



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

ESTUDOS DE CARATERIZAÇÃO E LEVANTAMENTO DE NECESSIDADES DO SETOR AGROALIMENTAR

INTRODUÇÃO

O setor agroalimentar constitui um dos setores de eleição do projeto SIM4.0, o qual tem como objetivo principal a transferência de conhecimento sobre a implementação de tecnologias avançadas (e.g., monitorização inteligente baseada em rede de sensores; análise de dados em tempo real; inteligência artificial, etc.) e a demonstração do seu potencial na preparação das empresas para a economia 4.0.

A transferência de conhecimento foi realizada através de seminários e workshops realizados nas regiões Norte, Centro e Alentejo, contactos e visitas a empresas e por fim a preparação de uma ação de demonstração numa empresa do setor do azeite na região do Alentejo.

CONTEXTO E CARACTERIZAÇÃO ACTUAL DO SETOR

O setor agroalimentar em Portugal caracteriza-se por possuir uma grande dispersão e pulverização sub-sectorial e empresarial, sendo ao mesmo tempo, no seu todo, um espaço que tem vindo a ganhar uma importância crescente na economia nacional e europeia (Mendonça, 2015). No enquadramento específico do sector agroalimentar, a modernização destas indústrias enfrenta vários desafios, segundo o estudo apresentado em (Livinec, 2020):

- 1- Mudanças nos hábitos alimentares dos consumidores: as novas gerações de consumidores são mais informadas e conscientes em termos ambientais e de saúde e bem-estar que as anteriores. Apresentam um novo nível de exigência mais elevado, procurando produtos mais saudáveis, de origem biológica e menos agressiva para o ambiente. Isto altera o paradigma de produção e comercialização de alimentos tradicional visto até aqui, obrigando os produtores a oferecer maior variedade de tipos de produtos.
- 2- O desafio da descarbonização e redução da pegada ambiental na produção de alimentos: de acordo com um estudo divulgado pela Universidade de Oxford (Poore & Nemeek, 2019), a indústria agroalimentar é responsável por $\frac{1}{4}$ das emissões mundiais de gases de efeito de estufa. O foco das atenções na redução destes gases, principalmente na redução do gás mais nocivo (CO₂), está na cadeia de produção dos alimentos.
- 3- A diversificação das cadeias de abastecimento: o mercado cada vez mais global implica também a necessidade de uma maior flexibilidade comercial por parte das empresas e produtores, para que estas possam participar em cada vez mais mercados diferenciados. Além disto, também a intervenção política e comercial diferente de país para país obriga a custos operacionais adicionais para responder às diferentes legislações, regras de importação e exportação, condições de saúde e segurança ou até mesmo bloqueios comerciais, resultantes de acções políticas internacionais. Quanto a incentivos comerciais, o mesmo estudo de (Livinec, 2020) reclama que em 2009 apenas 40% de um total de 6000 novas medidas no sector, tiveram efeitos positivos ou demonstraram um carácter facilitador na liberalização do comércio.
- 4- Captação e retenção de recursos humanos: a mão-de-obra no sector agroalimentar é tradicional e historicamente de baixo custo, independentemente da zona do mundo. Porém esta é uma noção totalmente errada e desatualizada uma vez que a realidade atual é



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

caracterizada pela escassez de mão-de-obra na cadeia de produção (cada vez menos jovens se interessam pelo trabalho na agricultura, segundo (Dorning, Ludlow, & Chandler, 2020). Além deste desafio, também a necessidade de modernização e atualização tecnológica do sector acarreta custos adicionais e elevados não apenas em infraestruturas novas mas também em mão-de-obra técnica altamente qualificada para operar e gerir todas as novas plataformas tecnológicas.

- 5- A inexistência de uma ligação proporcional entre custos de matérias-primas e valores no mercado: ou seja, existe uma grande dificuldade de ajustar os valores no mercado dos produtos que as empresas oferecem com a volatilidade dos custos nas matérias-primas. Estes custos provenientes de diversos requisitos essenciais como a energia, recursos naturais como a água entre outros, têm uma variância cada vez mais inesperada no tempo, por vezes por períodos longos (como se verificou nas crises financeiras mais recentes). Estas alterações dos preços a montante do ciclo de produção não se refletem diretamente no preço dos produtos, acarretando por isso despesas e/ou desperdícios para as empresas produtoras.

O setor agroalimentar à semelhança de outros setores tem assistido a uma evolução tecnológica crescente, designadamente ao nível dos sistemas de produção e gestão, numa aposta contínua nas TIC, na inovação e na diferenciação e qualidade dos produtos. Contudo, este setor como muitos outros apresenta uma grande variabilidade quanto aos níveis de desenvolvimento tecnológico, dependente entre outros fatores da dimensão da empresa. Embora este setor tenha vindo a registar um aumento significativo na sofisticação dos equipamentos e sistemas utilizados, existe ainda um grande potencial de inovação, essencialmente relacionado a introdução de tecnologias digitais (incluindo internet, as tecnologias e dispositivos móveis, análise de dados, inteligência artificial, IoT, cloud, ...) e consequente preparação do setor para a indústria 4.0. Esta representa uma oportunidade única para as empresas repensarem a sua estratégia de forma a conseguirem dar uma resposta adequada aos novos desafios. Por exemplo, um estudo recente da IDC (Braga, 2020) sobre o setor alimentar (março 2020) assinala que cerca de 40% das empresas estão reféns de sistemas de informação fragmentados e tecnologicamente obsoletos nos quais proliferam desenvolvimentos específicos, aplicações externas que não comunicam entre si e que como consequência produzem dados desatualizados, redundantes e de difícil interpretação.

A introdução de tecnologias digitais no setor constitui oportunidade e possibilidade de criação de um setor mais inteligente, mais produtivo e com maior capacidade de se adaptar às constantes mudanças, quer ambientais, sociais ou económicas. Soluções de monitorização inteligentes no setor agroalimentar constituem assim um dos grandes desafios para o futuro deste setor.

O setor agroalimentar é um dos setores industriais que mais recursos e trabalho consomem. Alguns dos mais importantes desafios tecnológicos que este setor enfrenta atualmente compreendem, entre outros, os seguintes:

- Manutenção preditiva de equipamentos;
- Utilização do recurso água nas quantidades adequadas ao uso previsto;
- Eliminação de desperdício de água;
- Estimativa das épocas adequadas para as culturas e para as colheitas;



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

- Avaliação/medição dos níveis de temperatura e humidade dos solos;
- Controlo de pestes.

Apenas como primeiro exemplo de caso de estudo, de acordo com (Ali, Satie, & Thai, 2021), um dos principais argumentos tecnológicos, proveniente de casos de sucesso noutros sectores (Schuh, Anderl, Dumitrescu, Krüger, & Hompel, 2020) e que motivam com grande interesse a implementação generalizada do paradigma da Indústria 4.0 no sector agroalimentar, é precisamente a utilização de sistemas de informação centralizada e inteligente, onde de entre os vários tipos de sistemas atualmente disponíveis se destacam os chamados sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) e MES (Manufacturing Execution System) (Gouveia, et al., 2020). A utilização de soluções de monitorização inteligente, de forma interconectada entre sistemas e com uma recolha e análise de dados em tempo real no setor agroalimentar, pode trazer grandes benefícios como o aumento da produtividade, a melhoria da qualidade dos produtos, o aumento da capacidade de previsão e o apoio a decisão. Algumas das necessidades elencadas por atores do setor agroalimentar são facilmente correspondidas com a utilização deste tipo de sistemas inteligentes e ferramentas digitais. Os seus eco-sistemas empresariais passam a dispor de maior e melhor informação que permitindo apoiar decisões a diferentes níveis (e.g., manutenção de equipamentos, gestão de recursos) e que potenciam o aumento de eficiência geral e a redução de desperdício ao longo de toda a cadeia de valor.

É assim seguro afirmar que o sector agroalimentar, tratando-se de um dos mais importantes sectores industriais da sociedade em geral, beneficia enormemente na aposta na inovação e melhoria das suas metodologias de produção e comercialização de produtos, não apenas porque como será de esperar grandes vantagens surgirão, quer para o lado do produtor assim como do consumidor, mas também porque o sector agroalimentar (Gouveia, et al., 2020) é sem dúvida um sector tipicamente lento a aceitar a mudança tecnológica, assente muitas vezes num tecido empresarial fracionado entre grandes empresas, com mais meios e maior interesse na modernização mas também muitas pequenas e médias empresas que ainda recorrem a metodologias de trabalho artesanais e antiquadas, com processos de fabrico obsoletos e sem qualquer foco na otimização do seu negócio.

INDÚSTRIA 4.0 E O SECTOR AGROALIMENTAR

Como viemos a perceber anteriormente, do ponto de vista tecnológico o paradigma da Indústria 4.0 oferece uma grande quantidade de ferramentas (Ali, Satie, & Thai, 2021), para corresponder aos mais diversos tipos de requisitos ou necessidades que existam. Estas ferramentas são de natureza diversificada, não estando restritas a meros utensílios físicos. Aliás, o termo I4.0 não pretende focar a modernização das empresas limitando-se apenas à componente tecnológica, mas também introduzir mecanismos que facultem às empresas uma maior agilidade e flexibilidade de adopção de novas tecnologias e de permeabilização de novas filosofias e métodos de produção e/ou comércio dos seus bens (Schuh, Anderl, Dumitrescu, Krüger, & Hompel, 2020). Teremos assim no espectro de tecnologias que podemos contemplar neste contexto, os seguintes pontos de interesse:

- as tecnologias de informação e novas metodologias de gestão da informação
- os bens e equipamentos, que auxiliam processos e recursos já existentes e a actuar na cadeia de produção ou ainda que actuam de formas inovadoras no terreno



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

- componentes específicos, ou seja, tecnologias desenvolvidas no âmbito da I4.0 mas tendo o sector agroalimentar especificamente como alvo principal.

Quando se fala na aplicação do paradigma da I4.0 ao sector agroalimentar, este passa a ser conhecido como Agricultura 4.0. Estas revoluções tecnológicas na agricultura podem ser sugeridas com base nas aplicações que a I4.0 tem, pelo que evoluem lado-a-lado com essas aplicações tecnológicas dos últimos anos. Historicamente, a revolução tecnológica da agricultura teve a seguinte sequência (Zambon, Cecchini, Egidi, Saporito, & Colantoni, 2019):

- Agricultura 1.0 - primeiro, o uso da força animal no auxílio das actividades agrícolas;
- Agricultura 2.0 - depois a introdução dos motores de combustão;
- Agricultura 3.0 – mais recentemente a utilização de sistemas de posicionamento global, tornados acessíveis ao público em geral pelos militares, permitiu a conceptualização da agricultura de precisão;
- Agricultura 4.0 - por fim a possibilidade de digitalizar todo um sector, através de tecnologias como a computação na cloud.

