.; CARVALHO, A.P.; CAIRES, R.M. Bem-estar na suinocultura. **Revista Eletrônica Nutritime**, v. 11, n. 2, p. 2272-2286, 2013.
- CLOUTIER, S.; NEWBERRY, R.C. Differences in skeletal and ornamental traits between laying hen cannibals, victims and bystanders. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 77, n. 2, p. 115-126, 2002.
- CUNNINGHAM, D. L.; GVARYAHU, G. Effects on productivity and aggressive behavior of laying hens of solid versus wire cage partitions and bird density. **Poultry Science**, v. 66, n. 10, p. 1583-1586, 1987.
- DAVAMI, A. ; WINELAND, M.J.; JONES, W.T.; ILARDI, R.L.; PETERSON, R.A. Effects of population size, floor space, and feeder space upon productive performance, external appearance, and plasma corticosterone concentration of laying hens. **Poultry Science**, v. 66, n. 2, p. 251-257, 1987.
- DIKMEN, B. Y.; İPEK, A.; ŞAHAN, Ü.; PETEK, M.; SÖZCÜ, A. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). **Poultry Science**, v. 95, n. 7, p. 1564-1572, 2016.
- DIKMEN, B.Y.; İPEK, A.; ŞAHAN, Ü.; PETEK, M.; SÖZCÜ, A. Egg production and welfare of laying hens kept in different housing systems (conventional, enriched cage, and free range). **Poultry Science**, v. 95, n. 7, p. 1564-1572, 2016.
- ELSON, H.A.; CROXALL, R. European study on the comparative welfare of laying hens in cage and non-cage systems. **Archiv Fur Geflugelkunde**, v. 70, n. 5, p. 194, 2006.
- FAWC – **Farm Animal Welfare Committee**. London: Nobel House, 2011. 49 p.

- FERNANDES, D.P.B. **Enriquecimento ambiental para gaiolas convencionais de poedeiras em função de diferentes densidades de alojamento**. 2016. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) .Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.
- FERNANDES, D.P.B.; SILVA, I.J.O.; NAZARENO, A.C.; DONOFRE, A.C. Farm animals's cognition and the tests used on its evaluation. **Journal of Animal Behaviour and Biometeorology**, v. 3, n. 1, p. 9-19, 2015.
- GUINEBRETIERE, M.; HUNEAU-SALAÜN, A.; HUONNIC, D.; MICHEL, V. Plumage condition, body weight, mortality, and zootechnical performances: the effects of linings and litter provision in furnished cages for laying hens. **Poultry Science**, v. 92, n. 1, p. 51-59, 2013.
- GVARYAHU, G.; CUNNINGHAM, D.L.; VAN TIENHOVEN, A. Filial imprinting, environmental enrichment, and music application effects on behavior and performance of meat strain chicks. **Poultry Science**, v. 68, n. 2, p. 211-217, 1989.
- HARLANDER-MATAUSCHEK, A.; RODENBURG, T.B.; SANDILANDS, V.; TOBALSKE, B.W.; TOSCANO, M.J. Causes of keel bone damage and their solutions in laying hens. **World's Poultry Science Journal**, v. 71, n. 3, p. 461-472, 2015.
- HEERKENS, J.L.T.; DELEZIE, E.; AMPE, B.; RODENBURG, T.B.; TUYTTENS, F.A.M. Ramps and hybrid effects on keel bone and foot pad disorders in modified aviaries for laying hens. **Poultry Science**, v. 95, n. 11, p. 2479-2488, 2016.
- HONG, E.C.; KANG, H.K.; PARK, K.T.; JEON, J.J.; KIM, H.S.; PARK, S.B.; KIM, S.H.; SUH, S.W.; KIM, S.H. A Study of Analysis on Comparison of Laying Performance and Disease Occurrence of Welfare Approved Farms of Laying Hens with Housing Type. **Korean Journal of Poultry Science**, v. 44, n. 2, p. 143-149, 2017.
- JONES, R.B.; WADDINGTON, D. Modification of fear in domestic chicks, *Gallus gallus domesticus*, via regular handling and early environmental enrichment. **Animal Behaviour**, v. 43, n. 6, p. 1021-1033, 1992.
- KIM, E.H.; SUFKA, K.J. The effects of environmental enrichment in the chick anxiety-depression model. **Behavioural Brain Research**, v. 221, n. 1, p. 276-281, 2011.

