

## **HETEROGENEITY IN THE ADOPTION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) IN THE AGRICULTURAL FIELD**

Eduardo Corneto Silva - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9106-2383>

Márcia Maria Dos Santos Bortolocci Espejo - UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL - Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9081-781X>

Identify agricultural activities that can benefit from the adoption of the Internet of Things (IoT). This article brings as relevance/originality the synthesis of literature published internationally in the areas of business, management, agricultural sciences, economics, and multidisciplinary on the adoption and use of the Internet of Things in different agricultural activities. A Systematic Literature Review was carried out in the Scopus and Web of Science scientific repositories using as search terms the keywords, Internet of Things, and terms directly related to agricultural. After applying the filtering and selection criteria, the final analysis sample consisted of 39 articles. The results are the journals that published the most within the topic; the nature of the research analyzed and; the most used methodological procedures. Furthermore, the fields of application, in agricultural, of the innovations developed and presented by the articles are highlighted: monitoring, control, prediction, and logistics. This article has as its theoretical contribution the synthesis and analysis of works that deal with the use of IoT in agricultural. As contributions to practice, this article sheds light on different possibilities for using the Internet of Things to improve monitoring, control, prediction and logistics of agricultural activities.

Keywords: Internet of Things, Precision agriculture, Precision Livestock, Agricultural, Systematic Literature Review

## **A HETEROGENEIDADE NA ADOÇÃO DA INTERNET OF THINGS (IOT) NO CAMPO AGROPECUÁRIO**

Identificar as atividades agropecuárias que podem se beneficiar com a adoção da Internet das Coisas (IoT). Este artigo traz como relevância/originalidade a síntese da literatura publicada internacionalmente nas áreas de negócios, gestão, ciências agrícolas, economia e multidisciplinar sobre a adoção e utilização da Internet of Things em diferentes atividades agropecuárias. Foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura nos repositórios científicos Scopus e Web of Science utilizando como termos de busca as palavras-chave, Internet das coisas e termos diretamente relacionadas a agropecuária. Após a aplicação dos critérios de filtragem e seleção a amostra final de análise foi constituída por 39 artigos. Como resultados se tem os journals que mais publicaram dentro do tema; a natureza das pesquisas analisadas e; os procedimentos metodológicos mais utilizados. São destacados, além disso, os domínios de aplicação, na agropecuária, das inovações desenvolvidas e apresentadas pelos artigos: monitoramento, controle, predição e logística. Este artigo tem como contribuição teórica a síntese e análise de variados trabalhos que tem como tema a utilização da IoT na agropecuária. Como contribuições para a prática este artigo lança luz à diferentes possibilidades de utilização da internet das coisas para melhoria do monitoramento, controle, predição e logística das atividades agropecuárias.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Agricultura de Precisão, Pecuária de Precisão, Agropecuária, Revisão Sistemática de Literatura

## 1. INTRODUÇÃO

A população mundial tem crescido de maneira acelerada nos últimos anos, aumentando proporcionalmente o consumo de alimentos e, por consequência, a pressão sobre os produtores agropecuários para se produzir mais e melhor (Gsangaya et al., 2020; Negrete, 2018). Entre as possibilidades para produção de alimentos de forma mais eficiente e inteligente está a utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC's) como a *Internet of Things* (IoT) ou em português “Internet das Coisas” (Dinesh & Ramesh, 2018; Negrete, 2018; Talavera et al., 2017).

A IoT pode ser entendida como uma infraestrutura de rede global composta por diversos dispositivos e objetos “coisas” que dependem de conexão em rede ou rádio frequência para, de forma independente, processarem informações e comunicarem-se com outros dispositivos e sensores (Tan & Wang, 2010). A ideia principal que dá força para a IoT é o impacto positivo que ela terá sobre várias atividades do cotidiano e processos de produção (Li et al., 2015).

Tendo conhecimento dos benefícios que a IoT pode trazer para sua economia, países como os Estados Unidos da América (EUA), China, Inglaterra e Brasil estão investindo altos recursos financeiros e intelectuais nesta tecnologia ao ponto dos EUA listar a IoT como uma das seis tecnologias civis disruptivas que podem impactar diretamente no poder do país e do governo brasileiro lançar o estudo “Internet das Coisas: um plano de ação para o Brasil” a fim de identificar as principais atividades nacionais que podem se beneficiar com sua adoção (BNDES & MCTIC (2018); Gershenfeld et al., 2004).

A aplicação e o estudo sobre a adoção da Internet das Coisas na indústria 4.0 estão mais sedimentadas do que seu entendimento e utilização no ambiente rural (Negrete, 2018; Wollschlaeger et al., 2017). Entretanto, um campo diversificado e amplo como esse fornece diferentes possibilidades para que novas tecnologias possam tornar as atividades rurais mais eficientes, inteligentes e ecologicamente sustentáveis (Balamurugan et al., 2016; Corallo et al., 2018).

Algumas possíveis aplicações da IoT no ambiente rural são destacadas na literatura, por exemplo, na agricultura seu uso pode abranger aplicações no monitoramento das condições ambientais, no controle de pragas, crescimento de cultivares, umidade do solo, qualidade do grão, entre outros (Jiao et al., 2014; Pillai & Sivathanu, 2020). Já na pecuária se pode encontrar a IoT em sistemas voltados para monitoramento dos animais, controle de parasitas e ganho de peso (Hao et al., 2017; Pereira et al., 2020).

Estudos indicam a importância e vantagens que a IoT pode trazer para as atividades agropecuárias, no entanto, a sua novidade ainda levanta dúvidas aos tomadores de decisão sobre a implantação e possibilidades de aplicação dessa tecnologia nas atividades do dia-a-dia (Corallo et al., 2018; Jayashankar et al., 2018). Diante desta problemática, este artigo tem como objetivo identificar as atividades agropecuárias que podem se beneficiar com a adoção da Internet das Coisas (IoT).

Como método de pesquisa foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) que seguiu, para cumprimento das etapas de pesquisa, uma combinação da estrutura proposta por Suess-Reyes e Fuetsch (2016) e Talavera et al. (2017). O protocolo geral para realização da RSL está descrito na seção de metodologia, tendo como palavras-chave utilizadas para busca, termos relacionados a Internet das Coisas e as atividades agropecuárias. A busca de artigos foi realizada nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Após aplicar os critérios de filtragem e seleção a amostra final de análise foi constituída por 39 artigos.

Os principais resultados desta pesquisa são: a identificação dos *journals* que mais possuem artigos publicados dentro do tema estudado, sendo o *Journal Computers and Electronics in Agriculture* responsável por 54% do total das publicações selecionadas; os artigos, em sua natureza de pesquisa, são na maioria trabalhos originais; já como procedimento técnico se destacou a pesquisa experimental e; em relação aos domínios de aplicação da IoT na agropecuária se destacam os domínios de monitoramento e controle.