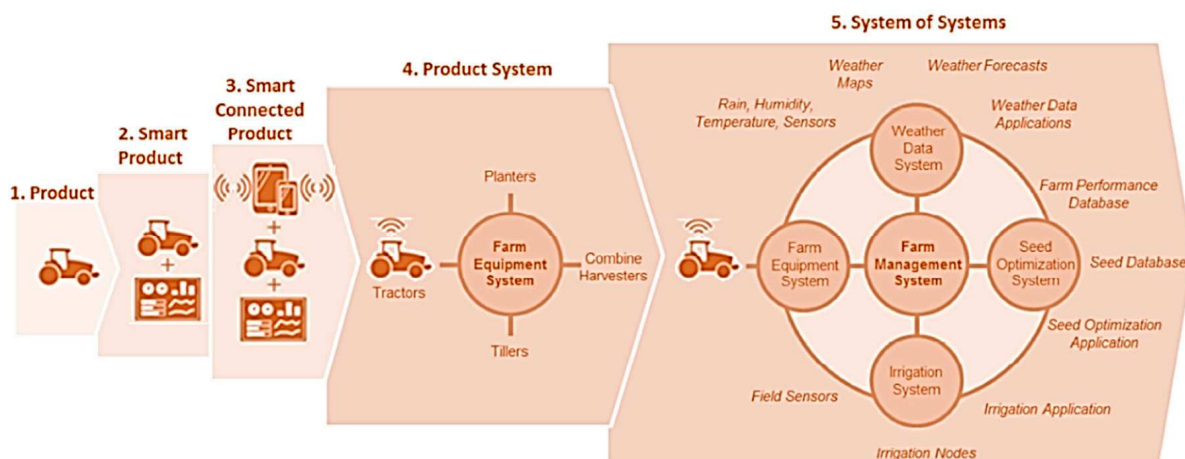


Figura 1 - Esquemática do conceito da Agricultura 4.0

A Agricultura 4.0 evolui então paralelamente com a I4.0, que se baseia por sua vez na ideia da “produção do futuro”. Assim como acontece na indústria, esta evolução é a combinação de operações de agricultura internas e externas à atividade, disponibilizando informação digital a todos os sectores e processos. A revolução do 4.0 representa por isso uma grande oportunidade de considerar as volatilidades e incertezas do sector agroalimentar. Na I4.0 as fábricas tornam-se mais Inteligentes, mais eficientes, mais seguras e mais sustentáveis, graças à combinação e integração de tecnologias de produção e equipamentos, sistemas de comunicações e informação, dados e serviços disponíveis em infraestruturas ligadas em rede. A “Agricultura Inteligente” deve então ser capaz de se adaptar de forma autónoma e em tempo real às mesmas alterações e desafios que a I4.0 enfrenta, por forma a manter a sua competitividade. Um dos primeiros requisitos a suprimir é a necessidade de manter uma comunicação constante entre o mercado e a produção, assim como dentro do próprio negócio. A metodologia usada para ligar de forma eficaz todos os atores e intervenientes assim como lidar toda esta quantidade de informação massiva, numa cadeia de comunicação estruturada, é portanto a virtualização e o recurso à tecnologia (Figura 1).



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

Na secção seguinte vamos entrar em detalhe nas tecnologias actualmente disponíveis, na sua implementação no sector agroalimentar e de que forma a I4.0 está a impactar o sector.

TECNOLOGIAS

Sistemas de gestão de Informação inteligentes

No âmbito da I4.0 as tecnologias empregues atualmente no sector agroalimentar são variadas. Estudos apresentados como em (Soosay & Kannusamy, 2018), (Oltra-Mestre, Hargaden, Coughlan, & Rio, 2020), (Ali, Satie, & Thai, 2021) apenas para exemplificar alguns, apresentam vários trabalhos de introdução de novas tecnologias de informação a vários níveis.

Items	Description	M	SD	α
Computerization & Connectivity		0.86		
CC1	Barcoding systems	5.31	1.14	
CC2	Customer Relationship Management	5.68	0.95	
CC3	E-business/ e-marketplace	5.76	0.98	
CC4	Electronic Data Interchange	5.76	1.00	
CC5	Electronic Point of Sale	5.73	0.97	
CC6	E-procurement	5.54	1.08	
Visibility & Transparency		0.93		
VT1	Global Positioning Systems	5.61	1.31	
VT2	Time Temperature Integrators	5.74	1.24	
VT3	Data Loggers	5.68	1.20	
VT4	Transport Management Systems	5.76	1.23	
VT5	Warehouse Management Systems	5.72	1.26	
Predictive Capability		0.87		
PC1	Enterprise Resource Planning Systems	3.85	1.42	
PC2	Manufacturing Execution Systems	4.12	1.32	
PC3	Radio Frequency Identification Systems	4.03	1.61	
Adaptability & Self-learning		0.76		
ASL1	Collaborative Planning, Forecasting and Replenishment	2.19	0.77	
ASL2	Efficient Consumer Response	2.07	0.78	
ASL3	Vendor Managed Inventory	1.99	0.82	

Figura 2 - Resumo das tecnologias utilizadas em (Soosay & Kannusamy, 2018)

No trabalho realizado por (Soosay & Kannusamy, 2018) é reunido um conjunto de tecnologias, que vão desde algumas mais tradicionais e já bem conhecidas a algumas mais recentes e inovadoras (Figura 2). É o caso, por exemplo, da identificação por códigos de barras, um sistema de informação amplamente utilizado para as cadeias de logística. Contudo esta informação pode ser melhor tratada quando acoplada a sistemas de gestão de informação mais eficientes do que as tradicionais bases de dados ou sistemas de gestão de faturação, que ficam muitas vezes limitadas à infraestrutura



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

informática de cada empresa, isto é, acabam por ser sistemas fechados e de difícil integração com outros sistemas mais recentes. Metodologias de gestão de informação mais actuais como as ERP e MES faladas anteriormente garantem uma melhoria significativa na gestão da produção, descentralizando o sistema principal de gestão numa empresa para sistemas locais por bases, por exemplo, diminuindo os custos em softwares especializados. Consegue-se assim uma optimização significativa no consumo dos recursos humanos envolvidos (nomeadamente tempo e flexibilidade de trabalho) e maior eficiência no consumo de recursos naturais, nomeadamente na energia (Verdouw, Robbmond, & Wolfert, 2015), tal foi comprovado em estudos como (Kaloxylos, et al., 2012). Este conjunto de informações é alimentado em tempo real num sistema acessível a todos os intervenientes na cadeia de produção, fornecendo toda ou apenas a quantidade de informação necessária á tarefa de cada trabalhador e/ou secção. Outras metodologias existem, embora reconhecidamente com um impacto mais modesto no sector agroalimentar, mas que oferecem até certo ponto o mesmo tipo de valor acrescentado que os ERP e MES ou que de alguma forma funcionam por forma a auxiliar estes sistemas a obter informação útil e digitalizada. Exemplos (Theofanis P. Raptis, 2019):

- PLM – Product Lifecycle Management
- PDM – Product Data Management
- PPS – Production Planning System
- PDA – Production Data Acquisition
- MDC – Machine Data Collection
- CAD – Computer-Aided Design
- SCM – Supply Chain Management

Big Data

A análise e processamento de dados é uma tarefa de elevada importância em qualquer negócio, ainda para mais quando considerando o crescente número da quantidade de dados que é gerada hoje em dia vindos dos mais variados tipos de dispositivos ou recursos. O sector agroalimentar não é exceção, e a inclusão de mecanismos como o Big Data ajudam as empresas a diferenciarem-se entre as que conseguem evoluir e as que não crescem, assim como as que se conseguem adaptar ao futuro do mercado e a novas exigências, tal como evidenciado em (Pham & Stack, 2018). O mercado global da análise de dados aplicada à agricultura teve um valor de \$590.03 milhões em 2018, esperando-se que cresça para os \$2461.65 milhões em 2027 (Proagrica, s.d.). A análise de dados preditiva oferece ás empresas informações na base de recomendações e sugestões de acções e tarefas a realizar, feitas por medida à empresa, isto porque à medida que estes sistemas recolhem informações de várias origens e sistemas e em grandes quantidades, conseguem traduzir este fluxo de informação digital nessas mesmas acções e tarefas (White, Grecu, & Grecu, 2020). A resolução de problemas e a optimização da cadeia de produção é potenciada tanto em dimensão e escala assim como no tempo. Exemplo disso são as previsões que ajudam a prevenir condições meteorológicas adversas ás culturas, o surgimento de pragas ou o reaprovisionamento de mercadorias (antecipação do *supply-chain*) (Viet, Behdani, & Bloemhof, 2019). O processamento de dados é hoje em dia uma pequena parte de uma tecnologia maior, a Inteligência Artificial, que é também empregue no sector agroalimentar em larga escala, assim como noutros sectores. É importante por isso fazer uma referência á sua utilização de forma mais genérica. Em (Eli-Chukwu, 2019) considerando alguns dos maiores desafios que o sector enfrenta, como o tratamento inadequado dos solos, pragas, infestações e doenças, requisitos tecnológicos do big data, baixa cadência de produção e ainda o grande obstáculo que é o fosso de



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

conhecimento dos trabalhadores do sector e a tecnologia atualmente disponível, é feita uma análise dos impactos positivos que a AI tem no sector, sendo que estes desafios são então ultrapassados por uma maior flexibilidade de trabalho, maior eficiência, rigor e relação custo-benefício. O alcance da AI no sector é muito abrangente e comum a todos os pontos da cadeia de produção. Uma análise interessante apresentada em (Cena, et al., 2020) relaciona as tecnologias de blockchain quando aplicadas a toda cadeia de produção no mercado de carne bovina na região de Piedmont, Itália. O estudo teve por objetivo relacionar a cadeia de produção desde o produtor, passando pela transformação, distribuição até ao consumidor final, ao mesmo tempo que era mantida uma rastreabilidade da origem, o uso de fundos disponibilizados pela EU para aquele efeito, a garantia de qualidade e luta e deteção de produtos contrafeitos.

