



Revista Angolana de Ciências

Vol. 8, Nº 1. e080116. Janeiro – Junho, 2026
(Publicação em Fluxo Contínuo)

Suporte Tecnológico para uma Agricultura de Precisão em Angola: Revisão Sistemática da Literatura

Technological Support for Precision Agriculture in Angola: A Systematic Literature Review

Soporte Tecnológico para una Agricultura de Precisión en Angola: Revisión Sistemática de la Literatura

Cândido Kiluando¹
Ngombo Armando²

RESUMO

O ecossistema verde angolano apresenta elevado potencial para garantir boas condições de vida, face à crescente demanda alimentar e aos desafios impostos pelas mudanças climáticas. Contudo, persiste a necessidade de infraestruturas de precisão capazes de ampliar a produtividade agrícola e reduzir custos e desperdícios de recursos estratégicos. Este estudo tem como objectivo apresentar o panorama tecnológico disponível para enfrentar tais desafios e analisar o nível de implementação, em Angola, do paradigma de agricultura de precisão, conforme documentado na literatura internacional. A metodologia adotada corresponde a uma revisão sistemática, conduzida segundo as recomendações PRISMA, com base em dados publicados em revistas científicas indexadas entre dezembro de 2020 e março de 2022. O estudo disponibiliza, em língua portuguesa, uma revisão qualitativa e interpretativa de literatura predominantemente em inglês, além de discutir tecnologias avançadas de IoT aplicadas ao ecossistema verde. Os resultados apontam um movimento global crescente em favor da agricultura de precisão, caracterizada por soluções de alto desempenho, baixo custo relativo e fácil manuseio pelos agricultores. Todavia, identificou-se escassez de estudos aplicados ao contexto angolano. Considerando iniciativas como a Reserva Estratégica Alimentar, o PLANAGRÃO e o PRODESI, o estudo evidencia oportunidades de investigação para colmatar o défice tecnológico agro-digital nacional e fortalecer a resiliência alimentar.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; IoT; LoRa/LoRaWAN; FIWARE; Angola.

RECEBIDO: 15/09/2025
ACEITE: 15/12/2025
PUBLICADO: 30/06/2026



Como citar: Kiluando, C., Armando, N. (2026). Suporte Tecnológico para uma Agricultura de Precisão em Angola: Revisão Sistemática da Literatura. *RAC: Revista Angolana de Ciências*, 8(1), e080116. <https://doi.org/10.54580/R080116>

E-ISSN. 2664-259X

e080116



© 2026. The Author(s). Published under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

The Angolan green ecosystem presents significant potential to ensure adequate living conditions in the face of growing food demand and the challenges imposed by climate change. However, there remains a need for precision infrastructures capable of increasing agricultural productivity while reducing costs and the waste of strategic resources. This study aims to present the technological landscape available to address these challenges and to analyse the level of implementation of the precision agriculture paradigm in Angola, as documented in the international literature. The adopted methodology corresponds to a systematic review conducted according to PRISMA recommendations, based on data published in indexed scientific journals between December 2020 and March 2022. The study provides, in Portuguese, a qualitative and interpretative review of literature predominantly written in English and discusses advanced IoT technologies applied to the green ecosystem. The results reveal an increasing global shift towards precision agriculture, characterized by high-performance, relatively low-cost solutions that are easy for farmers to operate. Nevertheless, a scarcity of studies applied to the Angolan context was identified. Considering initiatives such as the Strategic Food Reserve, PLANAGRÃO and PRODESI, the study highlights research opportunities to bridge the national agri-digital technological gap and strengthen food resilience.

Keywords: Precision agriculture; IoT; LoRa/LoRaWAN; FIWARE; Angola.

Resumen

El ecosistema verde angoleño presenta un elevado potencial para garantizar buenas condiciones de vida frente a la creciente demanda alimentaria y los desafíos impuestos por el cambio climático. Sin embargo, persiste la necesidad de infraestructuras de precisión capaces de aumentar la productividad agrícola y reducir los costos y el desperdicio de recursos estratégicos. Este estudio tiene como objetivo presentar el panorama tecnológico disponible para enfrentar dichos desafíos y analizar el nivel de implementación, en Angola, del paradigma de agricultura de precisión, según lo documentado en la literatura internacional. La metodología adoptada corresponde a una revisión sistemática, realizada conforme a las recomendaciones PRISMA, basada en datos publicados en revistas científicas indexadas entre diciembre de 2020 y marzo de 2022. El estudio ofrece, en lengua portuguesa, una revisión cualitativa e interpretativa de literatura predominantemente en inglés y analiza tecnologías avanzadas de IoT aplicadas al ecosistema verde. Los resultados señalan una tendencia global creciente a favor de la agricultura de precisión, caracterizada por soluciones de alto rendimiento, bajo costo relativo y fácil manejo por parte de los agricultores. No obstante, se identificó una escasez de estudios aplicados al contexto angoleño. Considerando iniciativas como la Reserva Estratégica Alimentaria, PLANAGRÃO y PRODESI, el estudio evidencia oportunidades de investigación para reducir el déficit tecnológico agro-digital nacional y fortalecer la resiliencia alimentaria.

Palabras clave: Agricultura de precisión; IoT; LoRa/LoRaWAN; FIWARE; Angola.

Introdução

Embora uma queda de mais de 13 pontos entre 2000 e 2020, o sector da agricultura continua a absorver mais de ¼ da mão de obra mundial. Neste mesmo período, registou-se também um aumento de mais de 100 milhões de pessoas em estado de subnutrição em todo o mundo. Ainda Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), o mundo deve produzir 70% mais alimentos em 2050 do que produzia em 2006, para alimentar a população crescente (FAO, 2018).³

Um estudo de 2020 aponta que “Angola é um dos sete países a nível global que inevitavelmente sofrerá uma diminuição da produção de culturas chave (mandioca, milho, sorgo, arroz, trigo e painço) até 2030, por causa das alterações climáticas” (Welborn et al, 2020, pp. 22). De igual modo, o sector agrícola Angolano “outrora um dos mais produtivos do continente Africano, tem um desempenho muito abaixo do seu potencial” (ibidem, pp. 20).