Este artigo tem como contribuição teórica a síntese e análise de trabalhos que tratam da utilização da IoT na agropecuária, trazendo uma visão adicional sobre o estado da arte. Como contribuição para a prática o artigo lança luz em diferentes possibilidades de utilização da Internet das Coisas para melhoria do monitoramento, controle, previsão e na logística das atividades que estão inseridas dentro da agropecuária.

A estrutura deste artigo está definida como segue: A introdução apresenta a problemática de pesquisa e objetivo; em seguida é apresentado um breve referencial teórico sobre o tema pesquisado; o capítulo de metodologia apresenta o planejamento e condução realizados para desenvolvimento da RSL; na seção de resultados são apresentados os dados bibliométricos da amostra analisada e as soluções tecnológicas para a agropecuária trazidas pelos artigos analisados. Por fim, são apresentadas as conclusões e contribuições da pesquisa.

## **2. INTERNET DAS COISAS E SUA APLICAÇÃO NO AMBIENTE RURAL**

A Internet das Coisas se destaca como uma das principais tendências dentro das tecnologias da informações e comunicação aplicadas ao ambiente produtivo (Da Xu et al., 2014; Miorandi et al., 2012). A IoT representa a evolução em número e tipo de dispositivos tecnológicos já existentes, a fim de gerar um ambiente onde sensores e atuadores conectados são incorporados ao nosso redor (Gubbi et al., 2013; Whitmore et al., 2015).

O termo *Internet of Things* (IoT) teve sua origem atribuída a Kevin Ashton, um dos fundadores do *Auto-ID Center* no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), que em 1999 cunhou este termo em referência aos projetos desenvolvidos pela comunidade que visavam formar uma infraestrutura entre empresas composta por *Radio-Frequency Identification* (RFID) (Gubbi et al., 2013; Wortmann & Flüchter, 2015).

“Internet das coisas” vem da união de duas palavras “internet” e “coisas” que juntas ganham um significado de inovação disruptiva no cenário das tecnologias da informação e comunicação (Atzori et al., 2010; S. Li et al., 2015). A internet é definida por Madakam et al. (2015) como um sistema global de redes de computadores, públicos, privados, acadêmicos, empresariais e governamentais, que funcionam por meio de protocolos padrão da internet. Já as “coisas”, dentro da lente da IoT, podem ser qualquer objeto ou ser vivo que possa ser distinguido por meio de endereçamentos únicos (Madakam et al., 2015).

Ao embutir inteligência em objetos do cotidiano estes itens físicos se transformam em objetos inteligentes que coletam informações do ambiente, interagem com o mundo físico e também com outros dispositivos (Borgia, 2014; Mattern & Floerkemeier, 2010). Estes objetos conectados formam em torno de nós uma variedade de coisas que, por meio de sensores, geram uma grande quantidade de dados que precisam ser armazenados, processados e apresentados de forma a auxiliar nas tomadas de decisões e na melhoria da qualidade de vida das pessoas (Gubbi et al., 2013).

As áreas de aplicação onde a IoT pode ser inserida são tão numerosas quanto diversas, pois boa parte das áreas que rodeiam o nosso dia-a-dia estão interessadas e são passíveis de sua utilização em alguma escala (Wortmann & Flüchter, 2015). Alguns

exemplos de atividades que se beneficiam ao adotar a IoT são apresentados por Khan et al. (2012) e Wortmann e Flüchter (2015): aplicação na indústria, sendo uma das principais tecnologias que compõem a chamada indústria 4.0; previsão de desastres naturais, pois ao instalar sensores em locais estratégicos como rios, córregos e morros a detecção de deslizamentos de terras, furacões, terremotos, enchentes, etc., poderão ser previstas com antecedência e; aplicações em saúde, tendo entre as possibilidades rastreamento de objetos e pacientes, monitoramento de temperatura, glicose, colesterol, pressão arterial, ingestão de medicamento, suporte para vida independente, etc.

Outra aplicação da IoT que tem ganhado destaque é sua utilização em atividades realizadas no ambiente rural (Jayashankar et al., 2018; Pillai & Sivathanu, 2020). Diferentes sensores podem coletar dados no campo, processar e fornecer informações para que os produtores melhorem seus processos produtivos, tornando-os mais limpos, econômicos, lucrativos e socialmente responsáveis (Khan et al., 2012; Talavera et al., 2017). Além disso, os sensores instalados na área rural podem aumentar a competitividade dos produtores agrícolas, melhorar a qualidade e bem-estar animal, aumentar a qualidade dos produtos in natura, diminuir a aplicação de defensivos agrícolas, usar racionalmente a água na irrigação, entre outras possibilidades exploradas neste estudo (Dinesh & Ramesh, 2018; Negrete, 2018).

### 3. METODOLOGIA

O protocolo de trabalho elaborado para o desenvolvimento da Revisão Sistemática de Literatura (RSL) contempla os seguintes elementos: questão de pesquisa, estratégia de pesquisa, critérios para inclusão e exclusão dos artigos e a estrutura de análise e de apresentação dos resultados. A questão de pesquisa definida para esta RSL é “Quais as possibilidades de utilizações da Internet das Coisas (IoT) em atividades agropecuárias?”.

Para busca dos artigos foram escolhidos como base de dados dois repositórios científicos: *Web of Science* e *Scopus*. Estes repositórios são amplamente utilizados em revisões sistemáticas devido à grande quantidade de revistas e eventos indexados, possibilitando, com isso, um universo de pesquisa abrangente. A definição das palavras-chave para busca automática nos repositórios partiu da seleção de termos de pesquisa que se relacionam diretamente as variáveis estudadas nesta revisão que são Internet das Coisas e agropecuária. Estas palavras-chave foram divididas em dois grupos conforme se observa na Figura 01, sendo o Grupo 1 composta pela palavra *internet of things* e o Grupo 2 por palavras relacionadas as atividades que compõem a agropecuária.

Figura 01: Palavras-chave usadas para busca nos repositórios científicos

Grupo 1:
<i>Internet of Things</i>
Grupo 2:
<i>Agricultural, agriculture, farming, precision agriculture, livestock, husbandry, precision livestock, forestry, silviculture e fishing.</i>

Fonte: Elaborada pelos autores.

Os termos relacionados à agropecuária dizem respeito as atividades da agricultura, pecuária, silvicultura e pesca que de acordo com Barros et al. (2014) fazem parte do segmento agropecuário. Além disso, foram utilizados os termos agricultura e pecuária de precisão, pois aparecem com frequência em pesquisas desta temática. Ambos os grupos foram compostos por palavras na língua inglesa, pois estes repositórios científicos têm em sua grande maioria artigos que possuem no mínimo o título e resumo em inglês. A operação

lógica para busca avançada de artigos foi realizada por uma *string* de pesquisa que combinou os termos presentes nos dois grupos de palavras-chave, Figura 02.

