



AGRICULTURA 4.0 NO SEMIÁRIDO: INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL COMO MOTOR DE TRANSFORMAÇÃO NA CAATINGA

Marcelo da Costa Borba - marcelodcborba@gmail.com

Federal Rural University of the Amazon

Raissa da Costa Silva - raissacostasilva@gmail.com

National Semiarid Institute

Marília Nóbrega de Assis - marilianobregadeassis@gmail.com

Program of Postgraduate in Intellectual Property – Institute Federal of Paraíba

José Vanderson Cunha Nascimento - vanderson-cunha@hotmail.com

Program of Postgraduate in Intellectual Property – National Intellectual Property Institute

RESUMO

Este manuscrito tem como objetivo analisar o processo de inovação no contexto da Inteligência Artificial (IA) na atividade agrícola na Caatinga. Do ponto de vista dos aspectos metodológicos, a pesquisa é classificada como descritiva, uma vez que essa investigação leva em consideração o estudo acerca da exploração do conhecimento do tema abordado. Os resultados da aplicação dos métodos da IA na atividade agrícola incluem a detecção precoce de patógenos de pragas e doenças, a exploração de culturas, o monitoramento dos limites da fazenda, a análise de estruturas de irrigação e a vigilância do rebanho, com dispositivos integrados no sistema de produção agrícola. Por outro lado, os resultados mostram que as práticas agrícolas têm sido bastante modificadas nas últimas décadas com o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de impulsionar a produção de alimentos. Dessa forma, os achados destacam os diversos usos da IA, com iniciativas de sustentabilidade e habilitadas por mudanças no sistema agrícola atual.

Palavras-chave: Agricultura 4.0. Tomada de decisão. Eficiência produtiva. Agricultura inteligente.

ABSTRACT

This manuscript aims to analyze the innovation process in the context of Artificial Intelligence (AI) in agricultural activity in Caatinga. From the point of view of methodological aspects, the research is defined as descriptive, since this investigation takes into account the study of the exploration of knowledge on the topic addressed. The results of applying AI methods in agricultural activity include early detection of forecast pathogens and diseases, crop exploration, monitoring of farm boundaries, analysis of supervisory structures and herd surveillance, with devices integrated into the agricultural production system. On the other hand, the results show that agricultural practices have been significantly modified in recent decades with the development of new technologies capable of contributing to food production. In this way, the results highlight the diverse uses of AI, with sustainability initiatives and enabled by changes in the current agricultural system.

Keywords: Agriculture 4.0. Decision making. Productive efficiency. Smart agriculture.

1 INTRODUÇÃO

A abordagem da agricultura digital combina novas tecnologias com dados para otimizar a gestão e o monitoramento das atividades agrícolas. De modo que a adoção dessas ferramentas amplia a conectividade, eleva a eficiência e aumenta a produtividade. Assim, a integração bem-sucedida de tecnologia depende da coleta de parâmetros, do uso de modelagem, da implementação precisa das soluções e da adequação às necessidades das propriedades rurais. No agronegócio, tecnologias disruptivas tende a fortalecer a cadeia de suprimentos de ponta a ponta, possibilitando o controle de forma remota ou em tempo real.



No Brasil, o setor agrícola constitui um dos pilares econômicos do Produto Interno Bruto (PIB). E assim como em outros segmentos, tem passado por intensas transformações, sobretudo na chamada Era da Informação. Se antes era caracterizado pelos três fatores clássicos de produção — terra, trabalho e capital —, passou a incorporar a informação/conhecimento como quarto fator. Esse entendimento ganha relevância diante do desafio de dobrar o rendimento das colheitas até 2050, para alimentar mais de nove bilhões de pessoas no mundo. A redução progressiva das terras aráveis reforça a necessidade de investir em pesquisa como estratégias para aumentar a produtividade.

Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) torna-se estratégica ao disponibilizar um leque de tecnologias aplicáveis ao acesso a informações. Ao se basear na simulação de processos cognitivos humanos, a IA busca resolver problemas complexos enquanto apoia com informações, a gestão produtiva no campo. A IA caracteriza-se pela capacidade de interpretar dados externos, aprender a partir deles e aplicar o aprendizado em tarefas específicas, com adaptação contínua. Essa prática permite racionalizar custos, reduzir esforços e lidar com inúmeras variáveis dos processos produtivos.

Na região Nordeste, sobretudo no semiárido, a agricultura continua sendo a principal atividade econômica, enquanto a pecuária permanece em baixo nível tecnológico. Nesse contexto, compreender os paradigmas da agricultura digital torna-se decisivo para a gestão dos recursos naturais. O semiárido nordestino compreende a mais populosa região semiárida da América Latina, altamente vulnerável à degradação do solo por fatores climáticos ou antrópicos.

O agronegócio na Caatinga apresenta duas realidades distintas. A primeira refere-se à agricultura tradicional, caracterizada pelo predomínio da agricultura familiar de baixa produtividade, pouco uso de insumos e práticas de subsistência associadas à pecuária extensiva. A segunda corresponde à agricultura irrigada, que fortalece a economia local por meio de práticas diversificadas, estimula a agroindústria e sustenta a exportação em larga escala.

Essa transformação foi viabilizada por sistemas de transporte de água do rio São Francisco e de reservatórios, implantados em polos de desenvolvimento agrícola integrado. Somada ao uso de alta tecnologia, possibilitou a entrada de empresas agrícolas, agroquímicas, agroindustriais, atacadistas e varejistas, convertendo áreas antes consideradas marginais em polos produtivos que respondem por parte significativa das exportações brasileiras de frutas.

O potencial de utilização da IA pode impulsionar o desenvolvimento econômico e, ao mesmo tempo, melhorar indicadores de sustentabilidade. Compreender os processos de um sistema tão amplo é fundamental para construir soluções sustentáveis para o agronegócio da Caatinga. Entretanto, o avanço da IA nesse bioma depende da adequação ao ambiente local, visando aprimorar os indicadores socioeconômicos.

2 DESENVOLVIMENTO

O aumento progressivo da população mundial exige continuamente maior produção agrícola. A adoção de tecnologias como a Inteligência Artificial (IA) pode atender às demandas da sociedade, entre elas segurança alimentar, sustentabilidade, preservação ambiental (Alwis et al., 2022; Dutra; Silva, 2016; Garcia et al., 2019). Sob a ótica microeconômica dos sistemas de produção agrícola, observa-se que a manutenção das culturas depende de ganhos de produtividade ou redução de custos; para tanto, torna-se necessário avançar na adoção de tecnologias (Coelho Junior et al., 2020).

O agronegócio é uma atividade antrópica que consome grandes volumes de água. As atividades agrícolas sofrem forte influência das condições climáticas, pois envolvem manejo do solo, semeadura, colheita, transporte, armazenamento (Silva et al., 2013; Waldheim et al., 2006). Os frequentes eventos de seca que atingem áreas semiáridas impõem a gestão cada vez mais criteriosa dos recursos hídricos, nesses locais de baixa precipitação de chuvas (Dixon, 2005; Granata, 2019; Pelesaraei et al., 2016).

Nas regiões áridas e semiáridas, os períodos de alta demanda de água coincidem com os de menor volume de chuvas (Narayan; Schleeberger; Bristow, 2007; Seyam; Othman; El-Shafie, 2017). A produção agrícola, especialmente das culturas de sequeiro, oscila com frequência em ecossistemas limitados pela disponibilidade hídrica, secas periódicas, chuvas irregulares (Salehnia et al., 2019). No Brasil, a região semiárida — Caatinga — corresponde a cerca de 57% do território nordestino, tendo na agricultura de subsistência sua principal atividade econômica (Barbosa et al., 2015).



