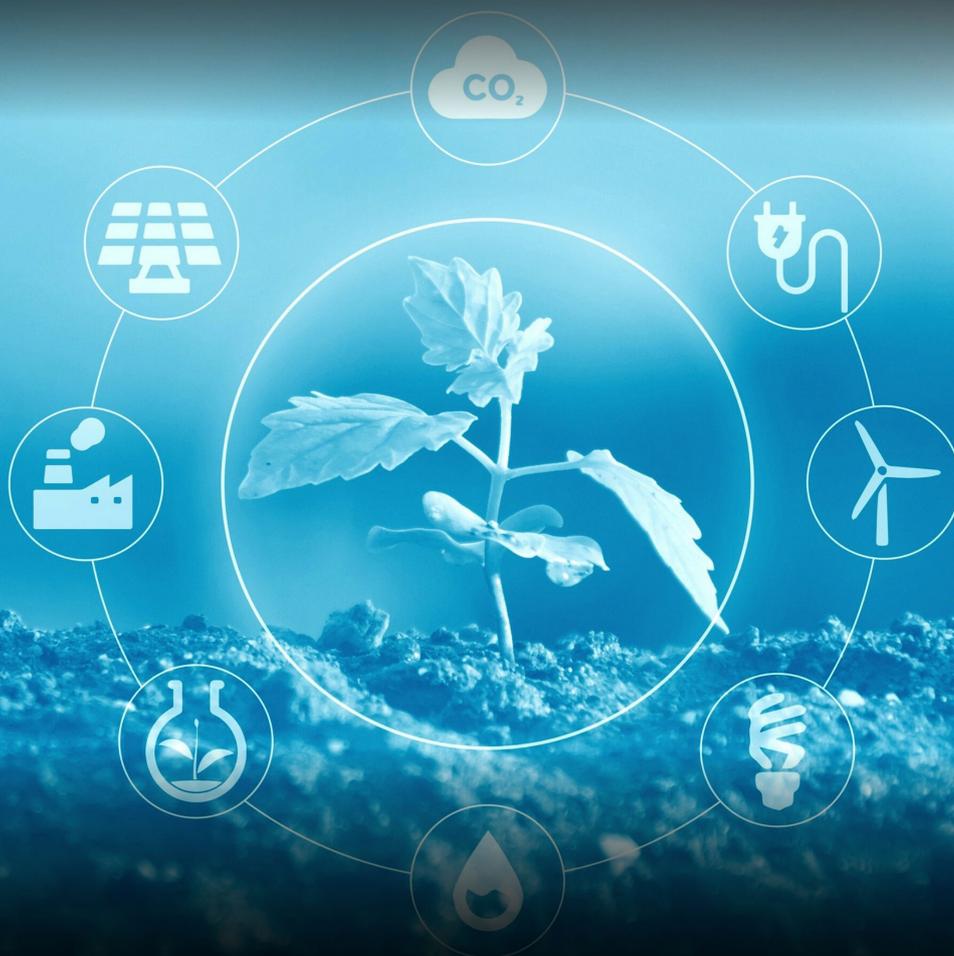




SCIENTIFIC SOCIETY



**(R)EVOLUÇÃO
NO AGRO-ALIMENTAR
E NA FLORESTA**

FICHA TÉCNICA

**INESC TEC SCIENCE & SOCIETY
É PUBLICADA PELO INESC TEC**
INSTITUTO DE ENGENHARIA DE SISTEMAS
E COMPUTADORES, TECNOLOGIA E CIÊNCIA
Campus da FEUP
Rua Dr Roberto Frias
4200-465 Porto
Portugal
+351 222094000
info@inesctec.pt
www.inesctec.pt

COPYRIGHT

Todos os autores dos artigos que constam nesta edição devem ser identificados com copyright pelos seus trabalhos. INESC TEC Science & Society é uma publicação licenciada por Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY).

EDIÇÃO ONLINE

science-society.inesctec.pt

EQUIPA EDITORIAL PARA TEMA ESPECIAL

André Sá (Business Developer/TEC4AGRO-FOOD)
Mário Cunha (Investigador INESC TEC/Professor na FCUP)

CONSELHO EDITORIAL

Artur Pimenta Alves (Diretor Associado, INESC TEC)
Pedro Guedes Oliveira (Consultor do Presidente do INESC TEC e Presidente do Fórum do Outono)
Joana Coelho (Serviço de Comunicação, INESC TEC)
Duarte Dias (Cluster Redes de Sistemas Inteligentes, INESC TEC)
Filipe Joel Soares (Cluster Energia, INESC TEC)
Ana Nunes Alonso (Cluster Informática, INESC TEC)
Mário Amorim Lopes (Cluster Engenharia Industrial e de Sistemas, INESC TEC)
Nuno Moutinho (Ciências da Comunicação, FEP)

DESIGN

Rita Morais Costa (Serviço de Comunicação, INESC TEC)
Pedro Fonseca (Serviço de Comunicação, INESC TEC)

TRANSLATION

Francisco Azevedo (Serviço de Comunicação, INESC TEC)

TECHNICAL SUPPORT

João Aguiar (Serviço de Apoio à Gestão, INESC TEC)

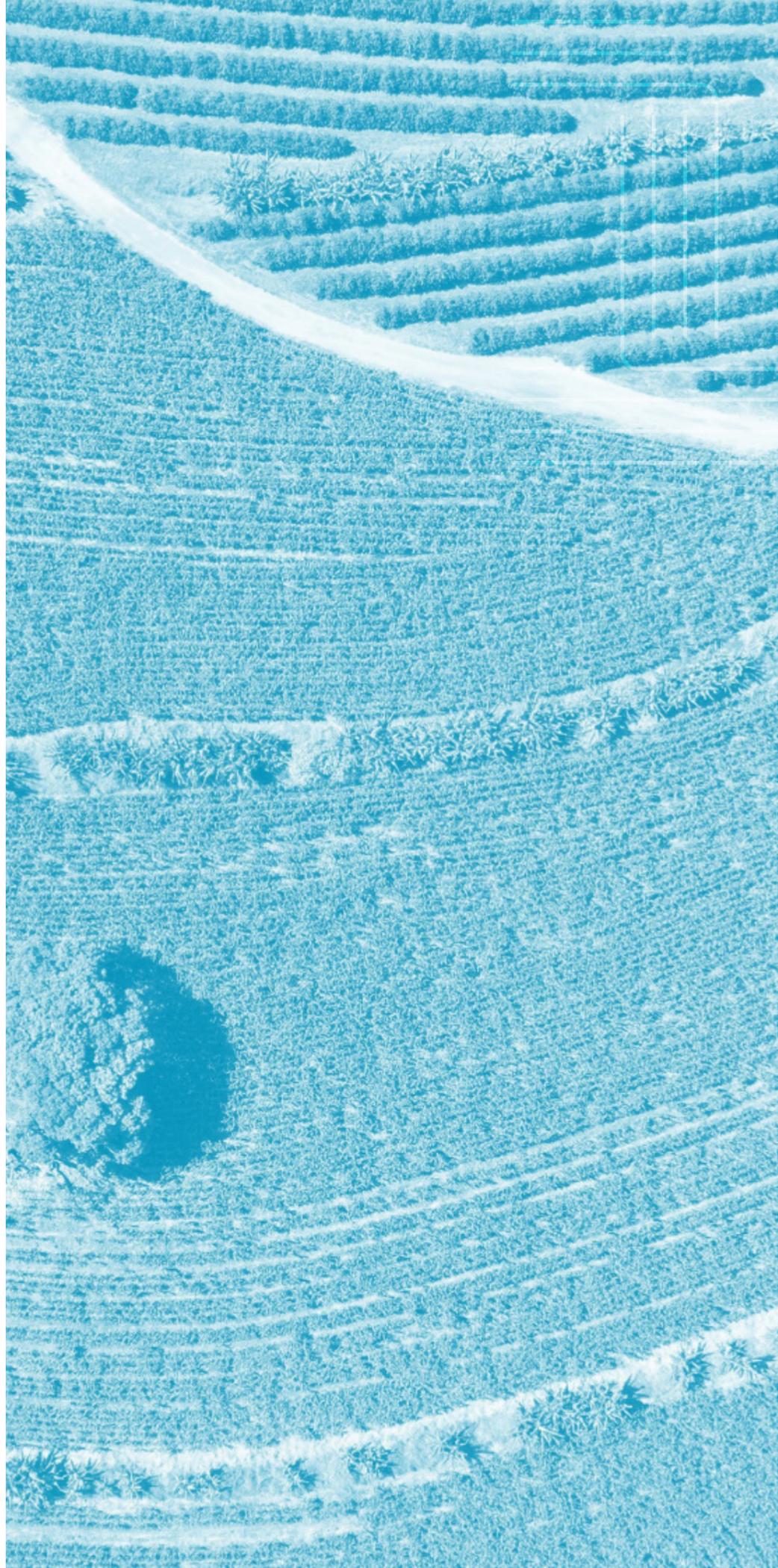
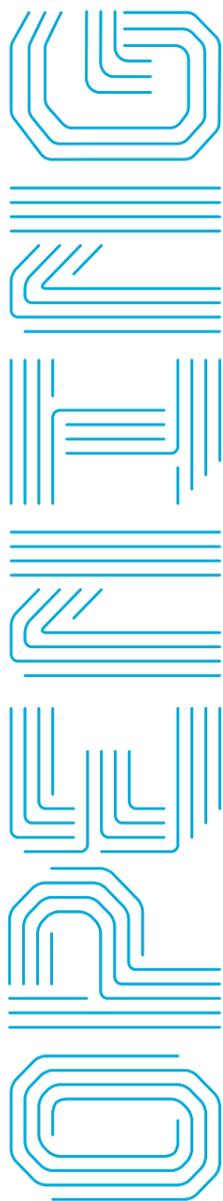