Figura 02: *String* utilizado para busca nos títulos, resumo e palavras-chave

*TITLE-ABS-KEY: ("Internet of Things") AND (agricultural OR agriculture OR farming OR "precision agriculture" OR livestock OR husbandry OR "precision livestock" OR forestry OR silviculture OR fishing)*

Fonte: Elaborada pelos autores.

Filtros primários foram utilizados durante o processo de busca dos arquivos nos repositórios científicos a fim de reduzir o número de artigos gerados, bem como aprimorar a seleção dos mesmos para melhor responderem à questão de pesquisa. Os filtros são apresentados a seguir:

- Os documentos precisam ser artigos publicados em *journals*.
- Os artigos devem estar publicados em Inglês, Espanhol ou Português.
- A área de publicação do artigo deve ser uma das grandes áreas pré-definidas pelos repositórios científicos: Negócios, Gestão e Contabilidade; Ciências Agrícolas e Biológicas; Economia, Econometria e Finanças ou; Multidisciplinar.

Os critérios para inclusão e exclusão dos artigos na amostra final foram desenvolvidos e aplicados sobre o título, resumo e palavras-chave. Como critérios de inclusão foram definidos:

- Artigos que apresentem a utilização da IoT em alguma atividade agropecuária.
- Artigos que apresentem e testem empiricamente um artefato (tecnologia) que apoie a utilização da IoT na agropecuária.

Já para exclusão do artigo da amostra final analisada o documento deveria atender um ou mais dos critérios apresentados a baixo.

- Fora da agropecuária (Agricultura, Pecuária, Pesca ou Silvicultura).
- Trabalho apenas teórico.
- Sem acesso disponível para download.
- Artigo duplicado.
- Que não trate diretamente da IoT.
- Que somente desenvolva um artefato (Tecnologia) baseada em IoT sem teste empírico.

A análise dos artigos foi composta pela extração das seguintes informações: autores, ano de publicação, *journal* publicado, métodos científicos utilizados, setor/atividade da agropecuária a qual a tecnologia está vinculada, países de estudo e os domínios de aplicação principais a qual a inovação baseada em IoT se aplica. Os domínios de aplicação do artefato baseada em IoT seguem um agrupamento proposto por Talavera et al. (2017): Controle, Monitoramento, Predição ou Logística. No entanto, ficou aberta a possibilidade de inserção de algum outro domínio que poderia emergir da análise dos artigos.

Tendo como base o protocolo de pesquisa apresentado se realizaram as buscas na *Web of Science* e *Scopus* em junho de 2020. A *string* de pesquisa, Imagem 02, foi inserida

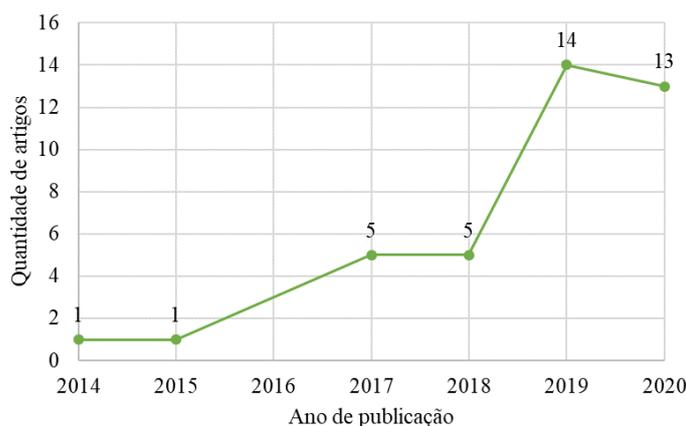
no campo de busca sendo limitado ao título, resumo e palavras-chave dos artigos. Não houve limitação do ano de publicação dos artigos.

A busca sistemática resultou na identificação primária de 4.588 documentos, sendo 1.385 na base *Web of Science* e 3.203 na *Scopus*. Nesta primeira etapa foram aplicados os filtros estabelecidos idioma, área de publicação e tipo de arquivo. Desta primeira filtragem foram excluídos 4.294 arquivos, restando para a próxima etapa, seleção, 294 artigos.

Na etapa de seleção para inclusão na amostra final os estudos remanescentes tiveram seus resumos lidos por dois pesquisadores e os critérios de inclusão e exclusão foram aplicados. O primeiro critério de exclusão, artigos duplicados, resultou na eliminação de 67 trabalhos. Artigos fora da agropecuária foram 24. Identificou-se 36 trabalhos apenas teóricos. Sem acesso disponível para download foram 10. E 26 artigos não tratavam diretamente da IoT. Por fim, o critério que resultou na exclusão do maior número de trabalhos, 92, foi artigos que somente desenvolveram um artefato (Tecnologia) baseada em IoT sem teste empírico. Ao final 39 artigos compuseram a amostra utilizada para análise.

Na Figura 03 é demonstrado a distribuição por ano de publicação dos artigos que fazem parte da amostra analisada. Como observado a maior parte dos artigos são dos últimos dois anos, 2019 e 2020, sendo um destaque a quantidade de artigos selecionados no ano de 2020, visto que a pesquisa levou em consideração apenas os artigos publicados até junho. Isso evidencia a atualidade do tema e das pesquisas sobre esse assunto junto a academia.

Figura 03: Distribuição de artigos selecionados por ano de publicação



Fonte: Elaborada pelos autores.

Na seção a seguir são apresentados alguns dados bibliométricos da amostra selecionada como: *journals* que mais publicaram; os autores que mais aparecem nas autorias dos artigos; países onde foram realizados os estudos; métodos utilizados e; setor/atividade agropecuária a qual os artefatos são propostos. São apresentados, também, os principais domínios e subdomínios tecnológicos a qual os estudos se enquadram.

## 4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados, com base na amostra selecionada, os resultados da RSL que permitem além de responder à questão de pesquisa e objetivo do estudo, visualizar mesmo que de forma restrita, o cenário atual de pesquisa sobre a IoT na agropecuária.

### 4.1 Dados bibliométricos dos artigos selecionados

Ao analisar os *journals* a qual os artigos selecionados foram publicados, Figura 04, observa-se que 21 artigos foram publicados em apenas um *journal* o *Computers and*

Electronics in Agriculture. Esse montante representa 54% de todos os artigos selecionados, ou seja, os outros 46%, 18 artigos, estão publicados em 18 *journals* diferentes. Diante disto, percebe-se que a concentração de artigos sobre a temática estudada em apenas um *journals* é alta o que pode evidenciar a pouca abertura para publicação em outras revistas que não são diretamente ligadas a agropecuária e a computação de forma conjunta.

