

UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO

DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA

A Internet das Coisas aplicada à agricultura

FERNANDO A. SANTOS

Índice

Introdução	2
1- O que é a Internet das Coisas	2
2- Integração da IoT na agricultura	5
3- Principais elementos da IoT.....	6
3.1- Os sensores.....	7
3.2- Redes de comunicação	10
3.3- Sistemas de controlo	12
4- Arquitetura da tecnologia IoT	13
4.1- Os dispositivos inteligentes	14
4.2- A rede	15
4.3- As aplicações	16
5- Aspectos importantes a ter em consideração na utilização da IoT	16
5.1- Padronização da IoT	16
5.2.- Riscos da IoT	16
6- A IoT vs agricultura	16
6.1- Aplicação da IoT nos equipamentos agrícolas	22
6.1.1- Aplicação da IoT aos tratores agrícolas	22
6.1.2- Aplicação da IoT a robots agrícolas	23
6.2- Aplicação da IoT em atividades agrícolas	23
6.2.1- Aplicação da IoT na rega.....	24
6.2.2- Aplicação da IoT no controlo das pragas e doenças	25
6.2.3- Aplicação da IoT no controlo dos fertilizantes	26
6.2.4- Aplicação da IoT na colheita	27
6.2.5- Aplicação da IoT na gestão do parque de máquinas agrícola	27
6.2.6- Aplicação da IoT em estufas.....	27
6.2.7- Aplicação da IoT nas instalações agropecuárias	28
6.2.8- Aplicação da IoT na monitorização e manejo dos animais	29
6.3- Aplicação da IoT em outras atividades agrícolas.....	29

6.3.1- A agricultura vertical	29
6.3.2- Culturas hidropónicas	30
6.3.3- Fenotipagem	30
7- Principais tecnologias e metodologias da lot a utilizar na agricultura.....	31
7.1- Utilização de sensores sem fios e a internet das coisas.....	31
7.2- Comunicação de dados e informação	31
7.3- Utilização de drones	33
7.4- Utilização de máquinas inteligentes	33
7.5- Consumo de energia, energias renováveis e utilização de redes inteligentes	33
8- Conclusões.....	32
Bibliografia.....	34
Glossário	35

Introdução

O crescimento exponencial da população mundial, que em 2050 estará próximo dos 10 bilhões de pessoas, e as alterações climáticas conduzem, em termos de sustentabilidade, a um novo paradigma, nomeadamente no que respeita à alimentação das populações, pela que a agricultura, entre outras atividades (pesca, etc.), terá de fazer face para que haja alimentos para todos.

No que se refere à agricultura o aumento da área arável não é solução pois a disponibilidade de terrenos agrícolas é cada vez menor, pelo que é fundamental aumentar a produtividade e introduzir novos produtos agrícolas, animais e florestais, para se aumentar a produção de bens de consumo; só assim é possível fazer face à crescente procura de alimentos, para que a sociedade seja, em termos alimentares, mais equitativa e se possa manter a civilização, tal como a conhecemos no mundo ocidental. Na agricultura, a crescente utilização de equipamento tais como tratores, colhedoras, robots, etc., integral ou parcialmente suportados por sensores e tecnologias de comunicação (Information and Communication Technology – ICT), tem vindo a impor-se, permitindo um maior racionalidade das atividades agrícolas e aumentos de produtividade e sustentabilidade.

A gestão localizada das culturas, suportada pelas novas tecnologias, tem como base a aplicação de dispositivos inteligentes (Thinking Things) incorporados em todos os elementos (“coisas ou objetos”), integrados nos processos produtivos (plantas, solo e meio ambiente) que permitem quantificar todo o tipo de parâmetros desses elementos, comunicar entre si e com terceiros (pessoas), dando origem ao que vulgarmente se designa por Internet das Coisas (Internet of Things - IoT), Internet dos Objetos (Internet of Objects - IoO) ou Internet de todas as Coisas (Internet of Everything - IoE). Esta refere-se a uma rede, geralmente sem fios, que liga os objetos e que é fundamental para se fazer uma agricultura mais precisa (Agricultura de Precisão) e mais sustentável e inclui pessoas, lugares, objetos e coisas, com identidade própria a que se possam associar um ou mais sensores que estejam ligados em rede, para poderem ser incluídos num ecossistema de comunicação. O termo “Coisa” refere-se a uma entidade ou objeto físico com identificação e endereço único (univocally identifiable and addressable objects), com um sistema incorporado (embarcado) e com capacidades para transferir dados através de uma rede com ou sem fios como, por exemplo, os implantes para monitorização do coração, os automóveis com sensores incorporados, etc., permitindo, assim, a integração da sociedade humana com os sistemas físicos.

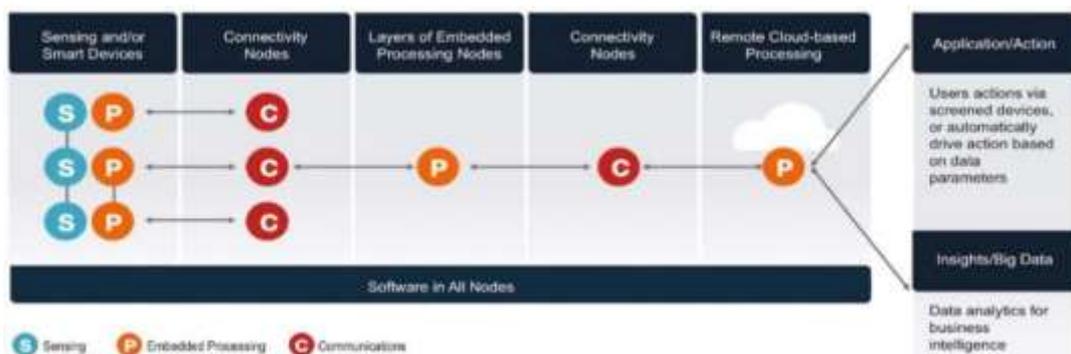


Figura 1- Estrutura das tecnologias lot

Fonte: Internet of Things (IoT) - we are at the tip of an iceberg.

As plataformas IoT, que são como uma rede das redes (IoT as a Network of Networks), incluem a identificação, captura, processamento de dados e a comunicação entre dispositivos para se atingirem determinados objetivos, tendo sempre em consideração a privacidade e são redes de baixo consumo de energia e alta conetividade que integram sensores e microcontroladores; estas tecnologias incluem hardware (computadores, tablets, smartphones, etc.), software (programas para recolha de dados, análise destes em tempo real, etc.), sistemas de

comunicação com e sem fios, servidores (“servers”), aplicações nas nuvens (“cloud”) e uma interface com o utilizador, ou seja, combinam pessoas, processos, dispositivos e tecnologias com sensores e atuadores que podem ser controlados remotamente.

O ciclo da IoT compreende, assim, a recolha de dados, sua comunicação, análise e atuação, sendo a **recolha** efetuada por dispositivos e sensores, exemplo, da temperatura, humidade, etc., a **comunicação** envia os dados e eventos através da rede para um destino, exemplo uma plataformas em cloud, um “data center”, etc., a **análise** cria informação a partir desses dados, exemplos a criação de relatórios, filtragem de dados, etc., e a **ação** que é a resposta baseada na informação e dados, exemplo, da comunicação com outra máquina (M2M), envio de notificações (emails, sms, texto), conversação com outro sistema, etc.

A Agricultura de Precisão tem introduzido uma maior racionalidade nas atividades havendo, no entanto, alguns constrangimentos, nomeadamente no que se refere à monitorização com suporte para integração de dados, ao controlo das condições de produção, aos meios envolvidos, ao combate de pragas e doenças, etc.; apenas com a introdução de novas tecnologias é possível aumentar a eficiência no acompanhamento dos sistemas de produção, fundamental para a sustentabilidade. Com a utilização das plataformas IoT na agricultura será possível uma melhor definição, controlo e precisão da execução das várias atividades culturais, ou seja, realizar uma verdadeira Agricultura de Precisão, que inclua a recolha georreferenciada de dados (sensores vs GPS), o seu processamento e análise (GIS) e a definição e implementação do melhor plano de atividades (SSD) utilizando as tecnologias de aplicação variável dos fatores de produção (VRT).

A Agricultura de Precisão (PA- Precision agriculture) distingue-se da Gestão Localizada (SSM- Site-Specific Management) porque esta prende-se com a gestão das culturas em determinadas zonas da parcela (não na parcela total), e a AP com a utilização da informação tecnológica que permite a SSM.

1- O que é a Internet das Coisas

A Internet das Coisas (IoT), termo definido em 1999 para descrever um sistema (plataforma) em que objetos do mundo físico podem ser ligados à internet, é um conjunto de tecnologias que inclui sensores, redes de comunicação e sistemas de controlo, utilizados nas mais variadas atividades, nomeadamente em agricultura (“**AGRICULTURAL Internet of Things - IoT**”), em que cada um dos componentes tem uma função específica. O termo IoT combina o conceito de “Internet” e “Coisa”, podendo ser definido como uma rede mundial (world-wide web) de objetos com identificação própria e ligados entre si por protocolos de comunicação padrão; os dispositivos / objetos, desde que identificados digitalmente, podem ser acedidos / controlados de qualquer lugar.



Figura 2- As várias fases das plataformas IoT

Fonte: Jaswinder Sing. Internet of Things (IoT)

A coleta (“collect”) inclui os dispositivos e sensores que recolhem dados em qualquer lado como, por exemplo, de casa, carro, etc.; a comunicação (“communicate”) envia os dados e eventos através de uma rede para um destino como, por exemplo, um data center, uma plataforma cloud, etc.; na fase de análise (“analyse”) cria-se informação a partir dos dados e permite-se a sua visualização, criação de relatórios, etc.; a ação (“act”) permite desencadear um processo baseado nos dados e informação como, por exemplo, comunicar com outra máquina (M2M), enviar sms, etc. Os quatro pilares da lot são, assim, os sensores e emissores de ondas radio localizados nos dispositivos (máquinas), a plataforma de ligação M2M, a plataforma de resposta e as aplicações que permitem que os dispositivos da lot reportem ou atuem em reação aos dados.

A definição mais divulgada para uma plataforma IoT é “a huge internet-based network connecting physical and virtual things with standard and interoperable communication protocols”. Na IoT todos os objetos utilizados são equipados com sensores e identificados individualmente, ou seja, incluem identificadores (RFID- Radio-Frequency Identification Tags), transmissores-recetores (transponders), que são dispositivos eletrónicos que emitem uma frequência rádio quando recebem um sinal semelhante, e sistemas de comunicação sem fios (wireless) para poderem, em tempo real, comunicar (“falar”) entre si e com a internet e que são geridos por computadores que estão ligados por uma rede que usa um protocolo TCP/IP (Transfer Communication Protocol / Internet Protocol); os protocolos terão de ser universais para poderem combinar dispositivos muito heterogéneos e serem simples, leves, de fácil ligação, escaláveis, flexíveis e normalizados.

Um dispositivo IoT inclui, assim, um interface input / output (I/O) para os sensores, um interface para ligação à internet, um interface para memória e armazenamento de dados e um interface para audio / video, podendo os dados ser partilhados e vistos remotamente utilizando tecnologias de computação em Cloud; a IoT é uma combinação de sensores, redes de comunicação e pessoas vs processos.

A Cloud Computing é um sistema a funcionar na internet que fornece serviços de hardware, infraestruturas, plataformas, software e armazenamento de dados para várias aplicações da IoT; este sistema disponibiliza, a baixo custo, serviços de armazenamento de textos, imagens, vídeos e outra informação o que permite uma assinalável economia às empresas agrícolas. A Edge Computing é um novo modelo de computação que permite executar cálculos nas extremidades (orla) da rede; os dados downlinks das extremidades representam a “cloud service”, os dados uplink representam os serviços IoT e a ligação edge-to-edge refere-se à computação e aos recursos de rede entre a fonte de dados e o centro de computação da Cloud. A plataforma IoT fica, assim, composta por três partes, uma na fonte (computação em névoa), outra na orla (“edge”) da nuvem e uma terceira na própria nuvem; a primeira (“local part”) é onde os dados são obtidos e é efetuado o controlo automático dos dispositivos, a segunda (“edge part”) é onde se processam as principais tarefas de gestão e de melhoria da estabilidade do sistema e a terceira (“cloud part”) onde se efetua a análise dos dados; as IoT utilizam tecnologias de computação nas áreas da comunicação, na plataforma computacional e na computação em nuvem.

O modo como as plataformas IoT funcionam pode-se representar da seguinte forma.

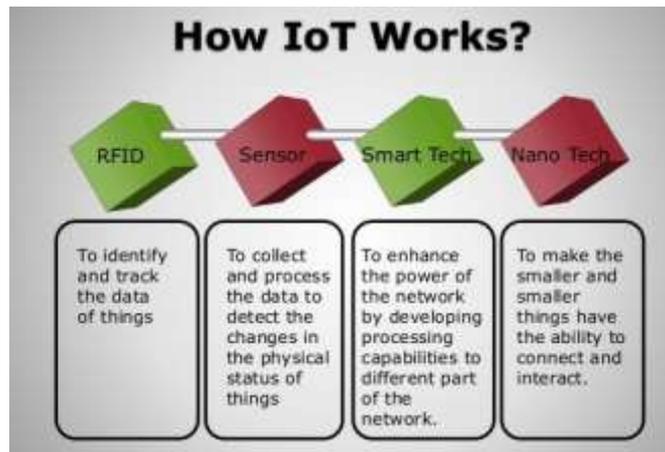


Figura 3- Como funcionam as plataformas IoT

Fonte: Jaswinder Sing. Internet of Things (IoT)

Do exposto podemos afirmar que a conectividade da internet tornou-se imprescindível para a maioria das empresas e pessoas ter acesso à informação, sendo a internet das coisas o passo seguinte, em que os objetos também passam a comunicar entre si. A IoT ao permitir a integração da sociedade humana com sistemas físicos (coisas) será a próxima revolução da internet; num futuro próximo bilhões de objetos estarão ligados à internet podendo ser observados, identificados e compreendidos pelos computadores sem necessidade da interação do homem, estimando-se que, na agricultura, em 2014, havia 13 milhões de dispositivos ligados entre si mas, em 2024, esse valor poderá atingir os 225 milhões.

Como se pode constatar na figura 3, as plataformas IoT representam um sistema (**IoT Stick**) onde os itens do mundo físico, que têm integrados ou estão ligados a sensores (sensores IoT), comunicam entre si via internet com, ou sem ligações por fios, sendo a agricultura inteligente, baseada nas plataformas (sistemas), considerada como um gadget para monitorização em tempo real (live monitoring) das condições do meio medidas pelos sensores, as quais podem ser partilhadas e vistas de qualquer lugar pois ficam disponíveis na Cloud. A agricultura inteligente utiliza nas suas atividades diferentes tipos de dispositivos (sensores), nomeadamente os que analisam o solo, a temperatura e humidade local, os débitos da rega, a presença de pragas e doenças, etc., permitindo aumentar a produtividade e economizar recursos; os sensores partilham, para além condições do meio envolvente, informação sobre a sua identificação digital (caraterísticas), quer em tempo real ou gravada, com as pessoas, programas de computador e outras máquinas, para posterior tratamento.

A IoT foi utilizada inicialmente na indústria mas hoje está difundida em todas as atividades e nas plantas, animais e pessoas, pelo que a sua designação deveria ser internet de tudo (Internet of Everything) - IoE), Skynet ou Machine-to-Machine (M2M). Basicamente qualquer dispositivo ("coisa") a que se pode ligar um sensor e uma rede pode ser incluído num ecossistema em que todos os componentes se encontram interligados; qualquer item que possa ter uma identidade digital e conectividade para que possa ser identificado, monitorizado e que comunique entre si e com outros, pode ser incluído na IoT.

Os objetos físicos têm, assim, personalidade virtual e atributos físicos e utilizam interfaces inteligentes (serviços) e estão integrados numa rede: esta pode ser pessoal (PAN- Personal Area Network), local (LAN- Local Area Network), metropolitana (MAN- Metropolitan Area Network) ou mais vasta (WAN- Wide Area Network).

Os dispositivos IoT mais comuns são os sensores usáveis (wearable sensors), os relógios inteligentes, os dispositivos para monitorização das habitações, apoio ao transporte, monitorização da saúde, etc. (**Anexo 1**, As IoT nas diferentes atividades).



Figura 4- Diferentes aplicações das plataformas IoT
Fonte: Jaswinder Sing. Internet of Things (IoT)

2- Integração da IoT na agricultura

A integração da engenharia agrónómica com a engenharia eletrónica (tecnologias eletrónicas e computadores) é, cada vez mais, uma realidade, pelo que o conceito de agricultura inteligente (**smart farming**) ou agricultura digital faz cada vez mais sentido; este conceito, que associa a agricultura às IoT, tem vindo a generalizar-se permitindo a monitorização da agricultura de uma forma mais efetiva e em tempo real. A incorporação de tecnologia e o constante aumento da área das explorações agrícolas faz com que a agricultura possa ser tratada como uma indústria onde os dados e o controlo da produção são cada vez mais relevantes na definição dos custos e receitas; as operações culturais são cada vez mais automatizadas e planeadas e geridas digitalmente, tendo como base as IoT e as tecnologias de comunicação, evoluindo para a utilização de robots e drones.



