

INOVAÇÃO NA PREDIÇÃO DOS VALORES ENERGÉTICOS DE ALIMENTOS PARA FRANGOS DE CORTE: UM ESTUDO BIBLIOMÉTRICO SOBRE AS REDES BAYESIANAS

Tatiane Carvalho ALVARENGA¹

Renato Ribeiro de LIMA²

Júlio Sílvio de Sousa BUENO FILHO²

Paulo Borges RODRIGUES³

Renata Ribeiro ALVARENGA³

Flávia Cristina Martins Queiroz MARIANO⁴

- RESUMO: A *Web of Science da Thomson Reuters* é uma base de dados que possibilita identificar padrões e tendências das publicações científicas, permitindo assim, uma ampla compreensão das publicações da área de interesse. Uma área que vem despertando atenção para a comunidade estatística são as redes bayesianas, devido apresentarem modelos probabilisticamente promissores de *machine learning*. O objetivo desta foi de identificar e descrever as principais categorias do *Web of Science* que contemplam pesquisas sobre redes bayesianas acreditando no potencial destas para a área de avicultura, mais especificamente na predição de valores energéticos dos alimentos. Para a realização desta pesquisa foram coletados os dados da base *Web of Science da Thomson Reuters* de 1945 à 2018. Por meio da busca é possível responder a várias questões de interesse, entre elas, se existem publicações de redes bayesianas principalmente nas ciências animais, mais especificamente na formulação de rações para frangos de corte. Os resultados encontrados confirmaram que essa área de conhecimento ainda é bem recente. As primeiras publicações se deram em 1990 e as principais publicações estão concentradas na ciência da computação e não foi encontrado nenhuma pesquisa na predição da energia metabolizável de alimentos para frangos de corte utilizando essa metodologia.
- PALAVRAS-CHAVE: Algoritmo híbrido; avicultura; bibliometria; energia metabolizável.

1 Introdução

O conhecimento da energia metabolizável aparente corrigida pelo balanço de nitrogênio (EMAn) dos alimentos, bem como sua composição química, faz-se necessário na elaboração de rações balanceadas pela indústria de frangos de corte. Os meios da obtenção dos valores da EMAn podem ser obtidos em ensaios biológicos (ZHAO *et al.*,

¹ Instituto Federal Sudeste de Minas Gerais – IFSUDESTE/MG, Núcleo de Ciências Exatas, CEP: 36205-018, Barbacena, MG, Brasil. E mail: tatianecarvalhoalvarenga@gmail.com

² Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Estatística, 3037, CEP: 37200-900, Lavras, MG, Brasil. E mails: rrlima@ufla.br; jssbueno@ufla.br

³ Universidade Federal de Lavras - UFLA, Departamento de Zootecnia, 3037, CEP: 37200-900, Lavras, MG, Brasil. E mails: pborges@ufla.br; renata.alvarenga@ufla.br

⁴ Universidade Federal de São Paulo - UNIFESP, Departamento de Ciência e Tecnologia, 3037, CEP: 12.231-280, São José dos Campos, SP, Brasil. E mail: flavia.queiroz@unifesp.br

2008; WAN *et al.*, 2009), bem como pelas tabelas de composição de alimentos (SCOTT *et al.*, 1982; NRC, 1994; LEESON; SUMMERS, 2001; I.N.R.A., 1984; ROSTAGNO *et al.*, 2017). No entanto, a execução dos ensaios biológicos demanda tempo, são de custo elevado e geralmente as tabelas não são as mais confiáveis pela diversidade de valores que as mesmas sugerem (NAGATA *et al.*, 2004; NASCIMENTO *et al.*, 2011). Outro meio de se obter os valores de EMAn são as equações de predição estabelecidas em função da composição química dos alimentos (ALVARENGA *et al.*, 2011; MARIANO *et al.*, 2013), normalmente de fácil e rápida obtenção. Na literatura existem trabalhos que obtiveram as equações de predição por meio de regressão múltipla (RODRIGUES *et al.*, 2001, 2002; BORGES *et al.*, 2003; ZHAO *et al.*, 2008), meta-análise (NASCIMENTO *et al.*, 2009, 2011; MARIANO *et al.*, 2012) e redes neurais (PERAI *et al.*, 2010; AHMADI *et al.*, 2007, 2008; MARIANO *et al.*, 2013). No entanto, é necessário a inovação em termos de utilização metodológica (ALVARENGA *et al.*, 2015), podendo assim, resultar em melhores estimativas dos valores energéticos.

Uma metodologia que se tem demonstrado promissora, quando o objetivo é predição, são as redes bayesianas (RB) (GIANOLA *et al.*, 2011). As RB são modelos gráficos os quais consistem na representação gráfica (grafo) e probabilística (distribuições de probabilidade condicionais e conjunta) das variáveis (SCUTARI e DENIS, 2015). Uma RB constitui uma representação gráfica de variáveis e suas relações causais, nomeadas respectivamente por nós ou vértices e arestas, arcos ou setas (PEARL, 1988; SPIRITES *et al.*, 2000; KOLLER e FRIEDMAN, 2009; SCUTARI e DENIS, 2015).