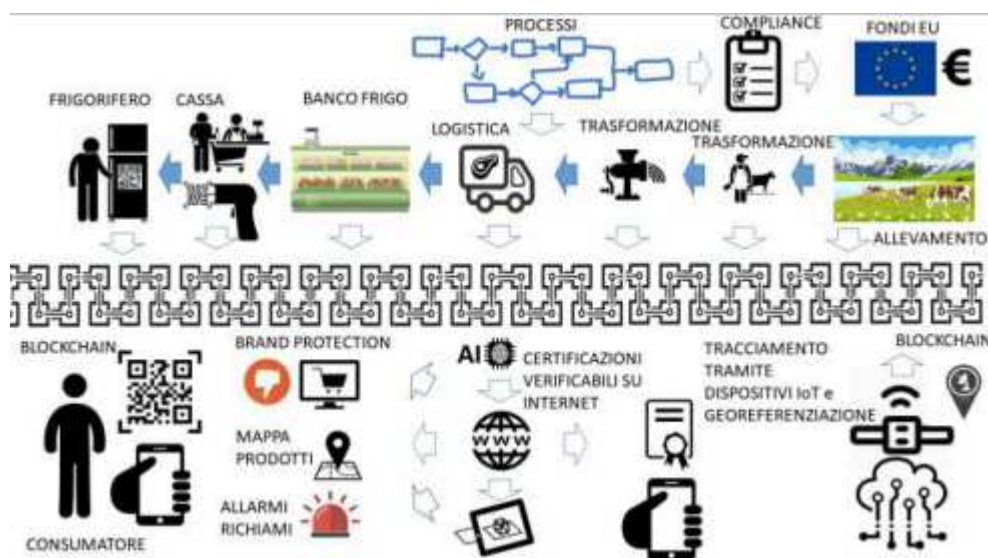


Figura 3 - Representação esquemática da blockchain estudada em (Cena, et al., 2020)

Todo o sistema englobou várias tecnologias, incluindo a AI, tal como exemplificado na Figura 3. A dimensão da cadeia de produção também foi tida em conta, que como já foi falada anteriormente, trata-se de um fator muito importante pelo que convém considerar desde o produtor mais pequeno e local á empresa de grandes dimensões.

Conectividade e comunicações

Sem dúvida um dos grandes motores da revolução digital atual foi o uso massivo da internet e da conectividade. O facto de cada indivíduo dispor de um sistema capaz de o manter ligado ao ambiente digital a qualquer momento e em qualquer lugar, assim como o acesso a um fluxo de informação quase infundável, abriu espaço a imensos desenvolvimentos nestas áreas tecnológicas. Com o avanço das tecnologias, os dispositivos móveis e a informática em geral atingiram condições de miniaturização que levam as diversas indústrias a criar e encontrar aplicações criativas, mas muito úteis para estes dispositivos, de forma que ajudem a melhorar e a otimizar os seus negócios. Especificamente no âmbito da conectividade a comunicação entre atores na cadeia de produção foi “encurtada” e melhorada, bastando pensar quão fácil é por exemplo para um produtor num campo de cultivo comunicar com a fábrica, estando este num ponto do mundo e a fábrica de transformação no outro lado do mundo.



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

Interface	Opportunity areas	Human participation
Machine-Machine	<ul style="list-style-type: none"> • Agri-robotics and automatic agricultural processes • Intelligent greenhouses • Smart sensors and WSNs used in crops in greenhouses and crop soil 	<ul style="list-style-type: none"> • The human is entirely out of the control loop and cannot intervene • The smart module executes automatically, then necessarily informs the human • When humans are interacting with the product, the product can learn from user experiences
Human-Machine	<ul style="list-style-type: none"> • Crop monitoring systems • Remote controllers for irrigation systems, fertiliser systems, climate controllers, harvesting systems, among others • User interfaces (mobile apps, virtual and augmented reality) 	<ul style="list-style-type: none"> • The smart module executes automatically, then necessarily informs the human • The human mainly monitors the system and intervenes if necessary • Both the human and the smart module generate possible decision options • A human can visualise the information captured by sensors • The smart module generates a list of decision options, which the human can select from • Manual control with the technology assistance
Human-Human	<ul style="list-style-type: none"> • On/off controllers • Production methods • Farm equipment • Convectional equipment 	<ul style="list-style-type: none"> • Human must use its sensory system to control the conventional machinery and tools used • Human is the only source for gathering and monitoring data • Human must make all decisions and action about the machinery and tools functions

Tabela 1 - Tipos de colaboração/comunicação no sector agroalimentar (Miranda, Ponce, Molina, & Wright, 2019)

O formato das comunicações também foi evoluindo em paralelo com a robotização e automatização de processos, no sentido de que não existem agora apenas atores humanos a comunicar entre si, mas também conexões homem-máquina (Person-to-Machine, P2M) ou ainda máquina-máquina (Machine-to-Machine, M2M), tal como detalhado na

Interface	Opportunity areas	Human participation
Machine-Machine	<ul style="list-style-type: none"> • Agri-robotics and automatic agricultural processes • Intelligent greenhouses • Smart sensors and WSNs used in crops in greenhouses and crop soil 	<ul style="list-style-type: none"> • The human is entirely out of the control loop and cannot intervene • The smart module executes automatically, then necessarily informs the human • When humans are interacting with the product, the product can learn from user experiences
Human-Machine	<ul style="list-style-type: none"> • Crop monitoring systems • Remote controllers for irrigation systems, fertiliser systems, climate controllers, harvesting systems, among others • User interfaces (mobile apps, virtual and augmented reality) 	<ul style="list-style-type: none"> • The smart module executes automatically, then necessarily informs the human • The human mainly monitors the system and intervenes if necessary • Both the human and the smart module generate possible decision options • A human can visualise the information captured by sensors • The smart module generates a list of decision options, which the human can select from • Manual control with the technology assistance
Human-Human	<ul style="list-style-type: none"> • On/off controllers • Production methods • Farm equipment • Convectional equipment 	<ul style="list-style-type: none"> • Human must use its sensory system to control the conventional machinery and tools used • Human is the only source for gathering and monitoring data • Human must make all decisions and action about the machinery and tools functions

Tabela 1 - Tipos de colaboração/comunicação no sector agroalimentar

. A relação com o cliente final também avançou para lá da tradicional filosofia oferta vs. procura. Os mercados digitais online (o E-commerce e/ou E-MarketPlace) e a sua divulgação, apoiados por ferramentas como as discutidas anteriormente (big data e AI, por exemplo) são as bases para relações produtor-cliente muito mais próximas, personalizadas e a um nível global nunca antes visto (Eli-Chukwu, 2019). A distribuição de produtos e a logística que a acompanha teve de se adaptar a esta realidade onde um cliente nos EUA, pode comprar diretamente a um pequeno produtor na Europa sem passar pelos tradicionais canais de distribuição como as grandes superfícies de distribuição. Ainda relativamente á conectividade no contexto da produção, a ligação e fluxo de informação entre os trabalhadores, os seus equipamentos, as equipas de gestão e as fábricas em si, oferece a toda a cadeia de promoção uma ligação contínua e sem interrupções, contribuindo positivamente mais uma vez para a otimização de toda a cadeia de produção (Pham & Stack, 2018). Na secção seguinte a



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

introdução dos sensores em larga escala será discutida em mais detalhe, mas convém dizer que a integração de dispositivos de monitorização das variáveis mais importantes para o sector agroalimentar (p.e. recolha de dados relativo a solos, contagem de cabeças de gado, etc.) só faz sentido se essa informação for alimentada rapidamente e em tempo real a um sistema de gestão de informação, pelo que as capacidades de conectividade destes aparelhos só existem devidos a estes desenvolvimentos nas comunicações.

5G e Agricultura de precisão

O paradigma da I4.0 introduzirá a curto prazo novas capacidades de conectividade com a integração de novos meios como o 5G (Calderone, 2020), o que permitirá aumentar ainda mais a quantidade de dados, mas acima de tudo a rapidez com que estes são recolhidos, voltado o sector a dar um pequeno salto no sentido de obter mais e melhor informação e em menos tempo. Os efeitos do 5G serão variados, mas podem ser resumidos nos pontos seguintes (Carter, 2020):

- Agricultura de precisão;
- Equipamentos com conectividade 5G;
- Pulverização através de *drones*;
- Monitorização de colheitas e organismos nefastos (p.e. parasitas, ervas daninhas, etc);
- Monitorização de pragas de insetos;
- Monitorização em tempo real de grupos de cabeças de gado ou até mesmo de indivíduos (MooCall, 2021);
- Redução do consumo de água, através de soluções de gestão de irrigação;
- Drones de carga elevada

Provavelmente a grande desvantagem do 5G advém também da sua maior vantagem face às frequências de comunicação predecessoras: á medida que a frequência de comunicação aumenta, diminui o seu alcance requerendo uma cobertura com mais torres. Apesar da sua natureza tecnologicamente avançada, o 5G também não será capaz de colmatar a grande falha de falta de comunicação com áreas remotas e isoladas. O 5G continua a depender da rede de distribuição de sinal como as outras frequências pelo que em muitos países subdesenvolvidos e em muitas áreas remotas ou mais desabitadas do mundo, não existe sequer uma linha de comunicação digital mais básica a não ser a ligação direta por satélite.



