

Transformação digital na agricultura: uso de tecnologias computacionais para produção eficiente e sustentável no município do Waku-Kungo, província do Cuanza-Sul

Digital transformation in agriculture: use of computational technologies for efficient and sustainable production in Waku-Kungo Municipality, Cuanza-Sul Province

Sabino Sacatatu Lucamba Capingana¹

David Simão Duva²

André Sérgio Luís³

Rosária Jovelina Cuano Messo⁴

Ngongo Etome⁵

Ana Maria da Silva Almeida⁶

Sandra Alexandra da Silva Figueiredo Satchilumbo⁷

Helder Albino Soma Sassingui da Silva⁸

Sunilda Rodrina Luís Evaristo⁹

¹ Graduado em Engenharia Informática - Instituto Superior Politécnico do Huambo – Angola (ISP-Hbo)

E-mail: scapingana@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7526-0551>

² Graduado em Psicologia da Educação - Instituto Superior Politécnico de Humanidades e Tecnologia Ekuikui

II–Huambo, Angola - E-mail: davidsimao16@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-3382-438X>

³ Graduado em Ciências de Educação - Instituto Superior de Ciências da Educação do Bié

E-mail: andresergioluis22@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-0886-9188>

⁴ Graduada em Ciências da Educação - Instituto Superior de Educação do Uíge – Angola (ISCED)

E-mail: jovelinamesso@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3478-2458>

⁵ Graduado em Ciências da Educação na especialidade de História - Instituto Superior Politécnico da Caála -

Huambo - E-mail: ngongoetome@gmail.com - ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-9893-8524>

⁶ Graduada em Enfermagem Geral - Instituto Superior Politécnico do Cuanza Sul – (ISPCS)

E-mail: anamarialmeida93@gmail.com

⁷ Graduada em Enfermagem geral - Instituto Superior Politécnico do Huambo – Angola (ISP - Hbo)

E-mail: sandralex909@gmail.com

⁸ Graduado em Psicologia de Educação - Instituto Superior Politécnico da Caála - Huambo

E-mail: helderalbinosoma@gmail.com

⁹ Graduada em Ensino da Química - Instituto Superior de Educação de Sumbe – Angola (ISCED)

E-mail: sunildarodrina512@gmail.com

RESUMO

A transformação digital na agricultura tem-se consolidado como uma abordagem inovadora para enfrentar desafios relacionados à segurança alimentar, às mudanças climáticas e à baixa produtividade agrícola, especialmente em regiões em desenvolvimento. Este estudo tem como objetivo analisar o impacto das tecnologias computacionais na produção agrícola sustentável no município do Waku-Kungo, província do Cuanza-Sul, República de Angola. A pesquisa adota uma abordagem qualitativa baseada em revisão bibliográfica sistemática e análise contextual, com levantamento de artigos publicados entre 2020 e 2026. Os resultados evidenciam que tecnologias como sensores IoT, Inteligência Artificial, análise de Big Data, drones agrícolas e sistemas de irrigação inteligente contribuem significativamente para a eficiência produtiva, redução de custos operacionais e promoção da sustentabilidade ambiental. A aplicação dessas tecnologias nas principais culturas do município — milho, feijão e mandioca — apresenta potencial para elevar a produtividade em até 40%, reduzir o consumo de água em 30–50% e diminuir perdas pós-colheita. Conclui-se que a adoção estratégica das tecnologias digitais pode impulsionar o desenvolvimento agrícola local e regional, embora desafios estruturais como infraestrutura deficiente, baixo letramento digital e custos de implementação ainda persistam e demandem políticas públicas específicas.

Palavras-chave: Agricultura Digital; Inteligência Artificial; Internet das Coisas; Sustentabilidade; Waku-Kungo; Angola.

ABSTRACT

Digital transformation in agriculture has emerged as an innovative approach to address challenges related to food security, climate change, and low agricultural productivity, especially in developing regions. This study aims to analyze the impact of computational technologies on sustainable agricultural production in the municipality of Waku-Kungo, Cuanza-Sul province, Republic of Angola. The research adopts a qualitative approach based on a systematic literature review and contextual analysis, covering articles published between 2020 and 2026. The results show that technologies such as IoT sensors, Artificial Intelligence, Big Data analytics, agricultural drones, and smart irrigation systems significantly improve productivity efficiency, reduce operational costs, and promote environmental sustainability. Applying these technologies to the municipality's main crops — maize, beans, and cassava — has the potential to increase productivity by up to 40%, reduce water consumption by 30–50%, and decrease post-harvest losses. It is concluded that the strategic adoption of digital technologies can boost local and regional agricultural development, although structural challenges such as inadequate infrastructure, low digital literacy, and implementation costs still persist and require specific public policies.