Figura 5. Dispositivos de IoT e protótipos para a agricultura inteligente
Fonte: Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

Como se pode observar na figura 5, as tecnologias utilizadas na agricultura inteligente (precisão) inclui as IoT (Internet das Coisas), mais propriamente a “Internet em Todas as Coisas”, que engloba a utilização de sensores de radiação solar, temperatura e humidade do ar, teor de água no solo, etc., dispositivos de hardware de baixo custo (chips), redes e atuadores que permitem conhecer, em locais específicos, as condições do meio (plantas, solo e ambiente) e atuar em conformidade com os objetivos definidos.

Os dados obtidos, dados inteligentes e de baixo custo, são integrados em plataformas de computação em nuvem (cloud / data centers), onde são tratados e convertidos em informação, para apoio à decisão sobre as práticas a implementar para melhorar o sistema produtivo no que se refere à diminuição dos fatores envolvidos, aumento da produção e diminuição do impacto no meio, assegurando-se, assim, a sustentabilidade do sistema produtivo; para além da informação obtida dos dados recolhidos é necessário que a informação sobre práticas culturais, equipamentos disponíveis, etc., seja armazenada num local onde possa ser facilmente acedida para poder ser utilizada na tomada de decisões. A tomada de decisões, baseada em dados adquiridos em tempo real, juntamente com a utilização de modelos vários (climáticos, agrónomicos, etc.), permitem melhorar a eficiência do sistema produtivo e reduzir potenciais efeitos nefastos no meio envolvente; por exemplo, a deteção de doenças utilizando estas tecnologias permite uma maior antecipação relativamente à deteção visual o que torna os tratamentos preventivos mais eficazes (melhoria no controlo das pragas e doenças, menor impacto ecológico e diminuição dos custos dos tratamentos).

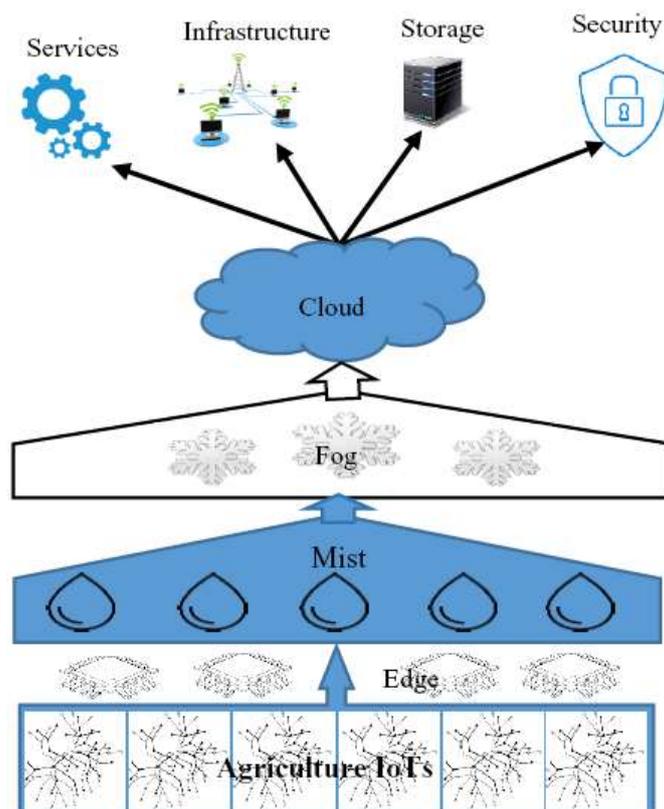


Figura 6. Infraestrutura da computação da agricultura inteligente

Fonte: Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

3- Principais elementos da IoT

Os principais componentes de uma plataforma IoT são os **sensores**, as **redes de comunicação** e os **sistemas de controlo** que permitem a recolha de dados e a melhoria do controlo de todos os processos internos, com a consequente diminuição do risco de produção; estes sistemas permitem, igualmente, uma gestão de custos mais

eficaz resultante da melhoria do controlo do processo de produção, que conduz a uma diminuição do desperdício, a uma melhoria da eficiência produtiva, devido a uma maior automatização, e um aumento da qualidade e quantidade dos produtos produzidos.

3.1- Os sensores

Os sensores, que convertem em sinais elétricos, sinais não elétricos, estão integrados nos diferentes objetos e ligados entre si e a terceiros, recolhem dados que são eletronicamente transformados por um outro dispositivo em informação (output), que é utilizada nas tomadas de decisão por pessoas ou por dispositivos inteligentes. Os sensores IoT monitorizam e detetam condições dentro, ou ao redor dos objetos, convertendo-as em sinais elétricos (dados) que são transmitidos para outros dispositivos inteligentes montados na rede que, por sua vez, os analisam para os converter em informação.

Os objetos, com os respetivos sensores, chips, antenas e outros, podem ser pequenos (simples) como o caso de lâmpadas, ou grandes (complexos), como o caso dos carros, sendo os componentes cada vez se menor dimensão e com possibilidade de comunicação e monitorização a baixo consumo de energia; cada sensor integrado / ligado a um objeto físico monitoriza uma situação específica como, por exemplo, a localização, o movimento, a temperatura, etc..

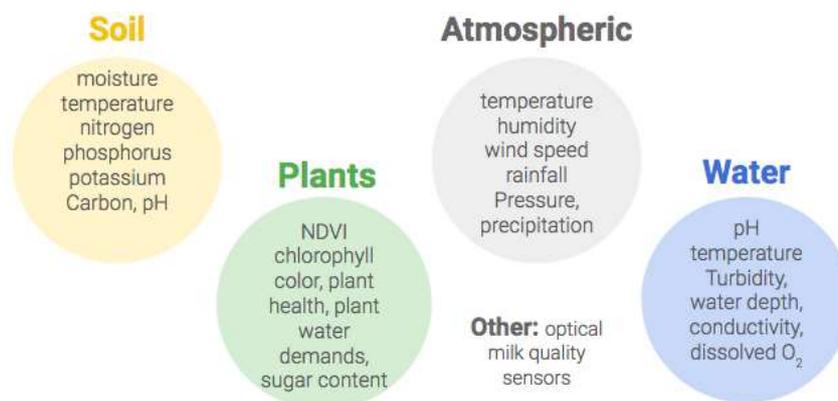


Figura 7- Sensores utilizados na IoT agrupados segundo a sua função

Fonte: MIT D-Lab. Comprehensive Initiative on Technology Evaluation

Os sensores mais comuns utilizados na agricultura inteligente são os sem fios, sendo os principais tipos os acústicos, os “gate-way” programáveis (FPGA), os óticos, os de ultrassons, os optoelectrónicos, os de medição de fluxos de ar, os eletroquímicos, os eletromagnéticos, os mecânicos, os de medição de fluxos de massa, os de “eddy-covariância”, os de medição do nível das águas, os LIDAR (light detection and ranging), os telemáticos e os remotos.

No que se refere aos **sensores acústicos** estes medem a variação de som que resulta da interação das ondas com um “corpo” exterior como, exemplo, partículas de solo, sementes, etc.

Os **sensores gate-way programáveis** são utilizados para medir, em tempo real, a transpiração das plantas, a necessidade de rega, etc., mas o seu elevado consumo de energia tem limitado a sua divulgação.

Os **sensores óticos** medem a refletância dos objetos em diferentes comprimentos de onda, pelo que são muito utilizados na medição de substâncias orgânicas (clorofila), cor do solo e das frutas, etc.; as ondas refletidas pelos objetos dependem das suas características o que permite a sua identificação e quantificação.

Os **sensores de ultrassons** são bastante utilizados em agricultura pois integram várias aplicações e têm um baixo custo; são aplicados, por exemplo, na estabilização das rampas de aplicação de herbicidas ou pesticidas em

culturas baixas, na detecção de objetos, na monitorização do desenvolvimento da copa das plantas e, juntamente com uma câmara, na detecção de plantas (infestantes), sendo a altura destas determinada com ultrassons e a cobertura pela análise da imagem obtida com a câmara.

Os **sensores optoelectrónicos** são muito utilizados na identificação de infestantes, especialmente em culturas em linhas bastante afastadas. A sua aplicação, juntamente com um sistema de georreferenciação, permite obter mapas de infestação do terreno e diferenciar, pelo espectro da refletância, o solo nu e o coberto de vegetação.

Os **sensores de medição do fluxo de ar** permitem medir, por exemplo, a permeabilidade do solo ao ar, a percentagem de humidade e a estrutura dos diferentes tipos de solos; estas medições podem ser efetuadas em pontos discretos ou com os equipamentos em movimento.

Os **sensores eletroquímicos** são mais utilizados para caracterização do solo nomeadamente na quantificação dos nutrientes, medição do pH e salinidade.

Os **sensores eletromagnéticos** utilizam-se para medição da condutividade elétrica do solo, pois usam sensores elétricos que medem a capacidade de cargas partícula do solo conduzirem ou acumularem cargas elétricas; a quantificação de nitratos e da matéria orgânica pode ser efetuada com este tipo de sensores.

Os **sensores mecânicos** medem a resistência do solo à penetração (compactação); a resistência à penetração ou corte é medida com células de carga.

Os **sensores de massa** são utilizados para medir a produção, especialmente dos cereais nas ceifeiras debulhadoras, através do fluxo de grão; para além desta medição o monitor de produção determina a humidade do grão e regista e analisa os dados.

Os **sensores baseados na eddy-covariância** são usados para quantificar as trocas de CO₂, vapor, metano e outros gases e a troca de energia entre a superfície terrestre e a atmosfera; esta tecnologia, que permite substituir a câmara de Chouler, é mais precisa que esta e pode ser utilizada em grandes áreas.

Os **sensores de medição do nível de água** (SWLB) são utilizados para caracterização hidrológica, nomeadamente, o nível e volume de água, em intervalos previamente definidos.

Os **sensores LIDAR** são utilizados, entre outros, no mapeamento das parcelas, determinação do tipo de solo, modelação a três dimensões, monitorização da erosão e previsão da produção; podem também ser utilizados para medir a área foliar e, juntamente com um sistema de georreferenciação, produzir mapas 3D, para estimar a biomassa das copas das árvores.

Os **sensores telemáticos** utilizam a telecomunicação para recolher dados de locais remotos e de equipamentos que estão a operar no campo, gravando a sua localização e os trajetos efetuados, evitando-se, assim, a sua repetição; estes sensores ao gravarem os dados das operações culturais permitem ao gestor racionalizar a sua execução e diminuir o impacto no meio.

Os **sensores remotos** são utilizados para gravar, analisar, manipular e gerir dados geográficos; a informação é utilizada para previsão da data de colheita e produção, identificação de zonas atacadas por pragas e doenças, tipos de cobertura do solo, etc. Estes dispositivos, que medem indiretamente as características físicas, químicas e biológicas de elementos da superfície terrestre, baseando-se nos sinais transmitidos por esses elementos; podem-se dividir em três grupos, ou seja, os que medem as características físicas, os biossensores e os sensores micro eletromecânicos (micro electro mechanical system sensors - MEMS). O primeiro grupo compreende os sensores que convertem alterações físicas de objetos em sinais elétricos e que são utilizados para medir temperaturas, humidade, etc. Os biossensores utilizam os organismos como elementos sensitivos para medir a sua reação a fatores externos, exemplo dos sensores de enzimas, microbiológicos, etc. e utilizam-se para detetar a presença

nesses organismos de pesticidas, iões metálicos, gases tóxicos, etc., e os MEMS são sensores de muito pequena dimensão, baixo consumo, baixo custo e fiáveis.

No que se refere ao tipo de energia que utilizam os sensores podem ser considerados como **ativos** ou **passivos**. Os **sensores ativos** tem energia própria que emitem e recebem do meio envolvente; por exemplo, o sistema de RADAR emite um sinal eletromagnético que, ao chocar num objeto, é refletido no sentido oposto sendo aquele medido pelo sistema. Os sensores ativos podem ser utilizados nas mais variadas situações, nomeadamente na ausência de luz (noite) o que não acontece com os passivos. **Os sensores passivos** apenas recebem energia, elétrica ou não, que é produzida externamente a esse sensor; um exemplo são os sensores das câmaras fotográficas que recebem energia emitida pelos objetos exteriores (luz), retendo-a num dispositivo de armazenamento.

Entre as várias características dos sensores destacam-se a **acurácia**, a **repetibilidade**, a **gama** (banda), o **ruído**, a **resolução** e a **seletividade**. A **acurácia** mede a precisão com que um sinal é traduzido (reportado), a **repetibilidade** indica a cadência com que um mesmo sinal é reportado quando submetido ao mesmo impulso e sob as mesmas condições, a **gama** refere-se à banda em que o sensor reporta o sinal com acurácia, o **ruído** traduz a variação do sinal de output do sensor resultante da ação do meio, a **resolução** traduz a menor variação do sinal de entrada (input) que o sensor necessita para proceder e reportar um sinal de saída (output) e a **seletividade** refere-se à sensibilidade do sensor à deteção do sinal.

Entre os principais desafios dos sensores, para além da sua dimensão, preço e performance, estão o seu **consumo**, **segurança** e **interoperabilidade**. No que se refere ao **consumo** ele pode ser assegurado por baterias ou redes elétricas, permitindo estas uma alimentação permanente mas que poderá não ser de fácil instalação ou ter custos de implantação muito altos, pelo que a solução “bateria” poderá ser a opção mais interessante, embora com todos os conditionalismos resultantes da sua longevidade, carregamento e substituição, especialmente quando se encontram localizadas remotamente.

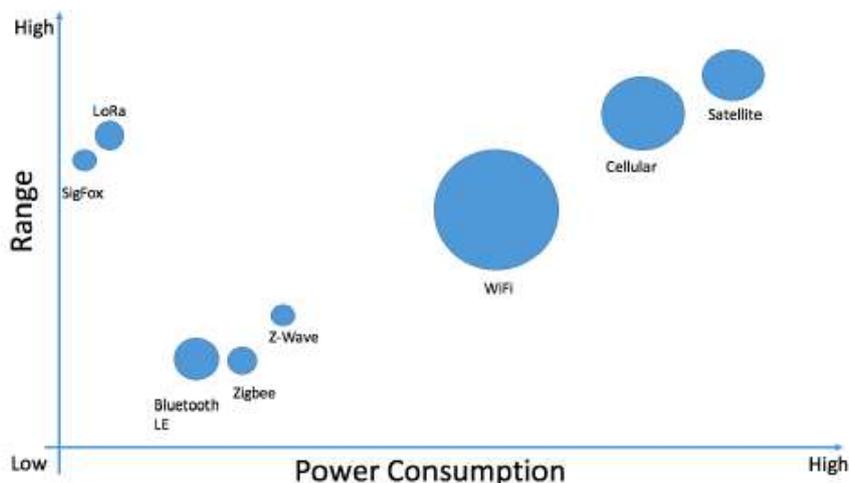


Figura 8- Consumo vs tipos de tecnologias de informação mais comuns.

A dimensão dos círculos representa o volume de dados transmitidos

Fonte: MIT D-Lab. Comprehensive Initiative on Technology Evaluation

Relativamente à **segurança** esta terá de ser considerada desde a instalação dos sensores devendo o seu monitoramento e gestão ter por base complexos algoritmos encriptados que assegurem a sua integridade.

A **interoperabilidade** dos sensores IoT deve permitir que os dados provenientes de diferentes fontes possam ser tratados e convertidos em informação e que possam ser comunicados, trocados e armazenados em segurança.

Os protocolos de segurança devem ser definidos para facilitar a comunicação entre os vários sistemas de sensores.

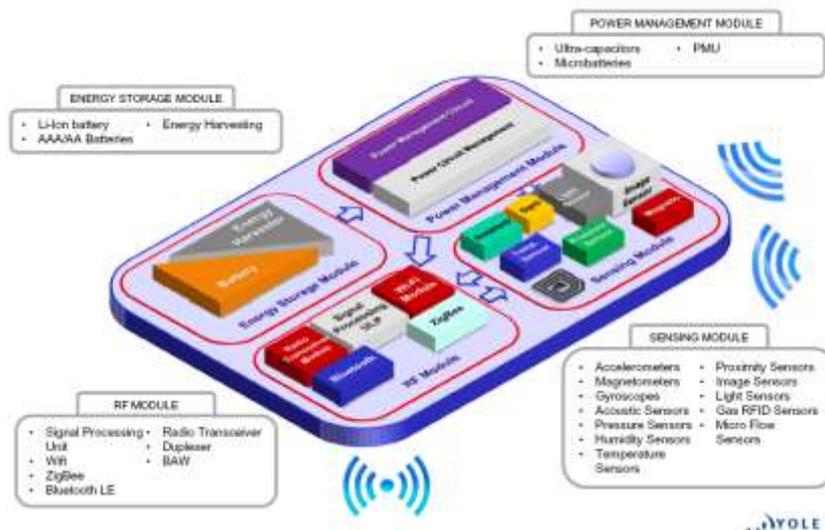


Figura 9- Componentes de um sensor ativo utilizado numa rede sem fios de uma IoT

Fonte: Yole Développement

No que se refere aos desafios da própria IoT estes incluem a falta de normalização das tecnologias em várias áreas, a dificuldade da sua gestão resultante da rápida inovação que se verifica, a privacidade das plataformas e a ausência de governança.