Em Angola, o número de pessoas em insegurança alimentar tem aumentado desde o triênio 2013-2015, observando-se uma tendência quase exponencial desde 2017-2019⁴. Neste contexto, uma agricultura eficiente, mas sustentável e a preservação do ecossistema verde, podem permitir “afrontar” o crescimento demográfico superior a 200%, projectado para 2050 (Welborn et al, 2020, p. 10). Com efeito, o ecossistema verde angolano é muito rico e permitiria garantir boas condições de vida para os seus habitantes, ante tamanha demanda por alimentos e as condições climáticas extremas. Porém, ainda temos o desafio de instalar infraestruturas tecnológicas de precisão, com o objectivo de aumentar a produtividade e reduzir tanto os custos, como os desperdícios de recursos agrícolas estratégicos (água, terra, clima). A agricultura inteligente é cada vez mais vista como uma solução para estes desafios

³ <https://www.fao.org/3/cb4477en/online/cb4477en.html#chapter-1>, acessado a 28/03/2023

⁴ <https://www.fao.org/faostat/en/#country/7>, acessado a 28/03/2023

globais de sustentabilidade, por produzir modelos de cultivo mais proficientes. (FAO, 2018). Esta dinâmica produtiva está cada vez mais associada a uma automatização tanto por meio da mecanização, como por meio da digitalização dos processos agrícolas.

Desde o ano 2010, a digitalização do sector agrícola traduz-se essencialmente na exploração do conceito tecnológico de Internet das Coisas (IoT- do inglês Internet of Things) aplicada a agricultura. Fala-se então de agricultura inteligente (em inglês Smart agriculture ou agriculture 4.0), cuja inovação reside, entre outros, na capacidade técnica de se medir de forma ubíqua e pervasiva, diferentes parâmetros vitais da actividade agrícola, tais como a temperatura, humidade, velocidade e sentido do vento. Em suma, a IoT permite uma melhor análise, processamento e gestão de recursos estratégicos, procurando-se pela mesma, maiores capacidades de produção, à medida que aumentam as demandas pelos produtos e suas operações. Com o desenvolvimento massivo das tecnologias de comunicação de baixo consumo e sensores para aplicação agrícola, cresce a facilidade da adopção deste paradigma de agricultura.

Assim sendo, o presente estudo visa apresentar o estado da arte sobre agricultura de precisão e tecnologias digitais plebiscitadas no domínio da IoT, a saber LoRa/LoRaWAN (para a transmissão de dados) e FIWARE (para a gestão dos dados contextualizados).

Por outra, o presente estudo visa radiografar o nível de implementação de técnicas de digitalização da agricultura em Angola, num contexto de execução de programas políticos de fomento a “resiliência alimentar”, nomeadamente a Reserva Estratégica Alimentar (REA) (Rea, 2018) e o Plano Nacional de Fomento para a Produção de Grãos (PLANAGRÃO) (Planagrão, 2022).

A sequência deste artigo estrutura-se da seguinte maneira: Na Secção 2 apresentamos a metodologia adoptada para a selecção dos estudos mais pertinentes da matéria em abordagem. Na secção 3, temos os resultados obtidos em termos de panorama dos estudos incluídos, antes de passarmos para uma discussão destes estudos, segundo quatro dimensões, portanto, na secção 4. Concluimos o artigo na Secção 5, identificando algumas oportunidades para pesquisas futuras no contexto angolano, que permitiriam mitigar, no âmbito do PRODESI, o défice tecnológico agro-digital de concepção, implementação, produção e actualização nacional, alinhado aos padrões internacionais.

Metodologia / Material e Métodos

O desenvolvimento desta revisão da literatura foi feito segundo os critérios recomendados pelo guião PRISMA (Page et al., 2021), este que é um conjunto de itens elementares para se relatar revisões sistemáticas e meta-análises, baseando-se em evidências. Quanto ao levantamento dos dados, adoptou-se como estratégia de busca, a estrutura que se encontra resumida na Tabela 1 onde os critérios de inclusão consistiram sequencialmente no seguinte:

1. termos-chaves: LoRaWAN, FIWARE, Smart Agriculture, Smart Farming e Agricultura inteligente.
2. fontes de informação: revistas indexadas nas bases de dados IEEEExplore, ScienceDirect, SciELO.
3. disponibilidade dos dados: texto na íntegra, em acesso livre ou via a b-on.
4. período de publicação: entre 2020 e 2022.
5. idioma de publicação: inglês e português.

Para a fase de exclusão, foram utilizados sequencialmente os seguintes critérios:

1. duplicados: via um procedimento de identificação automatizada de redundância de acervo.
2. títulos fora do âmbito do trabalho: via leitura dos títulos do acervo não filtrados na etapa precedente.
3. resumos fora do escopo da revisão: via leitura dos resumos do acervo não filtrados na etapa precedente.
4. conteúdos fora do escopo da revisão: via leitura integral do acervo não filtrados na etapa precedente.

Após selecção dos registos, fez-se uma leitura crítica de cada publicação, relativamente aos objectivos, desenhos metodológicos e principais resultados obtidos. Por fim, foi realizada uma síntese de cada publicação seleccionada segundo três eixos temáticos, nomeadamente i. Agricultura inteligente, ii. LoRaWAN /FIWARE e iii. Estratégia nacional agrícola. Assim, para cada um destes eixos, fizemos uma análise comparativa da maneira como elas são abordadas nas publicações seleccionadas. Esta etapa teve como objectivo a identificação das lacunas na literatura, que podem ser objectos de estudos futuros.

Tabela 1.
Estratégias de identificação da literatura.

BASE DE DADOS	TERMOS E SEQUÊNCIAS BOOLEANAS
IEEEExplore	“LoRaWAN”, “Smart Agriculture”, “Smart Farming” “LoRaWAN AND FIWARE”, “LoRaWAN AND Smart Agriculture”, “LoRaWAN AND Smart Farming”, “FIWARE AND Smart Agriculture”, “FIWARE AND Smart Farming”, “LoRaWAN AND FIWARE AND Smart Termos e sequências booleanas
ScienceDirect	
SciELO	Agriculture”, “Angola AND Smart Agriculture”, “Angola AND Agricultura”

Fonte: Elaboração própria do autor a partir de dados da pesquisa.

Conforme resumido na Figura 1, identificámos um total de 971 registos distribuídos em: *IEEE Xplore* (n = 693), *ScienceDirect* (n = 239), *SciELO* (n = 39). Acrescentaram-se a estes, 9 outros relatórios e normativos, por recomendação da equipa de investigação, resultante de experiências acumuladas em trabalhos anteriores e paralelos em curso. Constam do fluxograma na Figura 1 detalhes dos resultados obtidos nas três fases das recomendações PRISMA. Em termos de origem, 14 estudos foram desenvolvidos em instituições de ensino superior (IES) e 1 em um centro tecnológico. Desses estudos, 3 foram feitos no México, 1 no Brasil, 1 na Turquia, 3 na Índia, 1 na Inglaterra, 1 no Líbano, 1 em Portugal, 2 na Espanha, 1 na Malásia e 1 no Peru.