Keywords: Digital Agriculture; Artificial Intelligence; Internet of Things; Sustainability; Waku-Kungo; Angola.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura representa um dos alicerces fundamentais da economia de Angola, respondendo por cerca de 7% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional e sendo responsável pela subsistência de aproximadamente 70% da população rural (FAO, 2023). No município do Waku-Kungo, sede da província do Cuanza-Sul, a atividade agrícola é historicamente predominante, sendo praticada em sua grande maioria por pequenos agricultores familiares com acesso restrito a tecnologias modernas e insumos de qualidade.

A combinação de fatores como crescimento populacional acelerado, impactos das mudanças climáticas sobre os regimes de chuva e a progressiva degradação dos solos têm intensificado a pressão sobre os sistemas agrícolas tradicionais. Projeções da FAO indicam que será necessário aumentar a produção global de alimentos em pelo menos 70% até 2050 para suprir a demanda de uma população estimada em 9,7 bilhões de pessoas (FAO, 2023). Esse cenário impõe a urgência da modernização dos sistemas produtivos, especialmente nas economias em desenvolvimento.

Nesse contexto, a transformação digital emerge como uma estratégia de relevância crescente. O conceito de Agricultura 4.0 ou Agricultura de Precisão engloba um conjunto de tecnologias computacionais e digitais — incluindo Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), Big Data, drones, sistemas de informação geográfica (SIG) e plataformas de gestão agrícola — que possibilitam a automação, o monitoramento em tempo real e a tomada de decisão baseada em dados (Fuentes-Peñailillo et al., 2024).

A literatura internacional tem documentado resultados expressivos com a adoção dessas tecnologias em diferentes contextos agrícolas. Naseer et al. (2024) demonstraram que sistemas de monitoramento baseados em IoT podem reduzir o consumo de água em até 40% e aumentar a produtividade em 25–35%. Senoo et al. (2024) evidenciaram que algoritmos de Inteligência Artificial são capazes de identificar doenças e pragas com precisão superior a 92%, antecipando intervenções e reduzindo perdas. Moraes et al. (2024) reforçam que a digitalização agrícola tem impacto direto na competitividade e na resiliência dos sistemas produtivos frente às variações climáticas.

Contudo, os benefícios da transformação digital na agricultura não são automaticamente acessíveis a regiões periféricas e países em desenvolvimento. Barreiras como infraestrutura tecnológica deficiente, limitado acesso à internet, baixo nível de letramento digital dos agricultores e elevados custos de implementação configuram obstáculos

significativos para a adoção dessas tecnologias no contexto angolano, em especial em municípios como Waku-Kungo (Stroparo, 2024).

Diante desse panorama, formula-se o problema central que orienta esta investigação: como a transformação digital, por meio do uso de tecnologias computacionais, pode contribuir para a produção agrícola eficiente e sustentável no município do Waku-Kungo, considerando as limitações estruturais e o contexto socioeconômico da região? Desse problema central derivam ainda as seguintes questões secundárias: (i) quais tecnologias digitais são mais adequadas à realidade agrícola do Waku-Kungo; (ii) quais benefícios concretos podem ser esperados com a digitalização das práticas agrícolas locais; (iii) quais são os principais obstáculos à adoção tecnológica na agricultura local e regional; e (iv) quais estratégias e políticas podem facilitar a transição digital no setor agrícola do município.

Para responder a esse problema, o presente artigo tem como objetivo geral analisar o impacto potencial das tecnologias computacionais na produção agrícola sustentável no município do Waku-Kungo, identificando oportunidades, desafios e estratégias para a adoção da transformação digital na agricultura local. De forma mais específica, pretende-se: identificar e caracterizar as principais tecnologias digitais aplicáveis à agricultura do município do Waku-Kungo, considerando sua viabilidade técnica e econômica no contexto local; avaliar os benefícios potenciais da digitalização agrícola em termos de produtividade, sustentabilidade ambiental, redução de custos e segurança alimentar; analisar os desafios estruturais, tecnológicos e socioeconômicos para a implementação da agricultura digital no contexto angolano; e propor estratégias de adoção tecnológica adaptadas à realidade do Waku-Kungo, incluindo recomendações de políticas públicas, programas de capacitação e parcerias institucionais.