- KJAER, J.B.; VESTERGAARD, K.S. Development of feather pecking in relation to light intensity. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 62, n. 2-3, p. 243-254, 1999.
- LAY, D. C.; FULTON, R.M.; HESTER, P.Y.; KARCHER, D.M.; KJAER, J.B., MENCH, J.A.; MULLENS, B.A.; NEWBERRY, R.C.; NICOL, C.J.; O'SULLIVAN, N.P.; PORTER, R.E. Hen welfare in different housing systems. **Poultry Science**, v. 90, n. 1, p. 278-294, 2011.
- LEONE, E. H.; ESTEVEZ, I. Economic and welfare benefits of environmental enrichment for broiler breeders. **Poultry Science**, v. 87, n. 1, p. 14-21, 2008.
- MCADIE, T.M.; KEELING, L.J. Effect of manipulating feathers of laying hens on the incidence of feather pecking and cannibalism. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 68, n. 3, p. 215-229, 2000.
- MCADIE, T.M.; KEELING, L.J.; BLOKHUIS, H.J.; JONES, R.B. Reduction in feather pecking and improvement of feather condition with the presentation of a string device to chickens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 93, n. 1-2, p. 67-80, 2005.
- MENCH, J.A.; SUMNER, D.A.; ROSEN-MOLINA, J.T. Sustainability of egg production in the United States—The policy and market context. **Poultry science**, v. 90, n. 1, p. 229-240, 2011.
- MOROKI, Y.; TANAKA, T. A pecking device as an environmental enrichment for caged laying hens. **Animal Science Journal**, v. 87, n. 8, p. 1055-1062, 2016.
- NASR, M.A.F.; NICOL, C.J.; MURRELL, J.C. Do laying hens with keel bone fractures experience pain?. **PloS One**, v. 7, n. 8, p. e42420, 2012.
- NISTOR, L.I.; ALBU, A.; NISTOR, A.C.; USTUROI, M.G. Aspects of eggs quality provided from free range and conventional systems. **The Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences**, v. 5, n. 2, p. 186, 2015.
- NORGAARD-NIELSEN, G. Bone strength of laying hens kept in an alternative system, compared with hens in cages and on deep-litter. **British Poultry Science**, v. 31, n. 1, p. 81-89, 1990.
- NØRGAARD-NIELSEN, G.; VESTERGAARD, K.; SIMONSEN, H. B. Effects of rearing experience and stimulus enrichment on feather damage in laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 38, n. 3-4, p. 345-352, 1993.