3.2- Redes de comunicação

A comunicação e transmissão da informação em tempo real é fundamental para a agricultura de precisão, devendo os dados medidos pelos sensores IoT ser canalizados para o exterior para agregação e análise, convertendo-se em informação. A agricultura de precisão utiliza, basicamente, sensores localizados nas explorações para obter, em tempo real, informação sobre as condições das plantas, solo e ar, e informação resultante da observação da superfície terrestre, obtida pela deteção remota.

No que se refere às redes e tecnologias de comunicação utilizadas em IoT elas são as mesmas da maioria das aplicações, ou seja, redes Wi-Fi (Wi-Fi router), Bluetooth e NFC (redes sem fios - Wireless e com fios - Wired), dependendo a opção, basicamente, da cobertura geográfica que se pretende, custos, consumo de energia e fiabilidade (**Anexo 2-** Principais tecnologias wireless e seus parâmetros básicos). Redes de baixa energia podem fornecer conectividade em apenas um sítio ("site"), não permitindo ligações em áreas remotas, limitando a transmissão ao sistema de gestão da exploração (Farm Management System - FMS). A comunicação pode ser estabelecida utilizando diferentes modelos, nomeadamente os que ligam os dispositivos entre si (device-to-device), os dispositivos à nuvem ("device-to-cloud"), os dispositivos a uma porta de acesso à rede (device-to-gateway), também designada por comunicação entre o dispositivo e a aplicação ("device-to-application-layer") e o modelo "back-end data-sharing" que apresenta uma arquitetura que permite aos utilizadores exportar e analisar os dados dos objetos inteligentes, a partir de um servidor (cloud), em combinação com dados de outras fontes (servers).



Figura 10- Modelo de comunicação entre dois dispositivos (device-to-device)

Fonte: Yole Développement

No que se refere à comunicação Bluetooth (sem fios), ela permite ligar entre si pequenos dispositivos que se encontrem próximos; esta ligação apresenta baixos consumos de energia e um custo acessível.

Os telemóveis são, hoje em dia, a tecnologia de comunicação mais utilizada nas zonas rurais pois têm uma grande cobertura de rede, um custo acessível e várias funcionalidades importantes, nomeadamente câmaras fotográficas, GPS, aplicações de interesse agrícola, etc. (**Anexo 3-** Sensores utilizados nos telemóveis, com aplicação agrícola); analisando o sucesso dos telemóveis (mobil-service) constata-se que este é função de vários fatores que vão de encontro às necessidades dos agricultores.

A comunicação entre um objeto e uma aplicação utiliza os dados localizados nos nós das malhas da rede, transmitindo-os para um dispositivo (gateway), localizado algures nessa rede, que os envia, através de uma rede com grande cobertura (Wide Area Network - WAN), para um sistema de gestão (FMS) que recolhe e analisa a informação de todas as atividades que estão em curso nos diferentes pontos, assim como os dados históricos, para suportar as tomadas de decisão.

Considerando a taxa de transmissão de dados e o consumo, os dispositivos sem fios utilizados em agricultura são caracterizadas da seguinte forma.

Communication/ Data type	Possible application	Expected Data size	Power consumption (active mode)
Small sized data and low power consumption	(1) Air temperature/ humidity/ direction / speed (2) Soil temperature/ humidity (3) Leaf thickness/color (chlorophyll) (4) Trunk thickness/flux flow (5) Fruit size	100s of bytes	Less than a mA (Fractions of mA)
Medium sized data and medium power consumption	(1) Still picture camera (2) Multi or hyper spectral camera (3) Acoustic sensors	10s of Mb	10s of mA
Large sized data and large power consumption	Video streaming cameras	10s of Mb per minute	50 A

Figura 11- Quantidade de dados e consumos de sensores (dispositivos) sem fios utilizados em agricultura.

Fonte: Internet-of-Things(IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

A utilização de redes 2G e 3G podem ser suficientes para a transmissão de dados, desde que os objetos o permitam e que não seja necessária uma banda larga mas nas zonas rurais onde há falhas de rede a sua

utilização torna-se inviável, pelo que é necessário recorrer-se, por exemplo, à transmissão via satélite. Considerando o alcance limitado destas redes, algumas das aplicações utilizadas em IoT dependem das redes móveis 4G utilizadas nos telemóveis (smartphones), tablets e laptops, mas que terão de ser otimizadas para garantir um consumo baixo e dispor de recursos de processamento. A utilização mais abrangente só será possível com a próxima geração de redes móveis 5G que permitirão a comunicação entre os milhões de objetos que serão utilizados pela IoT.

A comunicação de dados entre os dispositivos (sensores e computadores) inicia-se com a identificação dos mesmos pelo que é necessário que cada um tenha um nome, sendo a comunicação assegurada por um Protocolo de Rede (proprietário ou aberto) onde são definidas as regras que permitem que os computadores se identifiquem entre si; o IP (Internet Protocol) é um sistema aberto em que cada dispositivo tem um endereço único.

	Personal area network (PAN)	Local area network (LAN)	Wide area network (WAN)
Wired connections	USB	Ethernet	Not applicable
Wireless connections	Bluetooth, ZigBee, Near Field Communication, Wi-Fi	Wi-Fi, WiMAX	WiMAX, weightless, cellular technologies such as 2G, 3G, 4G (LTE)

Figura 12 Diferentes classes de rede e exemplo de tipos de ligação

Fonte: Deloitte University Press. Inside the Internet of Things (IoT)

A taxa de transferência de dados e a energia necessária para as comunicações são dois dos aspetos mais relevantes a ter em consideração na escolha da tecnologia da rede para uma dada aplicação, sendo as tecnologias 4G e 5G as mais ajustadas para a IoT, devido ao elevado fluxo de dados a serem transferidos.

Os sistemas Wi-Fi, por terem baixo tempo de latência e permitirem manter os dados ativos, mesmo quando estes não estão a ser transmitidos, podem ser alimentados por baterias e utilizados no controlo remoto de sensores e de aplicações.

3.3- Sistemas de controlo

Em relação aos sistemas de controlo estes processam os dados obtidos pelos sensores, que estão ligados entre si e à aqueles sistemas, analisando-os e tratando-os para obter informação; estas tecnologias designam-se por cognitivas pois integram a “**inteligência aumentada (artificial)**”, designada assim por permitir a automatização da inteligência, que inclui vontade e propósito autónomo, mas excluindo o fator humano, e que não pode ser suplementada nem melhorada. A análise dos dados inclui a sua descrição, predição e perspetivação, referindo-se a primeira à melhoria da nossa inteligência para abarcar um maior volume de dados, a segunda à previsão do que pode, ou podia acontecer, e que resulta da exploração de uma grande quantidade de dados (**Big Data**) para se estabelecerem modelos que os correlacionem (**Machine Learning**) e a terceira à criação de modelos casuais que traduzam a realidade, ou seja, que definam modelos matemáticos que proponham recomendações relativas à melhor forma de atuação, devendo esta ser validada pelas pessoas.

Os sistemas de análise, tais como os CEP (Complex Event Process) permitem, cada vez mais, o processamento e análise de dados em tempo real, ou próximo do real, e a imediata tomada de decisões e ação. Pode-se afirmar que a IoT tem um impacto enorme nas atividades que incluem comunicação, controlo e custos (redução),

designados pelos três “Cs” da IoT (communication, control and cost savings). Estes sistemas de análise são muito importantes para a IoT pois permitem reconhecer padrões em conjuntos de dados de baixa taxa de latência.

Os sensores e atuadores constituem o que se designa por transdutores, sendo os sensores os dispositivos que convertem energia não elétrica em energia elétrica e os atuadores dispositivos que convertem energia elétrica ou não elétrica em outra forma de energia elétrica ou não elétrica; exemplo de um transdutor são as colunas de som que convertem sinais elétricos, em sinais magnéticos e estes em ondas acústicas.

A IoT permite, assim, a monitorização, controlo e a interação entre os objetos e com terceiros (exemplo, as pessoas), para gerir informação relevante relativamente ao seu desempenho e impacto no meio. Toda esta informação está acessível para o utilizador em qualquer lugar onde esteja, desde que tenha acesso à rede, o que lhe permite uma gestão das atividades; nas atividades tradicionais, exemplo da agricultura convencional, isto não é possível.

4- Arquitetura da tecnologia IoT

A implantação de uma solução IoT deve permitir estabelecer a ligação entre as estratégias de decisão e a implementação da atividade. A informação tem de estar presente em todas as fases de desenvolvimento da IoT da atividade, enquanto os pressupostos se vão estabelecendo progressivamente de uma forma mais específica e as decisões se tornam mais consistentes com os objetivos que se pretendem.

A arquitetura da IoT, que compreende os dispositivos, a rede e as aplicações, pode ser representada da seguinte forma:

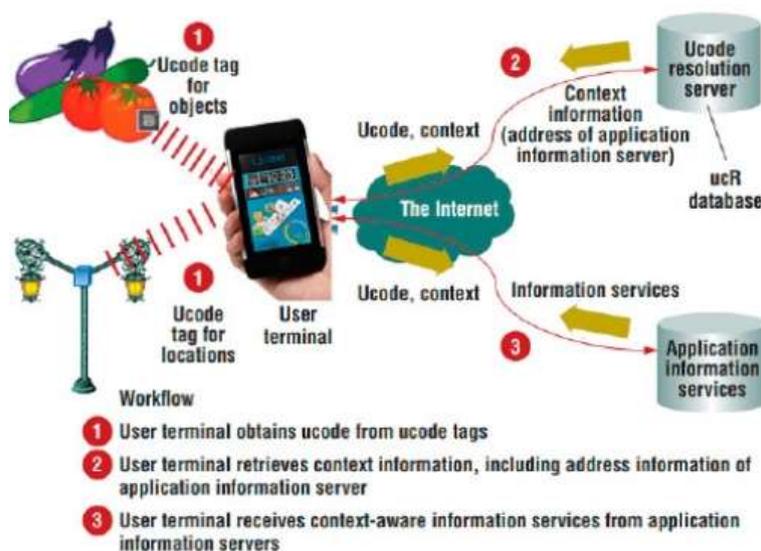


Figura 13- Arquitetura da IoT utilizada em agricultura

Fonte: Xiaojie Shi. State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. Sensors 2019, 18,1833.

Como se pode observar na figura 13 nas plataformas IoT os dispositivos inteligentes, que incluem os sensores, e a rede interagem com os objetos físicos para formar o que se designa por objeto final “object end” da IoT, também designado por “front end”; a estrutura de comunicação da ligação dos objetos finais e as nuvens (cloud) constitui a rede final “network end” da IoT. Para partilharem os dados colhidos pelos sensores os dispositivos IoT ligam-se a um “gateway” IoT ou outro dispositivo periférico (edge device) onde podem ser localmente analisados ou enviados para as nuvens (cloud), para análise. Os “gateway” são nós (dispositivos) de interface com outras redes.

4.1- Os dispositivos inteligentes

Os dispositivos (device layer) conferem aos objetos (coisas) capacidades para a sua **identificação** automática (AutoID) através de códigos de barras (Barcode) ou de códigos de leitura rápida (QR Code - Quik Read Code), que são etiquetas passivas, e de leitores de códigos por frequência das ondas rádio (RFID - Radio-Frequency Identification Tags), que são etiquetas ativas; estas permitem o **sensoriamento** (sensing) para medição de propriedades dinâmicas das “coisas” físicas, como a temperatura, CO₂, pH, etc., e a **atuação** física. A identificação dos objetos permite que as “coisas” reais (planta, animais, etc.) sejam virtualizadas. O RFID é um protocolo wireless, com a sua própria fonte de energia, para identificação de dispositivos que é muito utilizado nos transportes e logística e que consta de um RFID etiqueta (RFID tag) e um RFID de leitura (RFID reader). “Tagging Things: real-time item traceability and addressability by RFIDs”

Os sensores (Feeling Things) podem ser utilizados em múltiplos dispositivos, por exemplo nos “smartphones” (Anexo 4- Aplicações para “smartphones” com interesse agrícola), para executar inúmeras tarefas, baseando-se a maioria das aplicações de interesse agrícola na utilização dos sistemas GPS, de câmaras fotográficas e deteção remota por satélites e drones ou plataformas que se deslocam à superfície. Os smartphones são telemóveis com acesso à internet e que incorporam várias aplicações (apps) para execução de diferentes tarefas, nomeadamente, a monitorização do tráfico, controlo da vida diária, doméstica, etc.; a doméstica é o conjunto de técnicas e estudos tendentes a integrar no habitat todos os automatismos em matéria de segurança, de gestão de energia, de comunicação, etc., tornando as pessoas mais livres (FreeDom).

Os **atuadores** são utilizados para operar remotamente os objetos, exemplo dos tratores, sistemas de rega, etc. Na deteção remota, que se baseia na propagação de ondas, medem-se indiretamente as características físicas, químicas e biológicas de objetos posicionados à superfície da terra

Os dispositivos e sistemas das IoT devem ter, entre outras, as seguintes características:

- serem **dinâmicos e autoconfiguráveis** para se ajustarem às mudanças de situações; por exemplo, num sistema de vigilância, as câmaras devem mudar de baixa para alta resolução quando detetam movimento e informam as outras câmaras da nova situação. A autoconfiguração deve permitir que os dispositivos possam funcionar todos em conjunto com um mesmo objetivo e, juntamente com a infraestrutura de suporte, ligar-se à rede e procurar o software mais indicado à nova situação;
- apresentarem **interoperabilidade entre os protocolos de comunicação**, para se poderem relacionar com outros dispositivos e suas infraestruturas;
- terem **identificação única**, ou seja, cada um deve possuir um identificador próprio (IP address ou URL) para que possa ser acedido, monitorizados e controlado remotamente pelos utilizadores;
- estar **integrado numa rede de informação** para poder comunicar e trocar dados com outros dispositivos e sistemas; por exemplo, um nó de uma rede de monitorização de uma estação meteorológica deve poder comunicar com outro nó por forma a trocarem dados permitindo, assim, a utilização de todos para predição das condições do tempo. A integração numa rede de informação torna o sistema IoT mais “esperto” pois utiliza os dados provenientes de todos os dispositivos e respetivas infraestruturas;
- ter **consciência do contexto** (contexto-awareness) para, por exemplo, utilizando os parâmetros físicos e do meio ambiente, ganharem conhecimento da situação envolvente;
- ter **capacidade de decisão inteligente** para, por exemplo, melhorar a eficiência energética da rede aumentando, assim, o tempo de utilização da mesma.

4.2- A rede

A rede (network layer) é o suporte para a ligação e transporte da informação dos objetos de uma forma eficiente e segura. Os dados dos sensores são enviados inicialmente para plataformas intermédias, exemplo de computadores localizados nos nós da rede (internet gateways), utilizando tecnologias como redes sem fios (Wi-Fi), Bluetooth e redes GPRS/3G/4G e daí para os servidores (cloud); as plataformas (computadores) estão geralmente localizados próximo dos dispositivos que se pretende ligar, sendo a comunicação a maiores distâncias (cloud), assegurada eletronicamente por redes WSN (Wireless Sensor Networks). As redes (WSN) consistem num conjunto de nós sensores, geralmente alimentados por baterias e com um sistema de auto-organização, constituído por comunicações sem fios que recolhem e processam informação dos objetos situados na área coberta pela rede (WUSN- Wireless Underground Sensor NetWorks); os nós sensores, também designados por transdutores (transmissor + recetor - “transponders”), incluem memória, sensores, processadores e bateria. Os sensores agrícolas da rede WUSN são geralmente colocados no solo e utilizam nas comunicações tecnologias sem fios de baixa frequência, devido à resistência da rede; a dimensão das antenas e o consumo de energia na rede WUSN é superior à da rede WSN terrestre (não enterradas no solo).

As comunicações por Wi-Fi têm velocidades bastante elevadas mas consomem muita energia pelo que são indicadas para redes com sensores situados em pontos fixos. A comunicação Bluetooth é muito segura mas as distâncias de transmissão são pequenas e o consumo de energia é alto pelo que são indicadas para transmissão de dados em espaços de tempo curtos. As redes sem fios têm vantagens relativamente às redes com fios, nomeadamente no que se refere aos custos de instalação e manutenção, baixo consumo de energia e extensibilidade.

As transmissões ZigBee, que tem baixo consumo e baixo custo, são auto-organizáveis sendo cada nó utilizado como uma estação temporária para transmitir dados para outros nós próximos, o que permite a transmissão a longas distâncias (**Anexo 5-** Tecnologias wireless mais comuns e seus parâmetros básicos); este tipo de transmissão é utilizado nos comandos das televisões.

Mais recentemente as redes LPWAN (Low Power Wide Area Network) tem vindo a implantar-se na IoT, pois permitem a comunicação a grandes distâncias podendo ser um complemento das redes WLAN (Wireless Local Area Network) e das comunicações por telemóveis (GSM e GPRS).

As comunicações por telemóveis, com a tecnologia de quinta geração (5G), permitem a transferência de ficheiros muito grandes, como os de imagens e áudio, o que é uma enorme mais valia para a IoT (**Anexo 6-** Tecnologias de comunicação).