A organização e tabulação dos meta-dados foram feitos numa planilha elaborado no programa MS Excel, onde primeiramente foram excluídos 139 registos duplicados. Procedeu-se a leitura dos títulos dos demais 832 registos, após a qual 721 registos foram excluídos por não contemplarem os nossos critérios de inclusão. Posteriormente, fez-se a leitura dos resumos das 111 publicações, onde 80 foram excluídos por estarem fora do escopo da revisão, restando assim 31 publicações. Estas foram lidas na íntegra, culminando com a exclusão de 16 por terem apresentado um conteúdo fora do escopo da revisão. Após as etapas de seleção, incluímos 15 estudos desenvolvidos por Franco et al. (2020), Heideker et al. (2020), Hernandez et al. (2021), Cicioğlu & Çalhan (2021), Poyen et al. (2021), Ramson et al. (2021), Roy et al. (2021), Jabbar et al. (2022), Koteish et al. (2022), Ruiz-Ortega et al. (2022), Sanchez et al. (2022), Munoz et al. (2022), Jani & Chaubey, (2022) e Alobaidy et al., (2022), Mateos Matilla et al. (2022).

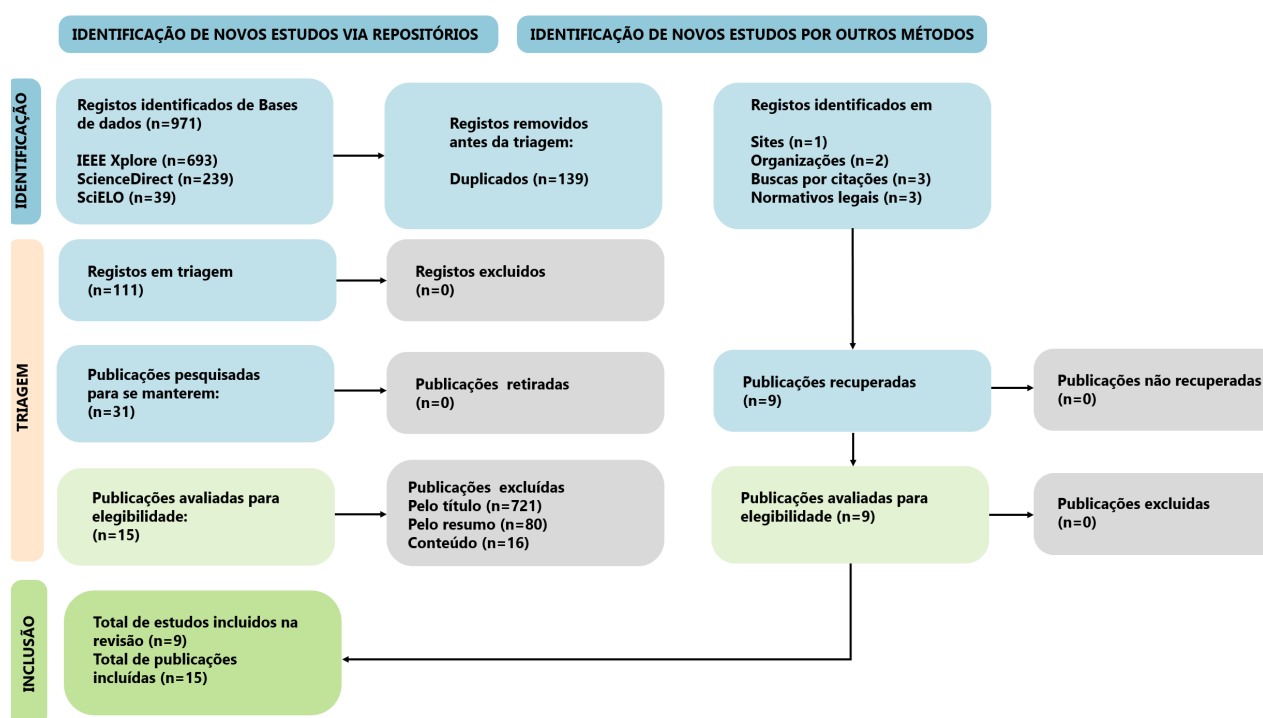


Figura 1: Fluxograma de seleção de estudos.

Fonte: Elaboração própria do autor a partir de dados da pesquisa.

A Tabela 2 apresenta o mapeamento das dimensões temáticas, com os estudos incluídos neste artigo.

Tendo mostrado os resultados da revisão da literatura em termos de panorama dos estudos incluídos, na próxima secção apresentamos uma discussão destes estudos, segundo quatro dimensões, nomeadamente: Agricultura inteligente, tecnologias LoRaWAN/FIWARE e Estratégia nacional agrícola.

Tabela 2.
Mapeamento das dimensões temáticas e os estudos bibliográficos.

DIMENSÕES TEMÁTICAS	ESTUDOS BIBLIOGRÁFICOS
Agricultura Inteligente	(Cicioğlu & Çalhan, 2021; Jani & Chaubey, 2022; Koteish et al., 2022; Poyen et al., 2021; Roy et al., 2021; Ruiz-Ortega et al., 2022)
LoRaWAN	(Alobaidy et al., 2022; Heideker et al., 2020; Hernandez et al., 2021; Jabbar et al., 2022; Mateos Matilla et al., 2022; Ramson et al., 2021; Sanchez et al., 2022)
FIWARE	(Franco et al., 2020; Heideker et al., 2020; Hernandez et al., 2021; Munoz et al., 2022; Sanchez et al., 2022)
Estratégia nacional agrícola em Angola	(Welborn et al., 2020); (República de Angola, 2018); (República de Angola, 2019); (República de Angola, 2022); (Governo de Angola, 2023).

Fonte: Elaboração própria do autor a partir de dados da pesquisa.