A tendência de longo prazo da precipitação e da temperatura aponta para o agravamento das mudanças climáticas, intensificação das oscilações de produtividade (Tabari; Talaei, 2011). Assim, a gestão das práticas agrícolas tornam-se indispensáveis para mitigar efeitos adversos. Avaliando condições reais que satisfaçam as necessidades das culturas e identificando tecnologias que auxiliem a viabilidade agrícola sustentável (Ximenes, 2018). Para tanto, exige-se intensificação do conhecimento em novas formas de gestão no agronegócio, o que demanda tecnologias inteligentes, como a IA. Dada a significativa quantidade de dados a serem analisados e a possibilidade de apoiar produtores na elevação da produtividade (Grieve et al., 2019; Purdy; Daugherty, 2017).

Estima-se que as ferramentas de IA possam aumentar o crescimento agrícola, até 2035, de 1,3% a 3,4%, um dos maiores percentuais entre as indústrias estudadas (ONU, 2019). Apesar dessa perspectiva, no continente americano a agricultura ainda apresenta atraso na adoção da IA (DEFRA, 2018). A aplicação sofre resistência devido a práticas tradicionais ou mesmo barreiras tecnológicas (Goldsmith; Burton, 2017; Öhman; Floridi, 2018).

Essa influência baseia-se em modelos lineares de transferência de tecnologia, nos quais as inovações derivam da busca por ganhos de produtividade nas práticas atuais de manejo dos recursos naturais (Bughin et al., 2018; Chui et al., 2018). Torna-se cada vez mais reconhecida a necessidade de integrar motivações, sensibilidades, prioridades e conhecimento dos agricultores às tecnologias. Nessa lógica, a IA soma potencialmente como apoio à eficiência operacional, além de instrumento para a tomada de decisão.

A atividade agrícola exige melhor compreensão para lidar com complexidade, incertezas, imprecisões relacionadas ao desafio de alimentar uma população mundial em crescimento. A produção de alimentos precisa aumentar continuamente, embora a terra arável seja limitada (Liu, 2017). Soluções inovadoras na produção agrícola mostram-se viáveis, desde o planejamento da safra até a agricultura de precisão, aplicação otimizada de recursos, apoio a projetos eficientes (Alzoubi; Almaliki; Mirzaei, 2019; Shakibai; Koochekzadeh, 2009). Isso implica no desenvolvimento de processos que utilizem tecnologias poupadoras de recursos, capazes de alcançar soluções autônomas, parcial ou totalmente, visando o desenvolvimento sustentável em longo prazo.

Na Caatinga, o manejo adequado das culturas requer conhecimento dos padrões de crescimento de cada variedade, de modo que as fases de máximo desenvolvimento coincidam com os períodos de maior disponibilidade hídrica e radiação solar. Esse alinhamento possibilita que a cultura expresse todo o seu potencial produtivo (Keating et al., 1999; Stone; Sorensen; Jamieson, 1999). Entretanto, a má distribuição e a redução das chuvas têm sido constantes na região, acarretando prejuízos como a perda de pomares, a renovação precoce das plantações (Ximenes, 2018).

A integração das informações agrícolas abre novas perspectivas para produtores, bem como oportunidades para gestores (Atwell; Wuddivira, 2022; Yaseen et al., 2015). Destaca-se a possibilidade de relacionamento consultivo com profissionais técnicos, como administradores, agrônomos, zootecistas (Ahmad et al., 2022; Tabari; Talaei; Willems, 2015). Com o maior volume de dados transmitidos remotamente e informações automatizadas, consultores podem fornecer relatórios e orientações diárias aos agricultores, fortalecendo a assistência administrativa (Vrochidou et al., 2022; Zare; Koch, 2021). As novas tecnologias também contribuem para identificar soluções que conciliem conservação ambiental, prosperidade socioeconômica, desenvolvimento rural, adaptação às mudanças climáticas (Bilali; Taleb, 2020; Tabari; Talaei; Willems, 2015; Untaru; Rotarescu; Dorneanu, 2012).

O uso de IA na agricultura auxilia na detecção precoce de pragas e doenças, exploração de culturas, monitoramento dos limites da fazenda, análise de estruturas de irrigação, vigilância do rebanho por meio de dispositivos integrados ao sistema produtivo. Na pecuária, métodos de IA têm mostrado potencial em previsões em tempo real da saúde, bem-estar, nutrição e reprodução, tanto em nível individual quanto coletivo. Esses métodos tornam-se ainda mais eficazes quando integrados a um sistema geral de informações, gerido pelo proprietário rural.