Além das RB, outra metodologia utilizada e indicada em estudos cujo objetivo principal é a predição, são as redes neurais artificiais (BISHOP, 2006). Felipe *et al.* (2015) mencionam a utilização dessa metodologia nas ciências animais, cujas aplicações são a predição da produção de ovos (AHMADI e GOLIAN, 2008; SAVEGNAGO *et al.*, 2011; FARIDI e GOLIAN, 2011); eclodibilidade (MEHRI, 2013); do peso e do número de ovos (SEMSARIAN *et al.*, 2013); obtenção de curvas de crescimento (AHMAD, 2009) e estudos sobre nutrição em aves capoeiras (MEHRI, 2012). Assim como as redes neurais artificiais têm sido utilizadas nas ciências animais e os resultados obtidos pelas mesmas tem tido êxito, é de interesse avaliar se as redes bayesianas também têm tido destaque nessa mesma área. Alguns autores têm utilizado as redes bayesianas para predição e afirmam sua superioridade em capturar (e expressar) relações mais complexas entre as covariáveis e a variável resposta (GIANOLA *et al.* 2011).

Com o objetivo de identificar e descrever as principais categorias do *Web of Science* que contemplam pesquisas sobre redes bayesianas acreditando no potencial destas para a área de avicultura, mais especificamente na predição de valores energéticos dos alimentos, verificar as publicações ao longo dos anos, identificar os tipos de documentos publicados, além das principais agências financiadoras, os principais autores, países e idiomas sobre as publicações, foi realizada essa pesquisa bibliométrica. Com essa pesquisa buscou-se avaliar o panorama das publicações e assim, ter um direcionamento para pesquisas posteriores sobre as redes bayesianas e as palavras chaves de interesse.

2. Material e métodos

O presente estudo se caracteriza como uma análise bibliométrica de publicações científicas. A bibliometria utiliza normalmente de técnicas quantitativas para analisar a produção acadêmica por meio de palavras-chaves que podem ser identificadas na publicação. Para a realização desta pesquisa utilizou-se as seguintes etapas, as quais estão resumidas na Tabela 1.

2.1 Etapa 1: Operacionalização da pesquisa

A base *Web of Science da Thomson Reuters* foi utilizada para identificar as publicações de interesse. a delimitação do termo que representa o campo além de outros termos para apurar os resultados se encontram na figura 1.

Tabela 1 - *Framework* de análise bibliométrica

Etapa	Procedimento	Descrição
Operacionalização da pesquisa	1.1	Escolha da(s) base(s) científica(s) ou periódicos
	1.2	Delimitação do termo que representa o campo
	1.3	Delimitação de outros termos para apurar os resultados
	2.1	<i>Topic</i> (termo do campo) <i>AND</i> topic (direcionamento)
	2.2	Utilização de <i>underline</i> : expressão exata
Procedimentos de busca (filtros)	2.3	Filtro 1: Todos os anos
	2.4	Filtro 2: Todas as áreas
	2.5	Filtro 3: Todos os idiomas
	2.6	Filtro 4: Delimitação em somente artigos
	3.1	Análise do volume das publicações e tendências temporais
Análise da produção científica	3.2	Análise das categorias da base
	3.3	Análise dos meios de publicação
	3.4	Análise dos países
	3.5	Análise das universidades
	3.6	Análise das áreas de pesquisa
	3.7	Análise das agências de financiamento
	3.8	Análise dos idiomas
3.9	Descrição dos principais resultados com as outras buscas	

Fonte: Adaptado de Prado *et al.*, 2016

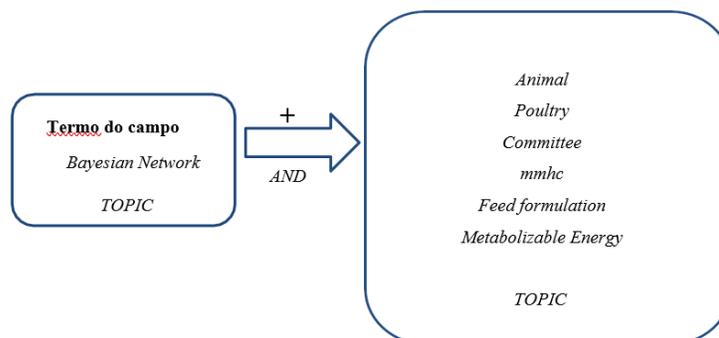


Figura 1 – Estrutura de análise bibliométrica.

2.2 Etapa 2: Procedimentos de busca (filtros)

Para a realização das buscas (procedimento 2.1 - Tabela 1) utilizou-se no “*topic*” apenas o termo (“*bayesian network*”). Num segundo momento foi inserido o conectivo “*and*” para ligar o primeiro campo de pesquisa ao segundo, conforme segue ilustrado na Figura 1.

As buscas foram realizadas com as combinações dos termos em “*topic*” totalizando várias pesquisas. Utilizou-se *underline* para buscar a expressão exata no termo de campo. Foram considerados todas as publicações e posteriormente só artigos científicos que abordavam sobre redes bayesianas em todos os anos disponíveis na base. Posteriormente restringiu-se a busca para o período de 1990 (primeiro trabalho encontrado) a outubro de 2018 e delimitou-se por todas as áreas do conhecimento.

2.3 Etapa 3: Análise da produção científica

Foram gerados gráficos e tabela tendo por objetivo apresentar em termos quantitativos as publicações do campo de estudo em foco.

