



ConBRepro

XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO



IA nas Engenharias

29 nov. a 01 de dezembro 2023

O uso de modelos de *Machine Learning* na Cadeia Produtiva de Ovos: uma revisão da literatura

José Roberto Cruz e Silva

Pós-graduação stricto sensu em Engenharia de Produção - Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Flávio Trojan

Departamento Acadêmico de Eletrônica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Resumo: A população mundial está crescendo, dados da Organização das Nações Unidas estimam que até o ano 2050 haverá um aumento de 1 bilhão de pessoas. Isso leva a uma preocupação com a demanda por alimentos. E, uma das proteínas animais mais consumidas é o ovo. Nesse sentido, uma Cadeia Produtiva de Ovos eficiente e sustentável pode ajudar a atender a demanda por alimentos. Os modelos de Machine Learning (ML) vêm sendo empregados na Cadeia Produtiva de Ovos para melhorar a eficiência da produção. Este estudo busca mapear os trabalhos envolvendo a Cadeia Produtiva de Ovos e ML. A metodologia utilizada foi a *Methodi Ordinatio*. O mapeamento apresenta um panorama das publicações por ano, revista, autor, modelos de ML empregados e assuntos.

Palavras-chave: Produção, Ovos, Machine Learning.

The Egg Production Chain and Machine Learning models: a literature review

Abstract: The world's population is growing, with data from the United Nations estimating that by the year 2050 there will be an increase of 1 billion people. This leads to concern about the demand for food. And one of the most consumed animal proteins is eggs. In this sense, an efficient and sustainable Egg Production Chain can help meet the demand for food. Machine Learning (ML) models have been used in the Egg Production Chain to improve production efficiency. This study seeks to map the work involving the Egg Production Chain and ML. The methodology used was *Methodi Ordinatio*. The mapping provides an overview of publications by year, journal, author, ML models used and subject.

Keywords: Production, Eggs, Machine Learning

1. Introdução

A Organização das Nações Unidas (ONU) estima que a população global corresponda a cerca de 8 bilhões de pessoas e que, até o ano de 2050, deve aumentar para aproximadamente 9 bilhões (ONU, 2023). A perspectiva de crescimento no Brasil não é diferente. O último censo realizado no país (em 2022) aponta que a população equivale a

203.062.512 pessoas. Um aumento superior a 12 milhões em relação ao ano de 2010, que correspondia a 190.755.799 pessoas (IBGE, 2023a).

A demanda para a produção de alimentos é diretamente impactada com o crescimento populacional. À medida que a população cresce, mais alimentos têm que ser produzidos. Todavia, deve-se buscar uma produção realizada de forma sustentável, minimizando o desperdício de recursos e o impacto ao meio ambiente. Um importante mercado de alimentos é o ligado a produtos de origem animal, que corresponde a dezesseis por cento de todo o mercado agroalimentar, e que teve um aumento na comercialização internacional na ordem de 96 bilhões de euros no ano de 2018 se comparado a 2000 (PATEL . et al, 2023).

Uma importante proteína animal utilizada para a alimentação humana é o ovo. Segundo estimativas da Associação Brasileira de Produção Animal (ABPA), o consumo per capita de cada brasileiro no ano de 2022 foi de 241 unidades de ovos, e a produção nacional foi de 52 bilhões de unidades no mesmo ano (ABPA, 2023). A produção de ovos no Brasil vem crescendo a cada ano. O primeiro trimestre de 2023 apresentou um aumento de 25,77 milhões de dúzias se comparado com o primeiro trimestre de 2022 (IBGE, 2023b).

O aumento da demanda de consumo de ovos deve estar alinhado com o crescimento sustentável da produção. Para isso, a indústria tem que ficar atenta a sua cadeia produtiva, implantando processos eficientes e inteligentes, de modo a gerar redução de custos, tempo e desperdícios, e aumentando a rentabilidade (DETOFOL et. al., 2018).

Existem muitos desafios para manter uma cadeia produtiva de ovos eficiente. Isso porque, trabalha-se com um produto de origem animal, e vários fatores podem impactar na quantidade e na qualidade da produção, tais como: alimentação, manejo, fatores genéticos, ambiente etc (OMOMULE, 2020). Entretanto, a área da Inteligência Computacional vem criando modelos de Machine Learning que podem ser utilizados para otimizar os processos dentro da cadeia produtiva de ovos. Machine Learning (ML) visa criar comportamento de aprendizado de máquinas por um modelo que melhora seu desempenho a partir do treinamento sobre os dados. É comumente utilizada para predição, classificação e agrupamento (VILAS-BOAS et. al, 2023).

O objetivo geral deste estudo é realizar o mapeamento das publicações que envolvem o uso de Machine Learning na Cadeia Produtiva de Ovos. Para isso, utilizou-se como metodologia a revisão de literatura *Methodi Ordinatio* (PAGANI et. al, 2015; PAGANI et al., 2018).