No que se refere às redes de sensores wireless pode-se afirmar que, no futuro, a investigação terá como objetivos principais a comunicação, a conservação da energia, o seu controlo e as aplicações para a monitorização da atividade agrícola.

4.3- As aplicações

As aplicações (application layer) permitem a execução de tarefas baseada nas “coisas” virtuais sendo as mais comuns, a monitorização e rastreabilidade do estado dinâmico dos objetos; em algumas situações podem ser executadas tarefas de gestão e otimização autónoma.

Resumindo, a arquitetura da IoT permite:

- que os sensores quantifiquem os dados, que são enviados para a fase seguinte;
- que a rede conecte as fases (layers) permitindo a sua ligação à internet;
- que a integração gira os elementos dos sensores e da rede, agregando os dados provenientes das várias fontes para poderem ser analisados;
- que a inteligência aumentada processe os dados retirando daí os ensinamentos necessários para o acionamento da cadeia;
- que o comportamento aumentado concentre as ações, ou mude a forma das pessoas ou máquinas atuarem, de acordo com os ensinamentos obtidos.

5- Aspectos importantes a ter em consideração na utilização das IoT

A utilização da IoT é ainda muito recente pelo que há vários aspetos a ter em consideração, nomeadamente no que se refere à sua padronização e riscos.

5.1- Padronização das IoT

As tecnologias utilizadas na IoT variam conforme o tipo de aplicação pelo que é fundamental estabelecerem-se padrões de comunicação que permitam a sua integração; existem vários consórcios a estudar esta compatibilidade.

5.2- Riscos da IoT

A ligação de todas as “coisas” tem riscos associados pelo que parâmetros preventivos e corretivos devem ser incluídos nas redes; os riscos são mais graves quando envolvem coletividades como, por exemplo, os semáforos de uma cidade que, em caso de anomalia, podem tornar o trânsito num caos em muito pouco tempo.

Assim, considerando a gravidade que pode resultar da intromissão abusiva de terceiros nas ligações é fundamental introduzir meios que permitam a proteção das comunicações, a confidencialidade dos dados, etc., para que estes não sejam acedidos por outros.

6- A IoT vs agricultura

A IoT, juntamente com os sistemas GPS, SIG, VRT e outros, são componentes fundamentais da Agricultura de Precisão pois permitem quantificar e georreferenciar inúmeros fatores de produção e, conseqüentemente, determinar a sua variabilidade espacial e temporal, para que se possa atuar diferenciadamente aplicando as quantidades exatas dos fatores necessários, no local preciso e na altura certa.



Figura 14- Situação da IoT na agricultura

Fonte: info@bizintellia.com

Algumas das tecnologias utilizadas em Agricultura de Precisão apresentam já um elevado nível de desenvolvimento, exemplo dos sistemas de georreferenciação e os sistemas de informação geográfica, mas no que se refere aos sensores e aos sistemas de controlo e de transmissão de dados ainda há um longo caminho a percorrer pois os fatores do meio que interferem com as culturas são “infinitos” e tem de ser determinados utilizando métodos expeditos e céleres que permitam a sua utilização em tempo real; as tecnologias de transmissão de dados na atividade agrícola são importantes para a aquisição, em tempo real, da informação, embora menos que na atividade industrial.

As estações climáticas distribuídas pela exploração são dos dispositivos mais utilizados para monitorizar as condições do meio e enviar a informação para os servidores (“cloud”, “data server”), que será utilizada para criação de mapas que permitam definir as atividades (culturas), a implementar.

Na agricultura os sensores são utilizados para quantificar e monitorizar os fatores que interferem com a produção, incluindo os recursos da exploração, comportamento animal, processamento de alimentos, etc., para melhor se compreender as condições da exploração, tais como as condições do meio (solo, clima e plantas), o aparecimento de pragas, doenças e de infestantes, para melhoria do controlo remoto da exploração. Os fatores que, geralmente, mais interferem na atividade agrícola prendem-se com a temperatura, humidade, precipitação, intensidade do vento, dados do solo e das doenças e pragas, que são utilizados para automatizar operações, apoiar a tomada de decisões e reduzir riscos e desperdícios.

A utilização de atuadores e robots permite, através do controlo remoto das condições de armazenamento e transporte dos produtos, monitorizar a qualidade dos alimentos e definir a sua traçabilidade, aumentando assim a confiança dos consumidores no que se refere à sua alimentação; a técnica e estudos tendentes a integrar no habitat todos os automatismos em matéria de segurança, de gestão de energia, de comunicação, etc., designa-se por **domótica**

A deteção remota, utilizando satélites ou drones, tem permitido a recolha de imagens RGB (espectro do visível), multiespectrais e termais que permitem a caracterização do albedo tornando possível, com imagens de maior resolução, identificar aspetos das culturas como doenças, mesmo antes destas serem possíveis de identificar por contato visual, manchas de infestantes, etc.. A refletância da vegetação é “um espelho” do seu estado o que permite aferir do seu vigor.

A informação recolhida por satélites não tem, geralmente, o pormenor (resolução) nem a frequência necessários, para apoio a tomada de decisões localizadas, sendo as imagens obtidas geralmente utilizadas para rastrear grandes áreas; os seus principais inconvenientes prendem-se com a periodicidade a que podem ser obtidas, as interferências da atmosfera, a resolução, entre outros, o que têm conduzido a uma utilização crescente dos drones.



Figura 15- Drones utilizados em agricultura

Fonte: Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

No que se refere à aquisição remota de dados na agricultura a utilização de drones de asas e de rotores tem tido um enorme incremento, podendo-se mesmo afirmar que é a atividade em que estes meios mais são utilizados; esta tecnologia, mesmo com as limitações que ainda têm, nomeadamente o tempo de voo, que tem vindo a ser resolvido, revolucionou a agricultura tendo a sua utilização provocado a sua disrupção. A utilização destes dispositivos em algumas operações culturais, exemplo dos tratamentos fitossanitários, plantações, identificação de doenças e pragas, integração de sistemas de informação geográfica (GIS), etc. tem contribuído para a sua expansão em agricultura.

A utilização de drones é especialmente importante nas regiões onde as redes de comunicação apresentam limitações na transmissão de dados medidos pelos sensores aí implantados, pois já permitem sobrevoar grandes áreas recolhendo informação detalhada, fundamental para a gestão do processo produtivo.

No que se refere aos dois tipos de drones os de asas são mais utilizados para cobrir grandes áreas e os de rotor para áreas mais pequenas apresentando, estes últimos, grandes vantagens nomeadamente no que se refere à facilidade com que são operados, ao maior rigor de voo, permitirem voar a menores altitudes, etc.

Entre as principais utilizações dos drones destacam-se a análise dos solos e plantas, a plantação, a monitorização das culturas, a rega, a contagem de plantas e falhas, a aplicação de pesticidas / herbicidas, as condições fitossanitárias das culturas, a identificação destas e suas espécies, etc. No que se refere ao solo é possível obter informações sobre este (propriedades físicas, químicas e biológicas), antes de se proceder à sementeira, para se proceder à escolha da cultura a instalar. A plantação de áreas extensas e de difícil acesso podem ser feitas utilizando estes meios que deixam cair as sementes envolvidas em fertilizantes para permitir a sua germinação.

A deteção remota das plantas utilizando drones tem vantagens relativamente à efetuada por satélites pois permitem escolher as datas mais convenientes para se conhecer os inúmeros parâmetros que permitem um

controlo do estado das culturas, nomeadamente os que permitem controlar a temperatura, humidade, aquecimento e rega.

Relativamente à rega a identificação de áreas sujeitas a stress hídrico é fundamental para se definirem planos de rega de débitos diferenciados; a utilização de drones para identificação de fugas de água nos sistemas de rega tem-se revelado muito interessante para a economia da água disponível. O conhecimento da densidade de plantas ou de áreas em que estas não emergiram permite estimar, de uma forma mais rigorosa, a produção da cultura.

A aplicação de pesticidas / herbicidas utilizando drones é uma prática já muito utilizada pois permite aplicar os produtos onde eles são necessários e não de uma forma homogénea como é feita tradicionalmente. A utilização de sensores em drones para captação de imagens no espectro do visível e infravermelho permite identificar, com antecedência, a presença de doenças nas plantas podendo-se, assim, controlar a sua dispersão pelas zonas circundantes; podem ser igualmente utilizados para identificar espécies vegetais raras procurando-as nas zonas mais remotas e de difícil acesso.

A integração destas tecnologias na Agricultura de Precisão gera um número muito grande de dados (“big data”) que são armazenados em servidores de grande capacidade, localizados nas “nuvens” (clouds), onde serão tratados para que a informação daí resultante possa ser utilizada no apoio às decisões necessárias à execução das operações culturais permitindo, assim, uma gestão eficaz dos meios, a melhoria dos resultados económicos e minimizar o impacto ambiental, ou seja, assegurar a sustentabilidade da atividade. O conceito de “cloud” (nuvem) está associado à possibilidade de utilizar um volume muito grande de dados que podem ser acedidos de qualquer lugar e sempre que for preciso e ao software dos sistemas de atuação que é necessário para a sua aquisição e implementação. O grande volume de dados produzidos pelos dispositivos da IoT condiciona a sua transmissão, aumentando o tempo de latência, pelo que as tecnologias 5G são fundamentais para tornar mais célere o fluxo de dados (informação).

A utilização de dados de diferentes proveniências e com diferentes formações requer a sua conversão em dados compatíveis para que possam ser utilizados pelos algoritmos disponíveis para a sua conversão em informação; os dados recolhidos são, geralmente, muito heterogéneos, pois podem incluir imagens, dados de sensores estáticos intrusivos ou exteriores às plantas e ao solo, etc., pelo que são necessários sistemas complexos para sua conversão em informação que possa ser utilizada na gestão do processo produtivo.

A UTAD desenvolveu uma plataforma de dados, denominada mySense, onde, usando vários algoritmos de inteligência artificial, os dados são tratados para definir ações de prevenção que permitem, por exemplo, minimizar os estragos provocados por várias doenças e pragas.

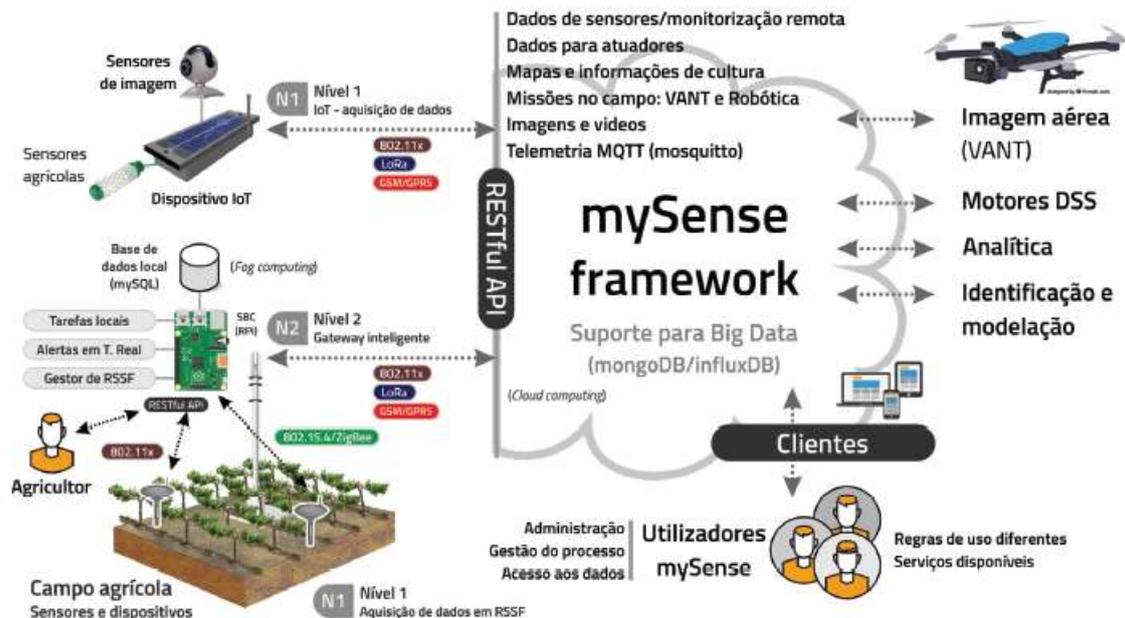


Figura 16- Arquitetura da plataforma mySense da UTAD

Fonte: Agrobótica. 2019.

Como se pode observar na figura 16 para além da aquisição de dados provenientes de uma gama muito variada de sensores sem fios, a plataforma inclui sistemas para transmissão remota, estações de proximidade, interface com potenciais utilizadores, etc., de que resultam um grande volume de dados (“big data”) para serem tratados. A atividade agrícola gera um número muito elevado de dados dinâmicos, exemplo de dados espaciais do solo e da atmosfera que, utilizando tecnologias específicas, permitem determinar ligações, por exemplo, por “data mining”, criando-se nova informação para apoio a novas operações. As técnicas mais usuais para tratar os “big data” são o processamento de imagens, a modelação e simulação, o “machine learning”, a análise estatística e os sistemas de informação geográfica (SIGs). A gestão heterogénea de dados, juntamente com a necessidade de dispor de conhecimentos agrónómicos necessários ao sistema produtivo, dificulta a tomada de decisões para a gestão diferenciada, quer em termos espaciais quer temporais, das diferentes operações culturais.

Como se pode consultar no site “mysense.utad.pt” esta plataforma “tem evoluído para abarcar algoritmos de inteligência artificial que usam os dados adquiridos, com vista a inferir sobre determinadas correlações e a permitir prever, por exemplo, doenças como o míldio, assim como outros fenómenos de interesse”.

Considerando a utilização da ferramenta IoT na agricultura pode-se considerar que esta se estrutura segundo um esquema semelhante ao indicado.

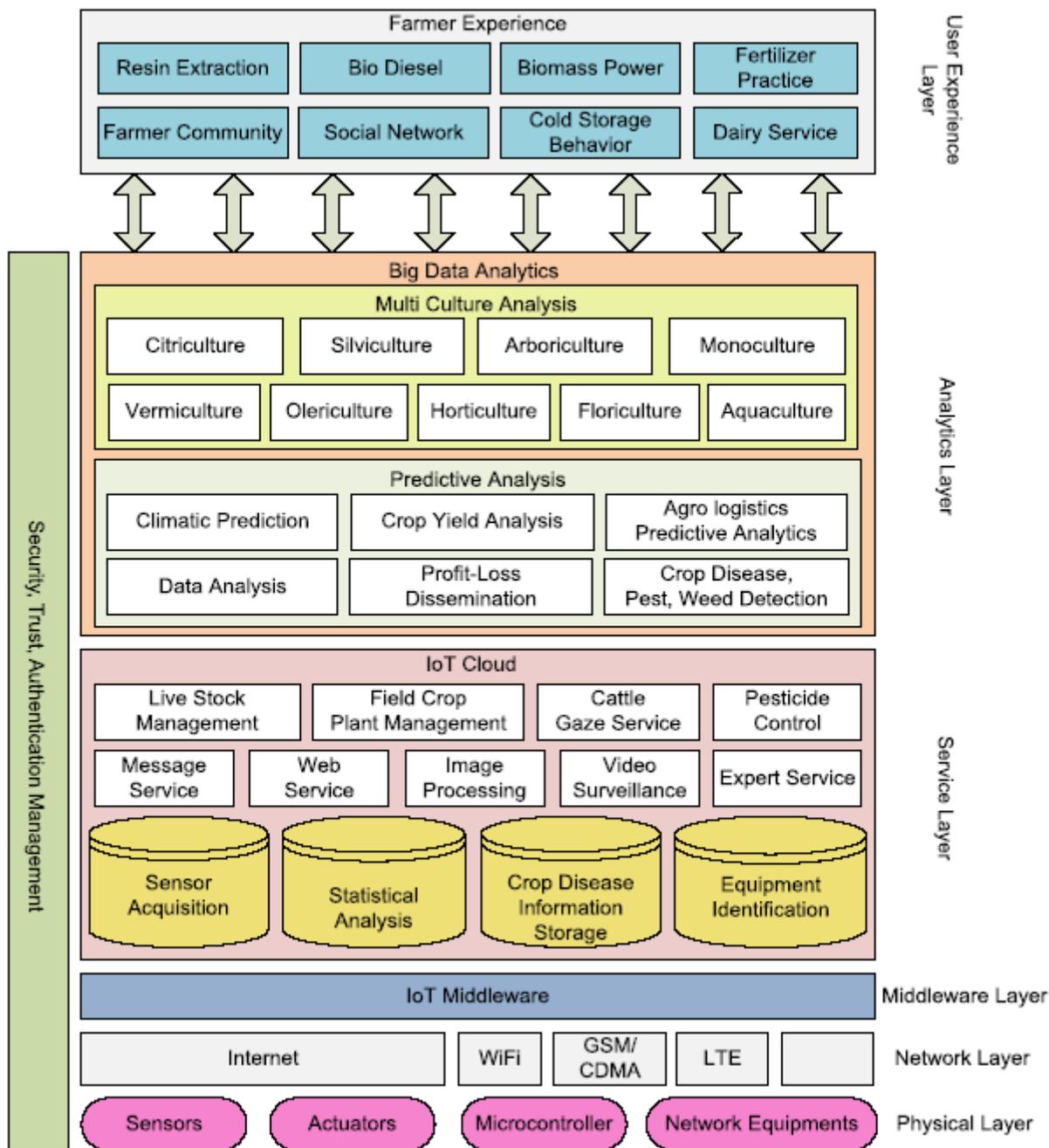


Figura 17- Ferramenta agrícola baseada em IoT

Fonte: Partha P. Ray. Internet of things for smart agriculture; Technologies, practices and future direction. Journal of ambiente Intelligence and Smart Environments 9 (2017) 395-420. (NK006-20170724003.pdf)

Como se pode constatar na figura 17 esta ferramenta apresenta seis níveis que incluem o hardware (Physical Layer), a internet e as tecnologias de informação (Network Layer), as IoT (Middleware), os serviços (aplicações) em “cloud” (Service Layer), a análise dos “big data” (Analytics Layer) e a experiência dos agricultores (User Experience Layer).