ÍNDICE

- 8** **Introdução**
Artur Pimenta Alves
- 12** **Editorial**
André Sá, Mário Cunha
- TEC4AGRO-FOOD ENVOLVENDO A CIÊNCIA E A SOCIEDADE: VISÃO GERAL**
- 18** **Políticas e tecnologias dos setores agroalimentar e florestal: a necessidade de uma visão integrada**
Ricardo Migueis and Nuno Canada
- 22** **SmartAgriHubs: uma rede de Digital Innovation Hubs para acelerar a transformação digital do setor agroalimentar europeu**
Sjaak Wolfert and George Beers
- 26** **Agricultura de precisão e sustentabilidade**
Mário Cunha and Ricardo Braga
- 30** **Soluções de Precisão Inteligente para um Setor Pecuário mais Sustentável**
Pedro Carvalho and Ana Sofia Santos
- 34** **Floresta de precisão inteligente**
Reinaldo Gomes, Alexandra Marques and Carlos Fonseca
- 38** **Sistemas de Informação Geoespacial na Agricultura como a Chave para a Tomada de Decisão**
Lino Oliveira and João Santos
- 42** **A Automatização e a Robótica para uma nova Era da Agricultura e das Florestas**
Filipe Santos
- 46** **Inteligência Artificial na Agricultura: desafios, benefícios e casos de uso**
João Moreira, Carlos Ferreira and Duarte Dias
- 50** **Agricultura sustentável na era da ómica de campo. A revolução AgroOmica**
Mário Cunha, Rui Martins and Filipe Santos
- 54** **Digital Twins no Agro-Alimentar e Floresta**
Lino Oliveira, Alexandre Costa, Mafalda Castro e Rui Ramos
- 58** **Porque precisamos de tecnologia na indústria do vinho?**
José Manso
- 62** **Fornecedores de tecnologia inteligente e de precisão para atividade com tecnologias de taxa variável**
Sérgio Oliveira and Ricardo Teixeira





SCIENCE & SOCIETY

Este é mais um número da revista "INESC TEC Ciência & Sociedade", criada pelo INESC TEC com o objetivo de divulgar a ciência à sociedade em geral e contribuir para o debate de questões emergentes, na expectativa de que possa ser de interesse para os gestores, políticos e técnicos dos sistemas envolvidos na atividade nos setores tratados.

Foi excelente a aceitação dos primeiros três números, e elaboramos este número 4 dedicado à agricultura e florestas, com a expectativa que isso possa voltar a acontecer.

Mais uma vez, os autores são investigadores do INESC TEC e personalidades externas que convidamos de forma a assegurar uma visão mais abrangente do tema.

Dado o considerável número de artigos recebidos, não se incluem, como sucedeu nos números anteriores, outros artigos de atualidade. Esperamos conseguir contribuir para uma visão alargada do tema e uma caracterização do impacto que a ciência e a tecnologia poderão ter no sector em Portugal.

A revista é distribuída online, em formato pdf, e ainda, numa plataforma, que temos vindo a aperfeiçoar, que permite o acesso em HTML, mais amigável para os que pretendem aceder a partir dos seus telemóveis.

Resta-me agradecer a todos os que contribuíram, destacando o trabalho realizado pelo Conselho Editorial e pelo Serviço de Comunicação do INESC TEC, e, muito em particular, à equipa de redatores do Tema e a todos os autores.

Esperamos, sinceramente, que o resultado seja do vosso agrado.

ARTUR PIMENTA ALVES ^(1,2,3)

⁽¹⁾ COORDENADOR DA SÉRIE

⁽²⁾ PROFESSOR EMÉRITO DA FEUP

⁽³⁾ DIRETOR ASSOCIADO DO INESC TEC

artur.p.alves@inesctec.pt



TEC4AGRO-FOOD ENVOLVENDO A CIÊNCIA E A SOCIEDADE VISÃO GERAL

A passar de Vale da Morte para Cabo da Boa Esperança, a transferência de tecnologia é ainda uma etapa crítica e complexa no processo de inovação. Similarmente, a adoção de tecnologia é também uma etapa crítica e desafiante.

Tendo isso em conta, o INESC TEC criou em 2014 o TEC4AGRO-FOOD, a Iniciativa do INESC TEC para o Agro-Alimentar e Floresta. O TEC4AGRO-FOOD é uma nova abordagem organizacional, com o objetivo de estruturar o processo de inovação market-pull, em oposição ao science-push que ocorre naturalmente nos Centros de I&D do INESC TEC, apoiando o estabelecimento do equilíbrio adequado entre as duas motivações opostas e a cadeia conhecimento-para-valor completa. A missão do TEC4AGRO-FOOD é co-criar a (r)evolução digital no agro-alimentar e floresta, através de investigação e desenvolvimento tecnológico em tecnologias digitais e robótica, para a criação de valor de longo prazo para o INESC TEC, a partir dos clientes, mercados e relacionamentos.



**INICIATIVA DO INESC TEC
PARA O AGRO-ALIMENTAR
E FLORESTA**

**Co-criando a (r)evolução digital
no agro-alimentar e floresta**

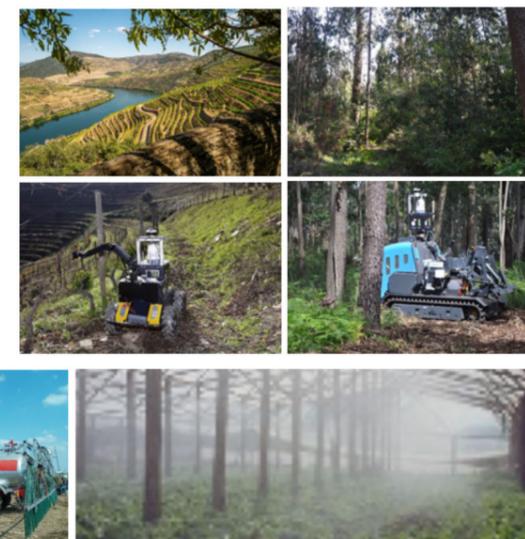


Figura 1 TEC4AGRO-FOOD, Iniciativa do INESC TEC para o Agro-Alimentar e Floresta.

Tirando partido das competências, nomeadamente ao nível das principais tecnologias digitais envolvidas na (r)evolução digital em curso no agro-alimentar e floresta, isto é, Internet of Things (IoT), Big Data, Robótica e Inteligência Artificial, recursos, nos quais o Laboratório de Robótica e IoT para Agricultura e Floresta de Precisão Inteligente, um ativo diferenciador do INESC TEC - um laboratório de robótica e IoT totalmente dedicado à agricultura e floresta, desempenha um papel crucial, e experiência do INESC TEC, incluindo a adquirida nas intervenções bem sucedidas noutros setores, como seja o calçado, o TEC4AGRO-FOOD tem como principais áreas de aplicação a Agricultura e Floresta de Precisão ("momento certo, quantidade certa, local certo") Inteligente (digitalização), Segurança Alimentar e Bioeconomia. O TEC4AGRO-FOOD pode atuar em todas as fases do ciclo da Agricultura/Floresta de Precisão Inteligente, da medição da variabilidade, à atuação com tecnologias de taxa variável (variable rate technologies (VRT)), passando pela análise de dados e decisão e carta de prescrição:

Tipicamente (há exceções), o INESC TEC investiga e desenvolve tecnologias até Technology Readiness Level (TRL; Nível de Maturidade Tecnológica) 7 - Demonstração do Protótipo do Sistema em Ambiente Operacional.

Para promover a criação de "Triângulos da Inovação", o INESC TEC está presente nos Laboratórios Colaborativos (CoLABs), Clusters de Competitividade (Clusters) e Centros Nacionais de Competências, relevantes, e na Plataforma Regional de Especialização Inteligente dos Sistemas Agroambientais e Alimentação (Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte (CCDR-N)), estabeleceu parcerias, nomeadamente com o INIAV, Herculano e parceiros complementares, e, especialmente no que diz respeito à Europa, o INESC TEC iniciou ou está a reforçar a participação em programas/iniciativas europeias relevantes, juntamente com a sua participação proativa no Work Group Agro-Food & Forestry (WG Agro) do INESC BRUSSELS HUB.