Resultados e discussão

As buscas foram realizadas no “*topic*” totalizando 14174 publicações, com o termo redes bayesianas. Utilizou-se *underline* para buscar a expressão exata. Foram considerados todos os tipos de publicações disponíveis na base. A partir disso se restringiu a busca para o período de 1990 a qual se encontrou a primeira publicação intitulada de *Application of bayesian networks to multitarget tracking* (KOVACICH, 1990) em que não teve nenhuma citação. O segundo trabalho publicado foi *Identifying independence in bayesian networks* (GEIGER *et al.*, 1990), a qual teve 185 citações. O mesmo foi publicado na revista *Networks*. A terceira publicação foi o artigo da revista *Artificial intelligence* nomeado por *Gibbs sampling in bayesian networks* (HRYCEJ, 1990), o qual teve um total de 24 citações. As publicações mais recentes são *Margins of discrete bayesian networks* (EVANS, 2018), *High-dimensional consistency in score-based and hybrid structure learning* (NANDY *et*

al., 2018) e *Applications of Business Analytics in Predicting Flight On-time Performance in a Complex and Dynamic System* (TRUONG et al., 2018). As duas primeiras publicações são do *Annals of Statistics* e a terceira publicação é da *Transportation Journal*. Para as demais consultas das publicações, as mesmas podem ser consultadas na *Web of Science*.

Por meio da Figura 2 observa-se o número de publicações sobre as redes bayesianas ao longo dos anos. O início das publicações foi em 1990, com uma tendência crescente até 2007. Entre os anos 2008 e 2010, houve uma pequena oscilação quanto ao número de publicações e depois novamente uma tendência crescente. Para o ano de 2018 não se tem o seu número total, pois as buscas dos dados se deram apenas até o mês de outubro. O ano de 2017, 2016 e 2015 são os anos que tiveram um maior número de publicações, até o momento.

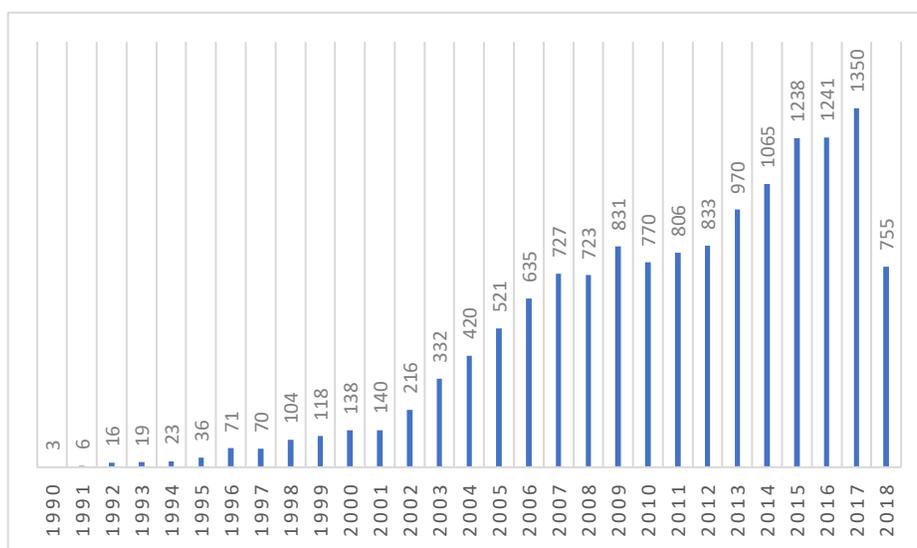


Figura 2 - Publicações sobre redes bayesianas (1990 – outubro de 2018).

Na Figura 3 pode-se observar as principais categorias do *Web of Science* e seus respectivos números de publicações sobre redes bayesianas. A categoria que apresenta um maior número de publicações é da Inteligência Artificial - Ciência da Computação no total de 4684 publicações. A categoria Probabilidade e Estatística tem um total de 569 publicações. Observa-se que se tratando da categoria relacionada às áreas agrônômica ou zootécnica, não foram encontrados registros nas primeiras 25 categorias de maior número de publicações. Isso mostra que redes bayesianas de alguma forma não é muito conhecida e nem tão utilizada na experimentação agropecuária.

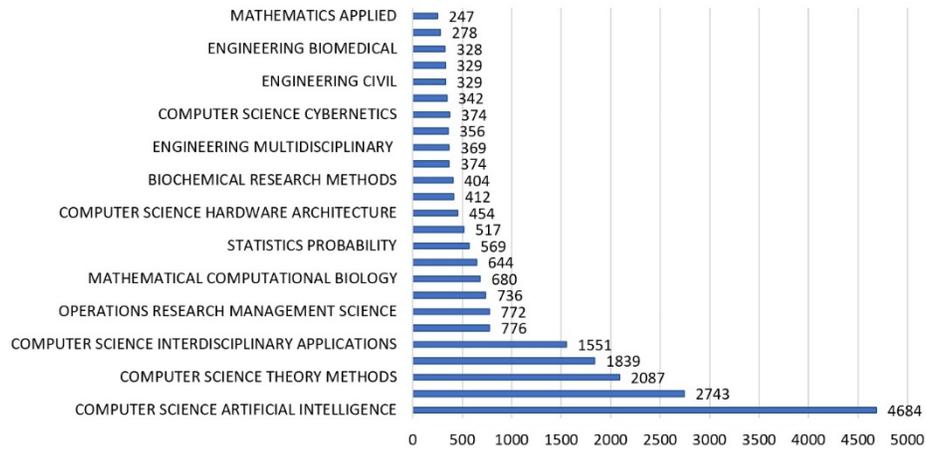


Figura 3 - Categorias do *Web of Science* mais publicadas sobre redes bayesianas (1990 – outubro de 2018).

Na Figura 4 encontram-se os principais meios de publicação que abordam sobre as redes bayesianas. Observa-se que a maioria das publicações são em forma de artigo e este número é consideravelmente superior aos demais meios, exceto em relação aos publicados em anais de eventos científicos, que apresenta também um número consideravelmente alto.