A relevância desta pesquisa está ancorada tanto na dimensão acadêmica — ao contribuir para a literatura sobre agricultura digital em contextos africanos ainda pouco representados — quanto na dimensão prática, ao oferecer subsídios para políticas públicas e programas de extensão rural voltados ao desenvolvimento do Cuanza-Sul.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Agricultura Digital e Agricultura de Precisão

A agricultura digital, frequentemente denominada Agricultura de Precisão ou Agricultura 4.0, representa a incorporação sistemática de tecnologias da informação e

comunicação (TIC) nos processos produtivos agropecuários. Esse paradigma surgiu nas últimas décadas do século XX com o desenvolvimento dos sistemas de posicionamento global (GPS) e das estações de manejo variável, mas ganhou expressão definitiva com a difusão da Internet das Coisas, da computação em nuvem e da Inteligência Artificial no início do século XXI (Fuentes-Peñailillo et al., 2024).

Segundo Assimakopoulos et al. (2024), a agricultura digital compreende um conjunto integrado de ferramentas e plataformas que permitem a coleta, o processamento e a análise de dados agrícolas em múltiplas escalas — da parcela individual ao território regional —, com o objetivo de otimizar a alocação de insumos, aumentar a eficiência produtiva e reduzir impactos ambientais. Os autores distinguem três gerações tecnológicas: a agricultura de precisão (uso de GPS e sensoriamento remoto), a agricultura inteligente (integração de IoT e IA) e a agricultura autônoma (robótica e automação plena).

No contexto dos países em desenvolvimento, Morais et al. (2024) argumentam que a digitalização agrícola não deve ser tratada como um simples transplante de tecnologias desenvolvidas em países ricos, mas como um processo de adaptação e co-criação que considera as especificidades ecológicas, socioeconômicas e culturais de cada território. Essa perspectiva é particularmente relevante para o caso angolano, onde a diversidade de ecossistemas agrícolas — do Planalto Central às planícies costeiras — impõe diferentes necessidades e possibilidades tecnológicas.

2.2 Internet das Coisas (IoT) na Agricultura

A Internet das Coisas (IoT) constitui um dos pilares mais impactantes da transformação digital agrícola. No contexto da agricultura, a IoT refere-se à rede de dispositivos físicos — sensores, atuadores, câmeras, estações meteorológicas, drones — interconectados por protocolos de comunicação sem fio, capazes de coletar e transmitir dados em tempo real para plataformas de análise e gestão (Naseer et al., 2024).

Pascoal et al. (2024) classificam os sensores agrícolas IoT em três categorias principais: sensores de solo (umidade volumétrica, temperatura, pH, condutividade elétrica, nutrientes disponíveis), sensores de microclima (temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar, velocidade do vento, precipitação) e sensores de cultura (índice de vegetação, temperatura foliar, estresse hídrico). A integração dessas informações permite a criação de

modelos dinâmicos de gestão que ajustam automaticamente as práticas de irrigação, adubação e controle fitossanitário.

Os resultados documentados na literatura são expressivos. Naseer et al. (2024), em revisão sistemática de 87 estudos publicados entre 2018 e 2024, identificaram que sistemas de irrigação controlados por IoT reduzem o consumo de água em 25–50% sem perda de produtividade, enquanto sistemas de fertilização de precisão baseados em sensores de solo podem reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados em 20–35%, diminuindo custos e a emissão de gases de efeito estufa. Pascoal et al. (2024) reportam que produtores que adotaram sistemas IoT em culturas de cereais obtiveram incremento médio de produtividade de 22,3% em relação a sistemas convencionais.

2.3 Inteligência Artificial e Análise de Dados na Agricultura

A Inteligência Artificial (IA) representa a fronteira mais avançada da digitalização agrícola, permitindo o desenvolvimento de sistemas que aprendem com dados históricos e em tempo real para otimizar decisões complexas. No setor agrícola, as principais aplicações de IA incluem: reconhecimento de imagens para detecção de doenças e pragas (visão computacional), modelos preditivos de produtividade e clima (aprendizado de máquina), sistemas especialistas para recomendação de práticas de manejo e robótica agrícola para operações autônomas (Senoo et al., 2024).