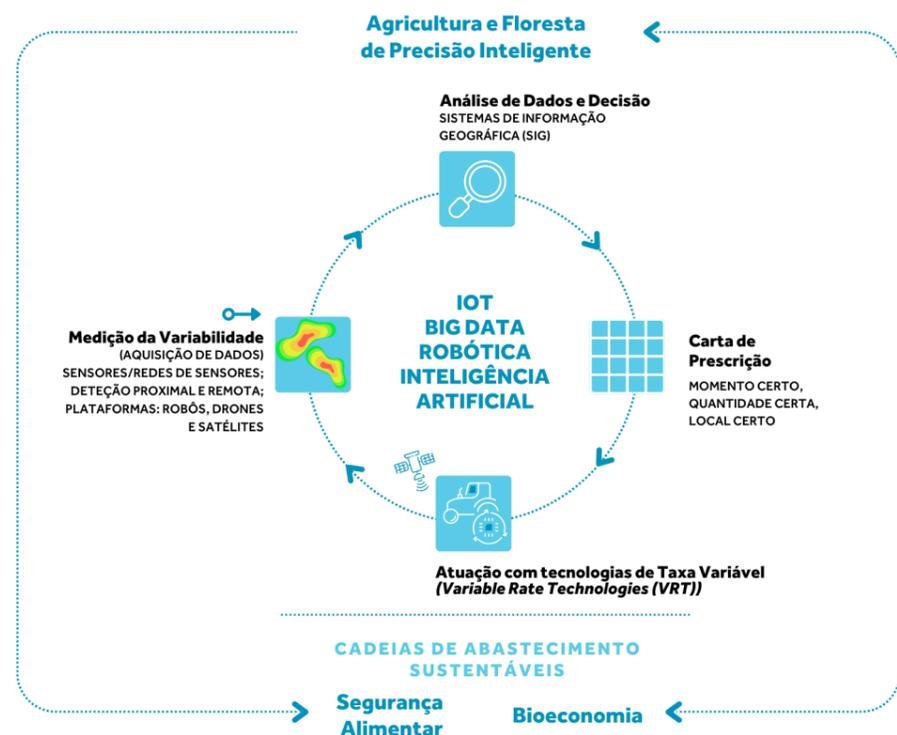


Figura 2 Áreas de aplicação do TEC4AGRO-FOOD.

Para que a inovação ocorra, o "Triângulo da Inovação" tem de estar presente. As necessidades (curto prazo) e desejos (médio-longo prazo) dos Utilizadores Finais (agricultores, produtores florestais e associações respetivas), têm de ser capturados pelas entidades não empresariais do sistema de investigação e inovação (I&I), tal como o INESC TEC, e Empresas "Tomadores de Tecnologia", de forma a que estes possam desenvolver em conjunto produtos e serviços inovadores, para serem fornecidos pelas Empresas "Tomadores de Tecnologia", aos Utilizadores Finais. O INESC TEC pode também disponibilizar consultoria avançada, diretamente aos Utilizadores Finais.

O TEC4AGRO-FOOD encara a investigação e desenvolvimento sempre numa perspetiva "why" (problema/oportunidade), "how" (como fazer as coisas acontecerem), "what" (solução), tendo por isso os seus desafios de investigação alinhados com as principais agendas de I&I, relevantes para o agro-alimentar e floresta, nomeadamente a Agenda de Inovação - Terra Futura, do Ministério da Agricultura Português, Agenda Temática de Investigação e Inovação para o Agroalimentar, Florestas e Biodiversidade da FCT (Fundação para a Ciência e a Tecnologia portuguesa), Estratégia de Digitalização do GPP (Gabinete de Planeamento, Políticas e Administração Geral do Ministério da

Agricultura Português) e, ao nível europeu, com o Horizonte Europa e Digital Europe Programme (DIGITAL).

Esta edição da revista inclui mais informação e estatísticas relativas ao TEC4AGRO-FOOD, onde fica claro o crescimento sustentável verificado nos últimos anos, quer ao nível nacional, quer ao nível europeu.

Os mecanismos de adoção e difusão de tecnologias digitais no agro-alimentar e floresta devem ser entendidos ao nível dos utilizadores finais e do sistema, onde sistema se refere à identificação e organização de entidades relevantes para a adoção e difusão, conforme explicado nos dois primeiros artigos deste volume. Os três artigos seguintes abordam as tecnologias, estratégias de gestão para um futuro sustentável, organizações e políticas públicas para a precisão inteligente em sistemas agrícolas-pecuários (artigos 3 e 4) e florestais (artigo 5). As tendências tecnológicas para a tomada de decisão numa ótica de agricultura e floresta de precisão inteligente, são apresentadas no artigo 6 (sistemas de informação geoespacial), artigo 7 (automação e robôs) e artigo 8 (inteligência artificial). O artigo 9 explica como disciplinas multiómicas, alimentadas por sensores de espectroscopia inteligente, montados em plataformas robóticas acopladas com inteligência artificial, podem ser exploradas para desenvolver sistemas avançados de agricultura de precisão inteligente. O artigo 10 caracteriza e exemplifica como os sistemas "digital twin" podem ser utilizados para adquirir respostas a questões difíceis de responder sem algum contexto, como irrigação e fertilização em ambientes específicos, bem como clima e solo e suas interações. Este

conjunto de artigos termina com a visão de um utilizador final/ associação de utilizadores finais vitivinícolas e das empresas tecnológicas ("tomadoras de tecnologia") do agro-alimentar e floresta (artigos 11 e 12).

A visão do TEC4AGRO-FOOD é tornar-se um player internacional relevante, em investigação e desenvolvimento tecnológico em tecnologias digitais e robótica, para o agro-alimentar e floresta.

ANDRÉ SÁ ⁽¹⁾
MÁRIO CUNHA ^(1,2)
⁽¹⁾ INESC TEC
⁽²⁾ FCUP
 andre.sa@inesctec.pt
 mario.cunha@inesctec.pt

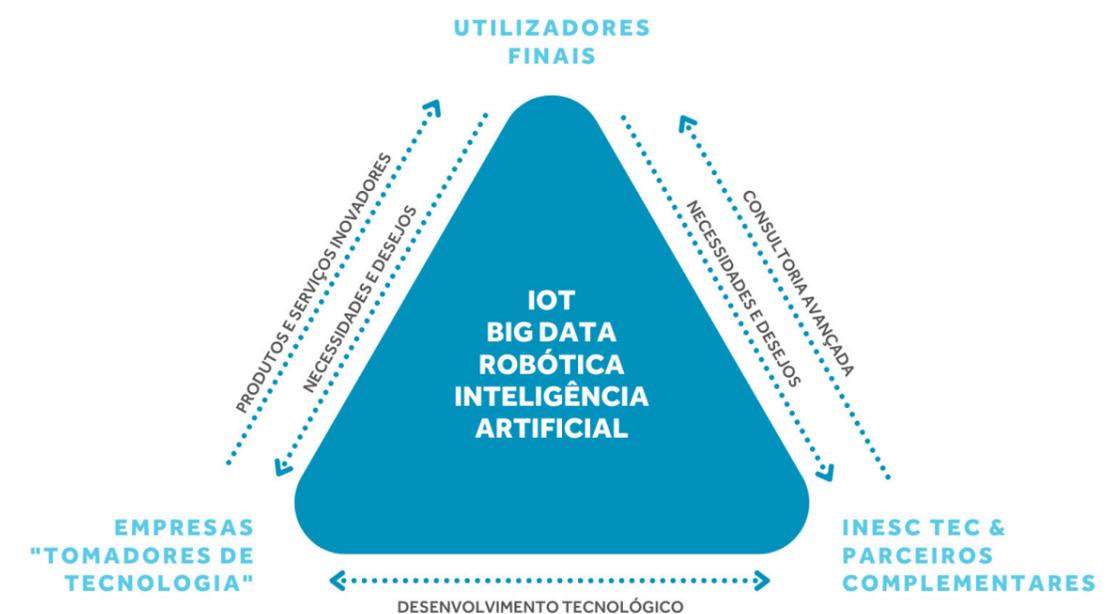


Figura 3 Posicionamento do INESC TEC - "Triângulo da Inovação".

ATIVIDADES DO INESC TEC NO SETOR AGRO-ALIMENTAR

ÁREAS DE CONHECIMENTO



IOT



BIG DATA



ROBÓTICA



INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

ÁREAS DE APLICAÇÃO



AGRICULTURA E FLORESTA DE PRECISÃO INTELIGENTE



SEGURANÇA ALIMENTAR E BIOECONOMIA

PARCEIROS COM PROTOCOLOS DE COLABORAÇÃO OU AFILIAÇÃO INESC TEC



Centro Nacional de Competências para as Alterações Climáticas do Sector Agroflorestal

ESTATÍSTICAS (2016-2020)



+30
RESEARCHERS



240
PUBLICATIONS WEB OF SCIENCE



12
SUBMITTED PATENTS



4
OPEN SOURCE TECHNOLOGIES LIBERATED



70
PROJECTS, PRIVATE AND PUBLIC FUNDING



4,4 M€
INCOME

INFRAESTRUTURAS



13
INESC TEC CENTROS DE INVESTIGAÇÃO

CESE | CAP | CITE | CTM | CPES | CRIIS | CRAS | HUMANISE | CEGI | C-BER | LIAAD | CRACS | HASLAB



LABORATÓRIOS DE INVESTIGAÇÃO

Robótica e IoT para Agricultura e Floresta de Precisão Inteligente
Tecnologias Óticas e Eletrónicas
Computação Gráfica e Ambientes Virtuais
Sensores Óticos e Redes Elétricas Inteligentes e Veículos Elétricos

POLÍTICAS E TECNOLOGIAS DOS SETORES AGROALIMENTAR E FLORESTAL

A NECESSIDADE DE UMA VISÃO INTEGRADA

O desenvolvimento de uma visão mais integrada das práticas agrícolas, da produção alimentar, e da gestão florestal, é mais urgente do que nunca. Em Portugal, encontramos a desenvolver uma rede de estações experimentais (testes de campo e living labs) para reforçar a capacidade de inovação nos setores da agricultura e da alimentação.

RICARDO MIGUEIS ⁽¹⁾
NUNO CANADA ⁽²⁾

⁽¹⁾ INESC BRUSSELS HUB

⁽²⁾ INIAV

ricardo.migueis@inesctec.pt

nuno.canada@iniav.pt



Figura 1 Robô INESC TEC em ambiente de demonstração.