Agricultura inteligente

Jani & Chaubey (2022) apresentam um sistema de monitoramento feito por dispositivos IoT que colectam dados contextualizados sobre o solo, ar, água e insetos. Este sistema permite a tomada de decisões apropriadas com base na análise dos dados dos sensores. A estrutura integra três modelos, sendo o primeiro um sistema de controlo de pragas que tem a função de colectar automaticamente as informações sobre insetos com base em imagens de câmeras colocadas no campo, imagens de veículos aéreos não tripulados (vulgo drônes) ou imagens capturadas manualmente por um dispositivo móvel no campo agrícola. Constam igualmente do leque de dados contextualizados, os requisitos sobre fertilizantes calculados e dissolvidos no tanque de água durante a irrigação, permitindo assim a detecção da humidade no solo e borriفة de água em uma área específica da fazenda onde a irrigação é necessária. O segundo modelo faz o uso de repelente ultrassônico para animais e humano PIR (*Passive InfraRed*) bem como câmeras implantadas em campo para detectar a entrada não autorizada, capturar e gerar onda de som e alertar o agricultor via painel de aplicativo móvel. O Terceiro modelo é um sistema que tem a função de assegurar uma irrigação por gotejamento, através de sensores e actuadores responsáveis pela abertura/fecho de válvulas solenoides de acordo com uma programação do processo de irrigação.

O sistema interrompe a irrigação e notifica o agricultor sobre a má qualidade da água com base nos dados dos sensores, em tempo real. Os sensores e os actuadores são monitorados e alimentados de forma contínua durante o processo de irrigação, o que diminui o tempo de vida útil das baterias dos mesmos.

Em Koteish et al. (2022) é proposto um mecanismo de detecção eficiente da humidade do solo de um campo e o melhoramento do sistema de irrigação. Comparado ao estudo anterior, este mecanismo divide o campo monitorado em pequenas zonas, chamadas grades, em que cada uma atribui um nó sensor líder do perímetro. A solução de que é questão no estudo, designada AGRO, consiste em três fases, a saber: sensoriamento inteligente, economia de energia e tomada de decisão. A primeira fase tem a função de detectar a condição de humidade do solo e actualizar o agricultor sobre o progresso do status do campo, reduzindo a quantidade de dados transmitidos ao *gateway*. A segunda fase analisa a variação do estado do campo durante períodos sucessivos e permite adaptar a frequência de detecção do sensor para economizar a sua energia, o que, por conseguinte, permite prolongar a sua vida útil. A última fase serve para o estudo dos dados colectados pelos sensores, permitindo assim que o agricultor aja com base numa matriz de decisão pré-definida.

Ruiz-Ortega et al. (2022) apresentam um projecto com arquitetura de baixo custo, baseada em IoT, para monitorar as condições climáticas, nomeadamente a temperatura do ar, humidade relativa, radiação solar e a velocidade do vento dentro de uma estufa. A arquitetura proposta integra as tecnologias sem fios WiFi e GSM/GPRS para a transmissão de dados ao servidor. O monitoramento das condições climáticas dentro da estufa apresenta-se como um factor chave para a melhoria da produção agrícola.

Um protótipo de controlador de irrigação baseado em regras difusas para verificar o desperdício de água é apresentado no estudo Poyen et al. (2021). O protótipo baptizado *Smart Automatic Irrigation Controller* (SAIC) fornece um ambiente de irrigação ideal para a agricultura, através de duas unidades operacionais: a unidade de sensor sem fio (WSU) e a unidade sem fio de processamento de informações (WIPU). A WSU serve para medir as condições climáticas do solo e calcular a perda real de água devido à evaporação. Já a WIPU, esta processa o valor calculado e executa a acção necessária para regular os actuadores que fornecem a quantidade certa de água para a fazenda, economizando energia dos sensores. Os resultados mostram que o protótipo é eficiente, de baixo custo e de fácil manuseamento. O mesmo tem a capacidade de compensar a perda de água em quase 100%, onde o controlador alcançou uma redução de 27% no uso de água e um aumento de 40% no rendimento da colheita. O modelo é único no sentido de que pode programar a irrigação para todos os tipos de culturas, em todas as condições climáticas para todos os tipos de solo.

De igual forma, no estudo Roy et al. (2021) é apresentado um sistema dinâmico de programação de irrigação (AgriSens) que utiliza um algoritmo para o gerenciamento eficiente da água em campos de cultivo irrigados. O AgriSens faz um tratamento de irrigação manual em tempo real, automático, dinâmico e remoto para diferentes fases de crescimento do ciclo de vida de uma cultura. O sistema usa um sensor de baixo custo para medir o nível de água presente em um campo.

O mesmo também fornece dados de campo aos agricultores de forma multimodal. Comparando aos estudos anteriores, este sistema apresenta resultados significativos em relação a diferentes métricas de desempenho, tais como a validação de dados, taxa de entrega de pacotes, consumo de energia, e taxa de falha em várias condições climáticas e com tratamentos de irrigação dinâmicos. O sistema ajuda a melhorar a produtividade da cultura em até cerca de 10%, comparando com o método de irrigação manual. Outrossim, os autores do estudo afirmam garantir um aumento da vida útil da rede de sensores em 2.5 vezes mais do que os sistemas existentes, alcançando uma confiabilidade de 94% mesmo após 500 horas de operação.

Em Cicioğlu & Çalhan (2021), um monitoramento inteligente da produção de milho é desenvolvido. Trata-se de um sistema integrado baseado em redes de sensores sem fios, comunicação por drônes e IoT. O sistema permite o monitoramento de campos de milho através de diferentes sensores com taxas distintas de geração de pacotes, que os transmitem para um nó coordenador. Periodicamente o drône faz a colecta dos pacotes relevantes dos nós coordenadores. Posteriormente o drône transmite esses pacotes para o gateway, que por sua vez se encarrega

de os fazer chegar ao servidor do sistema. Os resultados de atraso e rendimento do sistema foram examinados e considerados aplicáveis a cenários agrícolas sensíveis. O sistema apresentado permite o monitoramento de diferentes valores do solo e do ar, fornecendo informações críticas tais como o crescimento do milho, necessidades de água e acções a serem tomadas para enfrentar os riscos de doenças, por meio de interfaces gráficas. Por fim, o sistema permite aos agricultores tomarem precauções e assim, podem facilmente aumentar o rendimento da cultura.