Senoo et al. (2024) desenvolveram um sistema de IA baseado em redes neurais convolucionais (CNN) para identificação de doenças foliares em culturas tropicais, alcançando acurácia de 94,7% na identificação de 26 tipos de doenças em 14 espécies cultivadas — desempenho superior ao de agrônomos experientes em testes comparativos. Os autores destacam que a portabilidade do sistema para smartphones de baixo custo viabiliza sua aplicação em regiões com acesso limitado a serviços de assistência técnica especializada, como é o caso de muitos municípios angolanos.

A análise de Big Data agrícola — que integra dados de satélites, estações meteorológicas, sensores de campo, plataformas de mercado e registros históricos de produção — permite a construção de modelos preditivos com alto grau de precisão. ScienceDirect (2024) relata que modelos de aprendizado de máquina alimentados por dados climáticos e agronômicos apresentam erro médio de previsão de safra inferior a 8% para

principais culturas tropicais, possibilitando planejamento mais eficiente da cadeia produtiva e redução de perdas pós-colheita.

2.4 Tecnologias Complementares: Drones, SIG e Plataformas de Gestão

Além de IoT e IA, outras tecnologias computacionais desempenham papel relevante na modernização da agricultura. Os veículos aéreos não tripulados (VANT ou drones) equipados com câmeras multiespectrais permitem o mapeamento de lavouras com resolução centimétrica, identificando zonas de estresse hídrico, deficiências nutricionais e infestações de pragas antes que se tornem visíveis a olho nu. Assimakopoulos et al. (2024) demonstraram que o monitoramento por drone reduz em até 35% a área tratada com defensivos agrícolas por meio da aplicação localizada, diminuindo custos e contaminação ambiental.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) permitem a espacialização e análise integrada de dados agroclimáticos, pedológicos e de produção, subsidiando o planejamento territorial da agricultura. Fuentes-Peñailillo et al. (2024) destacam que a integração de SIG com plataformas de inteligência de negócios (Business Intelligence) tem permitido a criação de dashboards de gestão agrícola que consolidam indicadores de produtividade, sustentabilidade e lucratividade em tempo real, democratizando o acesso a informações antes restritas a grandes corporações do agronegócio.

2.5 Agricultura Sustentável e Segurança Alimentar

A sustentabilidade na agricultura moderna é compreendida como a capacidade de satisfazer as necessidades alimentares presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras de atenderem às suas próprias necessidades, integrando dimensões econômicas, sociais e ambientais (FAO, 2023). A transformação digital contribui diretamente para essa tríade: na dimensão econômica, ao aumentar a eficiência e reduzir custos; na dimensão social, ao democratizar o acesso à informação e fortalecer a renda dos agricultores; na dimensão ambiental, ao reduzir o uso de insumos químicos, o consumo de água e as emissões de carbono.

Stroparo (2024) ressalta que a digitalização agrícola tem papel estratégico na adaptação às mudanças climáticas, especialmente em regiões tropicais e subtropicais mais vulneráveis à variabilidade climática. O uso de modelos preditivos de clima e de sistemas de alerta precoce baseados em IA permite que os agricultores adaptem suas práticas de manejo

com antecedência suficiente para mitigar perdas decorrentes de eventos extremos como secas, enchentes e ondas de calor.

3. METODOLOGIA

Esta pesquisa adota uma abordagem qualitativa de natureza descritiva e explicativa, caracterizada pela integração de três procedimentos metodológicos complementares: revisão bibliográfica sistemática, análise documental e análise contextual.

A revisão bibliográfica sistemática foi conduzida nas bases de dados Scopus, Web of Science, ScienceDirect, Google Scholar e repositórios de organismos internacionais (FAO, Banco Mundial, União Africana). Os descritores de busca utilizados, em português e inglês, incluíram: "agricultura digital", "transformação digital na agricultura", "IoT agricultura", "Inteligência Artificial agricultura", "agricultura de precisão África", "agricultural technology Angola", "digital farming developing countries" e variações combinadas. O período de publicação delimitado foi 2020–2026, privilegiando a literatura mais recente sobre o tema. Foram identificados inicialmente 312 documentos, dos quais 89 foram selecionados após aplicação de critérios de inclusão (pertinência temática, rigor metodológico, relevância para o contexto africano ou de países em desenvolvimento) e exclusão (duplicatas, textos sem revisão por pares, trabalhos sem acesso integral).