Ao aplicar métodos de IA no campo, estudos apontam que os sistemas agrícolas passam a oferecer recomendações e insights mais ricos para a tomada de decisões, além da melhoria das etapas da cadeia de suprimentos. Essa integração gera registros automatizados de dados, análises, implementação, gestão baseada



em conhecimento. Espera-se que os métodos de IA se tornem ainda mais difundidos, permitindo maior integração.

Avanços em aprendizado de máquina, robótica, visão computacional, processamento de linguagem natural, planejamento, otimização, sistemas especialistas e reconhecimento de fala tendem a permitir maior desenvolvimento e implementação de sistemas inteligentes no meio rural. Integrados, esses recursos podem fornecer informações eficientes sobre a atividade agrícola, atendendo à crescente demanda por alimentos — fator vital para prosperidade econômica e segurança alimentar. A utilização dessas tecnologias na conversão de dados em conhecimento útil ao processo decisório promete impulsionar desde a agricultura de precisão até a agricultura de decisão. A gestão e a tomada de decisão tornam-se cada vez mais precisas, otimizando lucratividade, produtividade, sustentabilidade por meio da compreensão do conjunto de dados.

3 CONCLUSÃO

Certamente, a busca por alternativas no bioma passa por avanços científicos e tecnológicos voltados ao desenvolvimento de plantas resistentes aos principais estresses climáticos e biológicos, além de melhorias na produtividade das culturas, na qualidade da matéria-prima, das sementes, dos frutos, dos pseudofrutos. Trata-se de um processo que requer tempo para gerar resultados expressivos, como no melhoramento do feijão comum, do algodão, do caju, da uva. A continuidade desses programas, com mais de três décadas de existência, tem proporcionado avanços, a exemplo do algodão naturalmente colorido, que representa uma reedição da significativa cadeia produtiva para a economia local, com geração de empregos, fortalecimento da indústria têxtil, abertura de novos mercados. O melhoramento genético também contribuiu para o aumento da população de animais na pecuária.

Nesse contexto, instituições de pesquisa como a Embrapa, os institutos agrônômicos estaduais, as universidades precisam fomentar o desenvolvimento de produtos geneticamente modificados por meio de pesquisas voltadas ao semiárido. Os resultados permitem inferir que a adoção da Inteligência Artificial (IA) na agricultura semiárida ainda se encontra em fase inicial, com agentes buscando compreender as oportunidades dessa ferramenta para os negócios agrícolas. Observa-se que o fornecimento e a aplicação de soluções de IA concentram-se em máquinas, equipamentos; cabe às instituições de pesquisa desenvolver e implantar protótipos em áreas integradas. Na Caatinga, os estudos ainda são escassos, evidenciando a necessidade de expansão da temática, assim como em outros locais semiáridos.

A demanda fundamentada no conhecimento reflete a urgência de uma agenda de pesquisa e produção em diversos setores agrícolas, com foco na inovação. Fatores como eficiência, qualidade ambiental, conservação, qualidade do produto, capital social, bem-estar, saúde animal evidenciam carências que exigem o uso de ferramentas técnicas, tecnológicas. Essas soluções mostram-se necessárias para suprir a falta de mão de obra especializada, reparar deficiências de infraestrutura local, reduzir barreiras de acesso a mercados.

A compreensão da perspectiva do uso da IA no agronegócio da Caatinga é promissora, mas os desafios mencionados precisam ser enfrentados para ampliar a aceitação das aplicações. Existem etapas a serem superadas até sua efetiva implementação no bioma, sobretudo em razão das barreiras estruturais. O baixo uso de tecnologias na maior parte da região, somado à baixa produtividade da terra, do trabalho, tem contribuído para a depreciação da atividade agrícola.