Sinergia LoRaWAN e FIWARE

No estudo Ramson et al. (2021), os autores desenvolveram um sistema IoT para o monitoramento contínuo dos solos agrícolas. O sistema utiliza nós denominados “unidades de monitoramento da saúde do solo”, alimentados por energia solar e podem ser instalados em um campo por longos períodos de tempo. Cada nó implantado transmite a temperatura do solo, humidade, condutividade eléctrica, dióxido de carbono (CO₂) e dados de geolocalização, via a tecnologia de rádio LoRaWAN. Os dados colectados dos sensores são enviados a um *gateway* que os carrega em um servidor para armazenamento, processamento e análise de longo prazo. O sistema foi implementado em um grande campo, onde a transmissão via LoRaWAN teve um alcance de comunicação superior a 3400 m e foi estimado em uma potência de transmissão de 10 dBm. O consumo médio de corrente eléctrica do sistema foi estimado em 13 mA, sendo que as baterias de ion-lítio integradas aos sensores são capazes de sustentar o sistema por vários dias. As baterias são alimentadas por um painel solar de 6,5 cm, capaz de carregá-las totalmente em 14 dias, enquanto fornecem energia para o sistema. O sistema proposto integra uma plataforma flexível que permite a adição contínua de sensores com diferentes tipos de interfaces para monitorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e a transmissão de dados de longo alcance para cobrir grandes extensões de terra, escalável de forma *plug-and-play*. Nesta solução, colecta-se também a energia solar com rastreamento de ponto de potência máxima e carregamento de bateria, múltiplas opções de alimentação (3,3 V, 5 V e 12 V) para sensores, geolocalização de pontos de amostragem e armazenamento de dados de longo prazo e um painel para visualização e análise de dados.

Em Jabbar et al. (2022), os autores implementam um sistema IoT baseado em LoRaWAN para monitoramento de qualidade do ar externo de longo alcance. O mesmo integra vários sensores (NO₂, CO₂, CO, PM_{2.5}, temperatura e humidade), um microcontrolador Arduíno com módulo LoRa, um gateway LoRaWAN e conexão a plataforma *The Thing Network* (TTN). O sistema é alimentado continuamente por uma bateria recarregável com painel solar fotovoltaico e outra de íons de lítio recarregável por meio de um protetor de carregador solar para operação sustentável. O tempo necessário para carregar totalmente a bateria através dos painéis solares fotovoltaicos é de 6 horas. Neste sistema, o sensor envia dados a cada 10 s para a nuvem, o que pode gerar uma grande quantidade de tráfego de rede e consumo rápido da carga da bateria.

Alobaidy et al. (2022) apresentam uma arquitetura de um sistema baptizado *Airborne Internet of Things Network* (AIN) para monitorar a qualidade da água, combinando tecnologias sem fio para retransmitir dados por longas distâncias em terrenos montanhosos. O sistema proposto consiste em sensores de qualidade da água que utilizam dispositivos sem fio de longo alcance (LoRa), um balão de ar e dispositivos Wi-Fi. A arquitetura contém um modelo de perda de caminho semi-empírico baseado em aprendizagem automática híbrida para comunicação sem fio LoRa. O estudo mostrou que a cobertura do sinal com a rede LoRa depende grandemente do factor de espalhamento (SF), onde a mudança de 7 para 10 aumenta significativamente a cobertura, chegando a mais de 3,5 km. Notou-se também que a cobertura com melhor qualidade de sinal concentrou-se principalmente no diâmetro de 0,5 a 1,5 km. O modelo proposto alcançou quase 90% de precisão de previsão para amostras de teste e 95% de precisão para amostras de treinamento e medição geral, superando amplamente os modelos convencionais. O estudo mostrou ainda que é importante entender os limites de cobertura da comunicação LoRa, considerando o terreno, a folhagem e a localização e altura ideais de montagem do gateway, para garantir a qualidade do sinal e o planeamento da cobertura ideais.

Em Mateos Matilla et al. (2022), são apresentadas soluções de baixo custo, usando novas interfaces de usuário e tecnologias de comunicação sem fio para o monitoramento de sistemas de irrigação em cultivos de milho. Com estas soluções mostrou-se que é possível monitorar efetivamente o funcionamento do sistema base de irrigação utilizando as tecnologias GPS e LoRaWAN. De forma global, o sistema mostrou também que a eficácia dos sensores LoRaWAN pode variar dependendo da cultura nos campos e que a perda de pacotes pode afectar a operação do sistema. Os sensores funcionam sem problemas de cobertura em campos de culturas a 3,5 km de distância do *gateway* implantado. A perda de pacotes requer uma análise mais profunda para avaliar sua operação em áreas mais remotas. Pese embora os sensores funcionavam próximo do *gateway*, houve alta perda de dados devido a factores como uma linha de visão considerada como má (neste caso, o campo estava mais próximo, porém com mais obstáculos na linha de visão) ou outros factores, como uma alta taxa sinal-ruído (SNR), que naturalmente, também pode influenciar negativamente a transmissão. Os resultados da transmissão obtidos após 24h foram bem melhores (a perda de pacotes foi de apenas 1%), apesar deste terreno estar localizado a 3,5 km do gateway. Devido ao número elevado de perdas de pacotes, este sistema mostrou-se pouco eficiente em relação aos anteriores que aqui apresentámos.

Munoz et al. (2022) propõem um sistema IoT baseado em nuvem para construir uma plataforma aplicada em um contexto de produção de culturas de efeito estufa que fornece os serviços de dados históricos, valores actuais, previsões meteorológicas, modelo climático, modelo de produção de tomate e modelo de irrigação, disponíveis por meio de um serviço de API (*Application Programming Interface*). Aqui, os dados históricos e em tempo real, bem como modelos de previsão são acessados por meio de serviços web RESTful (*Representational State Transfer*), utilizando a plataforma FIWARE, que fornece uma série de funcionalidades e padrões, facilitando o desenvolvimento de aplicações inteligentes. A plataforma integra um novo serviço chamado GMaaS (*Greenhouse Models as a Service*)

que usa modelos de efeito estufa para estimar o clima interno, produção agrícola e valores de irrigação. O sistema é dinâmico, porque todos os serviços estão disponíveis através da API, para diferentes necessidades do usuário. Apesar das limitações na utilização dos modelos por parte dos usuários que são destinados apenas para pesquisa, a GMaaS fornece modelos baseados em nuvem sem qualquer dependência de *software* ou dispositivo.

Franco et al. (2020) desenvolveram um sistema de monitoramento da germinação de sementes que usa técnicas de processamento de imagem e lógica confusa (*fuzzy*). O sistema é baseado nas plataformas Cloudino-IoT e tal como no estudo (Munoz et al., 2022), usa *FIWARE* como alternativa de monitoramento em tempo real dos parâmetros de temperatura e humidade. O sistema controla as variáveis por meio de técnicas de controlo *fuzzy* e o processamento de imagens monitora a germinação na semente da radícula. Para o desenvolvimento do sistema, é utilizado plataformas combinadas de código aberto que permitem que a computação em nuvem seja habilitada para manter, especificar, analisar os dados e automatizar os parâmetros ambientais que permitem manter a temperatura e humidade em níveis ideais para criar um ambiente de germinação favorável.