- ONBAŞILAR, E.E.; AKSOY, F.T. Stress parameters and immune response of layers under different cage floor and density conditions. **Livestock Production Science**, v. 95, n. 3, p. 255-263, 2005.
- PETEK, M.; MCKINSTRY, J.L. Reducing The Prevalence And Severity Of Injurious Pecking n Laying Hens Without Beak Trimming. **Uludağ Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi**, v. 29, n. 1, p. 61-68, 2010.
- PETRIK, MIKE T.; GUERIN, MICHELE T.; WIDOWSKI, TINA M. On-farm comparison of keel fracture prevalence and other welfare indicators in conventional cage and floor-housed laying hens in Ontario, Canada. **Poultry Science**, v. 94, n. 4, p. 579-585, 2015.
- PICKEL, T.; SCHRADER, L.; SCHOLZ, B. Pressure load on keel bone and foot pads in perching laying hens in relation to perch design. **Poultry Science**, v. 90, n. 4, p. 715-724, 2011.
- REED, H. J.; WILKINS, L.J.; AUSTIN, S.D.; GREGORY, N.G. The effect of environmental enrichment during rearing on fear reactions and depopulation trauma in adult caged hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 36, n. 1, p. 39-46, 1993.
- SARICA, M.; BOGA, S.; YAMAK, U.S. The effects of space allowance on egg yield, egg quality and plumage condition of laying hens in battery cages. **Czech Journal Animal Science**, v. 53, n. 8, p. 346-353, 2008.
- SAS Institute. Statistical analysis system: Realease 9.2, (software). Cary, 2010. 620p.
- SCHERER, L.; TOMASIK, B.; RUEDA, O.; PFISTER, S. Framework for integrating animal welfare into life cycle sustainability assessment. **The international journal of life cycle assessment**, v. 23, n. 7, p. 1476-1490, 2018.
- SHERWIN, C.M. Environmental enrichment for laying hens—spherical objects in the feed trough. **Animal Welfare**, v. 4, n. 1, p. 41-51, 1995.
- SHERWIN, C.M.; RICHARDS, G.J.; NICOL, C.J. Comparison of the welfare of layer hens in 4 housing systems in the UK. **British Poultry Science**, v. 51, n. 4, p. 488-499, 2010.
- STOJČIĆ, M.D.; PERIĆ, L.; MILOŠEVIĆ, N.; RODIĆ, V.; GLAMOČIĆ, D.; ŠKRBIĆ, Z.; LUKIĆ, M. Effect of genotype and housing system on egg production, egg quality and welfare of laying hens. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 10, n. 2 part 2, p. 556-559, 2012.

- STRATMANN, A.; FRÖHLICH, E.K.; HARLANDER-MATAUSCHEK, A.; SCHRADER, L.; TOSCANO, M.J.; WÜRBEL, H.; GEBHARDT-HENRICH, S.G. Soft perches in an aviary system reduce incidence of keel bone damage in laying hens. **PloS One**, v. 10, n. 3, p. e0122568, 2015a.
- STRATMANN, A.; FRÖHLICH, E.K.F.; GEBHARDT-HENRICH, S.G.; HARLANDER-MATAUSCHEK, A.; WÜRBEL, H.; TOSCANO, M.J. Modification of aviary design reduces incidence of falls, collisions and keel bone damage in laying hens. **Applied Animal Behaviour Science**, v. 165, p. 112-123, 2015b.
- TANAKA, T.; HURNIK, J.F. Comparison of behavior and performance of laying hens housed in battery cages and an aviary. **Poultry Science**, v. 71, n. 2, p. 235-243, 1992.
- TAVARES, B.O.; PEREIRA, D.F.; SALGADO, D.D.A.; MAC-LEAN, P.A.B. Mortality, production and quality of eggs of different rearing systems. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 4, p. 478-485, 2018.
- WATHES, C.; BULLER, H.; MAGGS, H.; CAMPBELL, M. Livestock production in the UK in the 21st century: a perfect storm averted?. **Animals**, v. 3, n. 3, p. 574-583, 2013.
- WEITZENBÜRGER, D.; VITS, A.; HAMANN, H.; DISTL, O. Effect of furnished small group housing systems and furnished cages on mortality and causes of death in two layer strains. **British Poultry Science**, v. 46, n. 5, p. 553-559, 2005.
- WELFARE QUALITY®. 2009. Welfare Quality® assessment protocol for poultry (broilers, laying hens). Disponível em: <<http://www.welfarequality.net/network/45848/7/0/40>>. Acesso em 01 dez. 2018.
- WIDOWSKI, T.M.; HEMSWORTH, P.H.; BARNETT, J.L.; RAULT, J.L. Laying hen welfare I. Social environment and space. **World's Poultry Science Journal**, v. 72, n. 2, p. 333-342, 2016.
- WILKINS, L.J.; MCKINSTY, J.L.; AVERY, N.C.; KNOWLES, T.G.; BROWN, S.N.; TARLTON, J.; NICOL, C. J. Influence of housing system and design on bone strength and keel bone fractures in laying hens. **Veterinary Record**, p. vetrecd4831, 2011.
- WYSOCKI, M.; BESSEI, W.; KJAER, J.B.; BENNEWITZ, J. Genetic and physiological factors influencing feather pecking in chickens. **World's Poultry Science Journal**, v. 66, n. 4, p. 659-672, 2010.