Devem ser considerados ainda desafios de ordem econômica e social: altos custos das tecnologias digitais, conectividade no campo, sucessão familiar rural, desenvolvimento sustentável. No campo tecnológico, destacam-se a necessidade de serviços digitais online, sistemas de gestão, monitoramento da produção animal, monitoramento da produção vegetal, gerenciamento das bases de dados da atividade agrícola. Esses aspectos são essenciais para aproveitar oportunidades ligadas ao mercado consumidor digital, plataformas virtuais, metaverso, cenários de riscos futuros, rastreabilidade, certificações, capacitação em agricultura digital, agricultura autônoma, tecnologias disruptivas, sociedade 4.0.

As práticas agrícolas vêm sendo transformadas nas últimas décadas pelo desenvolvimento de tecnologias capazes de impulsionar a produção de alimentos, inclusive na Caatinga. Com base nas evidências, a atividade agrícola no bioma ainda se encontra em estágios associados à segunda e à terceira revoluções agrícolas, considerando a baixa quantidade de estudos sobre uso de tecnologias no setor. Contudo, as



crescentes preocupações sociais com alimentos produzidos em equilíbrio entre humano, natureza podem estimular tendências voltadas ao uso de tecnologias inteligentes. A aplicação dessas soluções não precisa restringir-se à produção primária, podendo abranger toda a cadeia de abastecimento. Assim, a utilização de tecnologias inteligentes, Inteligência Artificial — associadas à quarta, quinta revoluções agrícolas — é atraente; desafios técnicos, de gestão, precisam ser superados para garantir estratégias eficazes de ampliação na Caatinga.

Outro ponto relevante é a necessidade de fortalecimento das empresas estaduais de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER). Na maioria dos estados do Nordeste, essas iniciativas encontram-se sucateadas, embora sejam fundamentais para auxiliar produtores na profissionalização das atividades. A assistência técnica também contribui para a modernização tecnológica, a superação de gargalos competitivos da agropecuária. Embora a falta de tecnificação não seja o único obstáculo, maior controle da qualidade na pecuária leiteira, melhor aproveitamento das áreas destinadas à pecuária de corte constituem problemas a serem sanados.

Na produção animal, há necessidade de alinhamento às estratégias de convivência com o semiárido, visto que ocorre paralelamente à agricultura de sequeiro. Além disso, deve-se fomentar o fortalecimento de instituições como cooperativas — ainda pouco difundidas na região — e agroindústrias, visando à valorização da produção da agricultura familiar por meio da industrialização. Prevê-se que o impacto das mudanças climáticas ultrapasse as fronteiras das culturas, sistemas de cultivo, rotações, biota, afetando fatores econômicos, sociais, culturais, sobretudo ambientais. A manutenção do equilíbrio exige novos conhecimentos, políticas alternativas, transformações socioambientais.

Nesse sentido, o enfrentamento dos desafios requer novos paradigmas na pesquisa agrícola, na transferência tecnológica, unindo ciência, tecnologias modernas, conhecimento tradicional (técnicas sociais). Isso demanda mais investimentos do poder público, apoio de organizações de fomento à sustentabilidade, a fim de ancorar pesquisas integradas, esforços de desenvolvimento sustentável, participação da comunidade local. Tal abordagem pode permitir que as comunidades das áreas de sequeiro utilizem os recursos naturais de forma sustentável, em consonância com as condições do semiárido. Os desafios da agricultura exigem alternativas amplas por meio de tecnologias disruptivas; novas tendências abrem espaço para diversas soluções. De modo geral, este estudo contribui para a disseminação de pesquisas relacionadas ao agronegócio na Caatinga, à agricultura 4.0.

As limitações desta pesquisa concentram-se em alguns pontos: as bases de artigos online apresentam estudos e descobertas analisados sob a ótica dos autores; outras abordagens podem gerar resultados distintos. No que se refere às entrevistas, a realização com número maior de pesquisadores tende a oferecer informações mais inovadoras sobre atividades de produção, serviços. Em ambos os casos, novas descobertas provavelmente complementarão este estudo. Para trabalhos futuros, recomenda-se considerar bases de dados mais amplas, aspectos adicionais de pesquisa, a fim de fornecer uma visão holística da aplicação, difusão da IA no agronegócio da Caatinga.