2. Metodologia

A metodologia utilizada neste trabalho foi a revisão de literatura chamada *Methodi Ordinatio*, proposto por Pagani et al. (2015), e atualizada para a versão 2.0 por Pagani et al. (2022). O método consiste em nove etapas, que devem ser executadas de forma sequencial.

Etapa 1 - Estabelecer a intenção da pesquisa

A intenção desse estudo é mapear as publicações envolvendo a aplicação de Machine Learning na Cadeia Produtiva de Ovos.

Etapa 2 - Realizar pesquisa preliminar nas bases de dados

Foram realizadas pesquisas preliminares nas bases de dados Scopus, Web of Science e Science Direct na intenção de testar palavras e operadores a serem utilizados no estudo.

Etapa 3 - Definição da sintaxe da Pesquisa

Definiu-se como parâmetros da pesquisa a busca em torno do título, resumo e palavras-chave dos artigos, utilizando a combinação das seguintes palavras: ("egg production" OR "layer farming" OR "poultry farming") AND "machine learning".

Etapa 4 - Pesquisa definitiva e coleta de dados

A pesquisa nas bases de dados Scopus, Web of Science e Science Direct obteve um total de 75 resultados. Na Tabela 1, observa-se a quantidade de resultados de cada base.

Tabela 1 – Combinação de palavras e quantidade de resultados

Combinação de palavras	Scopus	Web of Science	Science Direct	Total
("egg production" OR "layer farming" OR "poultry farming") AND "machine learning"	54	19	2	75

Fonte: Autoria própria (2023)

Etapa 5 - Procedimentos de filtragem

Os resultados coletados nas bases de dados foram exportados, em formato bibTex, para procedimento de filtragem nos softwares Mendeley e JabRef. Documentos duplicados, fora do tema ou que não possuíam Fator de Impacto foram excluídos (trabalhos de congressos, capítulos ou livros).

Tabela 1 – Pesquisa qualitativa versus pesquisa quantitativa

Item	Quantidade
Número inicial de artigos	75
Artigos duplicados excluídos	16
Exclusão por tipo de documento	22
Exclusão de artigos fora do tema	5
Total de artigos excluídos	43
Número de artigos do portfólio	32

Fonte: Autoria própria (2023)

Etapa 6 - Identificação do Fator de Impacto, ano da publicação e número de citações

Os dados dos artigos do portfólio foram exportados do JabRef para uma planilha eletrônica, onde foram formatados para conter os registros necessários para alimentar a planilha RankIn, tais como: o autor, o título do artigo, o ano de publicação, o nome do periódico, o fator de impacto e o número de citações.

Etapa 7 - *InOrdinatio* usando RankIn

O *Methodi Ordinatio 2.0* utiliza o índice *InOrdinatio* para classificação dos artigos. O *InOrdinatio* aplica uma equação que considera o Fator de Impacto (IF), número de citações (Ci) e ano da publicação.

$$InOrdinatio = \{[\Delta * (IF) - [\lambda * (\frac{ResearchYear - PubYear}{CitedHalfLife})]] + \Omega * [\frac{Ci}{(ResearchYear + 1) - PubYear}]\}$$

Os valores de Δ , λ , Ω variam entre 0 e 10 e corresponde, respectivamente, a importância do Fator de Impacto da publicação, a relevância do ano da publicação e a importância da média anual de citações das publicações. Todas as variáveis foram calibradas com o valor 10.

A planilha RankIn foi utilizada para aplicar a equação *InOrdinatio* e obter o *raking* dos artigos.

Etapa 8 - Baixar os artigos em formato integral

Todos os artigos do portfólio foram baixados.

Etapa 9 - Leitura e análise sistemática

A leitura e análise sistemática dos artigos buscou investigar a contribuição dos trabalhos para a cadeia produtiva de ovos e como os métodos de Machine Learning foram utilizados. Utilizou-se o Google Planilhas para revisão bibliométrica e sistemática. Após a leitura, observou-se que 11 artigos não tinham relação com a Cadeia Produtiva de Ovos e foram descartados.

3. Referencial Teórico

3.1 A Cadeia Produtiva de Ovos e os Modelos de Aprendizagem de Máquina

A cadeia produtiva de ovos é bastante ampla. Envolve desde a aquisição de pintos (OMOMULE, 2020) até o transporte para o cliente final. Abrindo um amplo campo para otimização de processos através de modelos de Aprendizagem de Máquina (Machine Learning – ML).