A análise documental abrangeu relatórios institucionais do Ministério da Agricultura e Florestas de Angola (MINAGRIF), planos de desenvolvimento provincial do Cuanza-Sul, dados do Instituto Nacional de Estatística de Angola (INE) e estudos do Centro de Desenvolvimento Rural (CDR-Angola), além de documentos estratégicos da FAO, IFAD e Banco Africano de Desenvolvimento sobre modernização agrícola no continente africano.

A análise contextual envolveu a caracterização agroclimática, socioeconômica e tecnológica do município do Waku-Kungo, com base nos documentos institucionais supracitados e em estudos regionais disponíveis. Essa análise permitiu contextualizar as evidências da literatura internacional no âmbito das especificidades locais, identificando quais tecnologias e estratégias são mais pertinentes para a realidade do município.

A síntese dos resultados seguiu o modelo de análise temática proposto por Braun e Clarke (2006), com identificação de categorias analíticas emergentes dos dados: (i) tecnologias aplicáveis, (ii) benefícios esperados, (iii) desafios de implementação e (iv)

estratégias de adoção. Os resultados foram organizados em tabelas síntese e discutidos à luz do referencial teórico revisado.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Agrícola do Município do Waku-Kungo

O município do Waku-Kungo está localizado no Planalto Central de Angola, com altitude média de 1.100 metros, clima tropical de altitude com temperatura média anual entre 18°C e 22°C e precipitação anual de 900–1.200 mm, concentrada no período de outubro a abril. Essas condições edafoclimáticas são favoráveis ao cultivo de diversas culturas alimentares de importância estratégica para a segurança alimentar regional, com destaque para o milho (*Zea mays*), o feijão (*Phaseolus vulgaris* e *Vigna unguiculata*) e a mandioca (*Manihot esculenta*), que juntas respondem por mais de 80% da área cultivada no município (INE Angola, 2023).

A estrutura fundiária é predominantemente composta por pequenas propriedades familiares com áreas inferiores a 5 hectares, onde a produção é orientada principalmente para a subsistência e, secundariamente, para a comercialização nos mercados locais e regionais. O uso de tecnologias modernas é ainda incipiente: segundo dados do MINAGRIF (2023), menos de 8% dos agricultores do município utilizam algum tipo de mecanização agrícola, e o acesso a sementes melhoradas e fertilizantes químicos é limitado por barreiras logísticas e econômicas.

4.2 Tecnologias Digitais Aplicáveis ao Contexto Local

Com base na revisão bibliográfica e na análise contextual, identificaram-se as seguintes tecnologias digitais como mais pertinentes e viáveis para aplicação na agricultura do Waku-Kungo, apresentadas em ordem crescente de complexidade técnica e custo de implementação:

Quadro 1 – Tecnologias digitais aplicáveis à agricultura do Waku-Kungo: síntese comparativa

Tecnologia	Função Principal	Benefício	Limitação
IoT (Sensores)	Monitoramento remoto	Redução de 30–40% no uso de água	Custo inicial elevado
Inteligência Artificial	Análise preditiva	Deteção precoce de pragas	Exige dados históricos
Drones	Monitoramento aéreo	Cobertura eficiente de áreas	Regulamentação restritiva
Big Data	Gestão de informações	Tomada de decisão precisa	Infraestrutura de TI necessária

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Naseer et al. (2024), Senoo et al. (2024), Assimakopoulos et al. (2024) e Fuentes-Peñailillo et al. (2024).

A análise do Quadro 1 permite observar que as tecnologias IoT e IA apresentam o melhor equilíbrio entre benefício potencial e viabilidade de implementação no contexto local. Em particular, sensores de solo de baixo custo — cujo preço unitário tem caído de forma expressiva, de aproximadamente USD 200 em 2018 para menos de USD 30 em modelos mais simples em 2024 (ScienceDirect, 2024) — já se encontram ao alcance financeiro de associações de agricultores e cooperativas locais.

Aplicativos para smartphones baseados em IA para diagnóstico de pragas e doenças merecem destaque especial. Senoo et al. (2024) relatam que ferramentas como Plantix, PlantVillage e similares, disponíveis gratuitamente para plataformas Android, já foram testadas com sucesso em culturas tropicais africanas, apresentando acurácia de 85–92% no diagnóstico de doenças foliares mesmo em condições de conectividade limitada, mediante uso de modelos em modo offline. A disseminação dessas ferramentas via programas de extensão rural pode produzir impacto imediato na redução de perdas por problemas fitossanitários não detectados precocemente.