AGRADECIMENTO

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, U. *et al.* Technology and Data Fusion Methods to Enhance Site-Specific Crop Monitoring. **Agronomy**, [s. l.], v. 12, n. 3, p. 555, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4395/12/3/555>.
- ALWIS, S. De *et al.* A survey on smart farming data, applications and techniques. **Computers in Industry**, [s. l.], v. 138, p. 103624, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0166361522000197>.
- ALZOUBI, I.; ALMALIKI, S.; MIRZAEI, F. Prediction of environmental indicators in land leveling using artificial intelligence techniques. **Chemical and Biological Technologies in Agriculture**, Cham, v. 6, n. 1, p. 4, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0142-7>.
- ATWELL, M. A.; WUDDIVIRA, M. N. Soil organic carbon characterization in a tropical ecosystem under different land



uses using proximal soil sensing technique. **Archives of Agronomy and Soil Science**, [s. l.], v. 68, n. 3, p. 297–310, 2022. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03650340.2020.1831693>.

BARBOSA, A. C. B. *et al.* Genetic improvement of Nellore cattle in the semi-arid region of northeastern Brazil. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, Maringá, v. 37, n. 4, p. 429, 2015.

BILALI, A. El; TALEB, A. Prediction of irrigation water quality parameters using machine learning models in a semi-arid environment. **Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences**, [s. l.], v. 19, n. 7, p. 439–451, 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1658077X20300503>.

BUGHIN, J. *et al.* Notes from the AI frontier: Modeling the global economic impact of AI. **McKinsey Global Institute**, New York, v. September, n. September, p. 1–64, 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-modeling-the-impact-of-ai-on-the-world-economy>.

CHUI, M. *et al.* Notes from the AI Frontier: Insights from Hundreds of Use Cases. **McKinsey Global Institute**, New York, v. April, n. April, p. 1–36, 2018. Disponível em: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/featured-insights/artificial-intelligence/notes-from-the-ai-frontier-applications-and-value-of-deep-learning/notes-from-the-ai-frontier-insights-from-hundreds-of-use-cases-discussion-paper.ashx>.

COELHO JUNIOR, L. M. *et al.* Avaliação do uso do solo e dos recursos florestais no semiárido do estado da Paraíba. **Ciência Florestal**, [s. l.], v. 30, n. 1, p. 72, 2020.

DEFRA. **The Future Farming and Environment Evidence Compendium**. London: UK Government Statistical Service, 2018.

DIXON, B. Applicability of neuro-fuzzy techniques in predicting ground-water vulnerability: A GIS-based sensitivity analysis. **Journal of Hydrology**, London, v. 309, n. 1–4, p. 17–38, 2005.

DUTRA, D. S.; SILVA, J. R. Product-Service Architecture (PSA): toward a Service Engineering perspective in Industry 4.0. **IFAC-PapersOnLine**, Viena, v. 49, n. 31, p. 91–96, 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2405896316328385>.

GARCIA, S. *et al.* The sustainability awareness of Brazilian consumers of cotton clothing. **Journal of Cleaner Production**, Amsterdam, v. 215, p. 1490–1502, 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652619300800>.

GOLDSMITH, J.; BURTON, E. Why Teaching Ethics to AI Practitioners Is Important. **The AAAI-17 workshop on AI, Ethics, and Society**, California, v. 02, p. 110–114, 2017.

GRANATA, F. Evapotranspiration evaluation models based on machine learning algorithms—A comparative study. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 217, n. August 2018, p. 303–315, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.015>.

GRIEVE, B. D. *et al.* The challenges posed by global broadacre crops in delivering smart agri-robotic solutions: A fundamental rethink is required. **Global Food Security**, New York, v. 23, n. April, p. 116–124, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.04.011>.

KEATING, B. A. *et al.* Modelling sugarcane production systems I Development and performance of the sugarcane module. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 61, p. 253–271, 1999.

LIU, P. The future of food and agriculture - Trends and challenges. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Roma, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>.