Enquanto, *Machine Learning* (ML) visa criar comportamento de aprendizado de máquinas por um modelo que melhora seu desempenho a partir do treinamento sobre os dados. É comumente utilizada para predição, classificação e agrupamento (VILAS-BOAS et al., 2023). Os modelos de aprendizado de máquina são subdivididos em quatro grupos de algoritmos de aprendizado (MACHADO; DE ASSIS, 2020, p.19):

[1] Supervisionado: são apresentadas ao computador exemplos de entradas e saídas desejadas, com objetivo de aprender uma regra geral que mapeia as entradas para as saídas. Na fase de treinamento estes algoritmos avaliam o conjunto de entrada e saída de dados conhecidos e, em seguida, nas fases de validação e teste, através de padrões aprendidos na fase anterior, recebem uma série de entrada e compara a saída prevista com a saída desejada a fim de avaliar o seu desempenho. [2] Não supervisionado: esses algoritmos são utilizados em dados que não possuem rótulos históricos, no qual o sistema não sabe a “resposta certa”. O objetivo é descobrir o que está sendo mostrado com a exploração dos dados e encontrar alguma estrutura e ou representação; [3] Semi-supervisionado: esses algoritmos são utilizados para as mesmas aplicações que o aprendizado supervisionado, porém eles utilizam tanto dados rotulados quanto não rotulados para o treinamento; e [4] Por reforço: esses o algoritmos descobrem pela tentativa e erro quais ações geram as maiores recompensas, sendo constituído de três componentes principais: o agente (o aluno ou tomador de decisões), o ambiente (tudo com o qual o agente interage) e as ações (o que o agente pode fazer).

Atualmente, encontramos alguns trabalhos relacionando a cadeia produtiva de ovos e os modelos de ML. Neles vemos abordagens que envolvem problemas relacionados à classificação da qualidade dos ovos (ANGELIM et al., 2023), ao reconhecimento do comportamento das aves e do bem-estar animal (DU et al., 2020; SEHIRLI et al., 2022), ao monitoramento da saúde animal (GOLDEN et al., 2019; PENG et al., 2022; MAO et al., 2022; YOU et al., 2021; BORGONOVO et al., 2020; WANG et al., 2023; WELCH et al., 2023; LIU et al., 2023; SADEGHI et al., 2023), a avaliação e previsão da produção de ovos (MORALES et al., 2016; GONZALES et al., 2022; FELIPE et al., 2015; RAMIREZ-MORALES et al., 2017; BRUMANIS et al., 2023; LI et al., 2017), a previsão de preços (LIU et al., 2023) e a previsão da qualidade da água consumida pelos animais (DEEPIKA et al., 2022).

4. Resultados

Após a aplicação das etapas do *Methodi Ordinatio*, o portfólio final consistiu em 21 artigos. As análises foram realizadas observando o ano de publicação, os periódicos em

que os artigos foram publicados, os países dos autores dos trabalhos, os modelos de ML e o assunto do trabalho.

No Gráfico 1 observa-se que o primeiro trabalho relacionado a Cadeia Produtiva de Ovos e ML foi publicado em 2016, e que existe um crescimento no número de publicações a partir do ano 2021.

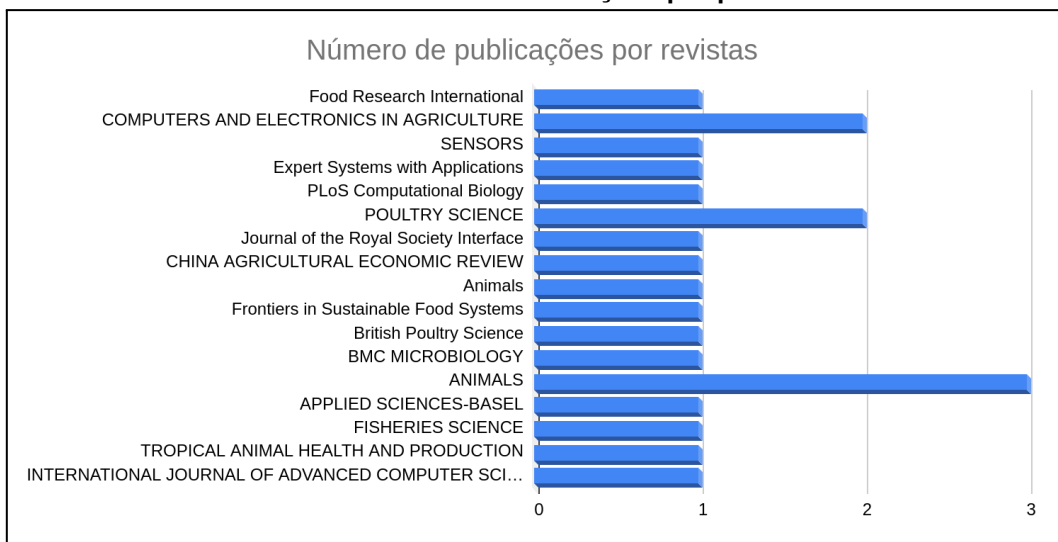
Gráfico 1 – Quantidade de artigos por ano



Fonte: Autoria própria (2023)

O periódico que mais teve artigos publicados relacionados ao tema foi a revista *Animals*, com 3 trabalhos, seguido pelos periódicos *Computers And Electronics in Agriculture* e *Poultry Science*, com 2 trabalhos cada (Gráfico 2).