O desenvolvimento de uma visão mais integrada das práticas agrícolas, da produção alimentar, e da gestão florestal, é mais urgente do que nunca. Várias organizações nacionais e internacionais defendem este princípio, e os seus esforços traduzem-se em diferentes abordagens estratégicas. No entanto, consideramos ser importante colocar o desenvolvimento de políticas e de tecnologias no centro da implementação prática de qualquer visão estratégica. Além disso, qualquer um dos objetivos políticos, económicos, ambientais ou sociais que garantam um futuro suportável e sustentável para as gerações vindouras depende da nossa capacidade de desenvolver e disponibilizar soluções tecnológicas devidamente adaptadas. Não existe um equilíbrio concreto entre o nível de compromisso que é necessário assumir e o nível adequado de investimento em iniciativas de investigação e inovação. A missão assume um carácter urgente, e o alinhamento das prioridades a todos os níveis é crucial: desde a política e o financiamento a nível da UE, até à gestão a nível regional ou mesmo institucional, bem como à definição das agendas de I&I.

Tomemos como exemplo o Quadro Estratégico para 2022-2031 da Organização para a Alimentação e Agricultura (FAO) das Nações Unidas, que visa promover "melhor produção, melhor nutrição, melhor ambiente e melhores condições de vida", através da transição para sistemas agroalimentares mais eficientes, inclusivos, resilientes e sustentáveis,

baseados em princípios de inclusão social. Ou mesmo o Pacto Ecológico Europeu - Green Deal, desenvolvido como parte integrante da estratégia da Comissão Europeia, com vista a melhorar a competitividade económica da UE, e implementar a Agenda 2030 das Nações Unidas e os objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Este Pacto demonstra quão complexos e notáveis são os desafios atuais. O Green Deal apresenta-se como uma nova estratégia de crescimento que visa uma economia competitiva e eficiente em termos de recursos, na qual não existe qualquer emissão de gases com efeito de estufa até 2050, e o crescimento económico não está associado à utilização extensiva desses mesmos recursos. Este será um passo importante e uma mudança drástica no nosso viés cultural, económico e político, alcançável apenas através de soluções tecnológicas que ainda não foram desenvolvidas e disponibilizadas aos cidadãos e à indústria. Este é um esforço que requer uma abordagem a vários níveis e o alinhamento de prioridades, bem como uma capacidade de colaboração sem precedentes entre os diferentes stakeholders dos ecossistemas e das cadeias de valor de I&I, a nível regional e nacional.

Em Portugal, a nova "Agenda de Inovação para a Agricultura" - atualmente a ser implementada pelo Governo português, com o apoio de diferentes entidades - está alinhada com o Green Deal, o Quadro Estratégico da FAO e os objetivos de Desenvolvimento Sustentável 2030 das Nações Unidas. Tendo em conta as especificidades da região

sul da Europa e os efeitos das alterações climáticas na região do mediterrâneo, a atual agenda nacional aborda os principais desafios, atribuindo um papel fulcral ao conhecimento e à tecnologia, centrando-se também em determinados aspetos regionais.

Vamos aproveitar esta oportunidade para explorar um pouco mais este assunto. Em primeiro lugar, a digitalização dos sistemas alimentares será crucial para a competitividade e a sustentabilidade das organizações, e para a forma como os países se preparam para enfrentar os principais desafios nestes domínios. À semelhança dos sistemas humanos, a capacidade de melhorar a saúde (sustentabilidade) dos sistemas terrestres, aquáticos e agroalimentares depende da capacidade de monitorizar, diagnosticar (avaliar), estabelecer (gerir) e implementar protocolos de tratamento (recuperação).

Tendo em conta que, nos próximos anos, será necessário aumentar drasticamente a produção de alimentos, bem como lidar com o impacto significativo das alterações climáticas e de doenças emergentes e reemergentes, e a falta de profissionais no setor agrícola, entre outros fatores, as soluções disponíveis hoje em dia são, claramente, insuficientes.

Assim, torna-se necessário explorar duas grandes áreas complementares: desenvolver novas soluções e promover a capacitação dos agricultores, dos profissionais técnicos e das próprias organizações.

Em relação às novas soluções, gostaríamos de destacar a biotecnologia, a criação de plantas e animais (desenvolvimento de marcadores moleculares associados a traços fisiológicos e novas ferramentas de fenotipagem), e o uso de tecnologias digitais para garantir:

- a) Monitorização inteligente.
- b) Planeamento e controlo inteligentes.
- c) Transparência, responsabilidade e segurança.

Soluções remotas de diagnóstico e de sensorização em tempo-real, desenvolvimento de fenotipagem de alto desempenho e melhoria da rastreabilidade e da biossegurança são exemplos de algumas áreas com grande interesse. Outras dimensões importantes que exigem um elevado nível de recursos computacionais – traduzindo-se em aplicações adaptadas aos utilizadores finais – são a gestão da irrigação (coeficientes de cultivo, indicadores de estado hídrico e quantificação

da intensidade do stress hídrico); o diagnóstico do estado nutricional das plantas e a deteção precoce de doenças; e o uso de tecnologias digitais na pecuária, para melhorar o desempenho e as soluções baseadas em blockchain – todas elas áreas importantes em termos de investigação.

O reforço das capacidades dos agricultores, do pessoal técnico e das organizações é um fator essencial para o sucesso da adoção de novas soluções. Os processos de aperfeiçoamento e de requalificação devem ser implementados em grande escala, focando-se nas necessidades específicas dos sectores agrícola e alimentar.

Instalações de carácter experimental e projetos-piloto para o desenvolvimento, teste e demonstração de diferentes soluções serão cruciais para uma adoção em larga escala de produtos e práticas inovadoras.

Em Portugal, encontramos a desenvolver uma rede de estações experimentais (testes de campo e living labs) para reforçar a capacidade de inovação nos setores da agricultura e da alimentação. Simultaneamente, estamos a reforçar a ligação entre a investigação, a inovação, a experimentação e o desenvolvimento de aplicações inovadoras que visam dar resposta a necessidades específicas. Para tal, tornam-se relevantes abordagens organizacionais inovadoras para aumentar a proximidade e a interação entre as organizações que se dedicam à investigação, as empresas privadas e outros stakeholders. Os Centros de Competência (e.g., Centro Nacional de Competências para a Inovação Tecnológica do Sector Agroflorestal - InovTechAgro) e os Laboratórios Colaborativos (e.g., Laboratório Colaborativo para a Inovação Digital na Agricultura - Smart Farm CoLab), que contam com a participação do INIAV e do INESC TEC, são casos que traduzem os esforços nesse sentido.

Em suma, para dar resposta aos desafios que são comuns a todos nós, i.e., já identificados no Green Deal e em todas as suas "sub-estratégias" e políticas, e aos desafios específicos de certas regiões, é importante garantir: 1) um alinhamento político e institucional a vários níveis, e a complementaridade dos objetivos políticos; 2) sinergias entre diferentes fontes de financiamento; 3) uma sensibilização para o facto de que a complexidade dos desafios exige um investimento muito maior em I&I, tanto a nível público, como na esfera privada, mas acima de tudo, uma visão cocriada e integrada das futuras prioridades políticas e dos esforços de I&I - que têm como grande meta a melhoria das condições de vida e a preservação do planeta.



SMARTAGRIHUBS

UMA REDE DE DIGITAL INNOVATION HUBS PARA ACELERAR A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL DO SETOR AGROALIMENTAR EUROPEU

A transformação digital dos produtos agroalimentares encontra-se numa fase em que as inovações demonstram grande potencial, sendo urgente aumentar a sua adoção e integração. O perfil da digitalização está em constante evolução, e tornou-se parte de um ecossistema bastante complexo.

SJAAK WOLFERT ⁽¹⁾
GEORGE BEERS ⁽¹⁾

⁽¹⁾ WAGENINGEN UNIVERSITY & RESEARCH, PAÍSES BAIXOS
sjaak.wolfert@wur.nl
george.beers@wur.nl



Figura 1 O SmartAgriHubs integra várias competências para a transformação digital do setor agro-alimentar europeu.

AS TECNOLOGIAS DIGITAIS E OS MODELOS DE NEGÓCIOS MOSTRAM GRANDE POTENCIAL, MAS AS ATUAIS BARREIRAS E FALTA DE ALINHAMENTO IMPEDEM O SEU AVANÇO.

A agricultura digital afigura-se, de um modo geral, como uma tecnologia fundamental para dar resposta aos grandes desafios do setor agrícola, nomeadamente o fornecimento seguro e sustentável de alimentos de qualidade, promovendo a eficiente utilização de recursos, combatendo os efeitos das alterações climáticas e desenvolvendo a economia circular. As tecnologias digitais, como a Internet das Coisas (Internet of Things - IOT), o Big Data, a Robótica e a Inteligência Artificial, permitem a transformação de operações agrícolas, tornando-as mais inteligentes, ágeis, autónomas e orientadas por dados, podendo ser controladas remotamente e integradas na cadeia de fornecimento alimentar: desde partida produção primária até ao consumidor.

Apesar do grande interesse por parte das empresas de tecnologia, investidores e decisores políticos, a taxa de adoção de soluções de Agricultura Digital é bastante reduzida. Em vários estados-membros da UE, existem pequenos grupos de agricultores que se afiguram como pioneiros na adoção de tecnologias digitais, muitas vezes considerados modelos para outros agricultores. Todavia, a maioria dos agricultores ainda não recorre a tecnologias digitais, direcionando o seu investimento para soluções já conhecidas e tangíveis, como os tratores agrícolas automáticos e robôs de ordenha.