Figura 04: Journals que publicaram os artigos

<i>Journal</i>	Nº de Publicações
Computers and Electronics in Agriculture	21
Advance Journal of Food Science and Technology	1
Agricultural Water Management	1
Agriculture-Basel	1
Benchmarking: An International Journal	1
Engineering in Agriculture, Environment and Food	1
Field Crops Research	1
Industrial Management & Data Systems	1
Information Processing in Agriculture	1
International Agricultural Engineering Journal	1
International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology	1
International Journal of Recent Technology and Engineering	1
International Sugar Journal	1
Journal of Business & Industrial Marketing	1
Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)	1
Knowledge and Process Management	1
Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering	1
Precision Agriculture	1
Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia	1

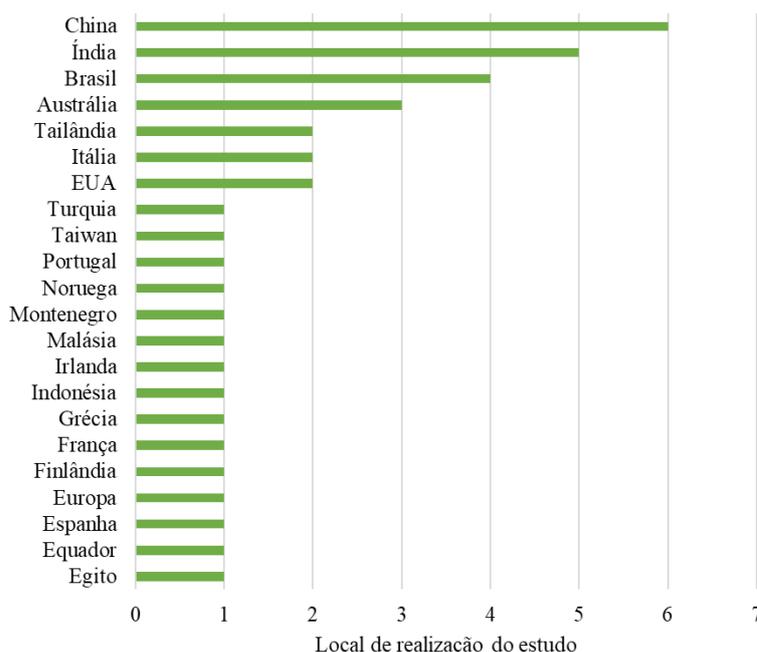
Fonte: Elaborada pelos autores.

Do total de 83 autores que foram identificados nos artigos, apenas 7 deles possuem mais de um artigo publicado. Mesmo se destacando diante os demais os autores: Wang, E.; Everingham, Y.; Attard, S.; McGlinchey, M.; Xiang, W.; Tekinerdogan, B.; e Philippa, B., estão presentes em apenas dois artigos, sendo esse mesmo grupo responsável por duas publicações que tratam ambas do desenvolvimento de um sistema de irrigação para as plantações de cana-de-açúcar. Esse fato pode ter ocorrido devido a novidade deste tema, pois o ano de publicação dos trabalhos parte de 2014, o que é relativamente pouco tempo para desenvolvimento de grupos de estudos consolidados sobre o assunto.

A técnica de pesquisa mais adotada foi a pesquisa experimental, presente em 23 artigos, que se caracteriza pela introdução de maneira experimental de uma inovação em um ambiente a qual, conforme Wazlawick (2010), o pesquisador consegue controlar algumas variáveis. A segunda técnica mais adotada foi o estudo de caso utilizada em 13 artigos.

Ao todo foram identificados 22 locais onde as pesquisas foram desenvolvidas, Figura 05. Dentre estas localidades 38 artigos aplicaram suas pesquisas em um único país e um artigo utilizou um grupo de países membros da União Europeia para desenvolver o trabalho. Como se pode observar na imagem os países que mais possuem publicações são China com 6 artigos, Índia com 5 publicações, Brasil com 4 artigos e a Austrália com 3 artigos. No total estes quatro países representam 46% de todas as publicações analisadas, estando os outros 54%, 18 trabalhos, em outros países e grupo econômico.

Figura 05: Local de realização da pesquisa do estudo



Fonte: Elaborada pelos autores.

É perceptível o domínio de países asiáticos nas publicações sobre a temática da IoT na agropecuária. O Brasil ocupando a terceira posição na lista é um sinal animador para a pesquisa e economia nacional. O país é um dos líderes mundiais no agronegócio e nada mais apropriado que se desenvolvem pesquisas sobre inovações nesta área. Junto a região do Brasil está o Equador que aparece na lista com um artigo publicado.

Quando se observa a atividade agropecuária a qual os artigos estão ligados é possível destacar um predomínio dos estudos no campo da agricultura. No total são 28 artigos que destacam alguma aplicação da IoT nesta área. Na segunda e terceira posição estão a pecuária e pesca empatadas com 6 estudos cada. Por último está a atividade silvícola com apenas um artigo. Dois artigos desenvolveram pesquisas em mais de uma atividade ao mesmo tempo, sendo um artigo que realizou uma *survey* com pecuaristas e agricultores para verificar os antecedentes da adoção da IoT e outro artigo que estudou o desenvolvimento de uma plataforma de IoT em nuvem para ser usada tanto na agricultura como na pesca.

#### 4.2 Domínios de aplicação na agropecuária

Os artigos analisados foram classificados e agrupados em quatro domínios definidos conforme artigo de Talavera et al. (2017), Figura 06: (1) monitoramento, (2) controle (3) predição, (4) logística. Estes domínios de aplicação correspondem ao principal potencial de utilização das inovações propostas pelos artigos. Ao todo são 39 artigos que constituem a

amostra estudada, no entanto, apenas 36 artigos relacionaram de maneira clara alguma atividade de aplicação.

Figura 6: Clusters de artigos conforme o domínio de aplicação.

Domínio de aplicação	Principais estudos
Monitoramento	(Alipio et al., 2019; Cao; Chen, 2020; Chung et al., 2020; Corallo et al., 2020; De Souza et al., 2019; Hao et al., 2017; Harun et al., 2019; Hassan et al., 2019; Jiao et al., 2014; Khattab et al., 2019; Li et al., 2015; Liao et al., 2017; Mehra et al., 2018; Morais et al., 2018; Pereira et al., 2020; Popović et al., 2017; Putra, 2019; Taneja et al., 2020; Velumani et al., 2020; Zervopoulos et al. 2020)
Controle	(Domínguez-Niño et al., 2020; Goap et al., 2018; Janpla et al., 2019; Muangprathub et al., 2019; Nawandar et al., 2019; Torres et al., 2020; Wang et al., 2019; Wang et al., 2020)
Predição	(Dos Santos et al., 2019; Gao et al., 2019; Gill et al., 2017; Kocian et al., 2020; Köksal; Tekinerdogan, 2019; Mazon-Olivo et al., 2018)
Logística	(Bhimanpallewar; Narasingarao, 2020; Yan et al., 2017)

Fonte: Elaborada pelos autores.