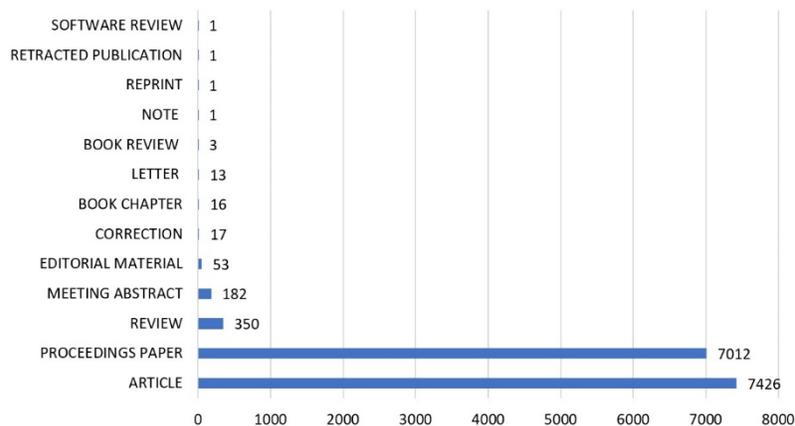


Figura 4 - Principais meios de publicações que abordaram sobre redes bayesianas (1990 - Outubro de 2018).

Na Figura 5 encontram-se os principais países que publicam sobre as redes bayesianas. Observa-se que os Estados Unidos lideram o ranking com 3552 publicações. O Brasil possui 307 publicações e, das 25 primeiras posições mostradas na Figura 5, o país com menor índice de publicação foi a Polônia, com apenas 154 publicações. Por meio desse cenário, avaliou-se o número de publicações com relação às universidades, cujo resultado está apresentado na Figura 6.

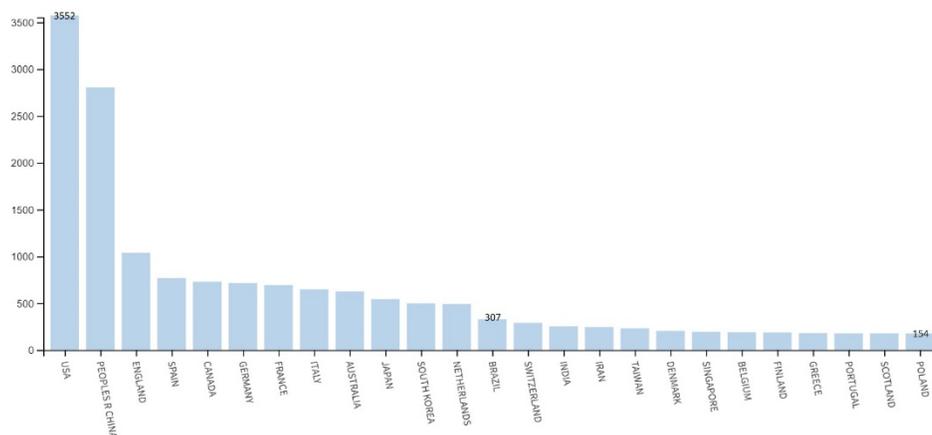


Figura 5 - Principais países que mais publicaram sobre as redes bayesianas (1990 – Outubro de 2018).

Na Figura 6 encontram-se as 25 universidades que mais publicaram sobre as redes bayesianas. Os resultados corroboram a Figura 5, já que os Estados Unidos lideram o ranking de país com maior número de publicações. A universidade com maior publicação pertence a este país, com um total de 283 publicações. A universidade brasileira também tem destaque entre as 25 universidades mencionadas na Figura 6, indicando que a Universidade de São Paulo publicou em 88 meios de divulgação. Para complementar o conhecimento sobre as universidades, investigou-se sobre as principais áreas de pesquisas que trabalharam com as redes bayesianas. Este resultado se encontra na Figura 7.