NARAYAN, K. A.; SCHLEEGER, C.; BRISTOW, K. L. Modelling seawater intrusion in the Burdekin Delta irrigation area, North Queensland, Australia. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 89, n. 3, p. 217–228, 2007.

ÖHMAN, C.; FLORIDI, L. An ethical framework for the digital afterlife industry. **Nature Human Behaviour**, London, v. 2, n. 5, p. 318–320, 2018. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/s41562-018-0335-2>.

ONU. **World Population Prospects: The 2019 Highlights**. New York, NY, USA: [s. n.], 2019-. ISSN 0337-307X. Disponível em: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12283219>.



PELESARAEI, A. N. *et al.* Resource management in cropping systems using artificial intelligence techniques: a case study of orange orchards in north of Iran. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, Berlin, v. 30, n. 1, p. 413–427, 2016. Disponível em: "<http://dx.doi.org/10.1007/s00477-015-1152-z>."

PURDY, M.; DAUGHERTY, P. How AI Boosts Industry Profits and Innovation. **Accenture**, Dublin, p. 1–28, 2017. Disponível em: <https://www.accenture.com/no-en/insight-ai-industry-growth>.

SALEHNIA, N. *et al.* Climate data clustering effects on arid and semi-arid rainfed wheat yield: a comparison of artificial intelligence and K-means approaches. **International Journal of Biometeorology**, London, p. 1–9, 2019. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s00484-019-01699-w>.

SEYAM, M.; OTHMAN, F.; EL-SHAFIE, A. RBFNN Versus Empirical Models for Lag Time Prediction in Tropical Humid Rivers. **Water Resources Management**, Amsterdam, v. 31, n. 1, p. 187–204, 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-016-1518-0>.

SHAKIBAI, A. R.; KOOCHEKZADEH, S. Modeling and predicting agricultural energy consumption in Iran. **American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science**, [s. l.], v. 5, n. 3, p. 308–312, 2009.

SILVA, V. P. R. *et al.* Risco climático da cana-de-açúcar cultivada na região nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 2, p. 180–189, 2013.

STONE, P. J.; SORENSEN, I. B.; JAMIESON, P. D. Effect of soil temperature on phenology, canopy development, biomass and yield of maize in a cool-temperate climate. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 63, n. 2, p. 169–178, 1999.

TABARI, H.; TALAEI, P. H. Temporal variability of precipitation over Iran: 1966–2005. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 396, n. 3-4, p. 313–320, 2011. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169410007304>.

TABARI, H.; TALAEI, P. H.; WILLEMS, P. Short-term forecasting of soil temperature using artificial neural network. **Meteorological Applications**, [s. l.], v. 22, n. 3, p. 576–585, 2015. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/met.1489>.

UNTARU, M.; ROTARESCU, V.; DORNEANU, L. Artificial neural networks for sustainable agribusiness: A case study of five energetic crops. **Agrociencia**, Cidade do México, v. 46, n. 5, p. 507–518, 2012. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84869426625&partnerID=40&md5=af10af49e1e3bec1b9356a2f8e717543>.

VROCHIDOU, E. *et al.* Computer Vision in Self-Steering Tractors. **Machines**, [s. l.], v. 10, n. 2, p. 129, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2075-1702/10/2/129>.

WALDHEIM, P. V. *et al.* Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências UFRJ**, Rio de Janeiro, v. 29, n. 2, p. 30–43, 2006. Disponível em: http://ppegeo.igc.usp.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-97592006000200002&lng=pt&nrm=isoPraia.

XIMENES, L. J. F. **BNB Setorial**. 1. ed. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2018.

YASEEN, Z. M. *et al.* Artificial intelligence based models for stream-flow forecasting: 2000–2015. **Journal of Hydrology**, [s. l.], v. 530, p. 829–844, 2015. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022169415008069>.

ZARE, M.; KOCH, M. Hybrid signal processing/machine learning and PSO optimization model for conjunctive management of surface–groundwater resources. **Neural Computing and Applications**, [s. l.], v. 33, n. 13, p. 8067–8088, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05553-8>.