O primeiro domínio de aplicação apresentado é o domínio de monitoramento. No total são 20 artigos que apresentam algum sistema, aplicativo, plataforma, estrutura ou outro tipo de tecnologia baseada em IoT que visa realizar o monitoramento de variados aspectos da produção agropecuária. Estas tecnologias utilizam sensores de temperatura, ar, umidade, solo, água, oxigênio, movimento, pragas, luz e outros mais, para fornecer informações precisas e no tempo certo para que os produtores possam tomar decisões acerca da sua produção. Outras tecnologias buscam ao máximo diminuir a interferência humana nesse processo de produção utilizando os sensores de medição para se comunicarem com outros dispositivos inteligentes que realizam desde decisões simples como ligar a irrigação até as mais complexas. Os artigos que fazem parte deste domínio foram divididos em subdomínios como: Monitoramento do ambiente; Monitoramento animal; Monitoramento de plantas; Monitoramento de pragas; e Monitoramento de produtos. A seguir são apresentados alguns exemplos trazidos pelos artigos analisados.

**Monitoramento do ambiente:** Entre os dispositivos desenvolvidos para monitorar o ambiente de produção o sistema de baixo custo apresentado no artigo de Pereira et al. (2020) surge como uma alternativa para monitorar de maneira ágil a temperatura, umidade, teor de amônia e luminosidade de granjas de aves. O sistema foi testado em 2017 em um ambiente experimental do Instituto Federal de Minas Gerais localizado na cidade de Campus Machado, MG/ Brasil. Os resultados mostraram que usando o sistema é possível registrar e rastrear os parâmetros definidos permitindo tomada de decisão por parte do avicultor de maneira mais rápida e assertiva. Também direcionado ao monitoramento ambiental na criação de aves o estudo de Li et al. (2015) traz um sistema inteligente baseado em IoT para galpão de criação de galinhas. Este sistema visa realizar o monitoramento on-line da temperatura, ar, CO<sub>2</sub>, intensidade da luz, umidade, vento e outros indicadores para auxiliar

na gestão do galinheiro. Os testes foram realizados em uma granja de aves da China e teve como resultado o monitoramento preciso dos indicadores.

**Monitoramento animal:** Para monitorar o nível de estresse térmico em vacas leiteiras os autores Chung et al. (2020) realizaram estudos com biossensores e tecnologia de comunicação por rádio frequência. A ideia dessa tecnologia portátil e vestível foi, por meio de sensores de temperatura implantados na orelha dos animais, eliminar o envolvimento humano no processo de bem-estar animal automatizando a detecção de mudanças no animal e no ambiente. O protótipo foi testado durante cinco dias em três vacas da raça holandesa em uma fazenda nos Estados Unidos. Detectou-se que estes sensores são tão eficientes como os de medição corporal central, vaginal, e podem funcionar como meio de ativação automática de ventiladores ou outros dispositivos que melhora a temperatura corporal do animal.

Por fim, outro exemplo de tecnologia desenvolvida para monitoramento animal foi o aplicativo de IoT apresentado por Taneja et al. (2020) que visa detectar claudicação, irregularidade no fluxo de sangue nas pernas devido a alguma obstrução em uma ou várias artérias, em gado leiteiro. Os autores dissertam que a detecção de claudicação é cara e tardia em animais o que causa problemas na saúde do gado e pode reduzir a produtividade. Os testes com a tecnologia foram realizados em um rebanho de 150 vacas leiteiras em Waterford, Irlanda. Os resultados apontam que a claudicação pode ser detectada com até três dias de antecedência, permitindo que o animal seja isolado e tratado de maneira rápida.

**Monitoramento de plantas:** Desenvolver um sistema para medir de maneira inteligente os anéis de árvores (diâmetro do tronco) lenhosas usando a IoT e incorporando sensores de ultrassom para monitorar e anotar as medições foi o objetivo do estudo de Putra (2019). O sistema foi desenvolvido para medição de árvores de várias espécies como o mogno, teca, seda entre outros. Contudo, os testes experimentais foram realizados apenas em uma floresta de seda na Indonésia. Os resultados evidenciaram que o sistema tem potencial para ser usado como um dendrômetro eficaz, rápido e de baixo custo por pequenos e médios produtores. Mehra et al. (2018) apresentam um sistema hidropônico inteligente baseado em IoT que usa redes neurais profundas para monitorar o crescimento de plantas de tomate. O sistema foi testado em uma estufa de produção de tomate hidropônico na Índia e se mostrou adequado para operar o bombeamento da água, acender as luzes, ligar o ventilador e outras atividades da estufa. Um sistema automático para estimativa da data de cabeçalho do trigo, por meio de imagens diárias de alta resolução, foi proposto por Velumani et al. (2020). O sistema foi aplicado e validado durante nove cultivares de trigo, três anos, em 47 locais experimentais espalhados pela França. Os resultados dos testes demonstraram que o método proposto fornece boas estimativas das datas de cabeçalho quando comparado as medições feitas de forma visual por especialistas.

**Monitoramento de pragas:** Para monitoramento de pragas nas lavouras de batata e tomate foi desenvolvido por Khattab et al. (2019) um sistema baseado em IoT para detecção e previsão do surgimento de doenças epidêmicas no campo. Para testar o sistema foram realizados experimentos de campo em safras de batata e tomate em 2017 e 2018 nas cidades de Beheira e Fayoum, Egito. Os resultados mostraram que o sistema é capaz de detectar de maneira antecipada o surgimento de doenças como a ferrugem e oídio nas lavouras. Além disso, a proposta reduz o número de aplicações de defensivos químicos, reduzindo os resíduos nos alimentos e melhorando a qualidade dos produtos. Cao e Chen (2020) também apresentam um sistema de monitoramento e alerta precoce para surgimento da peste tardia da batata, no entanto esse sistema tem como método a medição de esporos de *Phytophthora* que

estão no ar. Os testes foram realizados em um campo experimental da China e demonstram que o sistema pode reconhecer e contar de maneira rápida os esporos que estão no ar permitindo um controle mais eficaz da situação epidêmica.

**Monitoramento de produto:** Um sistema para monitoramento de fatores intrínsecos e extrínsecos do envelhecimento do vinho do Porto, Tawny, em barris de madeira foi a proposta elaborada por Morais et al. (2018). O monitoramento do pH do vinho, oxigênio dissolvido e potencial redox é importante para otimizar e gerenciar a variabilidade natural do vinho o que por sua vez fornece maior qualidade no produto final. O estudo foi realizado em uma vinícola que utiliza barris de carvalho localizada na região do Douro, Portugal. Os resultados mostram que o sistema de monitoramento é capaz de detectar diferenças entre os barris de madeira e as condições de armazenamento.

O domínio, controle, aborda artigos que tem como foco de pesquisa o desenvolvimento ou melhoria de sistemas de controle de irrigação e alimentação de animais. Entre os objetivos desses sistemas estão: executar de forma inteligente o controle do uso da água; diminuir e otimizar seu uso; diminuir a necessidade da intervenção humana no processo de irrigação, diminuir os custos produtivos, entre outros. No total são 8 artigos correspondentes a este domínio, sendo sete deles sobre irrigação e um sobre controle de alimentação animal. A seguir são apresentados alguns exemplos de artigos que tratam sobre irrigação e o artigo sobre alimentação animal.