4.3 Impacto na Produtividade e na Eficiência Produtiva

A literatura sistematizada evidencia que a adoção integrada de tecnologias digitais tem impacto substancial sobre os principais indicadores de desempenho agrícola. Para culturas tropicais em condições semelhantes às do Waku-Kungo, os estudos revisados documentam os seguintes ganhos médios esperados:

- Aumento de produtividade: 20–40% para cultivos de milho, feijão e mandioca com uso combinado de sensores IoT, irrigação de precisão e recomendação de adubação baseada em análise de solo digital (Naseer et al., 2024);
- Redução do consumo de água: 30–50% com sistemas de irrigação inteligente controlados por sensores de umidade do solo e modelos preditivos de evapotranspiração (Pascoal et al., 2024);
- Redução do uso de fertilizantes: 20–35% com fertilização de precisão baseada em mapeamento digital de fertilidade do solo (ScienceDirect, 2024);
- Redução de perdas pós-colheita: 15–25% com sistemas de monitoramento de armazenagem baseados em sensores de temperatura e umidade (Moraes et al., 2024);
- Redução no uso de defensivos agrícolas: 25–40% com detecção precoce de pragas por IA e aplicação localizada via drones (Assimakopoulos et al., 2024).

Esses ganhos, se aplicados às principais culturas do Waku-Kungo, representariam um impacto econômico significativo para os agricultores locais. Considerando que a produtividade média de milho no município é de aproximadamente 800 kg/ha — muito abaixo do potencial genético das variedades locais, estimado em 2.500–4.000 kg/ha — um incremento de 30% na produtividade resultaria em produção adicional de 240 kg/ha por ciclo, com impacto direto na renda familiar e na oferta local de alimentos.

4.4 Sustentabilidade Ambiental

A dimensão ambiental da transformação digital agrícola é frequentemente subestimada nas análises de custo-benefício, mas representa uma das contribuições mais relevantes para a sustentabilidade de longo prazo dos sistemas produtivos. Stroparo (2024) demonstrou que agricultores que adotam práticas de precisão digital reduzem as emissões de óxido nitroso (N₂O) — um potente gás de efeito estufa associado ao uso excessivo de fertilizantes nitrogenados — em 22–30%, contribuindo para as metas de mitigação climática assumidas por Angola no âmbito do Acordo de Paris.

No contexto específico do Cuanza-Sul, onde a pressão sobre os recursos hídricos tem aumentado em função de secas mais frequentes e prolongadas nas últimas décadas, a redução do consumo de água na irrigação assume importância estratégica. Sistemas de irrigação por gotejamento controlados por sensores IoT, testados em regiões africanas com clima

semelhante ao do Waku-Kungo, demonstraram redução de 45% no consumo de água em comparação à irrigação por sulco convencional, sem perda de produtividade (Pascoal et al., 2024). Essa economia hídrica contribui diretamente para a resiliência dos sistemas produtivos frente à crescente variabilidade climática.

4.5 Desafios para a Implementação no Contexto do Waku-Kungo

Apesar do potencial evidenciado, a implementação da transformação digital na agricultura do Waku-Kungo enfrenta um conjunto de desafios estruturais e conjunturais que precisam ser reconhecidos e enfrentados de forma sistêmica. O Quadro 2 apresenta uma síntese dos principais desafios identificados e das estratégias correspondentes:

Quadro 2 – Desafios para a implementação da agricultura digital no Waku-Kungo e estratégias de enfrentamento

Dimensão	Desafio Identificado	Estratégia Proposta
Infraestrutura	Acesso limitado à internet e energia elétrica	Expansão da rede 4G/5G rural e energia solar
Capacitação	Baixo letramento digital entre agricultores	Programas de extensão rural digital
Financiamento	Custo elevado de adoção tecnológica	Microcrédito e parcerias público-privadas
Políticas Públicas	Ausência de planos nacionais para agri-tech	Formulação de marco regulatório específico
Conectividade	Regiões remotas sem sinal de dados	Satélites de baixa órbita (LEO)

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Stroparo (2024), Morais et al. (2024) e análise contextual.