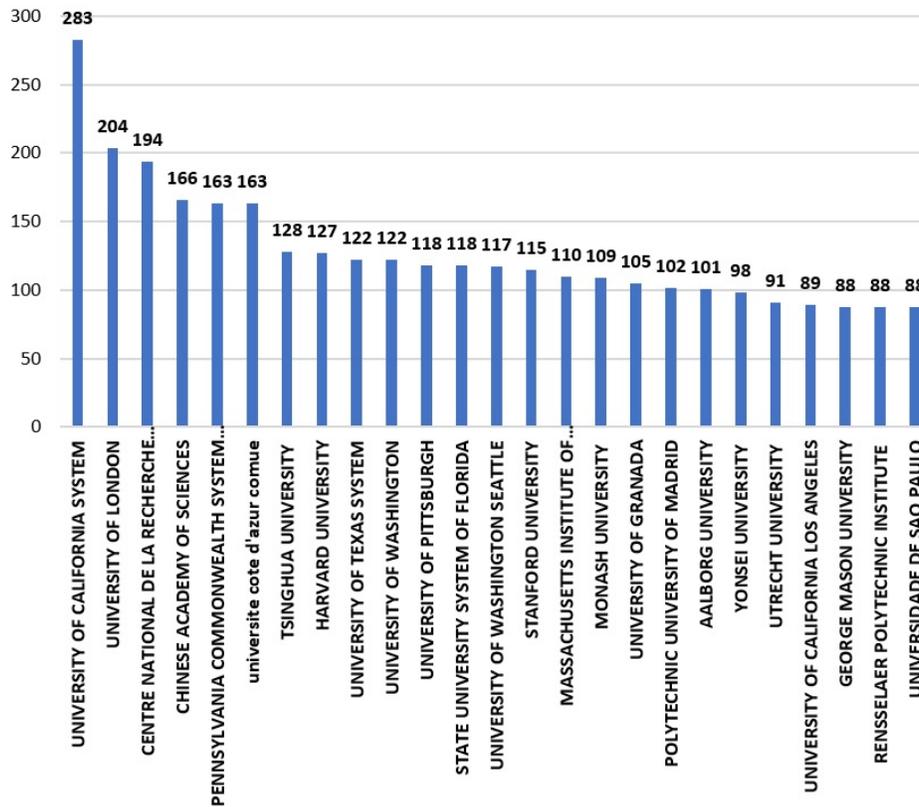


Figura 6 - Principais universidades que mais publicaram sobre as redes bayesianas (1990 – Outubro de 2018).

Na Figura 7 apresentam as áreas que mais publicaram sobre as redes bayesianas. Os resultados confirmam que, de acordo com a categoria de classificação da *Web of Science*, a área de Ciências da Computação tem um maior número de registros, no total 7837 publicações. Seguindo essa classificação destaca-se a área da Engenharia, com 4639 publicações. As demais áreas possuem um número abaixo de 1000 publicações. Também é de interesse verificar agências que financiam essas publicações.

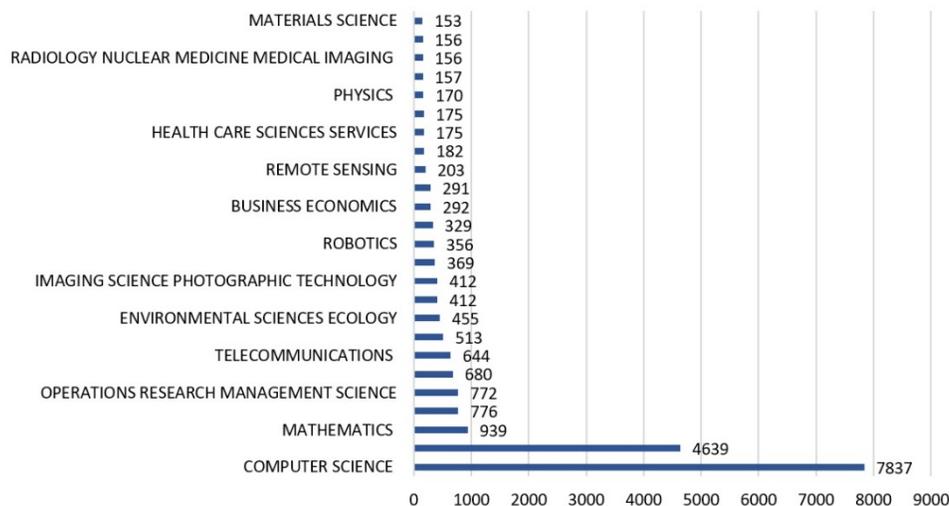


Figura 7 - Principais áreas de pesquisas que publicaram sobre redes bayesianas (1990 – outubro de 2018).

Por meio da *Web of Science* verifica-se que a agência *National Natural Science Foundation of China* foi a que mais financiou publicações sobre as redes bayesianas. O número de publicações desta agência superou 600 publicações, a qual é um número bem superior de publicações comparado às publicações das demais agências consultadas na base, aos quais as mesmas não superam 150 publicações. Entre as 25 agências que mais financiaram as pesquisas, o CNPq teve destaque também com 31 trabalhos publicados por intermédio de seu auxílio financeiro.

Em consulta a base *Web of Science* é verificado que dentre os 12 idiomas que publicaram sobre as redes bayesianas, 14068 publicações são do idioma em inglês. Nos outros idiomas, alemão, chinês, espanhol, francês, japonês, russo, entre outros, o número de publicações destes é inferior a 50.

Seguindo os passos apresentados na metodologia fez-se um filtro nas buscas apenas selecionando os artigos. Na Tabela 2 apresentam-se os 10 artigos mais citados dentre os 7426 artigos selecionados na área de redes bayesianas. Além dos artigos, na Tabela 2, é apresentado os autores e o número de citações dos mesmos. O artigo com o maior número de citações foi *Bayesian network classifiers* (FRIEDMAN et al., 1997), com 1833 citações.

Tabela 2 - Artigos e autores mais citados na área de redes bayesianas - *Web of Science*

Artigo	Autor	Citação
<i>Bayesian network classifiers</i>	Friedman et al. (1997)	1833
<i>Using Bayesian networks to analyze expression data</i>	Friedman et al. (2000)	1571
<i>Learning bayesian ne/tworks - the combination of knowledge and statistical-data</i>	Heckerman et al. (1995)	1341
<i>A Bayesian networks approach for predicting protein-protein interactions from genomic data</i>	Jansen et al. (2003)	797
<i>The max-min hill-climbing Bayesian network structure learning algorithm</i>	Tsamardinos et al. (2006)	372
<i>Advances to Bayesian network inference for generating causal networks from observational biological data</i>	Yu et al. (2004)	384
<i>Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modelling</i>	Uusitalo (2007)	372
<i>Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into Bayesian networks</i>	Bobbio et al. (2001)	346
<i>Learning Bayesian networks from data: An information -theory based approach</i>	Cheng et al. (2002)	338
<i>Being Bayesian about network structure. A Bayesian approach to structure discovery in Bayesian networks</i>	Friedman; Koller (2003)	329

Na busca pelas palavras “*Bayesian Network AND Animal*”, ambas buscadas no corpo do texto, título, palavras-chaves, foram encontrados 80 registros com estas palavras, das quais as três principais categorias de publicação na base foram na *Computer Science Artificial Intelligence* (11,25% das publicações), *Mathematical Computational Biology* (10% publicações) e *Computer Science Interdisciplinary Applications* (7,5% das publicações). Os Estados Unidos foi o país que liderou as publicações com 47,5% das publicações, seguido pela Austrália e Inglaterra, ambos com 11,25% das publicações. As principais publicações foram da *Pennsylvania Commonwealth System of Higher Education Peshe*, *Duke University*, *University of Pittsburgh*, *University of Queensland*, *Harvard University*, *Procter Gamble*, *University of Melbourne* e *University of Wisconsin-Madison*.