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

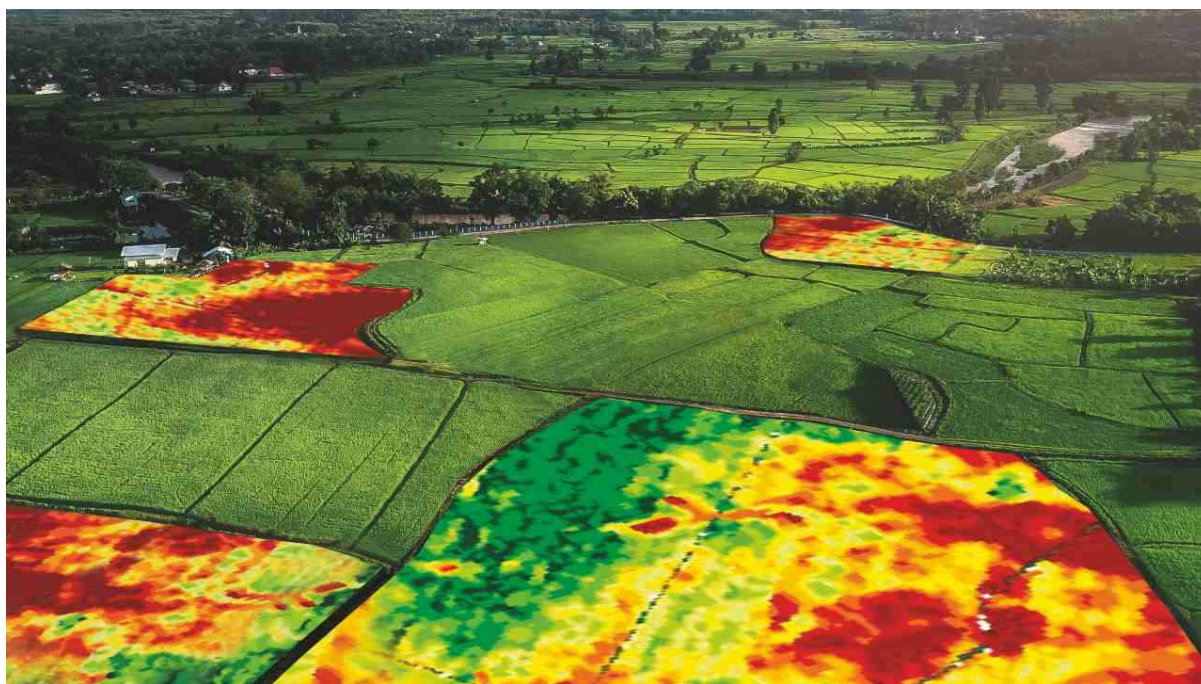


Figura 4 - Exemplo de identificação de áreas num campo de cultivo com défice de água (a vermelho) e áreas saudáveis (a verde), com recurso a imagens termográficas e "computer vision" (Kahn, 2020)

Para terminar esta secção falta referir um conceito ou termo de extrema-importância para o paradigma do agroalimentar 4.0 e que conjuga de certa forma todos os pontos anteriores: a chamada agricultura de precisão ("precision agriculture" ou "smart-farming"). A interligação entre recolha e análise de dados, tendo estes origem ou em sensores, relatórios no terreno em tempo-real, dados recolhidos por satélite (p.e. GPS), captação de imagens e processamento inteligente das mesmas, o seu tratamento e a conectividade entre os vários atores e equipamentos, permite identificar e localizar pontos de interesse no meio de toda uma produção ou campo de cultivo, p.e. permitindo identificar locais onde há mais necessidade de água (Figura 4), ou de atuar no sentido de prevenir pragas e/ou doenças nas fronteiras de um campo, estabelecer comunicações urgentes para evitar danos eminentes, entre outras situações que contribuirão para proteger os ativos que compõem o negócio e a não permitir que este seja influenciado negativamente de qualquer forma (Schmaltz, 2017).

BENS, EQUIPAMENTOS E COMPONENTES

Na secção anterior foram apresentadas as principais tecnologias actualmente a serem ou alvo de investigação ou de aplicação comercial no sector agroalimentar e no âmbito da modernização do sector por correlação com o paradigma da I4.0. Nesta secção iremos entrar em mais algum detalhe sobre os mecanismos e ferramentas físicas, ou por outras palavras o *hardware* com maior relevância e de maior interesse para o sector. Os estudos apresentados por (Miranda, Ponce, Molina, & Wright, 2019), (Lezoche, Hernandez, Diaz, Panetto, & Kacprzyk, 2020) e (Ali, Satie, & Thai, 2021) apresentam vários trabalhos de análise experimental bastante completos e que abrangem a utilização de vários tipos de tecnologia muito diferenciados:

- Exemplo 1, estufa inteligente – tendo por objetivo acompanhar o ciclo de vida da produção de tomate em que os objetivos eram levantar os requisitos para concluir quanto á melhor metodologia



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

de desenvolvimento de produto, processo de desenvolvimento de produção e desenvolvimento da estufa (otimização da infraestrutura física). As variáveis a monitorar e controlar eram a temperatura, quantidade de chuva, direção e velocidade do vento, humidade, exposição solar (intensidade e luminosidade) e níveis de CO₂. Para tal foram utilizados um conjunto de sensores específicos (sensores de temperatura, humidade, luz, de fluxo, de pH, evaporação) e soluções inteligentes (atuadores elétricos como ventiladores ou extratores de calor e cortinas de sombra para regular as condições do interior da estufa, controlados por sistemas automáticos e interligados por uma UI).

- Exemplo 2, sensor de deteção da trajetória do sol – com o objetivo de potenciar a utilização de painéis fotovoltaicos, dotando estes de um mecanismo com um grau de liberdade que lhes permite direcionar as células na posição mais eficiente para captura da luz solar, este exercício fez uso de algoritmos de otimização sofisticados (nomeadamente os algoritmos genéticos e por enxame de partículas) para concluir quanto á melhor orientação e posição do painel. Estes algoritmos fazem das soluções inteligentes utilizadas juntamente com motores elétricos, controlados por autómatos com microprocessadores. A sensorização foi efetuada através de sensores de voltagem e corrente eléctrica, temperatura e radiação.

- Exemplo 3, robô (“*hexapod*”) de monitorização de campo – um *hexapod* é um robô de seis pernas, capaz de se deslocar nos terrenos mais difíceis e de aceder a áreas de difícil acesso para os trabalhadores. A característica mais interessante da utilização deste tipo de sistemas robóticos, principalmente quando acoplados a sistemas de controlo baseados em IA, é o facto de poder ser dotada de uma variedade de sensores para monitorizar taxas de crescimento de cultivo e reportar sinais negativos. No caso deste exemplo o controlador de IA baseou-se numa rede neuronal artificial e agrupamento difuso. Tudo isto acoplado a uma plataforma com 12 servomotores e um microprocessador, assim como um giroscópio e um sensor ultrassónico.

- Exemplo 4, drone de monitorização agrícola – á semelhança do hexapod, um drone pode também ser dotado de um controlador baseado em IA, não apenas para estabilizar as suas condições de voo, mas efetuar as decisões necessárias quanto à acção que deve tomar, onde e quando. A maior vantagem de um drone face ao robô é a sua rapidez e capacidade de carga.

Apenas pela descrição destes casos de estudo podemos identificar diversas tecnologias inovadoras a serem empregues para benefício e otimização da cadeia de produção: sensores múltiplos, drones, autómatos, controladores e microprocessadores, conectividade entre sistemas, algoritmos de otimização, sistemas inteligentes, entre outros. Este trabalho sugere ainda um conceito denominado S3 (*Sensing, Smart and Sustainable*) que se baseia no desenvolvimento de novas tecnologias para responder ás dificuldades do sector agroalimentar, aproveitando para isso as vantagens que a automatização, a conectividade, a digitalização, o uso de energias renováveis assim como o uso dos preciosos recursos naturais para o desenvolvimento e melhoria da cadeia de produção, oferecem (Molina, Ponce, Ramirez, & Sanchez-Ante, 2014) (Yahya, 2018).

Internet of Things



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

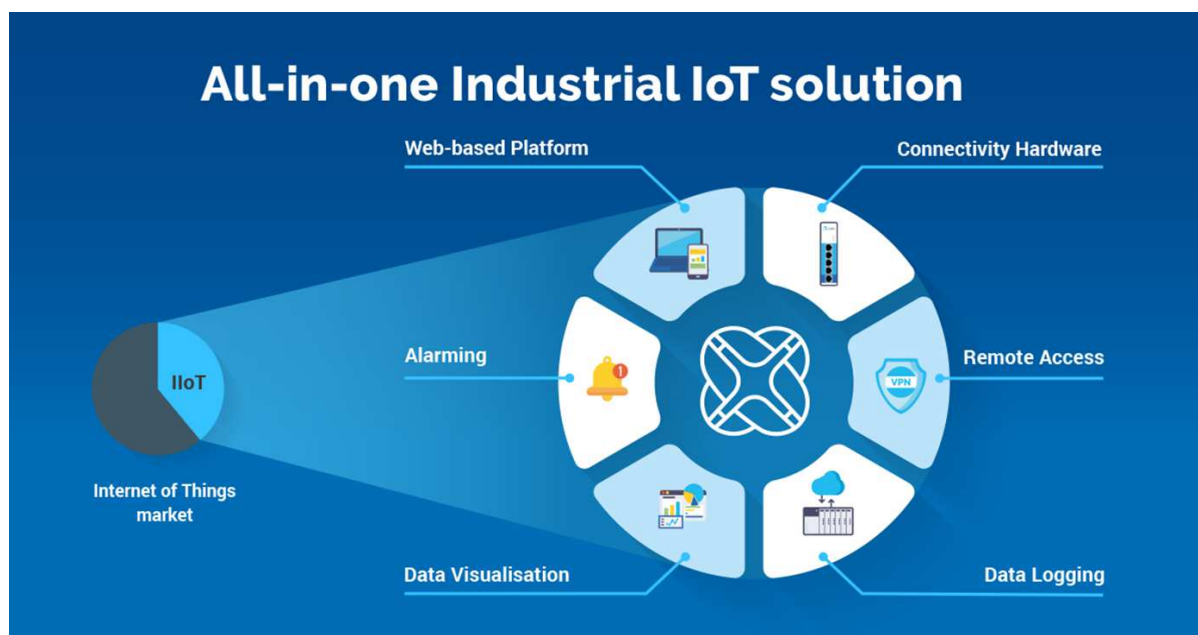


Figura 5 - Caracterização genérica de uma infraestrutura IoT (Ixon, 2021)

Já foi referida e detalhada anteriormente a importância da conectividade entre sistemas principalmente quando consideramos um conjunto de sistemas interligados entre si mas com ligação também à Internet. Para uma cadeia de produção ser realmente eficaz, existem requisitos importantes a ser respeitados como a qualidade da conectividade, rapidez de transmissão, a segurança da ligação, a robustez da infraestrutura de ligação entre os vários sistemas e ainda a possibilidade de ligação com tecnologias mais antigas. O conceito de “*Internet of Things*” (IoT ou IIoT quando se refere a soluções específicas industriais de IoT – “*Industrial Internet of Things*”) visa responder a estes requisitos e outros dotando as tecnologias de informação e conectividade emergentes na I4.0, de capacidades de ligação através da internet, contínuas no tempo, seguras e robustas (o tema da *cyber-security* por exemplo, compreende toda uma área de conhecimento dentro do tema de IoT, por si só (Marmé, 2018)). O IoT compromete-se então a disponibilizar soluções baseadas na transmissão rápida e em tempo real de dados, remota e com processamento baseado em aplicações na *web* e ainda com o registo e visualização dos dados recolhidos (Figura 5).