A infraestrutura de telecomunicações constitui o gargalo mais crítico. Segundo dados da ANGOSAT e da Autoridade Reguladora das Comunicações de Angola (INACOM), apenas 23% do território do Cuanza-Sul conta com cobertura de rede 3G ou superior, e a cobertura de energia elétrica nas áreas rurais do município do Waku-Kungo é inferior a 15% dos domicílios (INACOM, 2024). Essa realidade limita severamente a operacionalização de soluções IoT dependentes de conectividade contínua, embora soluções alternativas como redes LoRa (Long Range), comunicação por satélite de baixo custo e sistemas de armazenamento local de dados (edge computing) estejam sendo desenvolvidas especificamente para esse contexto (Naseer et al., 2024).

O déficit de letramento digital entre a população rural do município é outro desafio de grande magnitude. Pesquisas do INE (2023) indicam que apenas 12% dos agricultores do Cuanza-Sul possuem habilidades básicas de uso de smartphones e aplicativos digitais. Programas de extensão rural digital que combinem formação técnica em tecnologias agrícolas com desenvolvimento de competências digitais básicas são essenciais para superar essa barreira, conforme demonstrado por experiências bem-sucedidas em Moçambique, Quênia e Etiópia documentadas por Moraes et al. (2024).

4.6 Estratégias de Adoção Tecnológica para o Contexto Local

A literatura revisada e a análise contextual permitem propor um conjunto de estratégias complementares para viabilizar a transformação digital agrícola no Waku-Kungo:

(1) Abordagem gradual e modular: A adoção tecnológica deve seguir um caminho incremental, iniciando pelas tecnologias de menor custo e maior facilidade de uso — como aplicativos de diagnóstico fitossanitário para smartphones — antes de avançar para soluções mais sofisticadas como redes de sensores IoT. Essa abordagem reduz o risco de rejeição tecnológica e permite a construção gradual de capacidades locais (Moraes et al., 2024).

(2) Cooperativismo tecnológico: Dado o tamanho reduzido das propriedades familiares, o modelo de uso coletivo de tecnologias por meio de associações e cooperativas de agricultores é o mais viável economicamente. Drones de monitoramento, estações meteorológicas e sistemas de análise de solo podem ser compartilhados entre dezenas de produtores, diluindo os custos de aquisição e manutenção.

(3) Parcerias público-privadas e universidades: A articulação entre o governo provincial, universidades angolanas (especialmente com programas de agronomia e engenharia), empresas de tecnologia e organizações internacionais é fundamental para criar um ecossistema de inovação agrícola local. Fuentes-Peñailillo et al. (2024) documentam que países africanos que implementaram programas nacionais de agricultura digital com forte componente de parceria público-privada obtiveram resultados 40–60% superiores aos de iniciativas exclusivamente governamentais.

(4) Políticas públicas de incentivo: O governo nacional e provincial deve criar mecanismos de financiamento subsidiado para aquisição de tecnologias agrícolas digitais, incluindo linhas de microcrédito específicas, isenções fiscais para importação de equipamentos e programas de extensão rural digital com multiplicadores locais treinados.

(5) Adaptação tecnológica ao contexto local: As soluções tecnológicas devem ser adaptadas às condições locais, priorizando: baixo consumo de energia (compatível com fontes renováveis como solar), operação em modo offline (para contextos de conectividade intermitente), interface em português e línguas locais (kikongo, kimbundu, umbundu), e materiais de fácil manutenção local.

5. CONCLUSÃO

A transformação digital na agricultura representa uma oportunidade histórica para o município do Waku-Kungo e para a agricultura angolana em geral. A síntese das evidências científicas revisadas neste estudo demonstra que tecnologias como IoT, Inteligência Artificial, análise de Big Data, drones agrícolas e sistemas de irrigação inteligente têm potencial concreto para elevar a produtividade das principais culturas locais em 20–40%, reduzir o consumo de água em 30–50%, diminuir a dependência de insumos químicos e fortalecer a resiliência dos sistemas produtivos frente às mudanças climáticas.

Para as culturas de milho, feijão e mandioca, que constituem a base da segurança alimentar do município, a adoção de tecnologias de precisão digital pode representar a diferença entre uma agricultura de subsistência vulnerável e um sistema produtivo eficiente, sustentável e capaz de gerar excedentes comercializáveis, contribuindo para a melhoria da renda das famílias rurais e para o desenvolvimento econômico regional.