- XIN, H.; GATES, R.S. GREEN, A.R.; MITLOEHNER, F.M.; MOORE, P.A.; WATHES, C.M. Environmental impacts and sustainability of egg production systems. **Poultry Science**, v. 90, n. 1, p. 263-277, 2011.
- YAMAK, U.S.; SARICA, M. Relationships between feather score and egg production and feed consumption of different layer hybrids kept in conventional cages. **Archiv fur Geflügelkunde**, v. 76, p. 31-37, 2012.
- ZEPP, M.; LOUTON, H.; ERHARD, M.; SCHMIDT, P.; HELMER, F.; SCHWARZER, A. The influence of stocking density and enrichment on the occurrence of feather pecking and aggressive pecking behavior in laying hen chicks. **Journal of Veterinary Behavior**, v. 24, p. 9-18, 2018.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O levantamento do fluxo de material foi uma importante ferramenta para identificar pontos críticos no uso de insumos dos diferentes sistemas de produção de ovos e que são comprometedores à sua sustentabilidade, assim como as avaliações da integridade física das aves que serviram como base para o levantamento das deficiências no alojamento e manejo das aves e para a procura da solução dos problemas relacionados ao seu bem-estar, quando passíveis de mudanças, o que se torna um importante índice de sustentabilidade, visto que a melhoria na qualidade de vida das aves pode contribuir na otimização no uso dos insumos e redução da mortalidade (geração de resíduos).

Essa pesquisa obteve resultados semelhantes com alguns estudos realizados no exterior ao comparar sistemas alternativos com o climatizado, evidenciando que o sistema *free-range* pode ser responsável por maior depauperação ambiental por unidade de produto. Entretanto, quando compara-se esses dois sistemas com o convencional, maioria no Brasil, em que as aves são criadas em galpões do tipo californiano, observa-se que esse foi o mais comprometedor ao ambiente e à qualidade de vida das aves.

Verificou-se ainda, que os sistemas possuem potencial para minimizarem os impactos decorrentes da atividade aplicando, muitas vezes, técnicas simples de gestão ambiental, com foco nos insumos, resíduos e na estrutura de alojamento das aves, tendo em vista a ração, o diesel, os dejetos e as adaptações nos galpões de produção.

APÊNDICES

Apêndice A

Questionário aplicado aos produtores e técnicos para o levantamento dos índices zootécnicos e quantidades de insumos utilizados na produção de ovos.

Tipo de sistema:	
Nome da granja:	
Proprietário:	
Contato:	

CARACTERIZAÇÃO DA GRANJA

Dados	Resposta
1. Capacidade de produção de ovos diária (ovos/dia)	
2. Quantidade total de aves em fase de postura	
3. Linhagem de aves presente na granja	
4. Época de construção dos galpões de cria	
5. Época de construção dos galpões de recria	
6. Época de construção dos galpões de postura	
7. Destino dado a cama	
8. Quantidade de cama produzida	
9. Frequência de retirada dos dejetos/cama	
10. Destino dado às aves mortas	
11. Há algum sistema de controle da temperatura do ar? Qual?	
12. Há equipamentos para climatização do ambiente? Qual o critério de acionamento?	