Gráfico 2 – Número de Publicações por periódicos

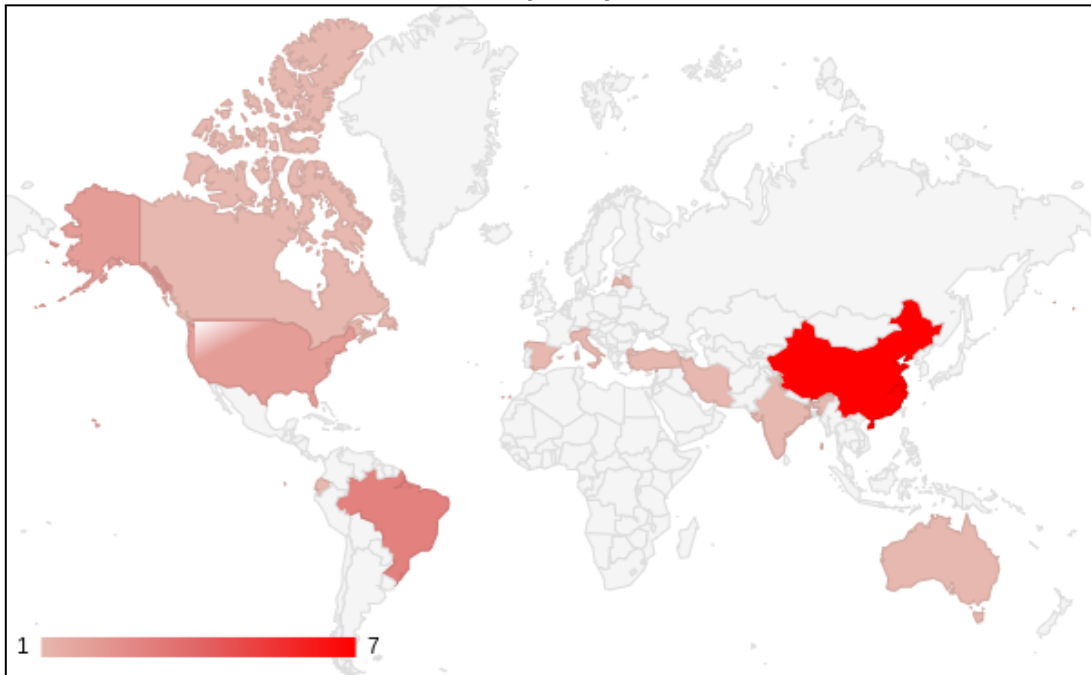


Fonte: Autoria própria (2023)

Observando os países dos autores principais de cada artigo (Gráfico 3), percebe-se que o maior número de publicações tem origem na China, com 7 publicações. O Brasil vem em seguida, com 3 publicações, seguido pelo Estados Unidos, com 2 publicações. Os demais

países (Austrália, Canadá, Equador, Espanha, Índia, Irã, Itália, Letônia e Turquia) possuem uma publicação.

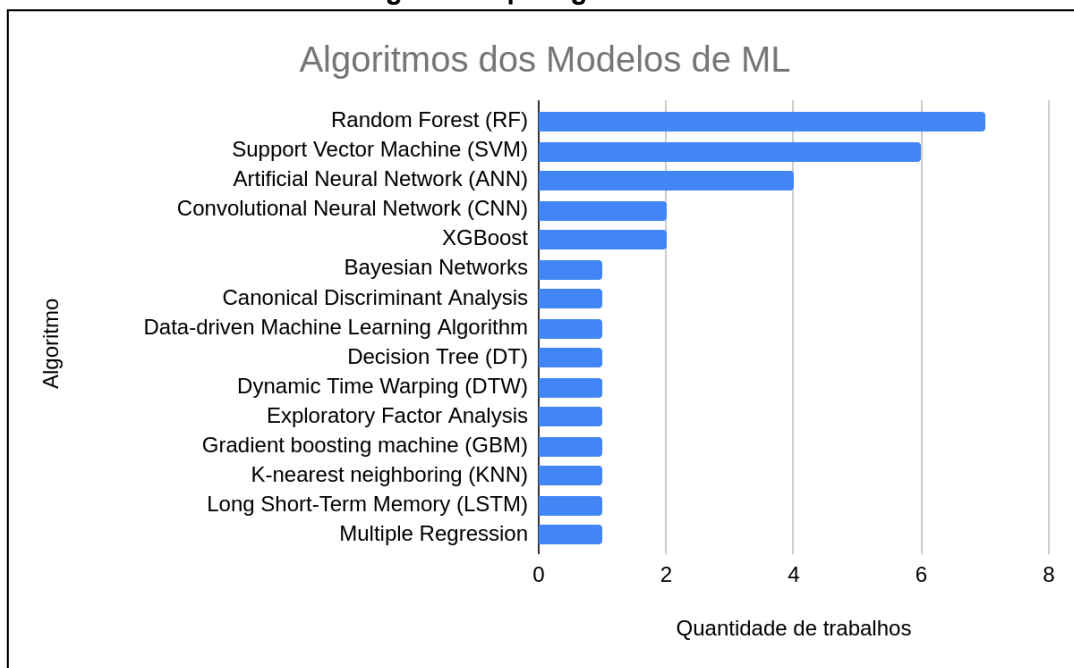
Gráfico 3 – Mapa de publicações



Fonte: Autoria própria (2023)