O Physical Layer compreende os sensores, atuadores, microcontroladores e equipamentos de rede como, os gateways, routers e os vários tipos de ligações.

O Network Layer compreende a internet e as tecnologias de comunicação tais como o Wi-Fi, GSM, ZigBee, etc.; os protocolos HTTP, WWW e SMTP funcionam de suporte à comunicação.

O Middleware Layer inclui a gestão e interoperabilidade dos dispositivos, a utilização das plataformas e a segurança do sistema.

O Service Layer inclui as aplicações e o armazenamento da informação em “cloud”; é neste nível que se encontra o “Software-as-a-Service” para resolução dos problemas agrícolas. A aquisição de dados, identificação dos equipamentos, informação de diferentes origens como, por exemplo, sobre as doenças das culturas e as aplicações para análise dos dados, são a base para o funcionamento dos sensores, atuadores e identificação da informação (exemplo das doenças). A informação inclui imagens e vídeos que são analisados a este nível.

O Analytics Layer é a fase em que os “big data” são processados para suporte da análise preditiva e multicultural. A previsão (predição) permite, por exemplo, estimar a probabilidade de se obter uma dada produção no ciclo seguinte da cultura, conhecer as condições do meio, as doenças, etc., que possivelmente ocorrerão no ano seguinte. A análise multicultural permite formular alternativas, melhorar a eficiência, etc., do sistema de produção que permitam obter melhores resultados.

O User Experience Layer é a fase do processo onde é incluída a informação resultante da experiência do agricultor; nesta fase os agricultores comunicam entre si para divulgarem informação relevante para as atividades agrícolas.

6.1- Aplicação da IoT nos equipamentos agrícolas

A utilização de equipamentos agrícolas é uma realidade incontornável na realização da maioria das operações culturais apresentando níveis de performance cada vez mais elevados. Assim, e como forma de se obterem equipamentos mais evoluídos a integração das IoT pelos diferentes fabricantes tem vindo a acentuar-se para fazer face a novas exigências, nomeadamente no que se refere ao seu desempenho e monitorização.

6.1.1- Aplicação das IoT aos tratores agrícolas

Os tratores agrícolas mais recentes estão cada vez mais automatizados, nomeadamente em termos de condução, monitorização, acesso à informação disponível na “cloud” e na capacidade de computação; a automatização total ainda não é uma realidade mas, num futuro próximo, este objetivo poderá ser atingido.

No que se refere à condução automática um dos objetivos é de impedir que o trator regresse à mesma área ou trajeto, onde uma dada operação já tenha sido realizada evitando-se a sobreposição; este objetivo é especialmente importante nas operações de sementeira e aplicação de pesticidas, onde os sistemas de apoio à condução e a condução automática têm um papel muito relevante. A possibilidade de fazer as voltas nas cabeceiras sem intervenção do operador e de uma forma mais precisa e rápida é, geralmente, um objetivo da maioria dos fabricantes de tratores.

A utilização de dispositivos de monitorização, que é já uma realidade nos tratores mais evoluídos, permite conhecer as condições do seu funcionamento, prevendo qualquer avaria que pudesse acontecer, evitando-se interrupções na execução das operações com todos os problemas técnicos e económicos que daí resultam; alguns destes programas permitem igualmente ligar os operadores aos centros de assistência técnica diminuindo-se os tempos em que os equipamentos estão inoperacionais.

A presença de câmaras de vídeo na cabina do condutor, juntamente com sensores LIDAR, que identifiquem e comuniquem a presença de eventuais objetos que possam estar nos trajetos, permitem evitar possíveis colisões.

Assim, e em resumo, pode-se afirmar que a aplicação das tecnologias IoT permitirá aos operadores de máquinas disporem de informação em tempo real sobre o trabalho que estão a realizar.

6.1.2- Aplicação da IoT a robots agrícolas

A aplicação de robots em agricultura, nomeadamente na colheita, tem sido um dos aspetos que mais tem preocupado os investigadores, pois esta operação têm custos bastante elevados. A execução desta operação em várias fases torna-a particularmente exigente em termos técnicos e económicos, pelo que a sua automatização é uma enorme mais-valia; a crescente falta de mão-de-obra para a colheita de determinadas culturas pode pôr mesmo em causa a sua produção.

Considerando a colheita de frutos a investigação tem-se efetuado, principalmente, na identificação da altura certa para a colheita, na forma, tamanho e cor do fruto e sua localização o que implica que seja necessário recorrer a diferentes tecnologias de computação visual, processamento de imagens e auto aprendizagem (“e-learnig”), que permita colher os frutos apenas quando se encontram nas condições “ideais”. A localização dos frutos espalhados pela copa das fruteiras, muitas vezes ocultados pelas folhas, torna esta tarefa particularmente difícil. Sendo muito diferentes as formas e volumes das copas o desenvolvimento de robots personalizados para cada um dos tipos de fruteiras será, possivelmente, a solução a adotar.

Para além das fruteiras a cultura onde a robotização da colheita mais se tem estudado é nos morangos conduzidos na sua forma tradicional, pois esta operação é uma tarefa penosa, escalonada e cara e como é feita, geralmente, em estufas, os robots tem mais facilidade em se movimentarem; a utilização de “rails” entre as linhas de plantação é uma solução interessante pois facilita a deslocação dos robots que, através de braços com colhedores nas suas extremidades, apanham os morangos colocando-os em caixas.

6.2- Aplicação da IoT em atividades agrícolas

A aplicação das IoT estende-se à maioria das atividades agrícolas, nomeadamente no que se refere à produção, redução de desperdícios e diminuição do impacto no meio ambiente; a agricultura inteligente, que utiliza a IoT, engloba praticamente todas as atividades agrícolas, incluindo a robótica, podendo-se imaginar, num futuro não muito longínquo, que o agricultor terá um papel residual nas explorações; ver **Anexo 6-** Hierarquia das possíveis aplicações, serviços e sensores na agricultura inteligente.

A utilização de dispositivos que registam os dados medidos por captores localizados próximo ou mesmo nos “objetos” e que comunicam entre si e trocam dados, possíveis de serem monitorizados e controlados remotamente, permite que o agricultor se liberte de inúmeras tarefas focando-se, principalmente, na gestão do sistema de produção.

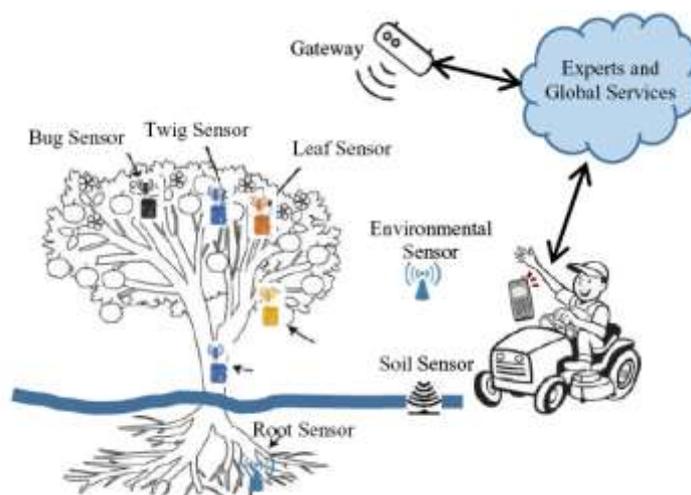


Figura 18- A utilização da IoT numa rede local de uma exploração (Farm Area Network - FAN)

Fonte: Internet-of-Things (IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

Entre os principais benefícios da IoT na agricultura destacam-se:

- permitir recolher e gerir facilmente dados provenientes de sensores e integrá-los em serviços instalados em servers (nuvens). Os dados e informação podem ser acedidos de qualquer lugar e utilizados na monitorização e para partilha com outros “stakeholders”;
- apoiar a agricultura tornando-a “mais inteligente” o que permite aumentar a produtividade;
- baixar os custos de produção tornando as atividades rentáveis;
- aumentar a eficiência da utilização de vários fatores nomeadamente os relacionados com o solo, água, fertilizantes, pesticidas, etc., tornando a atividade agrícola mais sustentável e com menor impacto ambiental.

A utilização das IoT nos equipamentos agrícolas permite conhecer em pormenor as condições de funcionamento e seu desempenho, pois os sensores embarcados medem uma gama muito variada de dados que podem ser transmitidos por telemetria para uma central onde são controlados por um operador sabendo-se, assim, quando deve ser efetuado determinado tipo de manutenção, a autonomia de funcionamento, o tempo dedicado a uma dada operação, etc.; os dispositivos incorporados (embarcados - “embedded”) melhoram a interatividade entre as pessoas e os objetos.

A mobilidade autónoma dos tratores é, já hoje, uma realidade em algumas situações podendo, com novos desenvolvimentos tecnológicos, nomeadamente de sensores que permitam identificar os objetos envolventes, ser extensível a toda a exploração. A utilização de sistemas de georreferenciação com precisão ao centímetro é um fator relevante para esta autonomia.

6.2.1- Aplicação da IoT na rega

Os sistemas de irrigação atuais devem permitir uma gestão da água que melhore a sua utilização na exploração, pois ela é, cada vez mais, um bem escasso que é necessário gerir de forma racional. Cerca de 97 % da água existente na terra é salgada, ou seja, só 3 % é salobra e desta, cerca de 2/3, está sob a forma de gelo. Apenas 0.5 % da água se encontra à superfície da terra, da qual ± 70 % é aplicada na agricultura, sendo este valor superior nos países subdesenvolvidos.

A melhoria da gestão da água (“smart irrigation”) passa, fundamentalmente, por quatro fatores, nomeadamente a previsão, em tempo real, dos dados do tempo, o controlo remoto do sistema de rega mediante a utilização de redes Wi-Fi, comunicações, via internet, para sincronização dos diferentes sensores, exemplo dos sensores de humidade do solo e a gestão de custos que permita a sua redução, sem pôr em causa o sistema. O impacto das alterações climáticas tem vindo a tornar muitas regiões do mundo, nomeadamente as envolventes do mar Mediterrâneo, em que o sul de Portugal está incluído, deficientes em recursos hídricos o que condiciona a sua utilização para a agricultura.

A utilização de taxas de irrigação variáveis (VRI- Variable Rate Irrigation) permite maximizar a eficiência da utilização da água de rega melhorando a produção (qualidade) e rendimento das culturas; a determinação da VRI baseia-se em dados que traduzem as condições da topografia, características do solo e das necessidades das plantas, de acordo com o seu desenvolvimento vegetativo e condições do meio, permitindo que o volume de água a utilizar seja apenas o indicado para satisfazer as necessidades da cultura. Estima-se que em viticultura a VRI permita o mesmo rendimento com cerca de 30 - 50 % do volume de água normalmente usado dependendo o seu valor, fundamentalmente do tipo de solo.

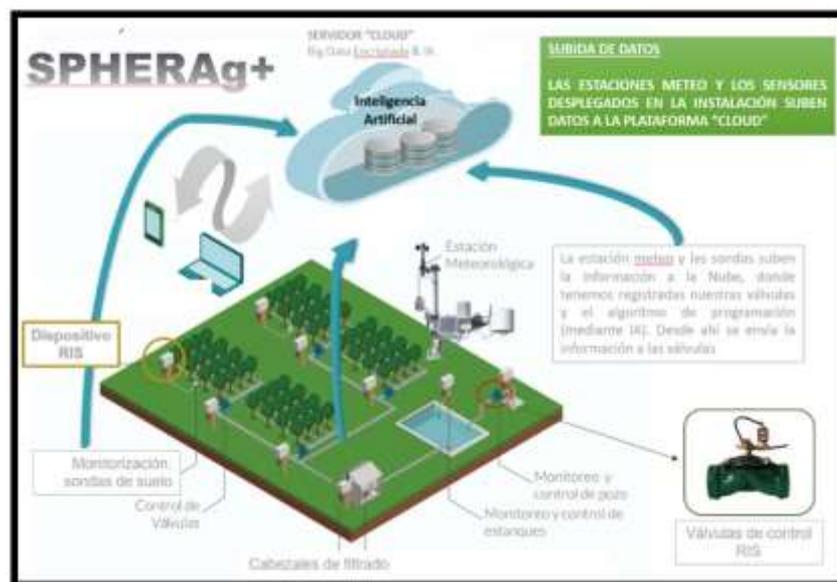


Figura 19- Sistema de rega automático

Fonte: RIS Iberia - SPHERAG

SPHERAG é um dispositivo IoT de gestão que liga em ambos os sentidos as válvulas de controlo da rega com uma plataforma de inteligência artificial (embedded intelligence) posicionada num servidor externo ("cloud"). A possibilidade da transmissão da informação nos dois sentidos (válvulas - servidor - válvulas) permite a incorporação de informação de outras fontes, como de imagens de satélites (NDVI) e de sensores localizados no campo, que determinam parâmetros relevantes das culturas, que serão utilizados para a definição de algoritmos que calculam as necessidades de rega e enviam ordens para as válvulas (atuadores) por forma a regular a sua abertura para se obter o débito necessário. A informação armazenada no servidor pode ser acedida pelos utilizadores para, por exemplo, modificar os parâmetros do sistema de rega.

6.2.2- Aplicação da IoT no controlo das pragas e doenças

As perdas de produção agrícola resultantes dos ataques de pragas e doenças é estimado em 20 - 40 % da produção total pelo que a aplicação controlada de pesticidas é fundamental para se melhorar a qualidade das produções e reduzir os seus custos; uma parte significativa dos pesticidas são maléficos para a saúde humana e animal, pelo que devem ser tomadas todas as medidas que minimizem o seu impacto, quer nos seres vivos, quer no meio ambiente.

A aplicação da IoT para conhecimento do meio tem sido crucial pois permite, entre outros, conhecer as condições num dado local e momento e, caso estas propiciem o ataque de doenças e pragas, implementar as medidas necessários para o seu controlo. Os sensores, colocados juntos das plantas, enviam para o agricultor os dados relativos à temperatura, humidade, vento e outros, prevendo-se, assim, com grande rigor, a possibilidade do aparecimento das doenças e pragas; este tipo de dados são igualmente importantes para se determinarem os períodos mais favoráveis à aplicação dos pesticidas, maximizando-se o seu efeito.



Figura 20- Armadilha para monitorização de pragas no campo

Fonte: Wireless pest monitoring (Spensa Technologies)

Para além das armadilhas a utilização de imagens obtidas por deteção remota tem vindo a impor-se pois possibilitam cobrir grandes áreas e recolher mais informação relevante, tornando todo o processo mais eficiente e com custos mais baixos.

O controlo de pragas e doenças, em tempo real, pode ser otimizado pelo conhecimento do nível de ataque, sua distribuição e oportunidade de realização; toda a informação que permita ao produtor identificar, avaliar e tratar, aplicando a quantidade certa, no local apropriado e na altura ideal, são determinantes para o sucesso da cultura.

No que se refere à aplicação dos produtos para controlo das pragas e doenças os equipamentos de taxa de aplicação variável são já “comuns” prevendo-se, num futuro próximo, a utilização de robots que tenham incorporado sensores multiespectrais que permitam identificar os locais onde se deve efetuar os tratamentos.

6.2.3- A aplicação da IoT no controlo dos fertilizantes

Relativamente à fertilização as plantas necessitam, fundamentalmente, dos **três** macronutrientes, sendo o **azoto** utilizado, principalmente, para o crescimento das folhas, o **fósforo** para as raízes, flores e desenvolvimento dos frutos e o **potássio** para o crescimento do sistema vascular e movimento da água; a falta de nutrientes condicionam o desenvolvimento saudável das plantas e o seu excesso, para além do aumento do custo, é prejudicial ao meio ambiente, nomeadamente pela poluição dos recursos hídricos e deterioração das características do solo. A complexidade do solo no que se refere às suas características físicas e químicas torna muito difícil a determinação no campo (“in loco”) dos vários componentes, especialmente o azoto.

Na agricultura inteligente as doses de nutrientes necessárias são determinadas e aplicadas com grande precisão minimizando-se o impacto no meio ambiente e maximizando a produção.