**Controle de irrigação:** O primeiro exemplo apresentado de artigos que tratam do controle de irrigação é o estudo desenvolvido por Wang et al. (2020). O artigo tem como objetivo descrever uma solução cibernética de circuito fechado que gerencia a irrigação por meio da integração do sistema de irrigação automática, WISA, com uma ferramenta de suporte a decisão agrícola, IrrigWeb. Para desenvolver essa solução os autores utilizam os programas Uplink e Downlink. Os testes foram realizados em uma fazenda de cana-de-açúcar no nordeste australiano e tiveram como resultados tanto uma programação correta de irrigação como benefícios econômicos para os agricultores.

Muangprathub et al. (2019) propõem o desenvolvimento de um sistema de irrigação com base em rede de sensores sem fio (WSN) ideal para culturas agrícolas. Os dados coletados por esse sistema para auxiliar no controle de irrigação são umidade, temperatura e umidade do solo. O sistema foi testado em três casos diferentes, aldeias, localizadas na província de Suratthani, Tailândia. Os testes ocorreram durante cinco meses e trouxeram como resultados benefícios para a agricultura como o controle de umidade do solo, aumento de produtividade e redução de custos produtivos. Também como exemplo de sistema para controle de irrigação se apresenta o estudo de Domínguez-Niño et al. (2020) que objetivou demonstrar a viabilidade de um sistema de irrigação baseado em IoT, o IRRIX, em pomares que possuem tamanho de árvores diferentes. Para testar o sistema IRRIX o mesmo foi aplicado por dois anos em dois setores, um com árvores mais velhas e outro com árvores mais novas, de um pomar de maçãs na Espanha. Os resultados mostraram a viabilidade do sistema para aplicação em culturas com diferentes características no mesmo local.

**Controle de alimentação:** os pesquisadores Janpla et al. (2019), na busca por viabilizar uma piscicultura automática que possa ser instalada em casa, desenvolveram na Tailândia um sistema automático de alimentação de peixes usando a IoT. Este sistema visa resolver o problema de proprietários que não conseguem alimentar os peixes na hora e quantidade certas. O sistema, que vai se adaptando ao longo do crescimento dos peixes, foi testado em um experimento com 80 bagres durante 142 dias. Os resultados demonstram que

por mais que o sistema precise de ajustes, quanto a sua funcionalidade, ele é uma alternativa viável para esse tipo de produção.

O domínio alcunhado como predição traz artigos que foram desenvolvidos pensando em propor um sistema, designer, tecnologias ou estrutura que funcione como um fornecedor e gerenciador de informações do campo para que os produtores tomem decisões de maneira mais assertiva. Estes sistemas se utilizam de sensores, Tecnologias de Informações e Comunicação (TIC) e outras tecnologias para auxiliar na detecção do surgimento de anomalias durante o processo produtivo, na provisão de crescimento das produções agropecuárias e na gestão como um todo da fazenda.

**Anomalias no processo produtivo:** neste grupo de artigos estão listados aqueles que desenvolvem algum tipo de sistema que permite obter informações sobre as mudanças de indicadores produtivos para tomada de decisão proativa. O artigo escrito por dos Santos et al. (2019) apresenta o sistema AgriPrediction que combina sistemas de alcance de rede sem fio com mecanismos de previsão para antecipar possíveis disfunções na cultura em produção. Esse sistema notifica o agricultor assim que situações anormais aparecem permitindo que ações corretivas de forma antecipada sejam adotadas. O AgriPrediction, por meio de uma estrutura de sensores, consegue medir aspectos como a umidade, luminosidade, clorofila da planta, radiação solar, temperatura e outras informações mais. Para avaliação da funcionalidade do sistema os autores brasileiros montaram uma estufa para cultivo de rúcula e fizeram experimentos durante alguns ciclos de cultivo. Os resultados mostraram que o cultivo da rúcula com o sistema proposto obteve ganhos de 17,94% no tamanho das folhas e de 14,29% no peso em relação a um cultivo padrão.

O segundo artigo foi escrito por Gao et al. (2019) e teve como objetivo desenvolver um sistema de controle e rastreamento de pisciculturas baseadas em IoT que permite coletar, armazenar, analisar, prever, rastrear e consultar os dados sobre a qualidade da água da lagoa onde os peixes foram criados. Por meio de sensores de temperatura, pH, oxigênio, condutividade elétrica e turbidez da água conectados as bombas de água, aeradores, alimentadores e outros equipamentos os piscicultores podem controlar e gerenciar de forma inteligente o tratamento da água da lagoa e a produção dos peixes. Os testes foram realizados em uma fazenda de peixes localizada na China durante um mês e mostraram que o sistema pode prever de maneira eficaz os indicadores da água.

**Crescimento de culturas:** um sistema de apoio a decisão agrícola baseado em IoT foi proposto por Kocian et al. (2020) para previsão do crescimento de culturas. O sistema funciona combinando informações ambientais como temperatura, irradiação solar e pressão atmosférica com parâmetros indicativos de cultivo para as culturas. Os testes foram realizados com três ciclos de cultivo de alface em uma horticultura da Itália. Os resultados mostram que o sistema prevê com eficácia os parâmetros de crescimento das plantas permitindo que decisões sobre o cultivo sejam tomadas com antecedência.

**Gestão do campo:** neste subdomínio estão listados artigos que desenvolveram sistemas para facilitar a gestão geral do campo. Gill et al. (2017) desenvolvem em seu artigo um sistema de informações automáticas baseado em nuvem para prestar uma agricultura como serviço. Esse sistema gerencia vários dados relacionados a agricultura de diferentes usuários para fornecer informações necessárias de maneira automática aos usuários. O desempenho do sistema foi testado em um ambiente de nuvem na Austrália e seus resultados mostram que o sistema tem um melhor serviço em relação a outros existentes.

O artigo de Köksal e Tekinerdogan (2019), por sua vez, se propõe a desenvolver um designer de arquitetura para projeção de sistemas de informações gerenciais de fazendas

baseados em IoT. Para ilustrar o designer proposto foram realizados estudos de caso, em uma fazenda de trigo na região de Konya, Turquia. Os resultados evidenciaram que a abordagem era eficaz e prática, sendo útil para derivar futuras arquiteturas de sistemas de informações gerenciais de fazendas. Por fim, uma arquitetura para o gerenciamento automático de decisões estruturadas, baseadas em aplicativos de agricultura de precisão que utilizam a IoT, foi desenvolvida por Mazon-Olivo et al. (2018). Esta arquitetura nomeada como RECEP foi testada por meio da sua integração a um sistema de irrigação inteligente em um campo de produção de banana localizado em Machala no Equador. Os resultados obtidos com os testes mostram que o RECEP é uma estrutura viável de baixo custo para pequenas e grandes produtores.