Em relação aos algoritmos utilizados para gerar os modelos de ML apresentados nos trabalhos, no Gráfico 4 percebe-se que *Random Forest (RF)*, *Support Vector Machine (SVM)* e *Artificial Neural Network (ANN)* foram os mais utilizados, com destaque para o primeiro, que foi empregado em 7 trabalhos.

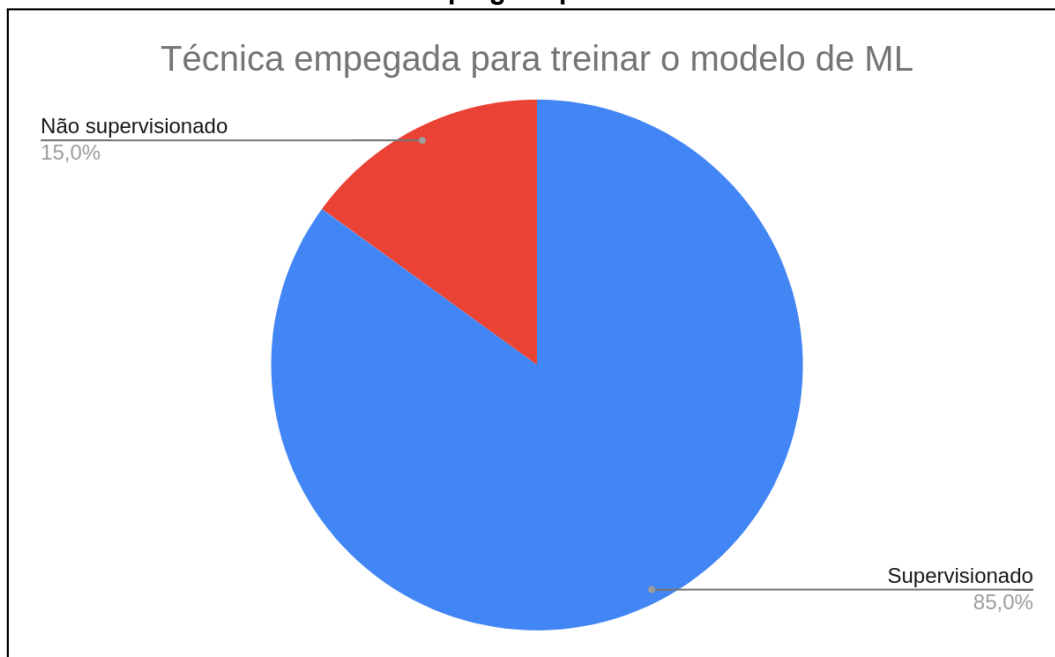
Gráfico 4 – Algoritmos para gerar os Modelos de ML



Fonte: Autoria própria (2023)

A técnica empregada para treinar o modelo ML mais empregado nos trabalhos foi o Supervisionado, que apareceu em 85% dos artigos (Gráfico 5).

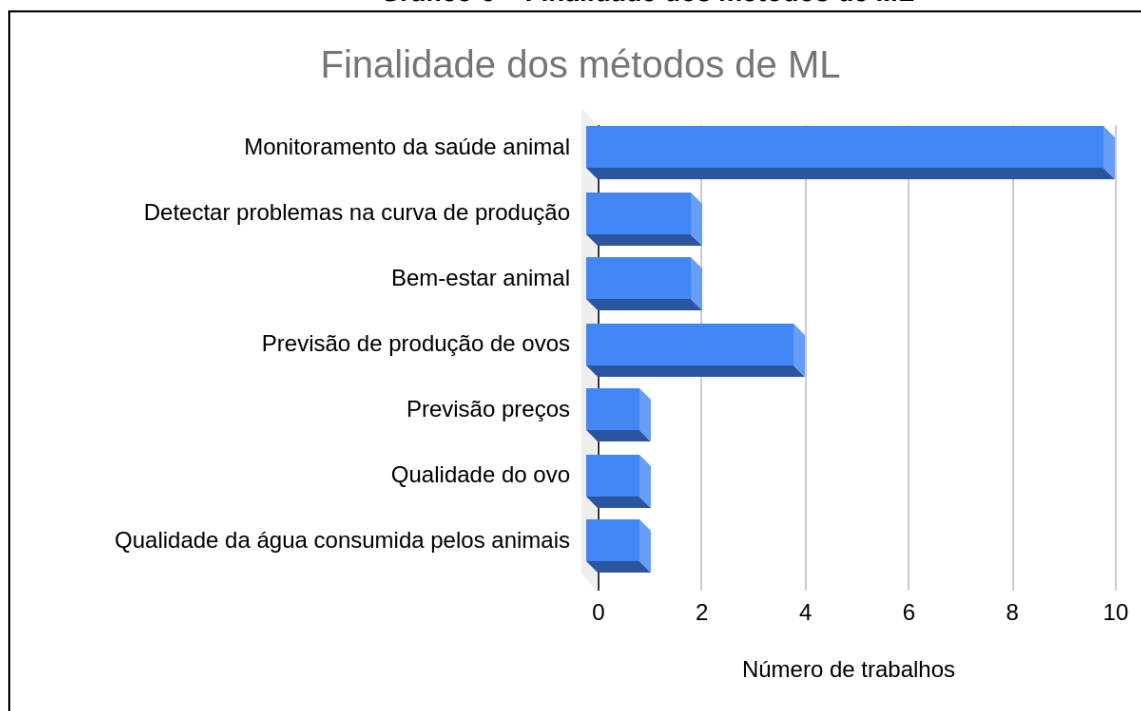
Gráfico 5 – Técnica empregada para treinar o modelo de ML