Sanchez et al. (2022) apresentam uma plataforma de cidade inteligente que usa nós LoRaWAN para colectar informações sobre espaços verdes da cidade, ciclovias e depósitos de reciclagem. Aqui, a plataforma *middleware FIWARE* permite interfacear projectos de IoT para capturar actualizações no contexto da informação e traduzi-las em actuações esperadas. O *FIWARE* permite também receber dados de contexto, processar, gerenciar, analisar, publicar e visualizar as informações de maneira histórica e agregada a partir de uma API RESTful com o suporte de um aplicativo móvel. Com este sistema, os cidadãos podem avaliar a sua participação em aspectos que melhoram a sustentabilidade da cidade, através de um esquema de gamificação. Os nós sensores detetam vários *gateways*, porém comunicam-se apenas com o que apresenta o RSSI mais alto. A solução apresentada neste estudo adota uma abordagem HITLCPs (*Human-in-The-Loop-Cyber-Physical-System*) para melhorar a sustentabilidade urbana e a qualidade de vida dos cidadãos, fechando o ciclo e dando feedback aos usuários. Por outra, no que diz respeito às transmissões, o sistema baptizado Green Bear usa LoRaWAN de longo alcance e conexões *Bluetooth Low Energy* (BLE) para curto alcance, levando a um consumo de energia extremamente baixo nos nós.

Em um outro estudo, Hernandez et al. (2021) desenvolveram um protótipo IoT utilizando comunicação LoRa e serviços *FIWARE*. O protótipo usa sensores de humidade, temperatura e geolocalização para colecta de dados conectados a cartões SODAQ ExpLoRer. As informações colectadas pelos componentes e serviços *OpenSource do LoRa*, LoRaWAN e ChirpStack, são transferidas para o *Orion Context Broker* (OCB) e depois utilizadas nos diferentes serviços do *FIWARE*, CrateDB e Grafana. Diferente de Sanchez et al. (2022), o sistema mostrou incompatibilidade na comunicação tendo em conta aos diferentes protocolos e idiomas usado nos dispositivos, o que impulsionou a criação de soluções alternativas, como a LPWAN utilizando plataformas abertas e padronizadas permitindo que, mesmo sem ter acesso a Internet próxima ao dispositivo receptor de dados, seja possível transmitir informações com eficiência para a plataforma *FIWARE*. A plataforma *FIWARE* usa agente IoT LoRaWAN que permite obter dados compatíveis com o protocolo de comunicação utilizada na plataforma ChirpStack. Também é possível utilizar outros tipos de plataformas similares, como TTN. O protótipo apresenta resultados satisfatórios no seu funcionamento, apesar das limitações de transporte, condições climáticas e conectividade com a Internet pelas quais passou no teste de desempenho do sistema.

A solução de Heideker et al. (2020) explora o conceito de IoT para colectar dados agrícolas usando soluções de código aberto que permitem ampla personalização e integração com serviços de previsão do tempo, *Machine Learning* avançado e painéis em tempo real. O sistema integra vários componentes de softwares para medição de dados, como colectador de dados de estação meteorológica RS-232, colectador de sensor de humidade do solo baseado em LoRaWAN e colectador de previsão do tempo. O funcionamento do sistema mostrou-se eficiente pela grande versatilidade de tecnologias IoT aplicadas à agricultura inteligente e a viabilidade do *FIWARE* para lidar com a integração de diferentes tecnologias de colecta e transmissão de informações de diferentes sensores e dispositivos IoT, explorando tecnologias como LoRaWAN e Wi-Fi. No sistema abordado neste estudo, os dados colectados pelos sensores são publicados no OCB, podendo ser consultados por meio de uma API REST e usados por outros serviços, como painéis ou sistemas inteligentes para tomada de decisões. Tendo em conta a ampla área de implementação de ambiente agrícola, as longas distâncias representaram um desafio para comunicação LoRaWAN. Por isso, neste tipo de ambiente é importante equilibrar os requisitos da tecnologia utilizada para transmissão dos dados dos sensores para Internet com uso da bateria pelo dispositivo colectador, considerando a impossibilidade de acesso à rede eléctrica. Por outra, é preciso considerar a confiabilidade, disponibilidade. Para atender a demanda tendo em conta a distância e a capacidade dos dispositivos, os autores utilizaram as tecnologias de comunicação Wi-Fi, 4G e LoRaWAN. O uso das três tecnologias deixou o sistema mais eficiente. Todavia, o acesso sem fio Wi-Fi funciona a curtas distâncias e consome muita energia. Já a tecnologia de acesso celular 4G depende da conexão a Internet e possui restrições relacionadas à sua área de cobertura, consumo de energia e custo operacional para uso da infraestrutura de acesso comercial.

Estratégia nacional agrícola em Angola

Para o incremento da produção nacional, sobretudo nas culturas de arroz, milho, trigo e soja, Angola deve fomentar a produção nacional de modo a atingir uma autonomia soberana na área alimentar. Neste contexto, Angola precisa investir em tecnologias de suporte a sua produção agrícola e criar condições intrínsecas para tomar conta da produção nacional, evitando assim, ao máximo, a dependência das importações de produtos e *know-how*. Ao longo da revisão da literatura, notámos uma lacuna, relativamente a casos de estudos de agricultura de precisão em território nacional. Ora, o escopo temporal desta revisão encaixa-se num contexto em que o país aposta na "resiliência alimentar", através

de programas políticos ambiciosos, nomeadamente a *Reserva Estratégica Alimentar* (REA) e o Plano Nacional de Fomento para a Produção de Grãos (PLANAGRÃO).

O Programa de Governo 2022-2027 (Governo de Angola, 2023) prevê fazer de Angola um potencial produtor no sector agrícola e pecuária e torná-la a força motriz do crescimento inclusivo e impulsionador da produtividade nacional. Este programa pretende posicionar Angola entre os maiores produtores agrícola de África, especialmente na produção de cereais em grande escala. Com vista a potencializar Angola no sector agrícola, o programa propõe-se a i. Criar melhores condições aos agricultores para o aumento da produção, dispondo-se da transição da agricultura de subsistência para agricultura rentável, ii. fortalecer as ferramentas de controlo e mitigação das pragas e doenças vegetais e animais, iii. desenvolver mecanismos de resiliência alimentar para garantir a segurança alimentar, iv. investir na investigação científica alinhada ao desenvolvimento do sector agropecuário e v. dinamizar o desenvolvimento agrícola institucional de investigação com suporte às tecnologias e da digitalização do sector.