Assim, o atual impacto da digitalização da agricultura encontra-se muito aquém do seu

verdadeiro potencial. Algumas das principais razões apontadas são a ausência de conhecimento e de competências tecnológicas na maioria das explorações agrícolas, bem como a falta de planos de negócio para agricultores e de modelos de negócios para fornecedores de tecnologia. Além disso, e ao contrário de outros setores, a agricultura depende de condições sectoriais e regionais. Outro obstáculo identificado é a fragmentação e a falta de alinhamento entre as várias fontes de financiamento público e privado. Além disso, o financiamento público destina-se, maioritariamente, ao desenvolvimento de conceitos ou protótipos promissores, deixando os investidores privados reticentes, pois o potencial de mercado dessas soluções não é claro, assim como os riscos associados. Dessa forma, a maioria dos investidores prefere as start-ups e soluções prontas a entrar no mercado. Tal facto levou ao desenvolvimento de várias apps, enquanto os agricultores necessitam de soluções mais integradas.

O SMARTAGRIHUBS VISA PROMOVER A TRANSFORMAÇÃO DIGITAL DO SETOR AGROALIMENTAR

De forma a superar os desafios apresentados, o projeto SmartAgriHubs, financiado pela UE, visa desenvolver uma rede pan-europeia de Digital Innovation Hubs (DIHs), promovendo assim a transformação digital do setor agroalimentar. Esta iniciativa pretende, também alavancar, fortalecer e conectar DIHs no setor agroalimentar em toda a Europa. Este "ecossistema de ecossistemas" reúne diversas competências necessárias para aumentar o potencial das soluções digitais e implementar a transformação digital do setor agrícola europeu (Figure 1)

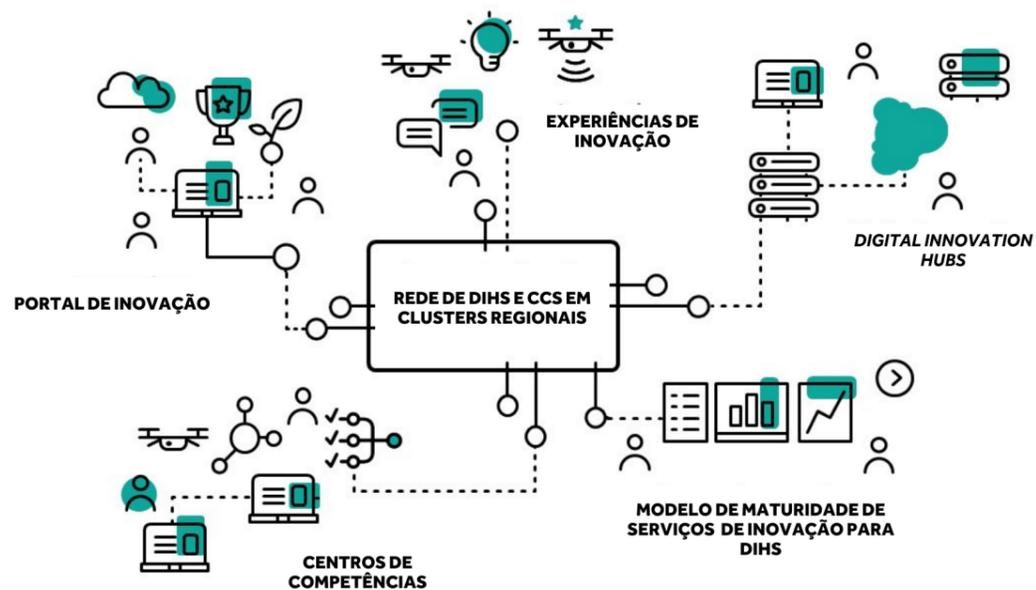


Figura 2 Os 5 conceitos básicos para construir uma rede pan-europeia de DIHs.

O projeto SmartAgriHubs assenta numa rede de Digital Innovation Hubs agrícolas e Centros de Competência (CC) para promover a partilha de conhecimento e criar um mercado pan-europeu de soluções digitais para o setor agroalimentar. O projeto engloba cinco conceitos básicos, de acordo com metodologias e modelos comprovados (Figura 2):

Os DIHs são ecossistemas através dos quais as entidades/empresas podem ter acesso a conhecimento, competências e tecnologia de ponta, para testar e explorar soluções digitais relevantes para os seus produtos, processos ou modelos de negócio. Além disso, permitem a criação de relações privilegiadas entre investidores, facilitando o acesso a oportunidades de financiamento e reunindo utilizadores e fornecedores de tecnologias digitais ao longo da cadeia de valor (Figura 3).

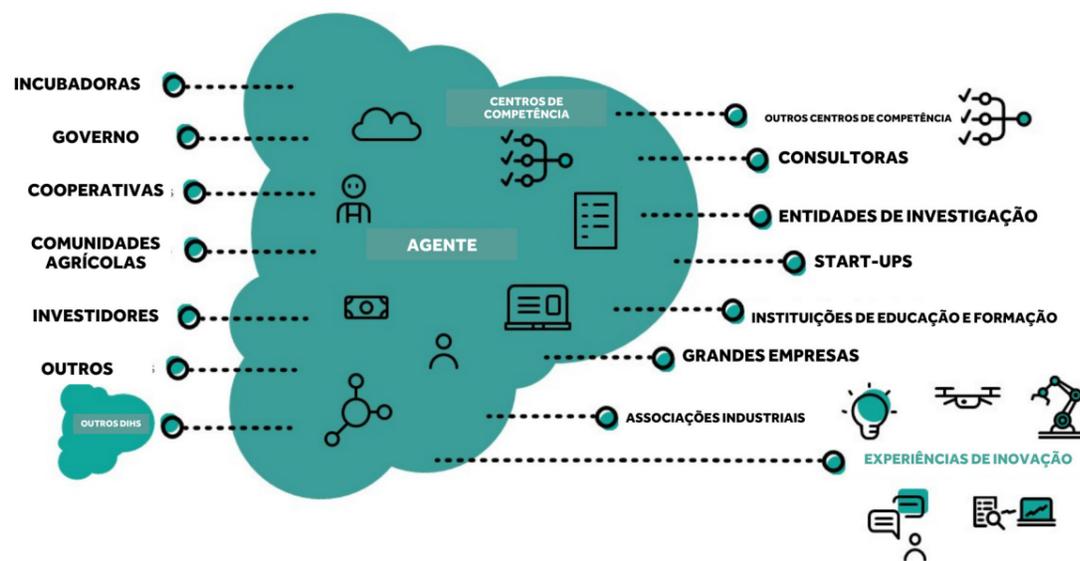


Figura 3 O Digital Innovation Hub como agente que promove a relação entre diferentes stakeholders, com vista ao desenvolvimento de experiências de inovação.

(legenda parte esquerda: Incubadoras, Governo, Cooperativas, Comunidades Agrícolas, Investidores, Outros, Outros DIHs / legenda meio: Agente, Centros de Competência / legenda direita: Outros Centros de Competência, Consultoras, Entidades de Investigação, Start-ups, Instituições de Educação e de formação, Grandes empresas, Associações industriais, Experiências de Inovação)

Certas Experiências de Inovação (IEs) encontram-se a desenvolver e a testar soluções digitais em contexto real, através de DIHs, permitindo o acesso a conhecimento, competências e tecnologia de ponta (através de CCs). As IEs desempenham um papel bastante importante na expansão da rede SmartAgriHubs, reforçando os DIHs e os Centros de Competência em termos de quantidade e qualidade de serviços.

O Portal para a Inovação SmartAgriHubs é uma plataforma interativa e uma ferramenta fundamental para apoiar a construção do ecossistema ao nível dos DIHs, mas também a nível regional e pan-europeu. Desempenha um papel crucial e central na construção da rede de DIHs e dos ecossistemas associados.

O SmartAgriHubs expandiu o número de DIHs para mais de 300 e construiu uma rede com mais de 160 Centros de Competência - que podem ser encontrados e analisados através de uma pesquisa na plataforma Agricultural Technology Navigator. Através do Portal para a Inovação, os utilizadores poderão encontrar mais de 100 ações de formação, com vista a melhorar o portfolio de serviços dos DIHs, bem como conhecimento e informação aprofundados. Através de concursos públicos, foram organizados vários hackathons e iniciativas que resultaram em mais de 60 novas IEs ou atividades de inovação relacionadas. O financiamento público de seis milhões de euros do projeto SmartAgriHubs mobilizou cerca de 15 milhões de euros de financiamento público e privado adicional. Desta forma, foi estabelecido um ecossistema dinâmico - com a rede de DIHs agrícolas como núcleo -, que terá continuidade após o término do projeto

CONCILIAR OS ESFORÇOS PÚBLICOS E PRIVADOS NUMA ABORDAGEM DE INVESTIGAÇÃO E INOVAÇÃO RESPONSÁVEL

Concluindo, a transformação digital dos produtos agroalimentares encontra-se numa fase em que as inovações demonstram grande potencial, sendo

urgente aumentar a sua adoção e integração. O perfil da digitalização está em constante evolução, e tornou-se parte de um ecossistema bastante complexo. O nível de integração de TI está numa fase de transição, passando de aplicativos autónomos que visam operadores de processos únicos, para sistemas de sistemas que visam ecossistemas de negócios complexos, envolvendo vários stakeholders. Do ponto de vista do financiamento, o desafio principal é encontrar um ponto de equilíbrio entre o setor privado e o setor público, para benefício de ambos, o que permitirá retirar o máximo partido do capital de inovação disponível: o setor público irá beneficiar dos avanços tecnológicos no setor privado, sendo que o último poderá explorar o conhecimento especializado e os resultados de investigação, frequentemente associados a projetos apoiados por fundos públicos.