O grande objectivo passa então por fornecer a informação correcta e em tempo oportuno aos decisores e/ou actuadores para que estes possam tomar as decisões acertadas e as acções necessárias, por forma a motivar o desenvolvimento e optimização do negócio (Bonneau, Copigneaux, Probst, & Pedersen, 2017). O IoT tem um lugar de destaque dentro das tecnologias que compõem o paradigma do I4.0, uma vez que não compreende apenas os tradicionais terminais como os PCs ou dispositivos móveis. Compreende sim todo e qualquer equipamento que tenha uma ligação à Internet ou que faça parte da infraestrutura da *web* e que seja também capaz de se manter ligado e integrado numa rede de comunicações, como é o exemplo de todos os equipamentos robóticos num chão de fábrica, ou o grupo de sensores e actuadores num campo de cultivo, como nos exemplos vistos anteriormente. Este tema está então intrinsecamente ligado com o tipo de equipamentos que podem interagir num ecossistema de uma qualquer cadeia de produção. A aplicação do conceito de IoT no agroalimentar não é propriamente recente existindo diversos estudos sobre potenciais aplicações



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

neste contexto. Em (Ali, Satie, & Thai, 2021) é feito um levantamento algo extenso de diversas referências a casos de estudo publicados, que tinham por objectivo a aplicação deste conceito numa cadeia de produção relacionada com o sector agroalimentar, tendo foco em PME e não apenas em grandes produtores. Os exemplos são vários desde estudos de análise da permeabilidade deste conceito nas indústrias em geral a estudos sobre o uso de tecnologias de recolha de dados e processamento na *cloud* ou gestão de alertas em tempo real. Contudo as conclusões da análise destes exemplos são óbvias e no mesmo trabalho são identificados 4 factores impulsionadores deste conceito no sector agroalimentar: optimização de custos, redução no alinhamento de oferta-procura, aumento da consciencialização do consumidor na origem dos produtos e conformidade com as regulamentações (políticas, de saúde pública e económicas). Contudo são também identificadas 3 grandes barreiras a este tipo de implementações: inércia organizacional ou resistência à modernização, restrições financeiras/orçamentais e a falta de partilha de recursos com que as empresas são confrontadas na cadeia de distribuição do agroalimentar. Apesar destes entraves, a proposta em enfrentar os desafios tem uma elevada probabilidade de devolver ganhos e mais valias, tornando a empresa que o faça ainda mais competitiva.

Computadores e terminais

Historicamente falando, todo o desenvolvimento da I4.0 e da revolução digital que oferece baseia-se como sabemos num conjunto de ferramentas que mudaram por completo o mundo após o seu surgimento: o computador pessoal, a Internet e a mobilidade tecnológica. Os diversos produtos e subprodutos que resultaram ou da conjugação destes factores entre si ou da evolução dos mesmos noutras ferramentas, culminaram na panóplia de soluções de que hoje dispomos. No âmbito deste documento não se podia deixar passar a oportunidade de fazer uma referência aos computadores. Estes serão sempre uma pedra basilar de qualquer sistema ou paradigma tecnológico devido ao seu poder de processamento, constante evolução tecnológica e flexibilidade de produção de trabalho. Sendo uma ferramenta tão poderosa e transversal a praticamente todas as indústrias, a sua presença e contributo numa cadeia de produção é imprescindível. No entanto nem todos os computadores têm o tradicional formato do PC que todos conhecemos e existem muitos hardwares disponíveis no mercado dotados de capacidades de processamento, conectividade e controlo. A evolução da miniaturização de componentes de hardware teve um grande contributo neste aspecto. Não entrando no maior detalhe possível, os micro-controladores, micro-processadores, placas de rede com múltiplas ligações (vários protocolos como Bluetooth, wifi e/ou redes móveis) compõem apenas uma fracção do total de equipamentos disponíveis com as mesmas capacidades de um PC normal, mas a uma fracção do custo de um PC, uma vez que não precisam de ter o mesmo poder computacional para realizar tarefas mais simples e em menor quantidade (muitas vezes são usados para uma tarefa apenas). A liberalização no mercado de consumo destes equipamentos com tantas capacidades diferentes permitiu à indústria aplicar actuadores eléctricos a serem controlados à distância e muitas vezes de forma autónoma, a desenvolver aparelhos com capacidade de recolha e processamento de dados permitindo aliviar a carga de processamento de dados em sistemas centrais ou como já vimos a operar robôs e drones complexos (Schuh, Anderl, Dumitrescu, Krüger, & Hompel, 2020).



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

Cloud Computing

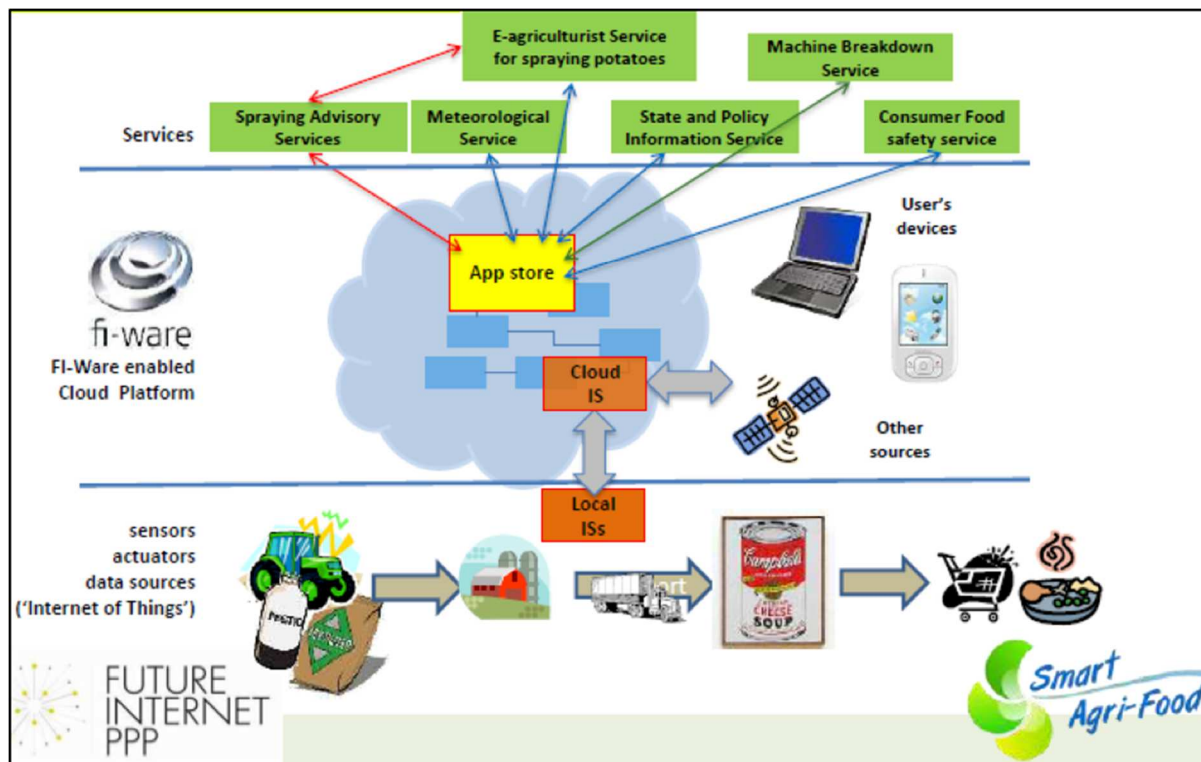


Figura 6 - Esquemática de uma infraestrutura de Cloud Computing aplicada numa cadeia de produção agroalimentar (EPRS, 2017)

Em poucas palavras a computação na *cloud* (“*cloud computing*”) é o fornecimento de serviços informáticos, incluindo servidores, armazenamento, bases de dados, rede, *software*, análise e inteligência, através da internet para disponibilizar mais rapidamente inovação, recursos flexíveis e poupanças no dimensionamento da infraestrutura de uma empresa, isto é, a utilização destes serviços não obriga à compra do “pacote completo” de soluções, mas apenas das soluções individuais que determinado negócio requer. Esta valência tem especial impacto num sector como o agroalimentar, onde já vimos que existe grande resistência á introdução de novos equipamentos, devido muitas vezes a orçamentos limitados. Uma PME pode neste sentido com apenas alguns recursos humanos especializados colmatar grandes falhas que possa ter na sua infraestrutura tecnológica, com um baixo custo (Verdouw, Robbemond, Verwaart, Wolfert, & Beulens, 2015), (Kosior, 2018). Convém ainda afirmar que a computação na nuvem é uma das características centrais do paradigma IoT falado anteriormente. A computação na *cloud* representa assim uma grande mudança na forma como as empresas encaram os seus recursos informáticos retirando da sua utilização grandes benefícios (Erl, Mahmood, & Puttini, 2013):

1. Optimização de custos, por redução nos gastos com softwares, computadores, servidores, electricidade, refrigeração, especialistas de IT, etc. A relação custo de pagamento deste tipo de serviços vs. a alternativa de ter e manter toda a infraestrutura equivalente, resulta numa óbvia redução de custos.



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

2. Velocidade, o acesso a todas plataformas realiza-se pela internet requerendo pouco tempo para aceder aos recursos necessários
3. Escala global, a atribuição dos recursos informáticos pode ser comandada em função da posição no mundo, ou seja, mais recursos de TI onde fazem mais falta e menos onde são precisos menos.
4. Produtividade, não havendo necessidade de montar, preparar e manter toda uma infraestrutura de TI para uma empresa, a utilização deste recurso permite atribuir tempo de produção/trabalho para outras tarefas mais importantes.
5. Desempenho, os servidores físicos são alvo de constante actualização tecnológica, de forma segura, rápida e eficiente.
6. Fiabilidade, os dados guardados na *cloud* são considerados mais seguros e eficientes por serem de manutenção mais barata, as cópias de segurança têm garantia de protecção e recuperação pelo que um negócio nunca ficará refém de um acidente ou falha de sistema informático.
7. Segurança, finalmente um dos temas mais importantes será o uso de tecnologias não disponíveis ao público em geral para a protecção de dados e a sua encriptação, de modo a evitar quaisquer potenciais ameaças á infraestrutura tecnológica de uma empresa.