A insuficiência de grãos a nível nacional, os obstáculos na obtenção destes produtos e a escala dos preços efetuados em 2022 face aos anos anteriores, denotam um desafio e uma oportunidade para Angola apostar no fomento a produção de grãos. Angola dispõe de uma extensão territorial e condições edafoclimáticas favoráveis, o que representa um potencial singular para a actividade agropecuária. Neste contexto, a elaboração do Plano Nacional de Fomento para Produção de Grãos – PLANAGRÃO (República de Angola, 2022) tem como objectivo elementar, contribuir para soberania alimentar e nutricional, segurança alimentar, aumentar a produção e produtividade, bem como prover o desenvolvimento do sector agrícola a nível territorial de modo a se tornar mais competitivo e inovador. Por outra, um dos objetivos específicos é atrair o investimento de grandes empresas internacionais, que tragam tecnologias agrícolas e *Know-how* para Angola. O PLANAGRÃO é um plano de fomento à produção de grãos em escala comercial, tendo como prioridades o trigo, arroz, soja e milho, com abrangência a nível nacional numa perspectiva de curto e médio prazo (2022 a 2027) para reduzir a dependência das importações destas culturas e acelerar a produção local. Este plano articula-se com o PDN - Plano de Desenvolvimento Nacional 2018-2022 (Governo de Angola, 2023) com vista a materializar a política de fomento da produção, diversificação das exportações e substituir as importações com a implementação de programa de fomento de produção agrícola. O PLANAGRÃO propõe-se a promover a transferência de conhecimento e inovação no sector agrícola das áreas rurais com a finalidade de fomentar a melhoria da viabilidade das exportações agrícolas empresariais e a competitividade na produção de grão e a utilização de tecnologias agrícolas inovadoras e sustentáveis.

Por sua vez, a *REA-Reserva Estratégica Alimentar* (República de Angola, 2018) é um mecanismo cujo objectivo é contribuir para a subsistência dos bens de primeira necessidade em quantidade e preço, de modo a atenuar as possíveis perturbações de mercado fora do seu funcionamento normal. A REA prevê a segurança alimentar e garante a prevenção do acesso aos produtos fundamentais a preços não especulativos nos centros de consumo rural e urbano, assim estimula a escala da produção nacional para reduzir o peso das importações.

Complementando estas estratégias nacionais nos domínios agrícola e de alimentação, existe o PRODESI-Programa de Apoio à Produção, Diversificação das Exportações e Substituição das Importações (República de Angola, 2018) que visa substituir as importações e diversificar as exportações. A economia nacional depende fortemente do sector petrolífero, sendo a principal característica do atual desequilíbrio da sua estrutura e mais acentuado no sector das Relações Económicas Externas, especificamente nas importações de produtos. Esta conjuntura, associada a carência de um ambiente de negócios propício à atração de investimentos privados, bem como a insuficiência de infra-estruturas habilitado para reduzir os altos custos no contexto da actividade produtiva, não permitiram um melhor crescimento robusto e sustentável nos últimos anos.

É visível a experiencia de diversos países que validam que o desenvolvimento sustentado e robusto do sector económico deve ser pensado numa lógica de promoção de vínculos e concentrações geográficas ou sectoriais de produção e de empresas interrelacionadas, bem como fornecedores, prestadores de serviços e instituições associadas, especializadas numa área específica (aglomeração sectorial ou geográfica da produção designada Cluster ou Polo) que formem apoio que impulse o adensamento e o alongamento das fileiras produtivas da economia. Os clusters e polos atuam como ecossistema para o fomento da inovação e de novos negócios, potenciam sinergias tecnológicas e o aproveitamento de infra-estruturas partilhadas e criam massa crítica para atrair clientes e recursos humanos. Objectivando acelerar o processo de diversificação da economia, o governo angolano definiu um conjunto prioritário de produção com base nas fileiras e clusters produtivos prioritários.

Tendo em conta o atual cenário nacional, as produções, fileiras e clusters prioritários estão estreitamente relacionados com a substituição das importações e com fomento e diversificação das exportações, bem como aumentar a base de arrecadação fiscal para sustentabilidade das contas públicas. Há muito que a prioridade de diversificação orientada a substituição de importações e para exportações constam dos normativos estratégicos do governo, porém é anuído que o país ainda não foi capaz de materializar a almejada diversificação. Neste contexto, o governo estabelece o PRODESI como um programa para acelerar de forma focada e efectiva a diversificação da produção nacional e geração de riqueza num conjunto de produções e fileiras específicas a integrar em clusters com maior potência de geração de valor e de exportações e substituição de importações em sectores incluindo a Agro-indústria, alimentação, recursos florestal, educação, formação e investigação científica, tecnologia de informação e comunicação e telecomunicações.

Todos estes sectores são impactados pelo estudo que apresentamos neste artigo de revisão.

- Este artigo permite disponibilizar, em língua portuguesa, uma revisão sistemática da literatura essencialmente em língua inglesa. Por outra, apresentámos uma discussão sobre literatura e tecnologias avançada no domínio da IoT, de forma geral e aplicada ao ecossistema verde, de forma particular.
- Globalmente, vimos que a literatura apresenta um movimento crescente em termos de soluções de suporte a agricultura de precisão. Estes sistemas são de alto desempenho, relativamente de baixo custo de implementação, manutenção e manuseio por parte dos agricultores.
- A abundância de soluções tecnológicas eficientes e de baixo custo de um lado e o défice da exploração das mesmas, em casos de estudo repertoriados no mercado nacional abre oportunidades de pesquisas futuras. Face ao exposto acima, vemos aqui enumeras oportunidades para pesquisas futuras no contexto angolano, que permitiriam mitigar, o défice tecnológico agro-digital de concepção, implementação, produção e actualização nacional, alinhado aos padrões internacionais. Destas oportunidades, destacamos i. a criação de uma capacidade nacional de concepção, implementação e manutenção de sistemas IoT: ii. a montagem de uma infraestrutura nacional de comunicação de baixo consumo e longa distância, para escoar tráfego de IoT aplicado a qualquer caso de estudo, ou seja, uma replica do projecto TTN nacional extensível, naturalmente, ao TTN global.