É necessária uma mudança de paradigma envolvendo vários aspetos, como a colaboração, a confiança e a inclusão, em torno de tópicos como a partilha de dados e os novos modelos de negócios. Uma abordagem de Investigação e Inovação Responsável poderá contribuir para o desenvolvimento de soluções digitais mais avançadas e com maior aceitação, devendo basear-se em:

- Experiências de Inovação: ambientes experimentais, em contexto real, em que todas os stakeholders colaboram com vista ao desenvolvimento de soluções digitais, interagindo continuamente em termos técnicos e organizacionais.
- Design ágil e interativo – com ênfase na adequação e aceitação por parte dos utilizadores, que poderão apoiar na deteção precoce de riscos e consequências negativas
- Apoio e interação multidisciplinares – englobando modelos de negócios, ciência de dados e IA, gestão em múltiplas escalas e cocriação de valores e princípios éticos.
- Desenvolvimento de ecossistemas - soluções digitais que promovem o desenvolvimento de aplicações entre diferentes domínios

Esta abordagem encontra-se incorporada no SmartAgriHubs, contribuindo para criar ecossistemas de inovação sustentável, capazes de promover sistemas alimentares sustentáveis..

AGRICULTURA DE PRECISÃO E SUSTENTABILIDADE

A Agricultura de Precisão para a sua concretização plena, requer tecnologias e sistemas inovadores muitos dos quais não foram especificamente desenvolvidos para a agricultura. Por outro lado, a capacidade da indústria para colocar no mercado soluções tecnológicas é muito superior à capacidade, quer dos empresários agrícolas em aprendê-las e assimilá-las no seu sistema de cultura, quer dos investigadores para desenvolver soluções práticas e agronomicamente úteis.

MÁRIO CUNHA ^(1,2)
RICARDO BRAGA ⁽²⁾

⁽¹⁾ UP-FCUP

⁽²⁾ INESC TEC, ISA, ULISBOA

mario.cunha@inesctec.pt

ricardo.braga@inesctec.pt

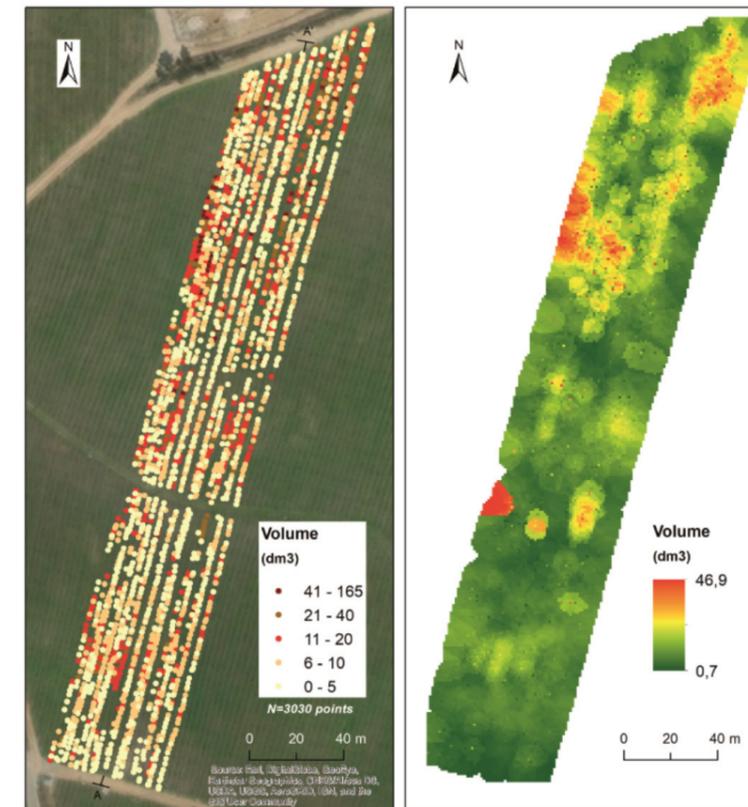


Figura 1 Tecnologias para deteção e mapeamento de parâmetros biofísicos das culturas para suporte à agricultura de precisão.

Quais as potencialidades da Agricultura de Precisão (AP) para um futuro sustentável? Como estão alinhados os objetivos da AP com as organizações e com as políticas públicas? O que é necessário para alavancar a AP? São algumas das questões que este artigo procura responder.

De acordo com a International Society of Precision Agriculture (ISPA), a AP "é uma estratégia de gestão que reúne, processa e analisa dados temporais, individuais e espaciais e os combina com outras informações para apoiar as decisões de gestão de acordo com a variabilidade estimada para melhorar a eficiência no uso de recursos, produtividade, qualidade, rentabilidade e sustentabilidade da produção agropecuária".

Esta definição foca-se no essencial do que são os processos de uso de dados para melhoria da tomada de decisão. Mas obviamente que a implementação do conceito engloba o uso de tecnologia, mais ou menos avançada, nas suas diversas fases: observação e registo; análise; decisão diferenciada; e, finalmente, a materialização da decisão no terreno. Alguns exemplos de tecnologia são as imagens multi espectrais das culturas (obtidas por drone, satélite ou plataformas terrestres), os sensores de condutividade elétrica do solo, ou do conteúdo de

água no solo, a monitorização da produtividade, a Internet of Things (IoT), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os sistemas de posicionamento por satélite (p.e. GPS), a tecnologia de taxa variável, a Inteligência Artificial (IA) e a aprendizagem computacional, entre outros.

O objetivo último da melhoria da tomada de decisão é a aplicação de fatores de produção na quantidade correta, no local correto e no tempo correto (3 R's – Right Time, Right Place, Right Amount) em função do objetivo da produção, considerando ainda a restrição económica inerente a qualquer negócio. Se atingido esse objetivo, isto é, a otimização do uso dos fatores, então a relação entre as necessidades das culturas e as disponibilidades dos diversos fatores, seja água ou nutrientes, será a ideal em cada condicionalismo. Com isso conseguem-se não só ganhos agrónomicos óbvios, mas também económicos, com a redução de custos (atingida determinada escala de produção). Também fundamentais são os ganhos ambientais, por evitar aplicações desajustadas de fatores com maior potencial poluente como o caso do azoto ou dos produtos fitofarmacêuticos.

Este novo paradigma da produção dá resposta aos desafios do sector agrícola que constam na Agenda de Inovação para a Agricultura 2020-2030 (Terra Futura) de produzir melhor (em quantidade e qualidade) com menos recursos, alinhado com o uso sustentável de recursos naturais e a adaptação da agricultura aos cenários de alteração climática. Estes desafios, e o seu contexto, estão plasmados nas orientações da Política Agrícola Comum (PAC) para o período 2020-2030 (Agenda 2030) e nos Objetivos para o Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU.

Concretamente, o "Pacto Ecológico Europeu" refere a AP como um mecanismo para a concretização da sua estratégia "do prado ao prato", a qual terá de ser obrigatoriamente garantida nos planos estratégicos nacionais para a agricultura. A AP tem um papel proativo no apoio à implementação estratégica dos ODS. A AP, ao promover práticas e decisões agronómicas mais eficientes, está alinhada com os objetivos ODS2, ODS12, ODS13 e ODS15, nomeadamente por contribuir para garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, ajudem a manter os ecossistemas, fortaleçam a capacidade de adaptação às alterações climáticas, às condições meteorológicas extremas (p.e. secas) e melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo. A AP promove um crescimento económico inclusivo e sustentável, o pleno emprego e produtivo, sobretudo para jovens e o trabalho digno para todos tal como referido no ODS8. Para ser eficiente, a implementação da AP exige um "ecossistema de inovação" (conforme editorial), o qual irá promover a investigação científica e o desenvolvimento tecnológico, encontrando-se por isso alinhada com o ODS9.

Todavia, a AP para a sua concretização plena, requer tecnologias e sistemas inovadores muitos dos quais não foram especificamente desenvolvidos para a agricultura. Por outro lado, a capacidade da indústria para colocar no mercado soluções tecnológicas é muito superior à capacidade, quer dos empresários agrícolas em aprendê-las e assimilá-las no seu sistema de cultura, quer dos investigadores para desenvolver soluções práticas e agronomicamente úteis. Neste contexto, a AP é ainda uma realidade marginal da agricultura portuguesa já que apenas 0,3% (5% da Superfície Agrícola Útil) das empresas agrícolas adotaram algum tipo de tecnologia. Estes valores contrastam com a agricultura dos países da

América do Norte e do Sul ou Austrália em que as tecnologias de AP estão presentes em mais de 30% das empresas agrícolas.

Este desfasamento entre a adoção da AP pelas empresas portuguesas relativamente a algumas congéneres estrangeiras, apenas poderá ser atenuado por uma eficaz articulação dos atores do "ecossistema de inovação", necessária para a implementação da AP: "utilizadores finais", "empresas tecnológicas" e "sistema científico" (além das empresas de fatores, organizações da produção, entre outros). A AP em Portugal tem atualmente uma grande oportunidade para incentivar o estabelecimento deste "ecossistema de inovação" através, por exemplo, da Estratégia Nacional para uma Especialização Inteligente (ENEI) e dos laboratórios colaborativos (CoLAB) com reconhecimento das mais-valias mútuas do trabalho em parcerias eficientes dos "multiatores" da AP, o co-design do desenvolvimento tecnológico, a servicização e a formação.

A plena adoção da AP tenderá a valorizar as competências centrais das engenharias da produção primária pela integração em cadeias de valor adensadas de conhecimento agronómico diferenciador, valorizado em mercados tecnológicos, o que exigirá recursos humanos capacitados para operarem nos diferentes vértices do triângulo do "ecossistema de inovação" da AP, com previsível valorização social, no quadro dos desafios do desenvolvimento sustentável.