Na busca pelas palavras “*Bayesian Network AND poultry*”, ambas com busca no corpo do texto, foram encontrados apenas 5 registros, sendo eles *Using Monte-Carlo simulations and Bayesian Networks to quantify and demonstrate the impact of fertiliser best management practices* (NASH e HANNAH, 2011) com 29 citações e publicado no periódico *Environmental Modelling & Software*. O artigo *Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques* (SOLTANI e OMID, 2015) foi publicado na *Lwt-Food Science and Technology* e tem 9 citações. Empatam em número de citações os artigos, *Using multiple regression, Bayesian networks and artificial neural networks for prediction of total egg production in European quails based on earlier expressed phenotypes* (FELIPE et al., 2015) publicado na *Poultry Science* e o artigo

Bayesian network as an aid for Food Chain Information use for meat inspection (LUPO *et al.*, 2013), que foi publicado no periódico *Preventive Veterinary Medicine*. Apenas com 2 citações, o artigo *Multivariate Analysis of the Determinants of the End-Product Quality of Manure-Based Composts and Vermicomposts Using Bayesian Network Modelling* (FAVERIAL *et al.*, 2016) foi publicado na *Plos One*. Percebe-se que as publicações são bem recentes e que o campo ainda pode ser explorado.

Na busca pelas palavras “*Bayesian Network AND Committee*”, ambas com busca no corpo do texto, foram encontradas 24 publicações. A primeira publicação e a mais citada foi *Bayesian neural networks for classification: how useful is the evidence framework?* (PENNY; ROBERTS, 1999) publicado no periódico *Neural Networks*, este artigo teve 62 citações. A publicação mais recente com a busca de palavras mencionadas foi o artigo *Identifying opportunities to improve piped water continuity and water system monitoring in Honduras, Nicaragua, and Panama: Evidence from Bayesian networks and regression analysis* (CRONK e BARTRAM, 2018), publicado no *Journal of Cleaner Production*. No entanto, comitês a qual combinam diferentes redes bayesianas híbridas não foram encontradas publicações.

Na busca pelas palavras “*Bayesian network AND MMHC*”, ambas com busca no corpo do texto, foram encontradas apenas 16 publicações. A justificativa de busca pela palavra “*MMHC*” se baseia na literatura, já que a mesma aborda que é um algoritmo computacionalmente eficiente e utilizado quando o estudo é predição (FELIPE *et al.*, 2015) e por meio dele pode-se obter regressões multivariadas. Por meio dessa busca verificou-se que o primeiro artigo e mais citado foi *The max-min hill-climbing Bayesian network structure learning algorithm* (TSAMARDINOS *et al.*, 2006) publicado na *Machine Learning*, foram 394 citações, no qual é proposto o método. Observa-se que a maioria das publicações se encontram nas categorias da *Web of Science* relacionadas à computação.

Para conhecimento de publicações na produção avícola foram feitas buscas pelas palavras “*Bayesian network AND Feed formulation*” e “*Bayesian network AND Metabolizable Energy*”, ambas palavras com busca no corpo do texto. Por meio dessas buscas não foram encontrados nenhum registro de publicações.

Conclusão

Por meio de todas as buscas na base *Web of Science* observa-se que a maioria das publicações estão relacionadas à área de Ciências da Computação. Nas áreas aplicadas, principalmente agrárias I, ainda se têm pouquíssimas publicações ou nenhuma. Conclui-se que redes bayesianas é uma linha de pesquisa inédita na nutrição de aves e que pode ser estudada por pesquisadores que tem o interesse na predição dos valores energéticos de alimentos.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio financeiro e aos dois revisores e editores pelos comentários e sugestões.

ALVARENGA, T. C., LIMA, R. R., BUENO FILHO, J. S. S., RODRIGUES, P. B., ALVARENGA, R. R., MARIANO, F. C. M. Q. Innovation in the prediction of the energy values of feedstuffs for broilers: a bibliometric study on the bayesian networks. *Rev. Bras. Biom. Lavras*, v.38, n.3, p.274-289, 2020.

- **Abstract:** *The Thomson Reuters Web of Science is a database that makes it possible to identify patterns and trends in scientific publications, thus allowing a broad understanding of publications in the area of interest. An area that has attracted attention for the statistical community is the Bayesian networks, due to the fact that they present probabilistically promising models of machine learning. The purpose of this was to identify and describe the main categories of Web of Science that include research on Bayesian networks, believing in their potential for the poultry industry, more specifically in the prediction of energy values of feedstuffs. To carry out this research, data were collected from the Thomson Reuters Web of Science database from 1945 to 2018. Through the search it is possible to answer several questions of interest, among them, whether there are publications from Bayesian networks mainly in the animal sciences, more specifically in the formulation of feedstuffs for broilers. The results found confirmed that this area of knowledge is still very recent. The first publications were in 1990 and the main publications are concentrated in computer science, and no research has been found to predict the metabolizable energy of feedstuffs for broilers using this methodology.*
- **Key words:** *Hybrid algorithm; poultry; bibliometrics; metabolizable energy.*

Referências

ALVARENGA, R. R. *et al.* Energetic values of feedstuffs for broilers determined with in vivo assays and prediction equations. *Animal Feed Science and Technology*, v.168, n.1, p.257-266, 2011.