O último domínio corresponde a artigos que desenvolveram seus estudos a fim de propor e implementar melhorias na logística tanto na parte de transporte na cadeia de suprimento, como na produção dentro das propriedades rurais. Ao todo, dois artigos constituem esse domínio ao proporem formas de melhorar o transporte dos produtos até os clientes finais, diminuir custos com transporte, melhorar o acesso a informações sobre os produtos, aumentar as informações sobre o processo logístico e proporcionar maior eficiência a todo processo de produção.

**Produção:** Desenvolver um robô de micro-dosagem de semeadura e fertilização baseado em rodas, AgriRobot, para plantar cereais, oleaginosas e leguminosas foi o objetivo do estudo realizado por Bhimanpallewar e Narasingarao (2020). Este robô controla o número de sementes e quantidade de fertilizante que são aplicados em cada ponto de plantação e além disso, é capaz de controlar a distância entre cada ponto de plantação. Para avaliar a eficácia da tecnologia proposta foi realizado um experimento com o protótipo desenvolvido em seis solos diferentes da Índia. Como resultado foi identificado que com o AgriRobot é possível reduzir o custo e dependência de recursos humanos na hora de se plantar.

**Transporte:** Yan et al. (2017) propõem a coordenação da cadeia de suprimentos em ambientes de IoT nos níveis do fabricante, distribuidor e varejista, por meio de um modelo de contrato aprimorado de compartilhamento de receita. Este contrato aprimorado é direcionado para cadeia de suprimentos de produtos frescos e como forma de validar o modelo foi realizada a análise da cadeia de suprimento de uma empresa chinesa de aquicultura. Como resultado os autores concluíram que o contrato de compartilhamento de receita permite determinar a solução ideal para alcançar lucro máximo, facilita a tomada de decisão e aprimora a distribuição de lucros entre os níveis da cadeia de suprimento.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve como objetivo identificar as atividades agropecuárias que podem se beneficiar com a adoção da Internet das Coisas (IoT). Para isto, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL) utilizando palavras-chave relacionadas a Internet das Coisas e a atividades agropecuárias. Após a busca dos artigos nas bases de dados estabelecidas e posterior seleção, por meio da aplicação dos filtros e critérios para inclusão e exclusão, a amostra final para análise foi constituída por 39 artigos.

Como conclusões foram apresentados os *journals* que mais possuem artigos publicados dentro do tema estudado tendo destaque para o *Journal Computers and Electronics in Agriculture* com 54% do total das publicações selecionadas. Quanto ao método foi identificado que a maior parte dos artigos são trabalhos originais e tiveram como procedimento técnico a pesquisa experimental. Os países que mais possuem publicação são China e Índia, estando o Brasil na terceira posição. Os artigos estão em sua maioria direcionados a atividades da agricultura, estando a pecuária e pesca empatados na segunda

posição. Já em relação ao domínio de aplicação da inovação desenvolvida e apresentada pelo artigo se destacam os domínios de monitoramento, controle, predição e logística. Sendo o monitoramento a principal aplicação das inovações desenvolvidas pelos artigos analisados, seguido pelo controle.

As limitações da pesquisa estão na quantidade de repositórios científicos selecionados para busca de artigos e no filtro de documentos ser apenas artigos publicados em revistas revisadas por pares. Estas limitações podem ter restringido a identificação de artigos que colaborariam para expandir os achados da revisão sistemática. Como sugestões para pesquisas futuras estão: expandir a pesquisa para outras atividades do agronegócio, por exemplo, a agroindústria e consumidores finais. Além disso, sugere-se selecionar também artigos de eventos da área.

Este artigo tem como contribuição teórica a síntese e análise de trabalhos que tratam da utilização da IoT na agropecuária. Já como contribuições para a prática este artigo lança luz em diferentes possibilidades de utilização da Internet das Coisas para melhoria do monitoramento, controle, predição e logística das atividades que estão inseridas dentro da agropecuária.

## REFERÊNCIAS

- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things: A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787–2805.
- Balamurugan, S., Divyabharathi, N., Jayashruthi, K., Bowiya, M., Shermy, R. P., & Shanker, R. (2016). Internet of agriculture: Applying IoT to improve food and farming technology. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 3(10), 713–719.
- Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), & Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC). (2018). *Estudo “Internet das Coisas: Um plano de ação para o Brasil”*. BNDES. <http://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/pesquisaedados/estudos/estudo-internet-das-coisas-iot/estudo-internet-das-coisas-um-plano-de-acao-para-o-brasil>
- Barros, G. S. C., Silva, A. F., & Fachinello, A. L. (2014). PIB do Agronegócio brasileiro: Comentários metodológicos. *Piracicaba: CEPEA-ESALQ/USP*.
- Bhimanpallewar, R. N., & Narasingarao, M. R. (2020). AgriRobot: Implementation and evaluation of an automatic robot for seeding and fertiliser microdosing in precision agriculture. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 16(1), 33–50.
- Borgia, E. (2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1–31.
- Cao, K., & Chen, Y. (2020). Development of Real-Time Monitoring and Early Warning System Platform of Internet of Things for Potato Late Blight. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 37(2).
- Chung, H., Li, J., Kim, Y., Van Os, J. M., Brounts, S. H., & Choi, C. Y. (2020). Using implantable biosensors and wearable scanners to monitor dairy cattle’s core body temperature in real-time. *Computers and Electronics in Agriculture*, 174, 105453.
- Corallo, A., Paiano, R., Guido, A. L., Pandurino, A., Latino, M. E., & Menegoli, M. (2018). Intelligent monitoring Internet of Things based system for agri-food value chain