Os desafios que o setor agrícola enfrentará nos próximos 30 anos são enormes. Acreditamos que a AP terá um contributo decisivo no desenvolvimento de soluções necessariamente sustentáveis em toda a sua dimensão.



SOLUÇÕES DE PRECISÃO INTELIGENTE PARA UM SETOR PECUÁRIO MAIS SUSTENTÁVEL

As tecnologias de Pecuária de Precisão podem ser aplicadas em diversas áreas: estratégias de alimentação, bem-estar, saúde e gestão da reprodução. A seleção genética também pode beneficiar destes dados, pois a genotipagem apresenta menos barreiras do que a fenotipagem de traços reprodutivos em grande escala. No entanto, a maioria das tecnologias foca-se em sistemas de agricultura intensiva, sendo relativamente raras as soluções desenvolvidas para a agricultura extensiva.

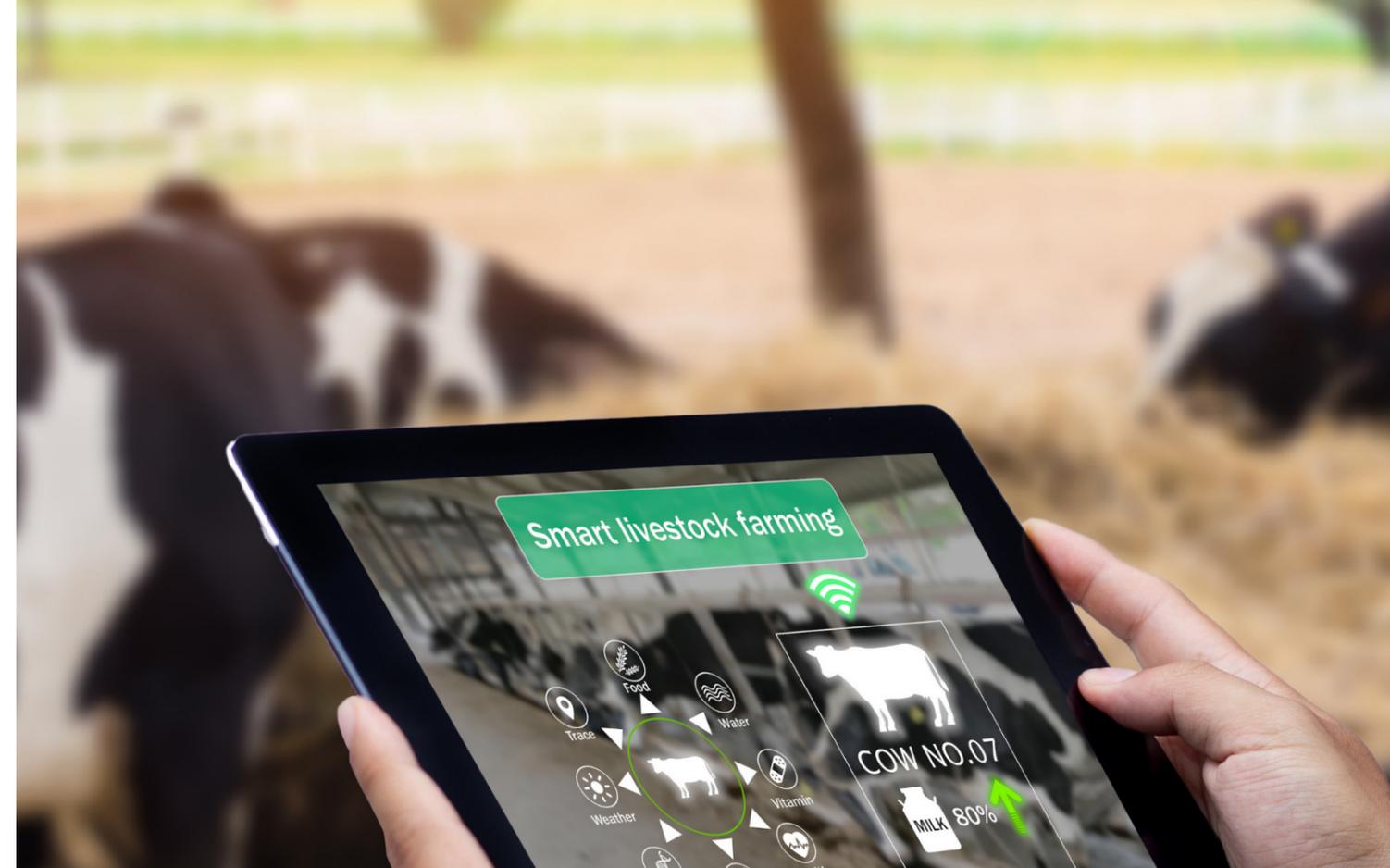


Figura 1 Pecuária de Precisão e Inteligente.

A capacidade de produzir alimentos para uma população mundial em franco crescimento - que deverá atingir os 9,7 mil milhões até 2050 -, minimizando o impacto ambiental, preservando a saúde das pessoas e dando resposta à crescente preocupação da sociedade com o bem-estar dos animais, é um dos maiores desafios da atualidade. A Pecuária de Precisão é uma das soluções com maior potencial entre as principais tecnologias, atuais e em desenvolvimento, que visam revolucionar os sistemas de exploração pecuária.

O principal objetivo da Pecuária de Precisão é tornar este setor mais sustentável a nível económico, social e ambiental, através da observação e interpretação de comportamentos e, se possível, do controlo individual de animais. A adoção de soluções de Pecuária de Precisão para apoiar estratégias de gestão reduz o impacto ambiental das explorações pecuárias (Schillings et al., 2021). O desenvolvimento destas tecnologias visa apoiar os produtores na gestão do gado, através da monitorização e do controlo da produtividade, impacto ambiental, e outros parâmetros associados à saúde e ao bem-estar dos animais - em tempo real e de forma automatizada (Berckmans, 2014). A Pecuária de Precisão traduz-se na "aplicação de

princípios e técnicas de engenharia de processos à pecuária, com visa a monitorizar, modelar e gerir automaticamente a produção de gado".

Assim, o grande objetivo passa pela gestão individual de animais através da monitorização, em tempo real, de indicadores relacionados com a saúde, o bem-estar, a reprodução, e o impacto ambiental. Desta forma, as tecnologias de Pecuária de Precisão têm o potencial para medir e analisar, a cada segundo, e ao longo de 24 horas, diversos indicadores, abrangendo toda a cadeia: desde a alimentação dos próprios animais, ao consumo de produtos de origem animal. Desta forma, os produtores são alertados para potenciais problemas, através de alertas emitidos por estes sistemas, indicando que determinado animal necessita de cuidados. Esta monitorização é feita através de diferentes tipos de instrumentos, incluindo câmaras e microfones, e sensores colocados junto aos animais - ou mesmo nos animais em si. O valor e o potencial dos dados ganha particular relevância quando estes são recolhidos e processados em tempo real. Esta é já uma realidade em alguns aviários, onde os animais são monitorizados de forma contínua, assim como as condições em que se encontram (ventilação, temperatura, nível de humidade, alimentação, acesso à água, etc.).

ANA SOFIA SANTOS ⁽¹⁾

PEDRO CARVALHO ⁽²⁾

⁽¹⁾ FEEDINOV COLAB

⁽²⁾ INESC TEC

ana.santos@feedinov.com

pedro.m.carvalho@inesctec.pt

A literatura reforça o potencial da adoção de soluções de Pecuária de Precisão nas explorações pecuárias, pois traduzem-se na redução da emissão de gases com efeito de estufa e amoníaco, e da poluição de cursos de água (causada por nitratos e antibióticos) e do solo (também por antibióticos e metais pesados). Analisando o papel das soluções de precisão na alimentação, por exemplo, é possível observar um aumento da eficiência digestiva e, conseqüentemente, uma redução da perda de nutrientes (metano no caso nos animais ruminantes, e a excreção de N e P em suínos). As aplicações práticas da alimentação de precisão, nomeadamente em termos de alimentação individual, podem ter um impacto significativo na sustentabilidade dos sistemas de produção. A título de exemplo, os benefícios na produção de suínos são praticamente imediatos e consideravelmente tangíveis. Estudos recentes demonstram que a alimentação individual, e a adoção de dietas específicas, reduz a ingestão de lisina em mais de 25%, os custos de alimentação em cerca de 8%, a excreção de nitrogénio e fósforo em quase 40%, e a emissão de gases com efeito estufa em cerca de 6% (Remus et al., 2019).

As tecnologias de Pecuária de Precisão podem ser aplicadas em diversas áreas: estratégias de alimentação, bem-estar, saúde e gestão da reprodução. A seleção genética também pode beneficiar destes dados, pois a genotipagem apresenta menos barreiras do que a fenotipagem de traços reprodutivos em grande escala. No entanto, a maioria das tecnologias foca-se em sistemas de agricultura intensiva, sendo relativamente raras as soluções desenvolvidas para a agricultura extensiva.

A monitorização contínua de diferentes variáveis implica o tratamento automático de grandes volumes de dados, abrindo novas possibilidades no que diz respeito aos métodos de produção. A utilização de tecnologias de tratamento de dados, inteligência artificial e machine learning é crucial para explorar o potencial das soluções de Pecuária de Precisão (ATF, 2020).