Fonte: Autoria própria (2023)

Os assuntos dos trabalhos relacionados à Cadeia Produtiva de Ovos e modelos de ML foram diversos. Todavia, no Gráfico 6, percebe-se que trabalhos sobre “Monitoramento da saúde animal” tiveram um maior número de publicações, seguido da “Previsão de produção de ovos”.

Gráfico 6 – Finalidade dos métodos de ML



Fonte: Autoria própria (2023)

5. Conclusões

Este estudo buscou mapear os artigos publicados que relacionam o uso de modelos de *Machine Learning* à Cadeia Produtiva de Ovos. Para isso, realizou-se uma revisão de literatura utilizando o *Methodi Ordinatio*. Os resultados apresentaram um panorama das publicações por ano, revista, autor, modelos de ML empregados e assuntos.

Os trabalhos mostraram um foco no monitoramento da saúde e bem estar animal, além de um olhar para avaliar a produção e qualidade dos ovos. Todavia, a Cadeia Produtiva de Ovos é ampla, e envolve desde a aquisição de pintos até o transporte para o cliente final. Porém, não foram encontrados trabalhos relacionados à distribuição e movimentação da produção.

Contudo, não é possível generalizar e é necessário realizar novas pesquisas explorando outras bases de dados, bem como outras combinações de palavras-chave para ampliar a visão acerca do tema. Entretanto, essa pesquisa sugere que há mais campos a serem explorados em relação ao uso ML na Cadeia Produtiva de Ovos.

Referências

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Estatísticas Setoriais**. Acesso em: 29/06/2023. Disponível em: <https://abpa-br.org/estatisticas-setoriais/>

ANGELIM, Angélica Maria et al. Alternative additives associated in the feeding of laying hens: performance, biometrics, bone traits, and economic evaluation—an unsupervised machine learning approach. **Tropical Animal Health and Production**, v. 55, n. 2, p. 74, 2023.

BORGONOVO, Federica et al. A data-driven prediction method for an early warning of coccidiosis in intensive livestock systems: A preliminary study. **Animals**, v. 10, n. 4, p. 747, 2020.

BUMANIS, Nikolajs et al. Hen Egg Production Forecasting: Capabilities of Machine Learning Models in Scenarios with Limited Data Sets. **Applied Sciences**, v. 13, n. 13, p. 7607, 2023.

DEEPIKA, Dr Nagarathna. Ensemble Tree Classifier based Analysis of Water Quality for Layer Poultry Farm: A Study on Cauvery River. **Age (days)**, v. 245, n. 200, p. 180.

DETOFOL, Daiana Fátima; RAUTA, Jamir; WINCK, César Augustus. Logística aplicada no processo de produção de ovos comerciais. **Revista Visão: Gestão Organizacional**, v. 7, n. 1, p. 52-69, 2018.

DU, Xiaodong et al. Assessment of laying hens' thermal comfort using sound technology. **Sensors**, v. 20, n. 2, p. 473, 2020.

FELIPE, Vivian PS et al. Using multiple regression, Bayesian networks and artificial neural networks for prediction of total egg production in European quails based on earlier expressed phenotypes. **Poultry science**, v. 94, n. 4, p. 772-780, 2015.

GOLDEN, Chase E.; ROTHROCK JR, Michael J.; MISHRA, Abhinav. Comparison between random forest and gradient boosting machine methods for predicting *Listeria* spp. prevalence in the environment of pastured poultry farms. **Food research international**, v. 122, p. 47-55, 2019.

GOLDEN, Chase E.; ROTHROCK JR, Michael J.; MISHRA, Abhinav. Using farm practice variables as predictors of *Listeria* spp. prevalence in pastured poultry farms. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 3, p. 15, 2019.