ALVARENGA, R. R. *et al.* Validation of prediction equations of energy values of a single ingredient or their combinations in male broilers. *Asian-Australians Journal of Animal Science*, v.28, n.1, p.1335-1344, 2015.

AHMAD, R. Functional and adaptive significance of differentially expressed lactate dehydrogenase isoenzymes in tissues of four obligatory air-breathing Channa species. *Biologia*, v.64, n.1, p.192-196, 2009.

AHMADI, H.; GOLIAN, A. Neural network model for egg production curve. *Journal of Animal and Veterinary Advances*, v.7, n.1, p. 1168-1170. 2008.

AHMADI, H.; MOTTAGHITALAB M.; NARIMAN-ZADEH, N. Group method of data handling-type neural network prediction of broiler performance based on dietary metabolizable energy, methionine, and lysine. *Journal of Applied Poultry Research*, v.16, n.1, p.494-501, 2007.

AHMADI, H. *et al.* Prediction model for true metabolizable energy of feather meal and poultry oal meal using group method of data handling-type neural network. *Poultry Science*, v.87, n.1, p.1909-1912, 2008.

BERTECHINI, A.G. *Nutrição de monogástricos*. 2.ed. Lavras: Editora UFLA, 2012. 373p.

BISHOP, C. M. *Pattern recognition and machine learning*. New York: Springer, 2006.

- BOBBIO, A. *et al.* Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into Bayesian networks. *Reliability Engineering and System Safety*, v.71, n.3, p.249-260, 2001.
- BORGES, F. M. O. *et al.* Equações de regressão para estimar valores energéticos de grão de trigo e seus subprodutos para frangos de corte, a partir de análises químicas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.55, n.1, p.734-746, 2003.
- CHENG, J. *et al.* Learning Bayesian networks from data: An information-theory based approach. *Artificial Intelligence*, v.137, n.1, p.43-90, 2002.
- CRONK, R; BARTRAM, J. Identifying opportunities to improve piped water continuity and water system monitoring in Honduras, Nicaragua, and Panama: Evidence from Bayesian networks and regression analysis. *Journal of Cleaner Production*, v.196, n.1, p.1-10, 2018.
- EVANS, R. J. Margins of discrete Bayesian networks. *The Annals of Statistics*, v.46, n.6, p.2623-2656, 2018.
- FARIDI, A; GOLIAN, A. The use of neural network models to estimate early egg production in broiler breeder hens through dietary nutrient intake. *Poultry Science*, v.90, n.12, p.2897-2903. 2011.
- FAVERIAL, J. *et al.* Multivariate analysis of the determinants of the end-product quality of manure-based composts and vermicomposts using Bayesian network modelling. *PLoS ONE*, v.11, n.6, p.1-16, 2016.
- FELIPE, V.P.S. *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.
- FRIEDMAN, N.; GEIGER, D.; GOLDSZMIDT, M. Bayesian network classifiers. *Machine Learning*, v.29, n.2-3, p.131-163, 1997.
- FRIEDMAN, N.; KOLLER, D. Being Bayesian about network structure: A Bayesian approach to structure discovery in Bayesian networks. *Machine Learning*, v.50, n.1, p.95-126, 2003.
- FRIEDMAN, N. *et al.* Using Bayesian networks to analyze expression data. *Journal of Computational Biology*, v.7, n.3-4, p.601-620, 2000.
- GEIGER, D.; VERMA, T.S.; PEARL, J. Identifying independence in Bayesian networks. *Networks*, v.20, n.5, p.507-534, 1990.
- GIANOLA, D. *et al.* Predicting complex quantitative traits with Bayesian neural networks: a case study with Jersey cows and wheat. *BMC Genetics*, v.12, n.1, p.1-87, 2011.
- HRYCEJ, T. Gibbs sampling in Bayesian networks. *Artificial Intelligence*, v.46, n.3, p.351-363, 1990.
- INRA. *Le Cheval. Reproduction, sélection, alimentation, exploitation.* Jarrige R. and Martin-Rosset W. Eds. INRA Editions, Paris, 1984. 689p.
- JANSEN, R. *et al.* A Bayesian networks approach for predicting protein-protein interactions from genomic data. *Science*, v.302, n.5644, p.449-453, 2003.