A utilização da IoT permite determinar, de uma forma célere e rigorosa, a distribuição espacial dos vários nutrientes, para que as quantidades a aplicar estejam em conformidade com essa distribuição; é especialmente importante a utilização dos índices de vegetação obtidos de imagens de satélites, exemplo do NDVI, para determinar e quantificar a variabilidade das plantas intra e entre parcelas e daí inferir o nível de nutrientes no solo, para se utilizarem os equipamentos de aplicação variável (Variable Rate Technology- VRT) para se proceder às aplicações nas quantidades, locais e alturas mais indicados. A integração da IoT na fertirrigação melhora significativamente a disponibilização dos nutrientes onde eles são mais necessários, diminuindo as suas perdas.

6.2.4- A aplicação da IoT na colheita

A aplicação de monitores de produção nas ceifeiras debulhadoras permite medir a produção e os parâmetros qualitativos, como a humidade do grão.

Os monitores de produção são um dispositivo fundamental na agricultura de precisão pois, juntamente com os sistemas de georreferenciação (GPS), permitem obter mapas de produção que traduzem a variabilidade espacial da cultura.

Existem aplicações móveis onde é possível observar os dados da produção e que permitem a sua transferência para uma plataforma web onde podem ser analisados e criados mapas para serem partilhados por técnicos para ajuda à tomada de decisões.

A utilização da IoT na definição da melhor data de colheita tem permitido fazê-la na altura certa valorizando-se assim o produto.

6.2.5- A aplicação da IoT na gestão do parque de máquinas agrícola

O investimento em máquinas agrícolas numa exploração de média - grande dimensão traduz-se em encargos de manutenção e funcionamento elevados, pelo que a gestão racional dos mesmos é fundamental para, mantendo a sua performance técnica, fazer baixar os custos de utilização tornando a realização das operações culturais menos dispendiosas.

A utilização da IoT nos diferentes equipamentos agrícolas permite um maior controlo do seu estado de funcionamento, decisões relativas à sua substituição, intensidade de utilização, desempenho na execução das operações culturais, etc. Assim, considerando, por exemplo, a utilização num trator de pneus com sensores de medição da pressão, temperatura e desgaste, permite ajustar estes parâmetros para que, numa dada operação cultural, o trator tenha um melhor desempenho.



Figura 21- Sistema de controlo da pressão dos pneus

Fonte: Trelleborg wheel

A utilização de sistemas de apoio à condução integrados com os sistemas de gestão do motor, transmissões e sistemas de ligação às alfaías, permitem melhorar significativamente as condições de operabilidade tornando a tarefa do tratorista mais simples e a utilização do trator mais racional.

Na gestão do parque de máquinas a utilização da IoT pode ser aplicada no planeamento e gestão de stocks do parque, nomeadamente dos óleos, peças de substituição, ferramentas, etc.

6.2.6- A aplicação da IoT em estufas

A produção em estufas (agricultura protegida ou controlada) é considerada o método mais antigo de agricultura inteligente pois, já os romanos a utilizavam, tendo-se tornado muito popular no século XIX, nomeadamente na

França, Holanda e Itália, como meio de contornar as condições adversas do meio ambiente e obter as condições apropriadas para potenciar o desenvolvimento das culturas. A agricultura protegida utiliza técnicas artificiais para mudar as condições do meio, como a luz natural, temperatura, humidade, etc. criando-se condições mais favoráveis ao desenvolvimento das plantas e animais nas 24 horas do dia (**Anexo 7-** Estrutura da IoT em agricultura protegida). A inclusão de câmaras na plataforma IoT (IoT Stick) permite identificar em tempo real a presença de doenças e pragas para se realizar o tratamento mais eficaz das mesmas.

O sucesso das culturas em estufa depende muito das condições que se tem no seu interior (temperatura, humidade, luz, pressão, etc.), pelo que a utilização de sensores e atuadores que permitam a sua monitorização e controlo são fundamentais. A intervenção manual é uma operação que requer bastante tempo e disponibilidade por parte do agricultor pelo que a automatização tem enorme impacto na gestão da exploração; as medições manuais nem sempre são fáceis de fazer pelo que podem conduzir a perdas significativas de energia.

As estufas inteligentes, desenhadas baseando-se nas IoT, permitem a monitorização dos fatores do meio (temperatura, humidade, luz, etc.) e controlo automático dos atuadores dispensando a intervenção humana. Os dados medidos pelos sensores são “armazenados” num servidor (“cloud”) sendo tratados com programas próprios que geram a informação que é utilizada no controlo do meio para se obterem as condições desejadas; o controlo pode ser utilizado para iniciar a rega da cultura, abrir janelas para baixar a temperatura, etc..

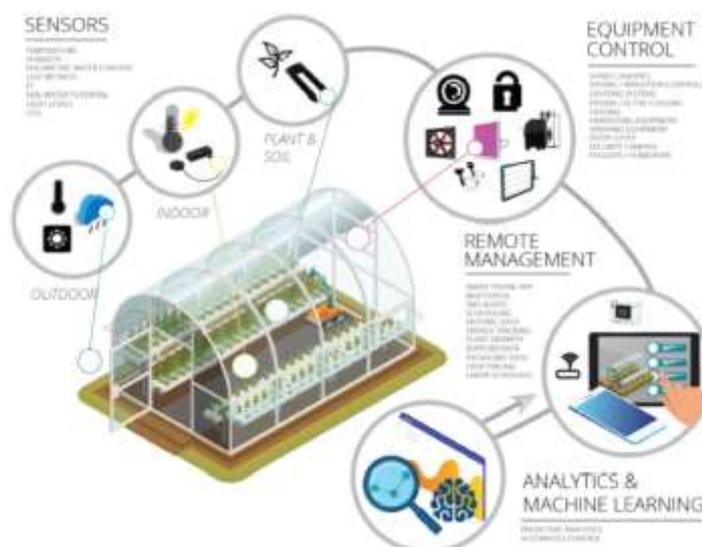


Figura 22- Esquema de uma estufa “inteligente”

Fonte: Smart greenhouses

Em resumo pode-se afirmar que a aplicação da IoT às estufas permite, quando as condições do meio (temperatura, humidade, teor de CO₂, etc.) variam, pondo em causa o desenvolvimento das plantas, enviar mensagens para o responsável para que este proceda às correções necessárias.

6.2.7- A aplicação da IoT nas instalações agropecuárias

A utilização de sensores nas instalações pecuárias apresenta inúmeras potencialidades, nomeadamente no que se refere ao controlo ambiental (temperatura, humidade, etc.) e ao controlo animal (seu comportamento, temperatura, etc.).

A utilização de sensores com sistemas de comunicação sem fios para monitorizar e comunicar a qualidade da água consumida pelos animais, nomeadamente dos seus parâmetros físicos e químicos, como a temperatura, pH, turbidez, condutividade, concentração de oxigénio, etc., permite que estes dados sejam armazenados, tratados e

visualizados usando serviços em “cloud”. Os dados resultantes do controlo do nível de água nos bebedouros pode ser enviado para um dispositivo de receção, exemplo de um telemóvel, indicando ao agricultor a necessidade de repor o seu nível.

6.2.8- A aplicação da IoT na monitorização e manejo dos animais

Os agricultores podem utilizar aplicações IoT com redes sem fios para recolher dados sobre a localização dos seus animais nos pastos, seu bem-estar e saúde, ingestão de alimentos, nível de produção, o histórico de vacinas, etc.; esta informação é recolhida, geralmente, por um chip que se coloca na orelha de um animal ou por um colar colocado no pescoço do animal.



Figura 23- Animal com um colar para sua monitorização e localização

Fonte: IoT in Agriculture: Five technology uses to smart farming and challenges to consider.

O acesso a sinais vitais dos animais fornecidos pelos sensores permitem identificar se os animais estão em gestação, determinar a data dos partos, identificar os animais doentes para que sejam separados da manada, evitando-se a propagação da doença, etc.; recebendo os agricultores alertas no caso de se darem modificações do estado ou do comportamento do animal.

6.3- Aplicação da IoT em outras atividades agrícolas

A necessidade de compensar parte do solo que se tem vindo a perder por erosão, a necessidade crescente de alimentos para fazer face ao crescimento da população, etc., tem levado à procura de soluções alternativas que permitam ultrapassar essas situações, tais como a agricultura vertical, as culturas hidropónicas e a fenotipagem. As áreas cultiváveis, devido às alterações climáticas, tem vindo a diminuir e a população tem-se deslocado para as cidades, reduzindo-se os meios necessários para assegurar (aumentar) a produção de alimentos.

6.3.1- A agricultura vertical

A agricultura vertical (Vertical Farming - VF), assim designada por se desenvolver na vertical em várias camadas e em ambiente controlado, principalmente em áreas urbanas, tem vindo a implantar-se para fazer face à crescente necessidade de alimentos. As culturas verticais são uma das formas de agricultura possível de se implementar para fazer face ao decréscimo da área cultivável e às condições adversas do meio, nomeadamente a falta de

água, o aquecimento global e a deslocação das pessoas para os centros urbanos; este tipo de agricultura adapta-se “bem” ao meio urbano e zonas periféricas.

Neste tipo de agricultura a monitorização dos fatores do meio, nomeadamente os níveis de CO₂, é muito importante, pelo que a utilização de sensores não dispersivos de infravermelhos (NDIR) tem-se revelado fundamental. A utilização de plataformas IoT permite substituir a mão-de-obra (não é necessário tocar com as mãos nas plantas em nenhum estágio de desenvolvimento das culturas), pois as operações são controladas por aplicações que gerem os contentores e sensores instalados.

6.3.2- Culturas hidropónicas

As culturas hidropónicas, culturas que não utilizam solo, as raízes estão imersas na água ou, eventualmente, um substrato como a perlite, gravilha, etc.; apresentam um sistema de rega para distribuição de nutrientes; estas culturas podem ser instaladas na vertical, em vários planos, obtendo-se um tipo particular de agricultura vertical. As culturas hidropónicas, devido às menores exigências em água e espaço, são uma solução interessante como complemento aos sistemas de agricultura das áreas rurais.

A combinação da agricultura vertical com as culturas hidropónicas permite reduções da necessidade de água e fertilizantes e a não utilização de pesticidas e herbicidas. A aplicação das plataformas IoT a estas culturas permite a monitorização e gravação de vários parâmetros para posterior análise de que resulta a informação necessária a uma gestão mais racional das culturas; a quantificação de nutrientes existentes na água pelos sensores montados em rede permite, utilizando aplicações específicas, definir e aplicar as quantidades necessárias.

6.3.3- Fenotipagem

A fenotipagem utiliza a engenharia genética para ligar o genoma das plantas às suas características fisiológicas e agronómicas; as ferramentas utilizadas ao nível molecular e genético tem tido um crescimento muito acentuado mas as análises quantitativas do comportamento das plantas, nomeadamente a produção, em quantidade e qualidade, a resistência às doenças, etc., tem criado algumas dificuldades à sua maior utilização. Como forma de ultrapassar estas limitações tem-se desenvolvido tecnologias, que incluem sensores e análise de imagens, para monitorizar os bioestimulantes e determinar quais as suas funções e modos de ação.

A utilização de algoritmos para análise de dados e de máquinas inteligentes (“machine-learning”) para modelação, permitem relacionar os genótipos e fenótipos das plantas com o meio em que se desenvolvem.

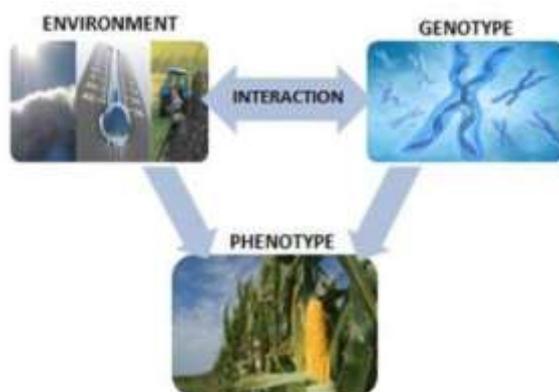


Figura 24- O processo da fenotipagem

Fonte: Internet-of-Things(IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

Para além das atividades referidas as plataformas baseadas na IoT têm sido fundamentais para monitorizar a cadeia alimentar (**Anexo 8-** Esquema da cadeia agroalimentar desde o produtor ao consumidor), permitindo o rastreamento dos produtos agrícolas desde o campo até ao consumidor.

7- Principais tecnologias e metodologias da IoT a utilizar na agricultura

O futuro da agricultura para fazer face à falta de alimentos e para manter a sua sustentabilidade terá de passar pela utilização de tecnologias e metodologias da IoT destacando-se, entre elas, a utilização de sensores sem fios, a comunicação de dados e informação, a utilização de drones e robots, a utilização de máquinas inteligentes que aprendam e analisem dados (machine learning and analytics), a utilização de energias renováveis e redução do seu consumo, utilização de redes (macro e micro) inteligentes, as culturas hidropónicas e as culturas verticais.

O “Machine Learning” (ML) é uma forma inteligente das máquinas simularem a atividade de aprendizagem das pessoas, adquirindo novos conhecimentos, melhorando a sua performance e implementarem a sua própria perfeição. O ML desenvolve algoritmos, que incluem diferentes tipos de análises, teorias e aplicações, e combina-se com outras tecnologias agrícolas para maximizar a produção e minimizar os custos; o ML determina ligações entre os dados fazendo previsões que permitem a tomadas de decisão nomeadamente em temas como o melhoramento das plantas, a identificação de pragas e doenças, o planeamento de sistemas de rega e os sistemas de agricultura.

7.1- Utilização de sensores sem fios na IoT

A crescente necessidade de dispor de informação permanente, atualizada e em tempo real, implica uma distribuição estratégica de sensores no campo que identifiquem e quantifiquem as necessidades das culturas durante o seu ciclo vegetativo, para que a execução das operações culturais tenha em consideração a variabilidade das diferentes situações, para se aumentar a produção e reduzir os desperdícios.

A utilização de sensores montados em drones ou em satélites, para monitorização do estado das culturas através de análise de imagens, são uma ferramenta fundamental para conhecer o seu estado de saúde e qualidade, as necessidades de rega, etc.

Os sensores devem igualmente identificar e disponibilizar a informação relativa ao funcionamento dos equipamentos, condições do meio ambiente, do exterior e interior das construções, etc., para evitar anomalias no funcionamento das máquinas. Esta informação vai permitir decidir da realização, ou não, das várias tarefas e para melhorar as condições de conforto das construções, exemplo, dos estábulos, etc.

Em resumo pode-se afirmar que os sensores e, de uma forma mais abrangente, as IoT, serão o suporte da futura agricultura pois esta pode ser aplicada a todas as atividades, desde a irrigação, transporte, rastreamento dos produtos, etc. A generalização da utilização das redes 5G nas comunicações por telemóvel permitirá aos agricultores terem toda a informação em tempo real, em qualquer altura e lugar.

7.2- Comunicação de dados e informação

A utilização da internet das coisas depende muito das comunicações pois estas são fundamentais para assegurar a conectividade entre sensores e entre estes e dispositivos exteriores, exemplo, dos servidores (“clouds”), onde os dados são armazenados, tratados e enviados para o utilizador; considerando as condições particulares da maioria das áreas rurais é fundamental que os operadores das redes móveis assegurem a sua acessibilidade nesses locais.

A comunicação de dados depende muito da energia necessária ao funcionamento dos sensores pelo que sensores de baixo consumo e uma distribuição eficiente destes são determinantes para o futuro da agricultura inteligente.

7.3- Utilização de drones e robots

A utilização de drones tem vindo a aumentar significativamente na monitorização das culturas, nomeadamente no que se refere à identificação e controlo de pragas e doenças, identificação de infestantes e seu controlo, determinação de zonas com deficit hídrico, etc. A vantagem dos drones na aquisição de imagens, quando comparada com a dos satélites é, fundamentalmente, a maior resolução daquelas e a possibilidade de se proceder à sua obtenção sempre que se queira, embora a presença de chuva e vento, com alguma intensidade, limita a sua utilização. Para além destes aspetos a pouca autonomia das baterias condiciona a sua utilização em grandes áreas.

No que se refere aos robots, a sua gradual introdução na agricultura tem permitido, em determinadas culturas, a realização de várias operações culturais como a aplicação de pesticidas, sementeira, controlo de infestantes, colheita, etc. Os robots com laser e câmaras fotográficas tem sido muito utilizados na identificação e controlo de infestantes reduzindo-se o volume de herbicida aplicado. A utilização destes dispositivos, por exemplo, na apanha de morangos permite substituir a mão-de-obra de uma das operações agrícolas mais penosas de se realizar.

7.4- Utilização de máquinas inteligentes

As máquinas inteligentes ("Machine Learnig") permitem, utilizando bases de dados, extrair ("mine") informação para definir formas de atuação a implementar; estas ferramentas tem sido muito utilizadas para identificar genes responsáveis por aumentos da produção (melhoramento das sementes), para adaptação de culturas a determinadas condições do meio, nomeadamente a menores exigências hídricas, etc..

O uso destas máquinas em pesquisas de mercado tem permitido identificar quais os produtos mais necessários, se estão ou não disponíveis, etc., orientando os produtores sobre as atividades a implementar.

7.5- Consumo de energia, energias renováveis e a utilização de redes inteligentes

O baixo consumo de energia dos dispositivos utilizados na IoT é fundamental pois, sendo o seu número tão elevado, o consumo de todos dificilmente poderá ser assegurado, pelo menos durante um período de tempo considerado razoável.