Dispositivos Móveis

Tal como os computadores, os dispositivos móveis têm um papel muito importante no paradigma da I4.0 e do IoT e assumem hoje em dia vários formatos, fazendo parte de todo o arsenal tecnológico disponível para o desenvolvimento de soluções industriais no âmbito da I4.0. Os telemóveis, tablets e mais recentemente os *wearables*, ligados á internet ou por simples redes móveis, encurtaram distâncias e facilitaram o fluxo de informação não apenas no sentido mais tradicional P2P mas também no sentido P2M, uma vez que evoluíram numa direcção que lhes permitem serem considerados autênticos computadores de bolso (Szilagyí & Herdon, 2006). A sua natureza tecnologicamente flexível, ou seja, de fácil integração com outros sistemas, de fácil e ampla divulgação de desenvolvimento de aplicações e ainda regra geral tratando-se de equipamentos de relativo baixo custo e elevada qualidade, tornam os dispositivos móveis excelentes ferramentas não só de comunicação mas também de controlo e interface com outras tecnologias. Não entrando mais uma vez em grande detalhe sobre estas tecnologias, uma vez que são hoje em dia de fácil acesso a qualquer um e em qualquer sector ou indústria, vale a pena referir que existem alguns estudos interessantes nomeadamente no âmbito do sector agroalimentar, que permitem ter uma noção da evolução destas tecnologias. Em (Volpentesta & Gala, 2013) é feita uma análise sobre o impacto das “*Alternative Agrifood Networks*” (AAFNs) na sua capacidade de re-conectar e aproximar os produtores dos consumidores, de modo a ultrapassar as barreiras que dominam o sistema económico que governa o mercado. Para tal o estudo avalia a importância e a contribuição do uso alargado de aplicações móveis e serviços de informação neste sentido, concluindo que estes trazem grandes vantagens e valor acrescentado baseado nas motivações de consumo, contexto de procura crítica de produtos, valorizando estas redes AAFN.

Sensorização e Sistemas Embebidos

Quando detalhámos anteriormente o tema da IoT, abordámos de forma muito leve a questão da sensorização. A utilização em larga escala de sensores permite que todo um conjunto de dados possa



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

ser recolhido e em tempo real, devido ao paradigma do IoT, dados esses que servem para alimentar sistemas de análise ou de processamento de informação, alimentando toda a cadeia tecnológica. Estes sensores são dispositivos de pequenas dimensões, regra geral de baixo custo e fácil substituição mas de elevado valor/relevância para uma infraestrutura tecnológica que depende da recolha de dados massiva para otimizar toda uma cadeia de produção. São ferramentas de interpretação de estímulos exteriores ou do ambiente em que estão inseridos, convertendo sinais de origem natural em sinais digitais, interpretáveis por computadores ou humanos. A sua portabilidade e conectividade são as duas características mais importantes, pois aquando da liberalização dos dispositivos móveis, surgiram no mercado toda uma panóplia de equipamentos dotados de capacidade de monitorização e sensorização assim como de algum tipo de conectividade. Do ponto de vista de conectividade não precisamos de assumir apenas comunicações sem fios, uma vez que as fiáveis ligações por cabo continuam a ser as melhores e ainda amplamente usadas, mas existindo ainda os sistemas embebidos ou integrados. Estes são acoplados directamente na placa do controlador do computador alvo e apenas requerem uma fonte de alimentação para monitorizarem esse mesmo computador (Grossi, Berardinelli, Sazonov, Beccaro, & Omaña, 2019). No contexto do agroalimentar a sensorização tem grandes aplicações e é alvo de várias pesquisas que visam o avanço tecnológico e a maturação destas tecnologias quando aplicadas a este sector. Em (Anand, Sadistap, Bindal, & Rao, 2010) é proposto um trabalho que visa primeiro substituir o uso de sensores analógicos, mais comuns pelos equivalentes digitais, recorrendo a algoritmos especificamente desenvolvidos e a sistemas embebidos para gerirem essa conversão de sinais. O sistema que compõem a rede de sensores proposta é ainda avaliada quanto á sua fiabilidade de comunicação sem fio (wifi). Em (European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development, 2020) são apresentados um conjunto de diversos projectos co-financiados pela EU, para o desenvolvimento tecnológico do sector agroalimentar. Os temas abordados são variados: robótica, dados (*data*), sistemas Micro-Nano-Bio, GNSS (*Global Navigation Satellite System*), impulsadores FIWARE, redes temáticas e ainda outros de menores dimensões. De forma geral, estão todos relacionados com a aplicação do paradigma da I4.0 ao sector, mas destacam-se os projectos sobre a robótica em que um exemplo muito interessante (GARNICS, 2013) tem por objectivo monitorizar e sensorizar primeiro o crescimento de plantas para em função desse crescimento controlar um robô-jardineiro responsável por fazer a manutenção das culturas e, segundo avaliar as acções do jardineiro (humano), com os dados recolhidos dos sensores. As plantas são seres complexos e com características individuais pelo que apenas jardineiros muito experientes sabem reconhecer os sinais que levam á decisão de podar, regar ou tratar de alguma forma determinada planta. Neste projecto o sistema liga ainda a um conjunto de algoritmos de AI que com os dados recolhidos pelos sensores “aprende” com o jardineiro a reconhecer as características que só a experiência humana sabe interpretar. Conclui-se assim que também os sensores são uma peça importante no âmbito da modernização do sector agroalimentar e que a investigação sobre o tema não estagnou, apesar da aplicação de sensores no sector já não ser algo propriamente novo.

RFID e GPS

O uso de novas tecnologias no contexto da I4.0 também permitiu a reinvenção de outras já existentes por forma a serem mais úteis na revolução digital. É o caso da aplicação de tecnologias com recurso a rádio identificadores (Kumari, Narsaiah, Grewal, & Anurag, 2015). Os antiquados sistemas de códigos de barras, muitas vezes com codificação própria e específica da empresa, começam agora a ser apoiados ou mesmo substituídos por identificadores de radiofrequência (ou RFID), permitindo a



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

divulgação de informações mais “utilizáveis” para outros softwares, permitindo integração dessa informação com sistemas de informação mais genéricos e exteriores ao ecossistema da empresa. Alguns dos usos típicos são a logística, combate à contrafacção ou roubo, rastreabilidade de animais e sistemas de controlo de acesso a instalações seguras. (Costa, et al., 2012) faz um resumo alargado sobre a aplicação desta tecnologia e os mais recentes desenvolvimentos nesta área assim como as suas vantagens na aplicação directa no sector agroalimentar.

Food	Product	Technology	
Horticultural products	Fruits general	RFID reader with on-board micromachined metal oxide sensors RFID radar-reader, and high gain patch antennas and RFID tag RFID tags comparison with barcodes	
	Pineapple	Four kinds of RFID temperature sensors	
	Tomato		
	Fresh cut salads	RFID HF 13.56 MHz with unique identification data and rewritable memory	
	Flowers general		
	Grapewine	RFID microchip internal implants	
	Rose	RFID microchip internal implants	
Meat products	Meat General	RFID tags comparison with barcodes	
	Beef	Sensor bolts with embedded RFID tags, RFID readers and network software	
	Pig	RFID tags and barcodes Custom RFID tag for carcass	
Dairy products	General		
	Cheese	Personal Computer vs. PocketPC Two typologies of tags tested	
Fishery products	Milk		
	Seafood general		
	Fish	Sensors controlled by the PLC and web-based system Smart tag which integrates light, temperature and humidity sensors, a microcontroller, a memory chip, low power electronics and an antenna for RFID communications Permittivity at UHF RFID frequencies 915 MHz RFID system RFID with temperature sensors RFID HF 13.56 MHz with unique identification data and rewritable memory	
	Lobster		
	Smoked seafood		
	Bakery products	Bakery general	
	Bread	Tags at different frequencies (915 and 433 MHz)	
Beverages	Beverages general	Tag antenna based sensing principle	
	Beer		
	Wine	Personal digital assistant (PDA) with a key mechanism involving both the passive RFID internal memory and the unique RFID identifier WSN-based system	
Other food products	Egg	Data recorder with RFID features	
	Sushi	Architectural framework of an RFID system on a conveyor belt	
	Pasta, coffee, milk, olive oil		

Tabela 2 - Listagem de aplicações de RFID no sector agroalimentar, segundo o levantamento extensivo de (Costa, et al., 2012)



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

A Tabela 2 resume as principais aplicações no sector do agroalimentar.

È interessante ainda realçar o estudo de (Tian, 2016) sobre o desenvolvimento de um sistema de rastreabilidade numa cadeia de distribuição agroalimentar e que relaciona as tecnologias de RFID e de *blockchain*, numa tentativa de aumentar a segurança alimentar na China ao acompanhar todo o ciclo da cadeia com recurso a essas duas tecnologias. O estudo concluiu que o sistema proposto foi capaz de realizar um rastreamento por toda a cadeia de distribuição com elevado nível de confiança, derivado principalmente da qualidade e quantidade de dados recolhidos e processados, o que se aplicada no mercado real iria garantir maior segurança alimentar (ou maior controlo de qualidade) ao recolher, transferir e partilhar dados reais da produção agroalimentar, do processamento, armazenamento, distribuição e venda dos produtos.

No seguimento do tópico anterior sobre a aplicação das tecnologias de RFID, verificámos que o principal objectivo da sua utilização acaba por ser a rastreabilidade de elementos ou produtos na cadeia de produção. Contudo apesar de fiável esta tecnologia só devolve informações quando é interpretada nos centros que compõem as cadeias de produção, através da leitura dos respectivos identificadores. Se considerarmos que uma cadeia de produção não se limita a pequenas regiões ou no máximo à dimensão de um país, mas sim que actua a nível global, a necessidade de manter o registo de rastreabilidade com recolha de dados em tempo real, obriga a procurar tecnologias com maior capacidade de acompanhamento dessas cadeias. As tecnologias GPS são amplamente utilizadas há já vários anos nas mais variadas aplicações e também o sector agroalimentar permitiu a sua introdução (Gallant & Nangalama, 2013). Estes sistemas permitem um maior controlo sobre as cadeias de produção agroalimentar, permitindo localizar em tempo real mercadorias que seensem estar contaminadas p.e., antes de chegarem ao consumidor ou até mesmo aos centros de distribuição.

Realidade Aumentada, Digital Twins e Inteligência Artificial

Um conjunto de tecnologias em crescente utilização por parte de empresas que adoptaram o paradigma da I4.0 são as tecnologias de simulação, modelação e interpretação de dados recolhidos (Kerin & Pham, 2019). São os casos da realidade aumentada e virtual (AR/VR), os *digital twins* e a Inteligência Artificial.