GONZALEZ-MORA, Andrés F. et al. Assessing environmental control strategies in cage-free aviary housing systems: egg production analysis and random forest modeling. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 196, p. 106854, 2022.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Crescimento populacional**. Acesso em: 29/06/2023. Disponível em: https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm_source=ibge&utm_medium=home&utm_campaign=portal

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da Produção Pecuária**. 2023.

LI, Zengguang et al. Use of random forests and support vector machines to improve annual egg production estimation. **Fisheries science**, v. 83, p. 1-11, 2017.

LIU, Yu et al. A Machine Learning Framework Based on Extreme Gradient Boosting to Predict the Occurrence and Development of Infectious Diseases in Laying Hen Farms, Taking H9N2 as an Example. **Animals**, v. 13, n. 9, p. 1494, 2023.

LIU, Chang et al. Food price dynamics and regional clusters: machine learning analysis of egg prices in China. **China Agricultural Economic Review**, v. 15, n. 2, p. 416-432, 2023.

MACHADO, Eduardo Jabbur; DE ASSIS, Carlos Alberto Silva; PEREIRA, Adriano Cesar Machado. Modelagem, implementação e avaliação de estratégias de negociação baseadas em algoritmos de aprendizado de máquina para o mercado financeiro. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 12, n. 1, p. 16-31, 2020.

MAO, Axiu et al. Automated identification of chicken distress vocalizations using deep learning models. **Journal of the Royal Society Interface**, v. 19, n. 191, p. 20210921, 2022.

MORALES, Iván Ramírez et al. Early warning in egg production curves from commercial hens: A SVM approach. **Computers and electronics in agriculture**, v. 121, p. 169-179, 2016.

OMOMULE, Taiwo Gabriel; AJAYI, Olusola Olajide; OROGUN, Adebola Okunola. Fuzzy prediction and pattern analysis of poultry egg production. **Computers and electronics in agriculture**, v. 171, p. 105301, 2020.

PAGANI, R. N., Kovaleski, J. L., & Resende, L. M. M. (2015). Methodi Ordinatio: A proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, 105(3), 2109-2135. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1744-x>

PAGANI, R. N., Pedroso, B., dos Santos, C. B., Picinin, C. T., & Kovaleski, J. L. (2022). Methodi Ordinatio 2.0: revisited under statistical estimation, and presenting FIndex and RankIn. **Quality & Quantity**. <https://doi.org/10.1007/s11135-022-01562-y>

PATEL, A. S. et al. Blockchain technology in food safety and traceability concern to livestock products. **Heliyon**, 2023.

PENG, Zixin et al. Whole-genome sequencing and gene sharing network analysis powered by machine learning identifies antibiotic resistance sharing between animals, humans and environment in livestock farming. **PLoS computational biology**, v. 18, n. 3, p. e1010018, 2022.

United Nations (ONU). **DESA - Population. Division**. 2023. Acesso em: 29/06/2023. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Graphs/Probabilistic/POP/TOT/900>

RAMÍREZ-MORALES, Iván et al. Automated early detection of drops in commercial egg production using neural networks. **British poultry science**, v. 58, n. 6, p. 739-747, 2017.

SADEGHI, Mohammad et al. Early Detection of Avian Diseases Based on Thermography and Artificial Intelligence. **Animals**, v. 13, n. 14, p. 2348, 2023.

SEHIRLI, Eftal; ARSLAN, Kübra. An application for the classification of egg quality and haugh unit based on characteristic egg features using machine learning models. **Expert Systems with Applications**, v. 205, p. 117692, 2022.

VILAS-BOAS, Jonas L.; RODRIGUES, Joel JPC; ALBERTI, Antonio M. Convergence of Distributed Ledger Technologies with Digital Twins, IoT, and AI for fresh food logistics: Challenges and opportunities. **Journal of Industrial Information Integration**, p. 100393, 2022.

WANG, Xiang-Yu et al. Amplicon-based metagenomic association analysis of gut microbiota in relation to egg-laying period and breeds of hens. **BMC microbiology**, v. 23, n. 1, p. 1-11, 2023.

WELCH, Mitchell et al. An Initial Study on the Use of Machine Learning and Radio Frequency Identification Data for Predicting Health Outcomes in Free-Range Laying Hens. **Animals**, v. 13, n. 7, p. 1202, 2023.

YOU, Jihao et al. Using an artificial neural network to predict the probability of oviposition events of precision-fed broiler breeder hens. *Poultry Science*, v. 100, n. 8, p. 101187, 2021.