A alimentação em energia de um sistema de monitorização contínua de um dado fator, do sistema GPS para sua georreferenciação e da transmissão dos dados, tem levado os agricultores, especialmente em áreas remotas, a instalar sistemas de energia renováveis como forma de contornar os elevados custos resultantes da utilização das soluções tradicionais; a energia não utilizada poderá ser vendida a distribuidores, armazenada, utilizada para aquecimento, etc. tornando assim o investimento mais interessante.

8- Conclusões

A agricultura é muito mais que uma indústria de produção de alimentos pois, pelos laços que estabelece entre os humanos, é a base de uma sociedade mais justa, saudável e perfeita.

A utilização da tecnologia, desenvolvida inicialmente para o setor secundário e terciário, acaba por migrar para o

setor primário (agricultura) permitindo o seu desenvolvimento, que se traduz no aumento da produção de uma forma sustentável.

A integração da IoT baseada em sensores e nas tecnologias de comunicação é, sem dúvida, uma ferramenta fundamental para ser utilizada em agricultura pois o seu impacto em termos de produção, defesa do meio ambiente, diminuição da penosidade de muitas tarefas manuais, etc., é efetivo. Pode-se afirmar que as plataformas IoT são a base de uma nova revolução verde pois torna a agricultura mais produtiva, com menor necessidade de recursos (mão-de-obra e outros) e com menor impacto ambiental.

Assim, e em resumo, as tecnologias apresentadas, que formam as plataformas IoT, serão um fator determinante para melhoria do desempenho das atividades ligadas à agricultura, pois permitem incrementar a produção de alimentos para fazer face à crescente procura dos mesmos, torna a profissão de agricultor mais aliciante, despertando maior interesse pelas pessoas mais jovens, conduz a um maior intercâmbio com outros setores de atividade, melhorando a convivência social, reduz drasticamente a utilização de combustíveis fósseis, tornando o meio mais saudável, ou seja, permite que todos tenham uma vida melhor.

Bibliografia

- ADFweb.com. O que é a Internet das Coisas (Internet of Things) ?.
- GSMA. Understanding the Internet of Things (IoT)
- Guest Writer . IoT Applications in Agriculture . 2018
- Internet Society. The internet of things: na overview. 2015.
- Jaswinder Sing. 2016. Internet of Things (IoT)
- Lopez Research. An introduction to the Internet of Things (IoT). 2013.
- Marco Zennaro. Introduction to the internet of things.
- Maria Aleksandrova. IoT in agriculture: five technology uses for smart farming and challenges to consider. 2018.
- Mazlan Abbas. Internet of Things (IoT) - we are at the tip of an iceberg. 2014
- MIT D-Lab. Comprehensive Initiative on Technology Evaluation
- Muhammad Ayaz. Internet-of-Things(IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk. 2019
- Partha P. Ray. Internet of things for smart agriculture; Technologies, practices and future direction. Journal of ambiente Intelligence and Smart Environments 9 (2017) 395-420
- Raul Morais. Mysense: soluções de IoT de integração de dados para aplicações de Agricultura de Precisão. Agrobótica. 2019.
- Sweksha Goyal. 2019. Smart agriculture using IoT. International Journal of Computer Science and Mobile Computing. Vol. 8. Issue 5, May 2019, pg 143-148.
- Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things
- Xiaojie Shi. State-of-the-Art Internet of Things in ProtectedAgriculture. Sensors 2019, 18,1833.

Glossário

Análise descritiva (descriptive analytics) – tipo de análise que permite obter informação de atividades passadas e sua performance. Esta análise permite responder à pergunta “O que aconteceu ?”

Análise preditiva (predictive analysis) – conjunto de ferramentas computacionais que permitem responder a questões do género o que pode estar ou pode acontecer em função dos dados históricos ?. Este tipo de análise utiliza o elevado volume e variedade de dados para construir modelos que permitem correlacionar diferentes tipos de variáveis.

Análise prescritiva (prescriptive analysis) - conjunto de ferramentas computacionais que tem como objetivo responder a questões do tipo “o que se pode fazer para atingir determinado objetivo ?” utilizando dados que relacionam o que aconteceu com o que podia acontecer. ?. Os algoritmos nesta análise incluem novos dados e melhora a eficácia da prescrição para otimização da decisão.

Analítico (analytics)– análise sistemática de diferentes dados para retirar a informação necessária para a tomada de decisões.

Área de rede alargada (wide area network - WAN) – rede que abarca grandes áreas, superiores a edifícios ou cidades. É uma rede que liga várias redes locais (LAN) através de routers, que é o exemplo da internet.

Área de rede local (Local área network - LAN) – é uma rede com uma extensão geográfica que permita abarcar uma casa, escritório, etc. Nesta rede os dispositivos podem estar ligados por fios (wire) ou sem fios (wireless) tecnologias LAN, incluindo Ethernet ou fibra ótica. O Wi-Fi é um exemplo de tecnologia sem fios.

Área pessoal de rede (personal area network - PAN) – área de rede limitada a um pequeno espaço como, por exemplo, um quarto. Como exemplo, tem-se o Bluetooth e o Universal Serial Bus (USB).

Atuador (actuator) - dispositivo que complementa o sensor no sistema de deteção (sensoriamento). Converte um sinal elétrico em ação (movimento) como, por exemplo, um motor elétrico que converte a energia elétrica em energia mecânica.

Bases de dados relacionais (relational databases) – bases de dados em que estas são organizados estabelecendo relações baseadas num único identificador.

Big data (big data)– termo utilizado para descrever um grande volume de dados que não podem ser eficientemente tratados por sistemas tradicionais.

Big Data Analytics é o processo que analisa conjunto de dados (data sets) que contêm diferentes tipos de dados (Big Data), para determinar tendências, correlações, preferências e outras informações importantes.

Bluetooth é uma tecnologia de rede sem fios caracterizada por necessitar baixa potência, utilizada para distâncias curtas e comunicação bidirecional entre dispositivos, utilizando ondas radio de alta frequência (UHF).

Computação em nuvem (Cloud computing) – infraestrutura ou recursos partilhados (servers, redes, software e serviços) que permite aos utilizadores a gestão e processamento de dados a baixo custo

Dados estruturados (structured data) – dados armazenados num formato definido como, por exemplo, em linhas e colunas nas folhas de cálculo.

Dados não estruturados (unstructured data) – dados sem nenhum tipo de formato como, por exemplo as imagens, vídeos, páginas web, documentos de texto, etc..

Ethernet é o termo utilizado para as redes locais (LANs) em que as ligações são efetuadas através de fios.

Evento complexo de processamento (complex event processing – CEP) – ferramenta de análise que permite o processamento e análise de dados em tempo real, ou quase em tempo real, para suporte à tomada de decisões e ação. Os CEP são importantes nos IoT para reconhecimento do elevado número de dados a taxas de latência baixas.

Ferramentas de extração, transformação e carregamento (Extraction, Transformation, Loading tools - ETL) – conjunto de ferramentas para agregar, processar e armazenar dados em formato que possa ser utilizado pelas aplicações de análise. A extração refere-se à aquisição de dados de diferentes fontes e formatos e sua validação, para que apenas os dados que interessam sejam incluídos. A transformação refere-se à divisão, junção, ordenação e transformação de dados para o formato desejado.

GSMA, Understanding the Internet of Things (IoT))

Hadoop – ferramenta aberta (não proprietária) útil para processamento de um grande volume de dados e que é baseada na linguagem Java.

Inteligência artificial (artificial intelligence)– sistemas de computação capazes de desenvolver tarefas que normalmente requerem inteligência humana.

Interface da aplicação dos programas (Application Programming Interface - API) é um sistema de ferramentas e recursos de um sistema operativo. As API permitem uma fácil integração de diferentes programas

Interface de um programa de aplicação (Application program interface - API) – conjunto formado por comandos de software, funções e protocolos que um programador pode utilizar para desenvolver software para correr num sistema operativo ou na rede.

Interface Máquina - Humano (machine to human interface - M2H) – tecnologias que permitem a interação entre máquinas e o ser humano como, por exemplo, o vestuário, os dispositivos de automatização nas casas e os veículos autónomos. As máquinas, com base em dados recolhidos e cálculos com algoritmos, informam o indivíduo que pode ou não aceitar a ação recomendada.

Interface Máquina - Máquina (machine to machine interface – M2M) – tecnologias que permite máquinas comunicarem com outras máquinas e gerir a sua ação. Estas tecnologias são utilizadas, por vezes, com se sobrepondo à IoT mas esta inclui as interfaces M2H assim como os sistemas de suporte que facilitam a gestão da informação criando valor.

IPv4 - versão mais antiga de IP, que suporta 6 biliões de endereços sendo que 4 estão atribuídos. Este protocolo permite que grupos de sensores possam ser localizados geograficamente mas não individualmente o que impossibilita identificar “uma coisa” nas IoT.

IPv6 - versão mais recente do IP com maior escalabilidade e identificabilidade. Este IP suporta, aproximadamente, 3.4×10^{38} endereços.

IPv6 é um protocolo semelhante ao Zigbee que permite a ligação – transmissão entre objetos próximos.

Latência (latency) – é o tempo que demora a transferir dados entre dois pontos da rede. Uma latência baixa permite a comunicação de dados em tempo real.

Máquinas que aprendem (machine learning) – é a capacidade que os computadores têm para melhorar a sua performance, utilizando dados, sem necessidade de programas; estas máquinas aprendem baseando-se na descoberta automática de padrões entre aqueles dados e que vão ser utilizados para previsão (predição) de resultados.

Metadata - são os dados que descrevem outros dados como, por exemplo, num documento os metadata incluem o nome do autor, o tamanho do documento, etc.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) é um indicador que varia entre -1 e +1 e que permite saber se um dado local remoto tem ou não vegetação. Este indicador utiliza as respostas que as plantas á energia que recebem, e que se traduz numa forte absorção da energia do espectro do visível e forte reflexão da energia do espectro do infravermelho. O seu valor determina-se pela diferença da energia refletida no infravermelho (NIR) e a absorvida na faixa do vermelho ($NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$).

Pergunta com linguagem estruturada (structured query language - SQL) – programa de linguagem normalizada pela American National Standards Institute para pesquisa em bases de dados relacionais. Permite às pessoas comunicarem com bases de dados e fazer alterações e recuperando esta informação.

Porta (gateway) – é uma combinação de componentes de hardware e software que permitem ligar redes

Preço do trânsito na internet (Internet transite price) - é o preço atribuído por um fornecedor de serviço de internet (internet servisse provider - ISP) para transferir dados na rede. Como nenhum ISP isolado consegue cobrir a rede mundial, os ISP ligam-se entre si para transferirem dados entre eles através de gateways.

Processamento da linguagem natural (natural-language processing) – tipo de tecnologia cognitiva que permite aos computadores trabalharem com textos da mesma forma que os humanos, ou seja, extraindo informação ou criando texto funcional.

Processamento em grupo (Batch processing) – execução de uma série de programas de computador sem intervenção humana.

Processamento em memória (In-memory processing) – armazenamento de dados em memória, em vez de em discos rígidos, permitindo uma maior rapidez de processamento.

Processamento em tempo real (real-time processing) – processamento instantâneo dos dados ou instruções recebidas. Em função do tempo de latência o “tempo real” varia nas várias aplicações.

Processamento paralelo (parallel processing) – processamento concorrente de dados nos clusters dos computadores que permitem a agregação e armazenamento dos dados.

Protocolo de comunicação (communication protocol) – conjunto de regras que permitem os dispositivos comunicarem entre si; exemplo do Hypertext Transfer Protocol (http); são a espinha dorsal (pilares) dos sistemas IoT.

Protocolo de rede (Internet Protocol - IP) – protocolo de rede aberto que fornece um único endereço para cada um dos dispositivos ligados à internet. Existem dois tipos de IP, a versão IPv4 e a IPv6.

Protocolo de rede (Network protocol) – conjunto de regras que definem como um computador identifica outro numa rede. O IP é o protocolo de rede que define um único endereço para os dispositivos ligados à internet.

Reconhecimento de voz (speech recognition) – tecnologia cognitiva que traduz a voz humana.

Rede (network) – é a infraestrutura constituída pelos componentes de hardware e os protocolos de software que permitem aos dispositivos partilhar dados entre si; as redes podem ser com (Ethernet) ou sem fios (Wi-Fi).

Sensor (sensor) – dispositivo utilizado para “sentir” uma condição física ou evento, convertendo um sinal não elétrico num sinal elétrico que é enviado para um circuito eletrónico. Os sensores não funcionam por si só mas é um elemento de um conjunto de dispositivos que integram microprocessadores, modems, fontes de energia e outros dispositivos relacionados.

Sistemas embarcados (Embedded Systems) são como um sistema computacional constituído por hardware e software que realizam tarefas específicas; inclui os microprocessadores e microcontroladores, a memória RAM/ROM, componentes da rede, unidades de I/O e os dispositivos de armazenamento.

Taxa de dados (data rates) – velocidade a que são transmitidos os dados numa rede. Esta taxa, também designada por largura da banda (band width) é medida em número de bits transmitidos por segundo.

Tecnologias cognitivas (Cognitive technologies) – conjunto de tecnologias que desenvolvem tarefas que só os humanos podiam fazer; exemplos da visão artificial, processamento da linguagem e reconhecimento de voz.

Transdutor (transducer) – dispositivo que converte um dado tipo de energia (elétrica ou não) em outra (elétrica ou não) como, por exemplo, o autofalante (colunas) que converte um sinal elétrico num campo magnético e, de seguida, numa onda acústica.

Visão computacional (computer vision) – é um tipo de tecnologia cognitiva que permite aos computadores identificar objetos, cenas e atividades em imagens. Esta tecnologia utiliza sequências de operações processamento de imagens e outras técnicas para decompor as fases de análise de imagens em partes que podem ser tratadas de uma forma individual.

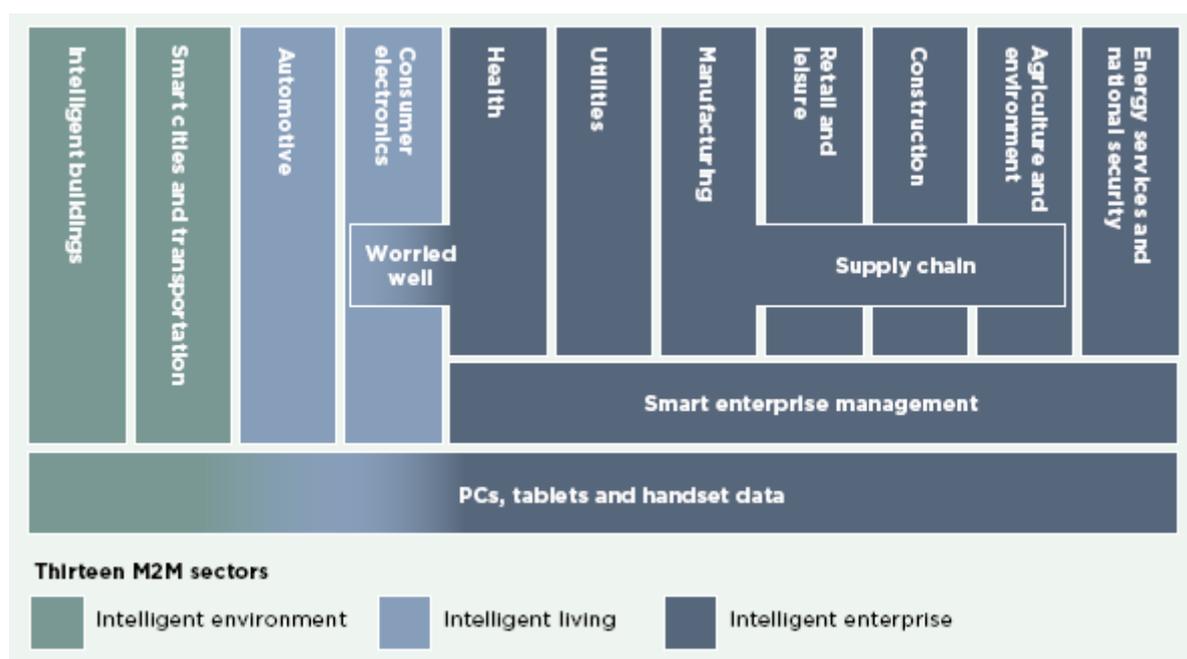
Wide Area Network (WAN) é uma rede para comunicação a grandes distâncias.

Wi-Fi é o termo utilizado para as ligações sem fios a pequena distância e para redes locais (LAN - Local area networks)

Wireless Sensor Network (WSN) é conjunto de vários sensores ou nós que estão integrados para monitorizar os vários tipos de dados.

Zigbee é o termo comum para designar ligações simples que consomem menos energia que as ligações Bluetooth e Wi-Fi e, por isso, muito utilizadas nas aplicações da IoT, pois tem igualmente um baixo custo de instalação, operação e manutenção. Os nós permanecem em modo “sleep” quando não estão a emitir ou receber informação o que permite uma grande autonomia às baterias.