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização



Figura 7 - Exemplo de utilização de AR, num ambiente de chão de fábrica

O interesse nas tecnologias de AR/VR é actualmente muito elevado e transversal a praticamente todos os sectores industriais. Estas tecnologias permitem fundir os ambientes reais das indústrias com apresentações holográficas de artefactos digitais, ou seja, a realidade tal como a percebemos é aumentada ou melhorada através da projecção de informação digital directamente no contexto onde a informação tem maior importância (Figura 7). Por exemplo, simular a compra de um novo equipamento para um chão de fábrica, mas poder-se realizar uma análise quanto ao espaço que esse equipamento requer para operar, sem o ter fisicamente na fábrica. Os ganhos em tempo e optimização de custos são óbvios. Estas tecnologias trazem muitas vantagens às empresas no geral, embora devido à sua sofisticação e relativa novidade no mercado em geral, apresentam algumas barreiras de utilização por parte das empresas, nomeadamente ao nível tecnológico e orçamental.



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

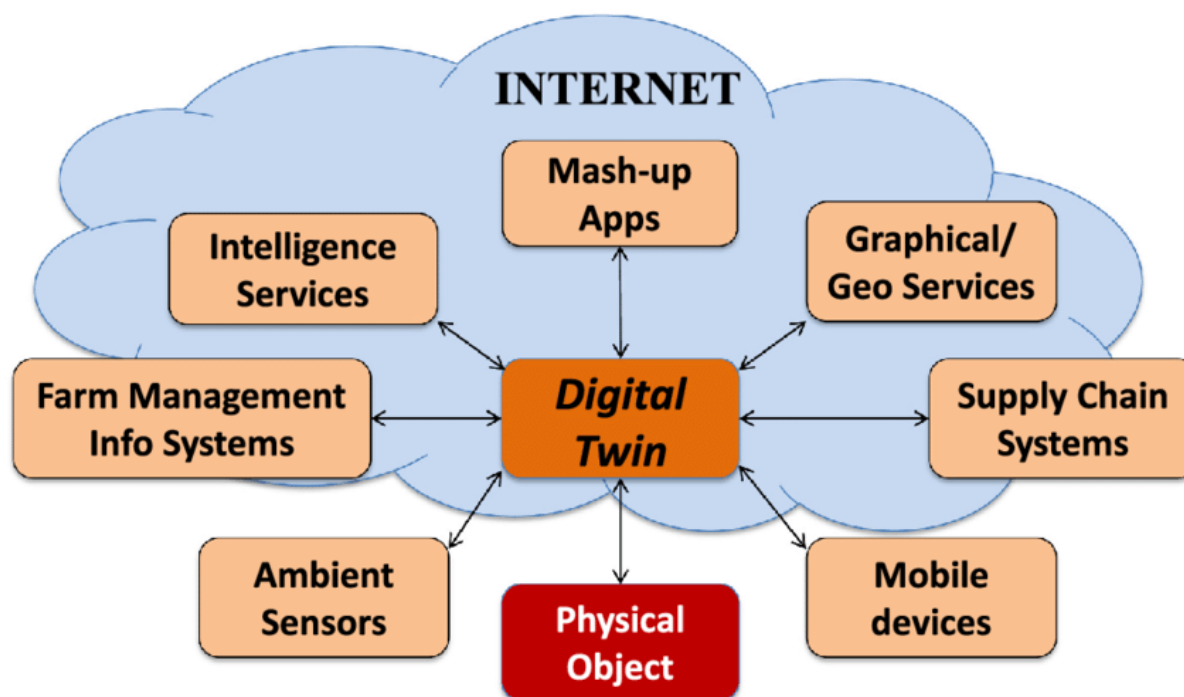


Figura 8 - Esquemática da importância dos Digital Twins no IoT (Verdouw, Tekinerdogan, Beulens, & Wolfert, 2020)

Os *digital twins* são um termo mais genérico que se referem á virtualização de componentes ou equipamentos complexos, isto é, visam representar digitalmente os seus contrapartes físicos reais, num ambiente virtual, mas dotados da mesma informação. Além de comportarem uma representação (ou simulação, visto que recorrem a software de modelação e simulação sofisticados) dos mesmo equipamentos no ambiente virtual, são alimentados também com toda a informação recolhida em tempo real pelo conjunto de sensores ou ferramentas de análise de dados (*Big Data*) e informação que estão instalados no equipamento real. Por exemplo, desta forma as condições de operacionalidade de uma máquina estão constantemente a ser monitorizadas e interpretadas em tempo real e de forma visual e intuitiva. Em (Verboven, Defraeye, Datta, & Nicolai, 2020) é feita uma análise sobre o potencial de aplicação do conceito de *digital twins* no sector agroalimentar, do ponto de vista do melhoramento da gestão operacional de equipamentos. O estudo conclui que ainda não há um número significativo de tentativas de implementação destas tecnologias no sector e centra-se então na análise e modelação de sistemas físicos, na análise e modelação de sistemas baseados na recolha de dados reais ou ainda em modelos híbridos destes dois últimos, para conseguir demonstrar que embora complexa, a aplicação deste conceito trás enormes vantagens no acompanhamento da fiabilidade de componentes de maior valor e relevância de um negócio. Algumas dessas vantagens serão principalmente ao nível da manutenção preditiva, redução de custos, redução de tempos de paragem, redução de incidentes ou alerta em tempo real de incidentes, entre outros. No entanto a principal conclusão a retirar daqui é mesmo a complexidade de implementação deste conceito e a sua relativa novidade no âmbito da I4.0 (Verdouw, Tekinerdogan, Beulens, & Wolfert, 2020).



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

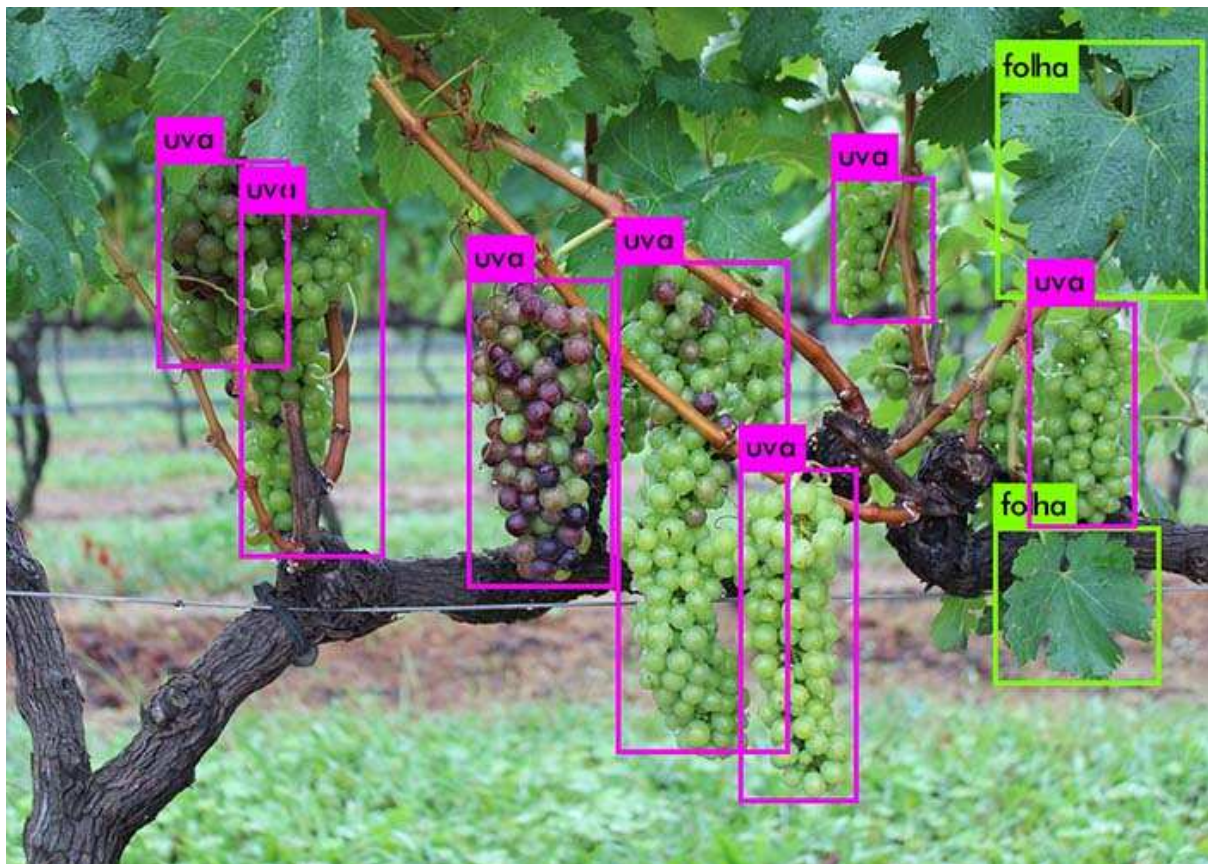


Figura 9 - Exemplo de resultado de aplicação de um modelo de Computer Vision a uma videira

A Inteligência Artificial já aqui foi discutida em algumas das suas vertentes, mas este tema é por si só demasiado extenso e abrangente para detalhar todas as suas características além de que o mesmo tema acaba por ser referenciado em vários tópicos. Já foi discutida a sua importância na análise inteligente de dados, controlo autónomo de sistemas robóticos ou ainda a sua aplicação nas cadeias de distribuição com recurso a tecnologias de *blockchain*. No sentido das tecnologias mais emergentes, foquemo-nos agora no chamado *Computer Vision*. A AI pode ser aplicada ao processamento em tempo real de imagens reais, por exemplo captadas numa camera de vídeo, que quando acoplada a algoritmos estatísticos sofisticados (ou *machine learning*) consegue devolver resultados na forma de identificação de objectos, pessoas ou outros elementos de interesse que possam surgir nessas imagens. Isto é de extrema utilidade na monitorização em larga escala p.e. de campos de cultivo onde se pode identificar de forma extremamente rápida, mudanças de cor, de forma, identificação de pragas e insectos, entre outras características (Figura 9). O trabalho realizado por (Gökmen, 2013) foca na utilização da AI para o avanço tecnológico de medição de cor, aplicada ao sector agroalimentar. São realizados vários exercícios para reconhecer p.e. graus de maturação de grãos de café, estados de cozedura de um bolo ou ainda reconhecer a qualidade de um pão pela diferença de cor.