Galpões	Quantidade de galpões	Capacidade de aves	Dimensão (largura x comprimento x pé-direito)
Cria			
Recria			
Postura			
Área externa			

Listar demais instalações presentes na granja (escritório, fábrica de ração, depósito...etc)

Tratores e implementos	Modelo	Potência	Tração	Ano de aquisição

Dados Zootécnicos

Os dados zootécnicos serão referentes ao **último lote de aves, já descartado**. Será necessário anexar os registros da produção de ovos e da taxa de mortalidade da cria, da recria e da postura, do início ao final da etapa de criação, contas de eletricidade do último ano, bem como as formulações e quantidades de ração utilizadas durante o ciclo.

Tabela 1. Dados zootécnicos referentes ao lote escolhido.

Variáveis	Informação
Linhagem do lote escolhido	
Número de aves do lote (entrada na cria)	
Período cria (dias)	
Período de recria (dias)	
Período de postura (semanas)	
Consumo médio de alimento na postura (g/ave/dia)	
Dimensão área externa disponível as aves (m ²)	
Número médio de aves (aves/galpão na postura)	
Tipo de cama	
Quantidade de cama (kg/ave)	
Tempo de inatividade entre ciclos de produção (dias)	

Levantamento da quantidade de insumos

- 1. Ração: (a)** Quantidade (kg) e formulação de cada tipo de ração fornecida durante o período de cria, recria e postura.
- 2. Eletricidade:** Conta de energia elétrica de dezembro de 2018 da granja.
- 3. GLP ou lenha:** Quantidade comprada de insumo para aquecimento das aves na fase de cria.
- 4. Mão de obra:** Número de funcionários e carga horária de trabalho.
- 5. Diesel:** Quantidade de diesel comprada em 2018.
- 6. Pesticidas:** Quantidade e tipos de herbicidas, produtos para controle de moscas e roedores comprados em 2018 e quantidade aplicada por galpão.
- 7. Medicamentos:** Quantidade, tipo e frequência de aplicação de vacinas e de outros medicamentos que são utilizados durante as fases de cria, recria e postura.
- 8. Desinfetantes:** Tipo, quantidade aplicada e frequência de aplicação por galpão e por etapa de criação (cria, recria e postura).

Ração	Quantidade total fornecida durante o ciclo (kg)
Cria	
Recria	
Postura	

Insumos	Quantidade utilizada por galpão de cria
Lenha ou	
Quantidade de aves que utilizou o GLP/Lenha informado	

Variável	Número de funcionários	Jornada diária de trabalho
Mão de obra		

Combustível	Quantidade comprada em 2018
Diesel	

Pesticidas (nome do produto)	Quantidade aplicada e frequência de aplicação

Vacinas	Apresentação do produto (doses/frasco)	Quantidade utilizada (frascos)		
		Cria	Recria	Postura

Outros medicamentos	Quantidade utilizada e frequência de aplicação para o lote escolhido		
	Cria	Recria	Postura

Desinfetantes (nome do produto)	Quantidade aplicada por galpão e frequência de aplicação		
	Cria	Recria	Postura

Outros dados a anexar
Formulações utilizadas durante cada fase de criação
Elettricidade (cópia das contas de energia elétrica da granja de dezembro de 2018)
Registro da produção de ovos
Registro de aves mortas na cria e recria
Registro de aves mortas na postura

Apêndice B

Figura A - Escore de classificação da limpeza da plumagem. Fonte: Welfare Quality (2009)

Figura B - Análise visual para avaliação do coxim plantar evidenciando pés com proliferação do epitélio com danos nos dedos (A), inchaço dos pés, dorsalmente visível (B) e pés com “cascão” (C)

Figura C - Avaliação das deformações no esterno de galinhas poedeiras. Esterno retilíneo (A) com escore 0, esterno com desvio (B) e deformação (C) com escore 2. Fonte: Welfare Quality, 2009

Figura D - Exemplos de lesões na pele das aves (arranhões e ferimentos)

Figura E – Anormalidades na crista das aves

Figura F – Avaliação do desgaste nas penas para o escore b (A) e c (B)

Figura G - Avaliação de bicadas na crista de poedeiras com escore 0 (A), escore 1 (B) e escore 2 (C)