- traceability and transparency: A framework proposed. *2018 IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS)*, 1–6.
- Da Xu, L., He, W., & Li, S. (2014). Internet of things in industries: A survey. *IEEE Transactions on industrial informatics*, *10*(4), 2233–2243.
- Dinesh, E., & Ramesh, L. (2018). Analysis of Cloud Services in Agriculture Through Internet of Things and Big Data. *Indian Journal of Science and Technology*, *11*(19).
- Domínguez-Niño, J. M., Oliver-Manera, J., Girona, J., & Casadesús, J. (2020). Differential irrigation scheduling by an automated algorithm of water balance tuned by capacitance-type soil moisture sensors. *Agricultural Water Management*, *228*, 105880.
- dos Santos, U. J. L., Pessin, G., da Costa, C. A., & da Rosa Righi, R. (2019). AgriPrediction: A proactive internet of things model to anticipate problems and improve production in agricultural crops. *Computers and electronics in agriculture*, *161*, 202–213.
- Gao, G., Xiao, K., & Chen, M. (2019). An intelligent IoT-based control and traceability system to forecast and maintain water quality in freshwater fish farms. *Computers and Electronics in Agriculture*, *166*, 105013.
- Gershenfeld, N., Krikorian, R., & Cohen, D. (2004). The internet of things. *Scientific American*, *291*(4), 76–81.
- Gill, S. S., Chana, I., & Buyya, R. (2017). IoT based agriculture as a cloud and big data service: The beginning of digital India. *Journal of Organizational and End User Computing (JOEUC)*, *29*(4), 1–23.
- Gsangaya, K. R., Hajjaj, S. S. H., Sultan, M. T. H., & Hua, L. S. (2020). Portable, wireless, and effective internet of things-based sensors for precision agriculture. *International Journal of Environmental Science and Technology*, *17*(9), 3901–3916.
- Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, *29*(7), 1645–1660.
- Hao, S. B., Cai, S. H., Sun, R. Z., Li, J. Y., & Cheng, C. M. (2017). Design and implement of IoT-based beef cattle breeding system. *International Agricultural Engineering Journal*, *26*(3).
- Janpla, J., Tachpetpaiboon, N., & Jewpanich, C. (2019). Development of automatic home-based fish farming using the internet of things. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, *8*(2), 2297–2304.
- Jayashankar, P., Nilakanta, S., Johnston, W. J., Gill, P., & Burres, R. (2018). IoT adoption in agriculture: The role of trust, perceived value and risk. *Journal of Business & Industrial Marketing*, *33*(6), 804–821.
- Jiao, J., Ma, H.-M., Qiao, Y., Du, Y.-L., Kong, W., & Wu, Z.-C. (2014). Design of farm environmental monitoring system based on the internet of things. *Advance journal of food science and technology*, *6*(3), 368–373.
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012). Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. *2012 10th international conference on frontiers of information technology*, 257–260.
- Khattab, A., Habib, S. E., Ismail, H., Zayan, S., Fahmy, Y., & Khairy, M. M. (2019). An IoT-based cognitive monitoring system for early plant disease forecast. *Computers and Electronics in Agriculture*, *166*, 105028.
- Kocian, A., Massa, D., Cannazzaro, S., Incrocci, L., Di Lonardo, S., Milazzo, P., & Chessa, S. (2020). Dynamic Bayesian network for crop growth prediction in greenhouses. *Computers and Electronics in Agriculture*, *169*, 105167.

- Köksal, Ö., & Tekinerdogan, B. (2019). Architecture design approach for IoT-based farm management information systems. *Precision Agriculture*, 20(5), 926–958.
- Li, H. L., Li, M., Zhan, K., Yang, X., Weng, S., Yuan, Y., Chen, S., Luo, W., & Gao, H. (2015). Intelligent monitoring system for laminated henhouse based on Internet of Things. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 31, 210–215.
- Li, S., Da Xu, L., & Zhao, S. (2015). The internet of things: A survey. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 243–259.
- Madakam, S., Lake, V., Lake, V., & Lake, V. (2015). Internet of Things (IoT): A literature review. *Journal of Computer and Communications*, 3(05), 164.
- Mattern, F., & Floerkemeier, C. (2010). From the Internet of Computers to the Internet of Things. In *From active data management to event-based systems and more* (p. 242–259). Springer.
- Mazon-Olivo, B., Hernández-Rojas, D., Maza-Salinas, J., & Pan, A. (2018). Rules engine and complex event processor in the context of internet of things for precision agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 154, 347–360.
- Mehra, M., Saxena, S., Sankaranarayanan, S., Tom, R. J., & Veeramanikandan, M. (2018). IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks. *Computers and electronics in agriculture*, 155, 473–486.
- Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I. (2012). Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad hoc networks*, 10(7), 1497–1516.
- Morais, R., Peres, E., Boaventura-Cunha, J., Mendes, J., Cosme, F., & Nunes, F. M. (2018). Distributed monitoring system for precision enology of the Tawny Port wine aging process. *Computers and Electronics in Agriculture*, 145, 92–104.
- Muangprathub, J., Boonnam, N., Kajornkasirat, S., Lekbangpong, N., Wanichsombat, A., & Nillaor, P. (2019). IoT and agriculture data analysis for smart farm. *Computers and electronics in agriculture*, 156, 467–474.
- Negrete, J. C. (2018). Internet of things in Mexican agriculture; a technology to increase agricultural productivity and reduce rural poverty. *Research and Analysis Journal*, 1(2).
- Pereira, W. F., da Silva Fonseca, L., Putti, F. F., Góes, B. C., & de Paula Naves, L. (2020). Environmental monitoring in a poultry farm using an instrument developed with the internet of things concept. *Computers and Electronics in Agriculture*, 170, 105257.
- Pillai, R., & Sivathanu, B. (2020). Adoption of internet of things (IoT) in the agriculture industry deploying the BRT framework. *Benchmarking: An International Journal*, 27(4), 1341–1368.
- Putra, B. T. W. (2019). A new low-cost sensing system for rapid ring estimation of woody plants to support tree management. *Information Processing in Agriculture*, 1–6.
- Suess-Reyes, J., & Fuetsch, E. (2016). The future of family farming: A literature review on innovative, sustainable and succession-oriented strategies. *Journal of rural studies*, 47, 117–140.
- Talavera, J. M., Tobón, L. E., Gómez, J. A., Culman, M. A., Aranda, J. M., Parra, D. T., Quiroz, L. A., Hoyos, A., & Garreta, L. E. (2017). Review of IoT applications in agro-industrial and environmental fields. *Computers and Electronics in Agriculture*, 142, 283–297.
- Tan, L., & Wang, N. (2010). Future internet: The internet of things. *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 2010 3rd International Conference on, 5, V5-376.

- Taneja, M., Byabazaire, J., Jalodia, N., Davy, A., Olariu, C., & Malone, P. (2020). Machine learning based fog computing assisted data-driven approach for early lameness detection in dairy cattle. *Computers and Electronics in Agriculture*, *171*, 105286.
- Velumani, K., Madec, S., de Solan, B., Lopez-Lozano, R., Gillet, J., Labrosse, J., Jezequel, S., Comar, A., & Baret, F. (2020). An automatic method based on daily in situ images and deep learning to date wheat heading stage. *Field Crops Research*, *252*, 107793.
- Wang, E., Attard, S., Linton, A., McGlinchey, M., Xiang, W., Philippa, B., & Everingham, Y. (2020). Development of a closed-loop irrigation system for sugarcane farms using the Internet of Things. *Computers and Electronics in Agriculture*, *172*, 105376.
- Wazlawick, R. S. (2010). Uma reflexão sobre a pesquisa em ciência da computação à luz da classificação das ciências e do método científico. *Revista de Sistemas de Informação da FSMA*, *6*, 3–10.
- Whitmore, A., Agarwal, A., & Da Xu, L. (2015). The Internet of Things—A survey of topics and trends. *Information systems frontiers*, *17*(2), 261–274.
- Wollschlaeger, M., Sauter, T., & Jasperneite, J. (2017). The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, *11*(1), 17–27.
- Wortmann, F., & Flüchter, K. (2015). Internet of things. *Business & Information Systems Engineering*, *57*(3), 221–224.
- Yan, B., Wu, X., Ye, B., & Zhang, Y. (2017). Three-level supply chain coordination of fresh agricultural products in the Internet of Things. *Industrial Management & Data Systems*, *117*(9), 1842–1865.