Referências

- Alobaidy, H. A. H., Nordin, R., Singh, M. J., Abdullah, N. F., Haniz, A., Ishizu, K., Matsumura, T., Kojima, F., & Ramli, N. (2022). Low-altitude-platform-based airborne IoT network (LAP-AIN) for water quality monitoring in harsh tropical environment. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(20), 20034–20054. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2022.3171294>
- Cicioğlu, M., & Çalhan, A. (2021). Smart agriculture with internet of things in cornfields. *Computers and Electrical Engineering*, 90, 106982. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.106982>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2018). The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050. Disponível em: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/e51e0cf0-4ece-428c-8227-ff6c51b06b16/content> .
- Franco, J. D., Ramirez-del Real, T. A., Villanueva, D., Gárate-García, A., & Armenta-Medina, D. (2020). Monitoring of *Ocimum basilicum* seeds growth with image processing and fuzzy logic techniques based on Cloudino-IoT and FIWARE platforms. *Computers and Electronics in Agriculture*, 173, 105389. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105389>
- Heideker, A., Ottolini, D., Zyrianoff, I., Neto, A. T., Salmon Cinotti, T., & Kamienski, C. (2020). IoT-based measurement for smart agriculture. In *2020 IEEE International Workshop on Metrology for Agriculture and Forestry (MetroAgriFor)* (pp. 68–72). IEEE. <https://doi.org/10.1109/MetroAgriFor50201.2020.9277546>
- Hernandez, D. L., Arias, J., Villanueva, D., Gutierrez, S., & Zavaleta, I. (2021). IoT system prototype based on LoRa and the Orion Context Broker data model of FIWARE. In *2021 23rd IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/ROPEC53248.2021.9668028>
- Jabbar, W. A., Subramaniam, T., Ong, A. E., Shu'Ib, M. I., Wu, W., & de Oliveira, M. A. (2022). LoRaWAN-based IoT system implementation for long-range outdoor air quality monitoring. *Internet of Things*, 19, 100540. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2022.100540>
- Governo de Angola (2023). Plano de Desenvolvimento Nacional 2023/2027. Imprensa Nacional. <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ang223061.pdf>
- Jani, K. A., & Chaubey, N. K. (2022). A novel model for optimization of resource utilization in smart agriculture system using IoT (SMAIoT). *IEEE Internet of Things Journal*, 9(13), 11275–11282. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3128161>
- Koteish, K., Harb, H., Dbouk, M., Zaki, C., & Abou Jaoude, C. (2022). AGRO: A smart sensing and decision-making mechanism for real-time agriculture monitoring. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34(9), 7059–7069. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.06.017>
- Mateos Matilla, D., Lozano Murciego, Á., Jiménez-Bravo, D. M., Sales Mendes, A., & Leithardt, V. R. Q. (2022). Low-cost edge computing devices and novel user interfaces for monitoring pivot irrigation systems based on Internet of Things and LoRaWAN technologies. *Biosystems Engineering*, 223(part B) 14–29. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.07.010>

- Munoz, M., Guzman, J. L., Sanchez-Molina, J. A., Rodriguez, F., Torres, M., & Berenguel, M. (2022). A new IoT-based platform for greenhouse crop production. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(9), 6325–6334. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.2996081>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Poyen, F. B., Ghosh, A., Kundu, P., Hazra, S., & Sengupta, N. (2021). Prototype model design of automatic irrigation controller. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 70, 3031760. <https://doi.org/10.1109/TIM.2020.3031760>
- Ramson, S. R. J., Leon-Salas, W. D., Brecheisen, Z., Foster, E. J., Johnston, C. T., Schulze, D. G., Filley, T., Rahimi, R., Soto, M. J. C. V., Bolivar, J. A. L., & Malaga, M. P. (2021). A self-powered, real-time, LoRaWAN IoT-based soil health monitoring system. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(11), 9278–9293. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2021.3056586>
- Roy, S. K., Misra, S., Raghuvanshi, N. S., & Das, S. K. (2021). AgriSens: IoT-based dynamic irrigation scheduling system for water management of irrigated crops. *IEEE Internet of Things Journal*, 8(6), 5023–5030. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2020.3036126>
- República de Angola. Conselho de Ministros. (2019). *Decreto Executivo Conjunto n.º 208/19, de 9 de Agosto. Regulamento da Reserva Estratégica Alimentar*. Imprensa Nacional. Disponível em: <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ang188843.pdf>
- República de Angola. Conselho de Ministros. (2022). *Decreto Presidencial n.º 200/22, de 23 de Julho. Aprova o Plano Nacional de Fomento para a Produção de Grãos*. Imprensa Nacional. Disponível em: https://plataformacipra.gov.ao/public/ficheiros/arquivos/Gov_AngolaDecreto%20Presidencial441312221233401670931220.pdf
- República de Angola. Conselho de Ministros. (2018). *Decreto Presidencial n.º 169/18, de 20 de Julho. Aprova o Programa de Apoio à Produção, Diversificação das Exportações e Substituição de Importações (PRODESI)*. Imprensa Nacional. Disponível em: https://files.lex.ao/presidente-da-republica/2018/decreto-presidencial-n-o-169-18-de-20-de-julho/download/decreto-presidencial-n-o-169-18-de-20-de-julho_presidente-da-republica_lex-ao.pdf
- Ruiz-Ortega, J., Martínez-Rebollar, A., Flores-Prieto, J., & Estrada-Esquivel, H. (2022). Design on a low-cost IoT architecture for greenhouses monitoring. *Computación y Sistemas*, 26(1), 221–232. <https://doi.org/10.13053/CyS-26-1-4166>
- Sanchez, O. T., Fernandes, J. M., Rodrigues, A., Silva, J. S., Boavida, F., Rivadeneira, J. E., de Lemos, A. V., & Raposo, D. (2022). Green Bear: A LoRaWAN-based human-in-the-loop case study for sustainable cities. *Pervasive and Mobile Computing*, 87, 101701. <https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2022.101701>
- Welborn, L., Cilliers, J., Stelah. K. (2020). *Cenários do futuro de Angola 2050: Para além do petróleo (Relatório sobre a África Austral n.º 35)*. Instituto de Estudos de Segurança. Disponível em: <https://issafrica.s3.amazonaws.com/site/uploads/sar-35-por.pdf>