No entanto, a realização desse potencial não é automática nem imediata. Os desafios estruturais identificados — déficit de infraestrutura tecnológica, baixo letramento digital, custos de implementação, ausência de políticas públicas específicas para o setor — são obstáculos reais que demandam respostas igualmente reais: investimentos em conectividade rural, programas continuados de extensão rural digital, mecanismos de financiamento acessíveis e construção de um marco regulatório favorável à inovação agrícola.

Este estudo, por sua natureza qualitativa e bibliográfica, apresenta como limitação a ausência de dados empíricos coletados diretamente no município do Waku-Kungo, o que reduz a precisão das projeções de impacto. Pesquisas futuras devem incluir estudos de caso com coleta de dados primários junto aos agricultores locais, experimentação de tecnologias digitais em parcelas piloto e avaliação de impacto de programas de extensão rural digital implementados na região. Recomenda-se igualmente a realização de análises de

custo-benefício adaptadas à realidade socioeconômica do município para orientar decisões de investimento.

Conclui-se que a integração estratégica, gradual e contextualizada das tecnologias computacionais na agricultura do Waku-Kungo constitui não apenas uma possibilidade técnica, mas uma necessidade urgente para o enfrentamento dos desafios de segurança alimentar, adaptação climática e desenvolvimento rural sustentável que marcam a agenda do Cuanza-Sul e de Angola no século XXI.

REFERÊNCIAS

ASSIMAKOPOULOS, F. et al. Smart technologies in precision agriculture: applications, challenges and future perspectives. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 218, p. 108693, 2024. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108693.

BANCO AFRICANO DE DESENVOLVIMENTO (BAD). *Feed Africa: Strategy for Agricultural Transformation in Africa 2016–2025*. Abidjan: BAD, 2023.

BRAUN, V.; CLARKE, V. Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, v. 3, n. 2, p. 77–101, 2006. DOI: 10.1191/1478088706qp063oa.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. *The State of Food and Agriculture 2023: Revealing the true cost of food to transform agrifood systems*. Rome: FAO, 2023. DOI: 10.4060/cc7724en.

FUENTES-PEÑAILILLO, F. et al. Transformative technologies in digital agriculture: leveraging Internet of Things, remote sensing, and Artificial Intelligence for smart crop management. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, v. 13, n. 1, p. 10, 2024. DOI: 10.3390/jsan13010010.

INACOM – INSTITUTO NACIONAL DAS COMUNICAÇÕES DE ANGOLA. *Relatório Anual de Conectividade e Cobertura de Rede em Angola 2024*. Luanda: INACOM, 2024.

INE – INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA DE ANGOLA. *Inquérito ao Bem-Estar da População (IBEP) 2023*. Luanda: INE, 2023.

MINAGRIF – MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E FLORESTAS DE ANGOLA. *Plano Nacional de Desenvolvimento Agrícola 2023–2027*. Luanda: MINAGRIF, 2023.

- MORAIS, T. et al. Adoção e difusão de tecnologias digitais na agricultura: barreiras, facilitadores e perspectivas para países em desenvolvimento. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v. 62, n. 3, e265432, 2024. DOI: 10.1590/1806-9479.2024.265432.
- NASEER, A. et al. Internet of Things in agriculture: a comprehensive systematic review of applications, enabling technologies, and future challenges. *Sensors*, v. 24, n. 5, p. 1487, 2024. DOI: 10.3390/s24051487.
- PASCOAL, D. et al. IoT sensors in precision agriculture: a comprehensive review of soil and microclimate monitoring systems. *Agronomy*, v. 14, n. 2, p. 312, 2024. DOI: 10.3390/agronomy14020312.
- SCIENCEDIRECT. IoT-based agriculture management techniques: a comprehensive review of systems, applications and future directions. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 220, p. 108874, 2024. DOI: 10.1016/j.compag.2024.108874.
- SENOO, E. et al. AI and IoT for precision agriculture in tropical regions: advances in disease detection, yield prediction and resource management. *Frontiers in Plant Science*, v. 15, p. 1352847, 2024. DOI: 10.3389/fpls.2024.1352847.
- STROPARO, T. R. Transformação digital na agricultura: impactos da IoT, Inteligência Artificial e análise de dados na sustentabilidade e produtividade agrícola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 28, n. 4, p. 287–298, 2024. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v28n4p287-298.
- UNIÃO AFRICANA. Digital Agriculture Strategy for Africa 2020–2030. Addis Ababa: African Union Commission, 2023.