Anexo 1



As IoT has diferentes atividades

Fonte: GSMA, Understanding the Internet of Things (IoT)

Anexo 2

Wireless Technology	Wireless Standard	Frequency Band	Network Type	Transmission Range	Data Rate & Power
Wi-Fi	IEEE802.11 a/c/b/d/g/n Bluetooth	2.4 GHz, 5–60 GHz	WLAN	20–100 m	1 Mb/s–6.75 Gb/s, 1 W
Bluetooth	(Formerly IEEE 802.15.1)	2.4 GHz	WPAN	10–300 m	1 Mb/s–48 Mb/s, 1 w
6LowPAN	IEEE 802.15.4	908.42 MHz/2.4 GHz	WPAN	20–100m	20 Kb/s–250 Kb/s, 1 mW
Sigfox	Sigfox	908.42 MHz	LPWAN	<50 km	10–1000 b/s, N/A
LoRaWAN	LoRaWAN	Various	LPWAN	<15 km	0.3–50 Kb/s, N/A
NB-IoT	3GPP	180 KHz	LPWAN	<15 km	0–200 Kb/s, N/A
Mobile cellular technology	2G-GSM, GPRS 3G-UMTS, CDMA2000 4G-LTE	865 MHz, 2.4 GHz	GERAN	Entire cellular area	2G: 50–100 kb/s 3G: 200 kb/s 4G: 0.1–1 Gb/s, 1 W
Zigbee	IEEE 802.15.4	2400–2483.5 MHz	Mesh	0–10 m	250 Kbps, 1 mW
NFC	ISO/IEC 13157	13.56 MHz	Point to Point	0.1m	424 Kbps, 1–2 mW

Principais tecnologias wireless e seus parâmetros básicos

Fonte: Xiaojie Shi. State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. Sensors 2019, 18,1833.

Anexo 3

Smartphone Sensor(s)	Purpose	Common Agriculture uses
Image Sensors (Camera)	Take pictures of any object, focuses lens	Disease detection, Chlorophyll status, Fruit ripeness , Leaf Area Index (LAI), Harvest Readiness, Soil erosion and other analysis
GPS	Provides location, measuring the latitude and longitude of device.	Location information is attached to generate alerts. Mostly used for machine driving and tracking, land management, crop mapping
Microphone	Detects usual/ unusual sound and convert to electrical signals	Machine maintenance, bug detection, to make audio queries.
Accelerometer	Measures acceleration forces that used to observe the tilting motion and orientation of object.	Precise movement or rotation of camera during use. Detect worker or machine activities
Gyroscope	Senses the angular velocity to track the object rotation or twist	Equipment movement, canopy structure measurement
Barometer	Measures air pressure as an altimeter. Mostly used in correcting altitude measurements by the GPS	Measures the elevation height in hilly agriculture.
Inertial Sensor	Uses accelerometer and gyro to determine the object altitude in relation to the inertial system	Precise distance of plant, leave or any other object is measured from camera.

Sensores utilizados nos telemóveis com aplicação agrícola

Fonte: internet-of-Things(IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

Anexo 4

Mobile Apps	Application	Features/Achievements
PocketLAI [224]	Irrigation	This app estimates leaf area index (LAI), a key factor to determine a plant's water requirements. It uses the mobile camera and accelerometer sensor to acquire images at 57.5° below the canopy, while the user keeps rotating the device along its main axis.
LandPKS [228]	Soil Assessment	Land management has long-term potential depending on climate, topography and relatively static soil properties (like soil texture, depth, and mineralogy). This app helps to improve farmers' understating of the land's potential, as well as climate change adaptation and mitigation activities.
PETEFA [229]	GIS	It provides information about the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of various crops at different stages of the lifecycle. Furthermore, it provides a geo-referenced soil analysis organized by parcels.
AMACA [230]	Machinery/Tools	Equipment costs are a major chunk of crop expenditures. This app is very helpful to estimate the cost of machinery and its implementation in various field operations. A customer-driven quality function deployment (QFD) approach is followed to link the user's expectations with the design characteristics of the app.
Ecofert [231]	Fertilizer Management	Ecofert helps to manage fertilizer to achieve its optimum use. It calculates the best combination of fertilizers based on the required nutrient solution and considers the needs of various crops. Furthermore, it takes account the cost of fertilizer based on current market prices.
eFarm [206]	GIS	eFarm is a crowdsourcing and human sensing tool that collects geotagged agricultural land information at the land parcel level. It is highly suitable for sensing, mapping, and modeling of agriculture land system studies.
AgriMaps [232]	Land Management	This app follows an evidence-based, site-specific approach to make crop and land management recommendations. It provides a platform for spatial data visualization with a greater range of geo-spatial information compared to other, similar applications.
SnapCard [233]	Spraying Applications	The SnapCard app was developed for in-field analysis of spray collectors based on imaging analyses. It uses various mobile phone sensors and follows five imaging techniques to quantify droplet deposition and size.
SWApp [234]	Irrigation	The developer of this app targets dry land areas specifically, as irrigation issues are more common in these areas. The app provides a robust, reliable and economic solution for monitoring soil water moisture, and even takes into account the weather history.
Weedsmart [235]	Weed Management	This tool is capable of enhancing weed management for a specific paddock. Based on the answers given for nine questions about a paddock's farming system, the app assesses herbicide resistance and weed seed bank risk.
VillageTree [236]	Pest Management	VillageTree offers intelligent pest management solutions by gathering pest incidence reports from farmers. It uses a crowdsourcing approach and sends the images along the location information to alert other farmers that may be affected.
WISE [237]	Irrigation	WISE is a cloud-based irrigation scheduling tool that uses the soil water balance method and allows users to quickly view their soil moisture deficit and weather measurements, as well as enables users to input applied irrigation amounts.
SafReg [238]	Forestry Management	This app supports the timber production and its natural regeneration management in agroforestry systems. For this purpose, developers targeted 20 farms from Costa Rica, Nicaragua and Honduras. Overall, this app helps to save time and money on data processing.
EVAPO [239]	Irrigation	EVAPO was developed to estimate the potential evapotranspiration (PET) in real time using the climate grid data from NASA-POWER. This app can be used for any location in the world to improve irrigation efficiency via water conservation information.
AgroDecisor EFC [240]	Fungicide	Basically, this app presents a scoring system (SS) based on weather, disease pressure, and other factors those are useful to estimate the probability of expected net return on fungicide treatment. Overall, it helps farmers to reduce the number of fungicide applications by providing scoring levels for the proper application of fungicide.
BioLeaf [241]	Health Monitoring	This app helps monitor crop foliar status. It detects leaf damage, especially as a result of insects. Based on imaging methods, two techniques (Otsu segmentation and Bezier curves) are used to estimate the foliar loss in leaves with or without border damage.
eFertigUAL [242]	Fertigation	The app calculates the amount of fertilizer and water needed for the major crop types based on various crop growing systems and the variety of fertigation technologies. Farmers can achieve the precise application of water and other nutrients in greenhouse farming.
WheatCam [243]	Crop Insurance	Based on idea of Picture-Based Insurance (PBI) which helps to improve the quality and affordability of crop insurance. Smartphone camera is used to take picture pre and post damaged insured areas. Overall, it minimizes the asymmetric information and costs of claims verification compared to indemnity insurance methods.

Aplicações para smartphones com interesse agrícola

Fonte: internet-of-Things(IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

Anexo 5

Wireless Technology	Wireless Standard	Frequency Band	Network Type	Transmission Range	Data Rate & Power
Wi-Fi	IEEE 802.11 a/c/b/d/g/n Bluetooth	2.4 GHz, 5–60 GHz	WLAN	20–100 m	1 Mb/s–6.75 Gb/s, 1 W
Bluetooth	(Formerly IEEE 802.15.1)	2.4 GHz	WPAN	10–300 m	1 Mb/s–48 Mb/s, 1 W
6LoWPAN	IEEE 802.15.4	908.42 MHz/2.4 GHz	WPAN	20–100m	20 Kb/s–250 Kb/s, 1 mW
Sigfox	Sigfox	908.42 MHz	LPWAN	<50 km	10–1000 b/s, N/A
LoRaWAN	LoRaWAN	Various	LPWAN	<15 km	0.3–50 Kb/s, N/A
NB-IoT	3GPP	180 KHz	LPWAN	<15 km	0–200 Kb/s, N/A
Mobile cellular technology	2G-GSM, GPRS 3G-UMTS, CDMA2000 4G-LTE	865 MHz, 2.4 GHz	GERAN	Entire cellular area	2G: 50–100 kb/s 3G: 200 kb/s 4G: 0.1–1 Gb/s, 1 W
Zigbee	IEEE 802.15.4	2400–2483.5 MHz	Mesh	0–10 m	250 Kbps, 1 mW
NFC	ISO/IEC 13157	13.56 MHz	Point to Point	0.1m	424 Kbps, 1–2 mW

Tecnologias wireless mais comuns e seus parâmetros básicos

Fonte: Xiaojie Shi. State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. Sensors 2019, 18,1833.

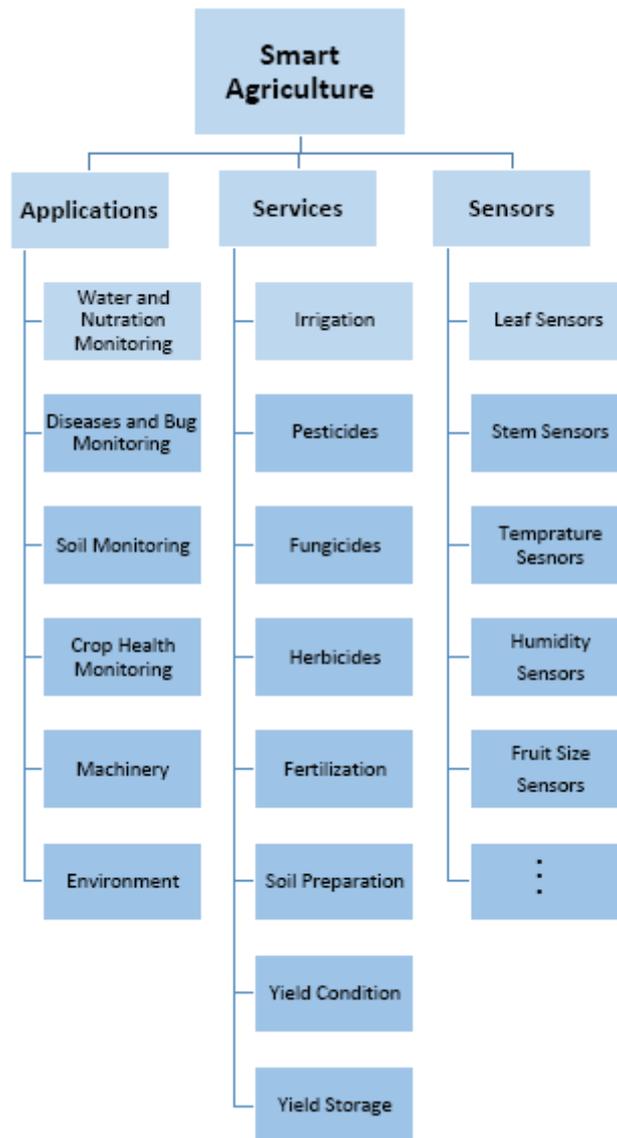
Anexo 6

Communication Technologies														
	NFC	RFID	Blue-tooth®	Blue-tooth® LE	ANT	Proprietary (Sub-GHz & 2.4 GHz)	Wi-Fi®	ZigBee®	Z-wave	KNX	Wireless HART	6LoWPAN	WiMAX	2.5–3.5 G
Network	PAN	PAN	PAN	PAN	PAN	LAN	LAN	LAN	LAN	LAN	LAN	LAN	MAN	WAN
Topology	P2P	P2P	Star	Star	P2P, Star, Tree, Mesh	Star, Mesh	Star	Mesh, Star, Tree	Mesh	Mesh, Star, Tree	Mesh, Star	Mesh, Star	Mesh	Mesh
Power	Very Low	Very Low	Low	Very Low	Very Low	Very Low to Low	Low-High	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	Very Low	High	High
Speed	400 Kbs	400 Kbs	700 kbs	1 Mbs	1 Mbs	250 kbs	11–100 Mbs	250 kbs	40 Kbs	1.2 Kbps	250 kbs	250 Kbs	11–100 Mbs	1.8–7.2 Mbs
Range	<10 cm	<3 m	<30 m	5–10 m	1–30 m	10–70 m	4–20 m	10–300 m	30 m	800 m	200 m	800 m (Sub-GHz)	50 km	Cellular network
Application	Pay, get access, share, initiate service, easy setup	Item tracking	Network for data exchange, headset	Health and fitness	Sports and fitness	Point to point connectivity	Internet, multimedia	Sensor networks, building and industrial automation	Residential lighting and automation	Building automation	Industrial sensing networks	Sensor networks, building and industrial automation	Metro area broadband internet connectivity	Cellular phones and telemetry
Cost Adder	Low	Low	Low	Low	Low	Medium	Medium	Medium	Low	Medium	Medium	Medium	High	High

Tecnologias de comunicação

Fonte: Mazlan Abbas. Internet of Things (IoT) - we are at the tip of a iceberg. 2014

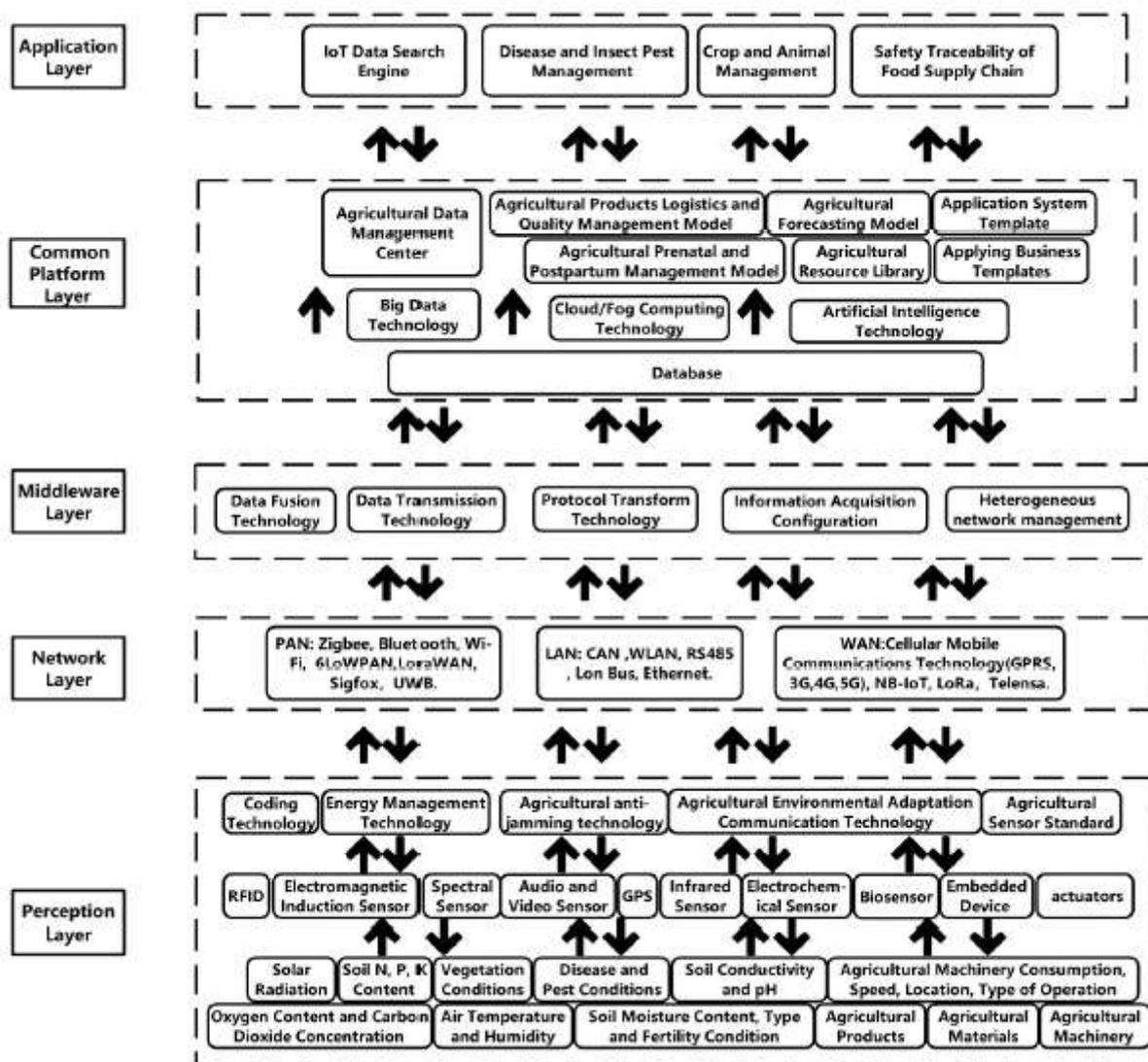
Anexo 6



Hierarquia das possíveis aplicações, serviços e sensores na agricultura inteligente

Fonte: Internet-of-Things(IoT) based Smart Agriculture: towards marking the fields talk

Anexo 7



Estrutura da IoT em agricultura protegida

Fonte: Xiaojie Shi. State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. Sensors 2019, 18,1833.



Esquema da cadeia agro-alimentar desde o produtor ao consumidor

Fonte: Xiaojie Shi. State-of-the-Art Internet of Things in Protected Agriculture. Sensors 2019, 18,1833.

Anexo 8

?