- KOLLER, D.; FRIEDMAN, N. *Probabilistic graphical models: Principles and techniques*. Cambridge: MIT Press, 2009, 1233p.
- KOVACICH, M. Application of Bayesian networks to multitarget tracking. *SPIE Proceedings*, v.1305, n.1, 1990.
- LAURITZEN, S. L.; SPIEGELHALTER, D. J. Local computations with probabilities on graphical structures and their applications to expert systems. *Journal Royal Statistics Society*, v.50, n.1, p.157-224, 1988.
- LEESON, S.; SUMMERS, J.D. *Nutrition of the chicken*. 4.ed. Ontario: University Books, 2001. 413p.
- LUPO, C. et al. Bayesian network as an aid for food chain information use for meat inspection. *Preventive Veterinary Medicine*, v.109, n.1, p.25-36, 2013.
- MARIANO, F. C. M. Q. et al. Prediction of the energy values of feedstuffs for broilers using meta-analysis and neural networks. *Animal*, v.7, n.9, p.1440-1445, 2013.
- MARIANO, F. C. M. Q. et al. Equações de predição de valores energéticos de alimentos obtidas utilizando meta-análise e componentes principais. *Ciência Rural*, v.42, n.9, p.1634-1640, 2012.
- MEHRI, M. A comparison of neural network models, fuzzy logic, and multiple linear regression for prediction of hatchability. *Poultry Science*, v.92, n.4, p.1138-1142, 2013.
- MEHRI, M. Development of artificial neural network models based on experimental data of response surface methodology to establish the nutritional requirements of digestible lysine, methionine, and threonine in broiler chicks. *Poultry Science*, v.91, n.12, p.3280-3285, 2012.
- NAGATA, T. et al. The competence of four thrips species to transmit and replicate our Tospoviruses. *Plant Pathology*, v.53, n.1, p.136-140, 2004.
- NANDY, T. et al. High-dimensional consistency in score-based and hybrid structure learning. *The Annals of Statistics*, v.46, n.6A, p. 3151-3183, 2018.
- NASH, D.; HANNAH, M. Using Monte-Carlo simulations and Bayesian networks to quantify and demonstrate the impact of fertiliser best management practices. *Environmental Modelling & Software*, v.26, n.1, p.1079-1088, 2011.
- NASCIMENTO, G. A. J. et al. Equações de predição para estimar valores da energia metabolizável de alimentos concentrados energéticos para aves utilizando meta-análise. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.63, n.1, p.222-230, 2011.
- NASCIMENTO, G.A.J. et al. Equações de predição para estimar os valores energéticos de alimentos concentrados de origem vegetal para aves utilizando a metanálise. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, n.1, p.1265-1271, 2009.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. *Nutrient requirements of poultry*. 9.ed. Washington, DC: The National Academies Press.1994. 176p.
- PEARL, J. *Probabilistic reasoning in intelligent systems: networks of plausible inference*. San Francisco: Editor Morgan Kaufmann, 1988. 552p.

- PENNY, W.D.; ROBERTS, S.J. Bayesian neural networks for classification: how useful is the evidence framework? *Neural Networks*, v.12, n.6, p.877-892, 1999.
- PERAI, A. H. *et al.* A comparison of artificial neural networks with other statistical approaches for the prediction of true metabolizable energy of meat and bone meal. *Poultry Science*, v.89, n.1, p.1562-1568, 2010.
- PRADO, J. W. *et al.* Multivariate analysis of credit risk and bankruptcy research data: a bibliometric study involving different knowledge fields (1968-2014). *Scientometrics*, v.106, n.3, p.1007-1029, 2016.
- RODRIGUES, P. B. *et al.* Valores energéticos do milho, do milho e subprodutos do milho, determinados com frangos de corte e galos adultos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.6, p.1767-1778, 2001.
- RODRIGUES, P. B. *et al.* Valores energéticos da soja e subprodutos da soja, determinados com frangos de corte e galos adultos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, p.1771-1782, 2002.
- ROSTAGNO, H. S. *et al.* *Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais de aves e suínos*. 4.ed. Viçosa, MG: UFV, 488 p., 2017.
- SAVEGNAGO, R. P. *et al.* Comparison of logistic and neural network models to fit the egg production curve of White Leghorn hens. *Poultry Science*, v.90, p.705-711, 2011.
- SCOTT, M. L.; NESHEIN, M. C.; YOUNG, R. J. *Nutrition of the chicken*. 3.ed. New York: Scott and Assoc. Publ., 1982. 562p.
- SCUTARI, M., DENIS, J.B. *Bayesian networks with examples in R*. New York: Taylor & Francis Group. 2015. 221p.
- SEMSARIAN, S. *et al.* A. Prediction of the weight and number of eggs in Mazandaran native fowl using artificial neural network. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, v.5, n.1, p.532-537, 2013.
- SOLTANI, M.; OMID, M. Detection of poultry egg freshness by dielectric spectroscopy and machine learning techniques LWT. *Food Science and Technology*, v.62, n.1, p.1034-1042, 2015.
- SPIRITES, P.; GLYMOUR, C.; SCHEINES, R. *Causation, prediction, and search*. 2.ed. Cambridge: MIT Press, 2000.
- TRUONG, D.; FRIEND, M.A.; CHEN, H. Applications of business analytics in predicting flight on-time performance in a complex and dynamic system. *Transportation Journal*, v.57, n.1, p.24-52, 2018.
- TSAMARDINOS, I.; BROWN, L. E.; ALIFERIS, C. F. The max-min hill-climbing Bayesian network structure learning algorithm. *Machine Learning*, v.65, n.1, p.31-78, 2006.
- UUSITALO, L. Advantages and challenges of Bayesian networks in environmental modeling. *Ecological Modelling*, v.203, n.3-4, p.312-318, 2007.
- WAN, X. *et al.* Protein architecture of the human kinetochore microtubule attachment site. *Cell Press*, v.137, n.1, p.672-684, 2009.
- YU, J. *et al.* Advances to bayesian network inference for generating causal networks from observational biological data. *Bioinformatics*, v.20, n.1, p.3594-3603, 2004.

ZHAO, F. *et al.* Predicting metabolizable energy of normal corn from its chemical composition in adult pekin ducks. *Poultry Science*, v.87, n.1, p.1603-1608, 2008.

Recebido em 26.04.2019

Aprovado após revisão em 28.02.2020