CONCLUSÃO

Enquanto a IA.0 existe hoje em dia num estado muito avançado, tanto no campo científico como no de pesquisa e aplicação de tecnologia, dado que muitas empresas aplicam o em larga escala o



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

conceito, a Agricultura 4.0 ainda é aplicada de forma restrita e afastada para o campo teórico. Além disso, o futuro da indústria já progride para a Indústria 5.0 (Zambon, Cecchini, Egidi, Saporito, & Colantoni, 2019), enquanto o sector primário continua inadequado. A revolução da Agricultura 4.0 ainda é limitada a alguns casos de estudo raros de empresas pioneiras e empreendedoras. Por estas razões, os responsáveis políticos e decisores devem investir no progresso tecnológico, oferecendo a todos os sectores económicos (nomeadamente a indústria e a agricultura) formas diferentes de promover inovação. Neste contexto, a Indústria 4.0 ou a Agricultura 4.0 podem oferecer enormes vantagens às empresas de maior dimensão, enquanto as PME's regra geral enfrentam grandes dificuldades. Os mesmos responsáveis políticos devem oferecer políticas ou pedidos de propostas, que suportem o avanço generalizado das PME's, permitindo que estas se tornem mais competitivas no mercado



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

Referências

- Ali, I., Satie, S., & Thai, V. (2021). Adopting Industry 4.0 Technologies in Agri-Food Supply Chains: An Exploratory Investigation of Drivers and Barriers.
- Anand, C., Sadistap, S., Bindal, S., & Rao, K. S. (2010). Multi -Sensor Embedded System for Agro-Industrial Applications. *2009 Third International Conference on Sensor Technologies and Applications*.
- Anand, C., Sadistap, S., Bindal, S., Botre, B. A., & Rao, K. (2010). Wireless multi-sensor embedded system for Agro-industrial monitoring and control.
- Bonneau, V., Copigneaux, B., Probst, L., & Pedersen, B. (2017). *Industry 4.0 in agriculture: Focus on IoT aspects*. Digital Transformation Monitor. European Commission.
- Braga, S. (2020). *A transformação tecnológica do setor agroalimentar: oportunidades de crescimento*. Obtido de <https://www.sage.com/pt-pt/blog/a-transformacao-tecnologica-do-setor-agroalimentar-oportunidades-de-crescimento/>
- Calderone, L. (2020). *Readers Choice 2020: 5G Is Coming to Agriculture*. Obtido de Agritech Tomorrow: <https://www.agritechtomorrow.com/article/2020/07/readers-choice-2020-5g-is-coming-to-agriculture/12275>
- Carter, J. (2020). *10 ways 5G will change farming and agriculture*. Obtido de 5Gradar: <https://www.5gradar.com/features/ways-5g-will-change-farming-and-agriculture>
- Cena, F., Boella, G., Cordero, A., Guffanti, A., Rapp, A., Schifanell, C., . . . A. Biglia. (2020). Blockchain and Artificial Intelligence for quality food protection and advanced consumer services.
- Corallo, A., Latino, M. E., & Menegoli, M. (2018). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: A Framework to Manage Product Data in Agri-Food Supply Chain for Voluntary Traceability.
- Costa, C., Antonucci, F., Pallottino, F., Aguzzi, J., Sarriá, D., & Menesatti, P. (2012). A Review on Agri-food Supply Chain Traceability by Means of RFID Technology.
- Dorning, M., Ludlow, E., & Chandler, A. (2020). *Global Harvests at Risk With Travel Limits Squeezing Labor*. Obtido de Bloomberg: <https://www.bloomberg.com/news/articles/2020-03-17/u-s-growers-hit-by-visa-halt-for-mexico-seasonal-workers>
- Eli-Chukwu, N. C. (2019). Applications of Artificial Intelligence in Agriculture: A Review.
- EPRS. (2017). *European Parliamentary Research Service*. Obtido de Field Digitalization.
- Erl, T., Mahmood, Z., & Puttini, R. (2013). *Cloud Computing: Concepts, Technology & Architecture*. Prentice Hall.
- European Commission, Directorate-General for Agriculture and Rural Development. (2020). *Comissão Europeia*. Obtido de PROJECTS ON SMART AGRI-FOOD SYSTEMS: <https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwidqOOLyLrxAhXmQEEAHYLLAGYQFjABegQIBhAD&url=https%3A%2F%2Fec.eu>



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

pa.eu%2Fnewsroom%2Fhorizon2020%2Fdocument.cfm%3Fdoc_id%3D18158&usg=AOvVaw1QAz3SsA30rgc0kM89bHG

Gallant, L. O., & Nangalama, M. L. (2013). *Traceability of agricultural and agrifood products using RFID and GPS technology*. Patent Registration (Nr. 2747157).

GARNICS. (2013). *GARNICS*. European Commission. Obtido de <https://cordis.europa.eu/project/id/247947>

Gökmen, V. (2013). Artificial Intelligence: Improving the color measurement for agro-food applications.

Gouveia, H., Castro, H., Carvalho, A., Duarte, M. H., Gil, C., Varum, C., & Teixeira, L. (2020). *Avaliação da Maturidade i4.0 de Empresas Nacionais*.

Grossi, M., Berardinelli, A., Sazonov, E., Beccaro, W., & Omaña, M. E. (2019). Sensors and Embedded Systems in Agriculture and Food Analysis. *Journal of Sensors*.

Ixon. (2021). *All-in-one Industrial IoT solution for OEMs / machine builders*. Obtido de Ixon: <https://www.ixon.cloud/all-in-one-industrial-iot-solution>

Kahn, M. (2020). *Tech2*. Obtido de Precision agriculture could boost India's food production capacity, encourage sustainable farming: <https://www.firstpost.com/tech/science/precision-agriculture-could-boost-indias-food-production-capacity-encourage-sustainable-farming-9095411.html>

Kaloxylou, A., Eigenmann, R., Teye, F., Politopoulou, Z., Wolfert, S., Shrank, C., . . . Kormentzas, G. (2012). Farm management systems and the Future Internet era.

Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*.

Kosior, K. (2018). Digital Transformation in the Agri-food sector - opportunities and challenges.

Kumari, L., Narsaiah, K., Grewal, M., & Anurag, R. (2015). Application of RFID in Agri-food sector-A review, *Trends in Food Science & Technology*.

Lezoche, M., Hernandez, J., Diaz, M. d., Panetto, H., & Kacprzyk, J. (2020). Agri-food 4.0: a survey of the supply chains and technologies for the future agriculture. *Computers*.

Livinec, M. (2020). Agrifood: New risks looming ahead. Obtido de https://www.eulerhermes.com/en_global/news-insights/economic-insights/agrifood-new-risks-looming-ahead.html

Marmé, P. (2018). *O que é a Internet das Coisas (IoT – Internet of Things)?* Obtido de Wattson: <https://wattson.pt/2018/03/09/o-que-e-a-internet-das-coisas-iot-internet-of-things/>

Mendonça, J. M. (2015). *Indústria 4.0: Em Portugal o futuro já começou*. INESC TEC.

Miranda, J., Ponce, P., Molina, A., & Wright, P. (2019). Sensing, smart and sustainable technologies for Agri-Food 4.0.



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

- Molina, A., Ponce, P., Ramirez, M., & Sanchez-Ante, G. (2014). Designing a S2-Enterprise (Smart x Sensing) Reference Model.
- MooCall. (2021). Obtido de MooCall: <https://www.moocall.com/>
- Ultra-Mestre, M. J., Hargaden, V., Coughlan, P., & Rio, B. S.-G. (2020). Innovation in the Agri-Food sector: Exploiting opportunities for Industry 4.0.
- Pham, X., & Stack, M. (2018). How Data Analytics is Transforming Agriculture. *Business Horizons*.
- Poore, J., & Nemeek, T. (2019). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers.
- Proagrica. (s.d.). *What is agri big data analytics and why it matters*. Obtido de Proagrica: <https://proagrica.com/news/what-is-agri-big-data-analytics-and-why-it-matters/>
- Schmaltz, R. (2017). *What is precision agriculture?* Obtido de AFgFunder Network Partners: <https://agfundernews.com/what-is-precision-agriculture.html>
- Schuh, G., Anderl, R., Dumitrescu, R., Krüger, A., & Hompel, M. t. (2020). *Industrie 4.0 Maturity Index*.
- Soosay, C., & Kannusamy, R. (2018). Scope for industry 4.0 in agri-food supply chain. Obtido de <http://hdl.handle.net/10419/209342>
- Szilagyi, R., & Herdon, M. (2006). Impact Factors For Mobile Internet Applications In The Agri-food Sectors.
- Theofanis P. Raptis, A. P. (2019). Data Management in Industry 4.0: State of the Art and Open Challenges.
- Tian, F. (2016). An Agri-food Supply Chain Traceability System for China Based on RFID & Blockchain Technology.
- Verboven, P., Defraeye, T., Datta, A. K., & Nicolai, B. (2020). Digital twins of food process operations: the next step for food process models?
- Verdouw, C., Robbemond, R., & Wolfert, J. (2015). ERP in agriculture: Lessons learned from the Dutch horticulture.
- Verdouw, C., Robbemond, R., Verwaart, T., Wolfert, J., & Beulens, A. (2015). A reference architecture for IoT-based logistic information systems in agri-food supply chains.
- Verdouw, C., Tekinerdogan, B., Beulens, A., & Wolfert, S. (2020). Digital twins in smart farming. *Agricultural Systems*.
- Viet, N. Q., Behdani, B., & Bloemhof, J. (2019). Data-driven process redesign: anticipatory shipping in agro-food supply chains.
- Volpentesta, A. P., & Gala, M. D. (2013). Analyzing Mobile Services in Alternative Agrifood Networks.



SIM4.0- Sistemas Inteligentes de Monitorização

White, T., Grecu, I., & Grecu, G. (2020). Digitized Mass Production, Real-Time Process Monitoring, and Big Data Analytics Systems in Sustainable Smart Manufacturing . *Journal of Self-Governance and Management Economics*.

Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big Data in Smart Farming – A review. *Agricultural Systems*.

Yahya, N. (2018). Chapter 5 Agricultural 4.0: Its Implementation Toward Future Sustainability. Em *Green Energy and Technology*. Springer.

Zambon, I., Cecchini, M., Egidi, G., Saporito, M. G., & Colantoni, A. (2019). Revolution 4.0: Industry vs. Agriculture in a Future Development for SMEs.