ANEXO

Tabela 2 – Portfólio de artigos após a aplicação do Methodi Ordinatio

Ran king	Authors	Article	Journal	FI	Year	Ci	InOrdinatio
1	Golden, C. E. & Rothrock, M. J. & Mishra, A.	Comparison between random forest and gradient boosting machine methods for predicting <i>Listeria</i> spp. prevalence in the environment of pastured poultry farms	Food Research International	11,1	2019	89	283,7368421
2	Morales, I. R. & Cebrián, D. R. & Blanco, E. F. et al.	Early warning in egg production curves from commercial hens: A SVM approach	Computers And Electronics In Agriculture	11,8	2016	85	215,0394737
3	Du, X. D. & Carpentier, L. & Teng, G. H. et al.	Assessment of Laying Hens' Thermal Comfort Using Sound Technology	Sensors	6,4	2020	46	175,0526316
4	Sehirli, Eftal & Arslan, Kübra	An application for the classification of egg quality and haugh unit based on characteristic egg features using machine learning models	Expert Systems With Applications	12,2	2022	8	160,6842105
5	Gonzalez-Mora, A. N. & Rousseau, A. D. & Larios, A. et al.	Assessing environmental control strategies in cage-free aviary housing systems: Egg production analysis and Random Forest modeling	Computers And Electronics In Agriculture	11,8	2022	7	151,6842105
6	Peng, Z. & Maciel-Guerra, A. & Baker, M. et al.	Whole-genome sequencing and gene sharing network analysis powered by machine learning identifies antibiotic resistance sharing between animals, humans and	Plos Computational Biology	6,6	2022	14	134,6842106

		environment in livestock farming						
7	Felipe, V. P. S. & Silva, M. A. & Valente, B. D. et al.	Using multiple regression, Bayesian networks and artificial neural networks for prediction of total egg production in European quails based on earlier expressed phenotypes	Poultry Science	5,6	2015	59	111,0292398	
8	Mao, A. & Giraudet, C. S. E. & Liu, K. et al.	Automated identification of chicken distress vocalizations using deep learning models	Journal Of The Royal Society Interface	7,5	2022	7	108,6842106	
9	You, J. H. & Lou, E. M. & Afrouziyeh, M. et al.	Using an artificial neural network to predict the probability of oviposition events of precision-fed broiler breeder hens	Poultry Science	5,6	2021	9	83,36842107	
10	Liu, C. & Zhou, L. & Höschle, L. et al.	Food price dynamics and regional clusters: machine learning analysis of egg prices in China	China Agricultural Economic Review	5,3	2023	3	83,00000001	
11	Borgonovo, F. & Ferrante, V. & Grilli, G. et al.	A data-driven prediction method for an early warning of coccidiosis in intensive livestock systems: A preliminary study	Animals	2,7	2020	18	68,05263161	
12	Golden, C. E. & Rothrock, M. J. & Mishra, A.	Using Farm Practice Variables as Predictors of Listeria spp. Prevalence in Pastured Poultry Farms	Frontiers In Sustainable Food Systems	4	2019	16	66,73684215	
13	Ramírez-Morales, I. & Fernández-Blanco, E. & Rivero, D. et al.	Automated early detection of drops in commercial egg production using neural networks	British Poultry Science	3,5	2017	21	57,1052632	
14	Wang, X. Y. & Meng, J. X. & Ren, W. X. et al.	Amplicon-based metagenomic association analysis of gut microbiota in relation to egg-laying period and breeds of hens	Bmc Microbiology	5,6	2023	0	56,00000002	
15	Welch, M. & Sibanda, T. Z. & Vilela, J. D. et al.	An Initial Study on the Use of Machine Learning and Radio Frequency Identification Data for Predicting Health Outcomes in Free-Range Laying Hens	Animals	2,7	2023	1	37,00000001	
16	Bumanis, N. & Kvišis, A. & Paura, L. et al.	Hen Egg Production Forecasting: Capabilities of Machine Learning Models in Scenarios with Limited Data Sets	Applied Sciences-Basel	3,7	2023	0	37	
17	Li, Z. G. & Wan, R. & Ye, Z. J. et al.	Use of random forests and support vector machines to improve annual egg production estimation	Fisheries Science	3	2017	9	34,96240602	
18	Liu, Y. & Zhuang, Y. R. & Yu, L. G. et al.	A Machine Learning Framework Based on Extreme Gradient Boosting to Predict the Occurrence and Development of Infectious Diseases in Laying Hen Farms, Taking H9N2 as an Example	Animals	2,7	2023	0	27,00000001	
19	Sadeghi, M. & Banakar, A. & Minaei, S. et al.	Early Detection of Avian Diseases Based on Thermography and Artificial Intelligence	Animals	2,7	2023	0	27,00000001	

20	Angelim, A. M. & Leite, S. C. B. & de Farias, M. R. S. et al.	Alternative additives associated in the feeding of laying hens: performance, biometrics, bone traits, and economic evaluation-an unsupervised machine learning approach	Tropical Animal Health And Production	2,4	2023	0	24,00000002
21	Deepika & Nagarathna & Channegowda	Ensemble Tree Classifier based Analysis of Water Quality for Layer Poultry Farm: A Study on Cauvery River	International Journal Of Advanced Computer Science And Applications	1,8	2022	0	16,68421053

Fonte: Aatoria própria (2023)