Devidamente implementadas, estas tecnologias podem 1) melhorar, ou em último caso, documentar de forma objetiva o bem-estar dos animais; 2) reduzir a emissão de gases com efeito de estufa e melhorar o desempenho ambiental das explorações; 3) facilitar a segmentação e a comercialização de produtos pecuários; 4) reduzir o comércio ilegal desses mesmos produtos e 5)

contribuir para a sustentabilidade económica das zonas rurais. No entanto, existem poucos casos de sucesso no que diz respeito à comercialização deste tipo de tecnologias (Berckman, 2017). A integração da Pecuária de Precisão na indústria requer: 1) a criação de uma nova indústria de serviços; 2) a verificação, a demonstração e a disseminação dos benefícios destas tecnologias; 3) o alinhamento dos esforços por parte das principais entidades industriais e académicas que se dedicam ao desenvolvimento e à adoção de tecnologias de Pecuária de Precisão nas explorações e 4) maiores incentivos ao setor do comércio, com vista a apoiar a gestão eficaz do desenvolvimento de produtos (Banhazi et al., 2021).

Os atuais desenvolvimentos tecnológicos traduzem-se em boas oportunidades para a monitorização e gestão de ambientes, como é o caso das tecnologias de IoT, sensores de baixo custo e alto desempenho, visão computacional e inteligência artificial, nomeadamente machine learning. No contexto da Pecuária de Precisão, trata-se de ferramentas que sustentam a competitividade dos produtores, dando resposta aos requisitos e desafios ambientais e sociais. No entanto, as tecnologias não podem ser vistas como substitutos do trabalho humano, e aplicadas de forma descuidada. Devem, sim, disponibilizar o máximo de dados e informação possível, com vista a apoiar os produtores no seu processo de tomada de decisão. Os processos biológicos inerentes à pecuária são bastante complexos, não sendo possível substituir os produtores por tecnologias; no entanto, estas podem ajudar a reduzir custos e horas de trabalho, contribuindo para sistemas de monitorização e de gestão que melhor exploram o potencial genético das espécies pecuárias.

O sucesso da integração de tecnologias com vista à adoção da Pecuária de Precisão requer aumentar a literacia tecnológica dos produtores e menores custos para o setor. Assim, o desenvolvimento de sistemas adequados depende da colaboração entre pessoas de diferentes setores, especializadas em áreas distintas, e com diversas competências técnicas. Esta meta parece bastante difícil de alcançar, pois grande parte dos agentes preocupa-se apenas em atingir objetivos individuais, de forma a garantir a sua estabilidade económica.



Assim, a introdução da Pecuária de Precisão em contexto real requer uma maior aposta no desenvolvimento e testes de tecnologias, com vista a adotar soluções viáveis. Esta proximidade irá permitir a validação de tecnologias, promover um maior diálogo sobre o setor, e reunir diferentes setores. As estruturas de interface como o INESC TEC e o FeedInov CoLab são os parceiros ideais para promover as atividades de I&D associadas à Pecuária de Produção em Portugal. Estas entidades representam duas grandes áreas científicas, mas o seu papel na sociedade traduz-se numa maior proximidade entre os produtores e as empresas tecnológicas.

ATF, 2021. A strategic research and innovation agenda for a sustainable livestock sector in Europe. Suggested priorities for research for Horizon Europe to enhance innovation and sustainability in the livestock production sector of Europe's food supply chains. Third White Paper of the Animal Task Force.

Berckmans, D. (2014). Precision livestock farming technologies for welfare management in intensive livestock systems. *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* 33, 189–196. doi: 10.20506/rst.33.1.2273

Berckmans, D., 2017. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, Volume 7, Issue 1, January 2017, Pages 6–11, <https://doi.org/10.2527/af.2017.0102>

Schillings, J., Bennett, R. and Rose, D.C., 2021. Exploring the Potential of Precision Livestock Farming Technologies to Help Address Farm Animal Welfare Front. *Anim. Sci.*, 13 May 2021, <https://doi.org/10.3389/fanim.2021.639678>

Remus, A., Houschild, L., Corrent, E., Létourneau-Montminy, M. and Pomar, C., 2019. Pigs receiving daily tailored diets using precision-feeding techniques have different threonine requirements than pigs fed in conventional phase-feeding systems. *J Anim Sci Biotechnol* 2019 Feb 22;10:16.; doi: 10.1186/s40104-019-0328-7.

Banhazi, T.M., Lehr, H., Black, J.L., Crabtree, H., Schofield, P., Tschärke, M. and Berckmans, D., 2021. Precision Livestock Farming: An international review of scientific and commercial aspects. *Int. J. Agri.c & Biol. Eng.*, Vol. 5 No.3, 1-9.

FLORESTA DE PRECISÃO INTELIGENTE

A "digitalização na floresta" traduz-se na implementação sustentável de tecnologias de ponta no setor florestal, melhorando a monitorização florestal através da aquisição e análise de dados e recursos computacionais de apoio à decisão em termos de controlo digital, visão artificial, gestão da cadeia de abastecimento e gestão pós-colheita.



Figura 1 A nova máquina florestal ARG baseia-se na mobilização parcial para a preparação do solo, promovendo o crescimento das plantas e a conservação da matéria orgânica, e melhorando a retenção de água, o que contribui para aumentar a captura de carbono no solo. Equipada com novas ferramentas digitais Floresta 4.0, esta máquina contribui para a sustentabilidade florestal, pois promove a eficiência e a segurança das operações, através da redução do consumo e dos custos, com vista a maiores ganhos ambientais. Foto: The Navigator Company e Fravizel (projeto rePLANT)

As florestas garantem serviços ecossistémicos cruciais para a sociedade, acolhendo grande parte da biodiversidade terrestre. A madeira e outras matérias-primas renováveis provenientes das florestas têm inúmeras aplicações: mobiliário, papel, construção e biocombustíveis para produção de bioenergia. As indústrias florestais europeias empregam cerca de 3,5 milhões de pessoas e representam cerca de 7% do PIB da indústria transformadora da UE.^[1] Em muitas zonas rurais, o setor florestal é o maior empregador. Além disso, as florestas desempenham um papel crucial para alcançar a neutralidade carbónica e atenuar os efeitos das alterações climáticas, pois retiram e armazenam carbono da atmosfera e são fonte de biomateriais e biocombustíveis, capazes de substituir materiais altamente emissores e combustíveis fósseis.

Para dar resposta aos desafios do setor, é necessário adaptar os ecossistemas florestais, de acordo com estratégias de gestão mais resilientes e adaptativas, tendo em conta as necessidades

das gerações atuais e futuras. As cadeias de valor florestais devem envolver competências tecnológicas para prevenir, conter e mitigar os efeitos das mudanças climáticas e aumentar a resiliência aos riscos - como os incêndios florestais, por exemplo. De forma a alcançar uma cadeia de abastecimento mais resiliente, é importante aumentar a utilização de resíduos florestais e a eficiência do processamento e transporte de biomassa lenhosa, promovendo a ligação entre a bioeconomia e a economia circular. As políticas públicas apontam para um aumento da contribuição do setor florestal português (incluindo a biomassa), cuja contribuição para a bioeconomia era de 38,6 mil milhões de euros em 2014, de acordo com o relatório do Instituto Florestal Europeu.^[2]

A "digitalização na floresta" traduz-se na implementação sustentável de tecnologias de ponta no setor florestal, melhorando a monitorização florestal através da aquisição e análise de dados e recursos computacionais de

REINALDO GOMES ⁽¹⁾
ALEXANDRA MARQUES ⁽²⁾
CARLOS FONSECA ^(2,3)

⁽¹⁾ INESC TEC

⁽²⁾ FORESTWISE

⁽³⁾ CESAM (UA)

reinaldo.s.gomes@inesctec.pt

alexandra.marques@forestwise.pt

cfonseca@forestwise.pt

apoio à decisão em termos de controlo digital, visão artificial, gestão da cadeia de abastecimento e gestão pós-colheita. Algumas das tecnologias que podem contribuir para alcançar estes objetivos incluem Internet das Coisas, redes de sensores sem fios, Internet das Árvores, Deep Learning, soluções LiDAR, drones, dados geoespaciais e aplicações móveis. ^[3]

Portugal tem registado uma crescente mecanização das operações florestais, nomeadamente na exploração e utilização florestal da biomassa florestal, nas operações relacionadas com a instalação e manutenção de povoamentos (ver fig. 1) e na gestão de combustíveis para reduzir o risco de incêndio. Por norma, as máquinas florestais mais recentes estão preparadas para recolher e disponibilizar dados para efeitos de gestão remota do fluxo de materiais (quantidades produzidas), produtividade de equipamentos, taxa de utilização (OEE, por exemplo) e nível de operacionalização. No entanto, estes dados não são recolhidos ou processados

de forma sistemática. As soluções adotadas para a recolha e partilha de dados entre proprietários de terrenos, prestadores de serviços e entidades da indústria devem permitir a monitorização remota das operações, garantir a transparência e facilitar o replaneamento/reaproveitamento de recursos para evitar perdas de eficiência na utilização de equipamentos e desempenho das equipas. Estes problemas tendem a agravar-se com a crescente escassez de mão-de-obra no setor.

As cadeias de abastecimento florestal e de madeira exploram o conceito de Floresta 4.0 ao combinar soluções previamente disponíveis no mercado - como o LiDAR (ver fig. 2) e RFID -, mas que não são amplamente utilizadas, com a implementação e a adoção de novas tecnologias. Este processo de transformação e de mudança organizacional apresenta desafios de natureza técnica e socioeconómica. A maioria desses desafios é semelhante a outros setores industriais. A introdução de padrões de dados entre todos os equipamentos e operações é um dos principais

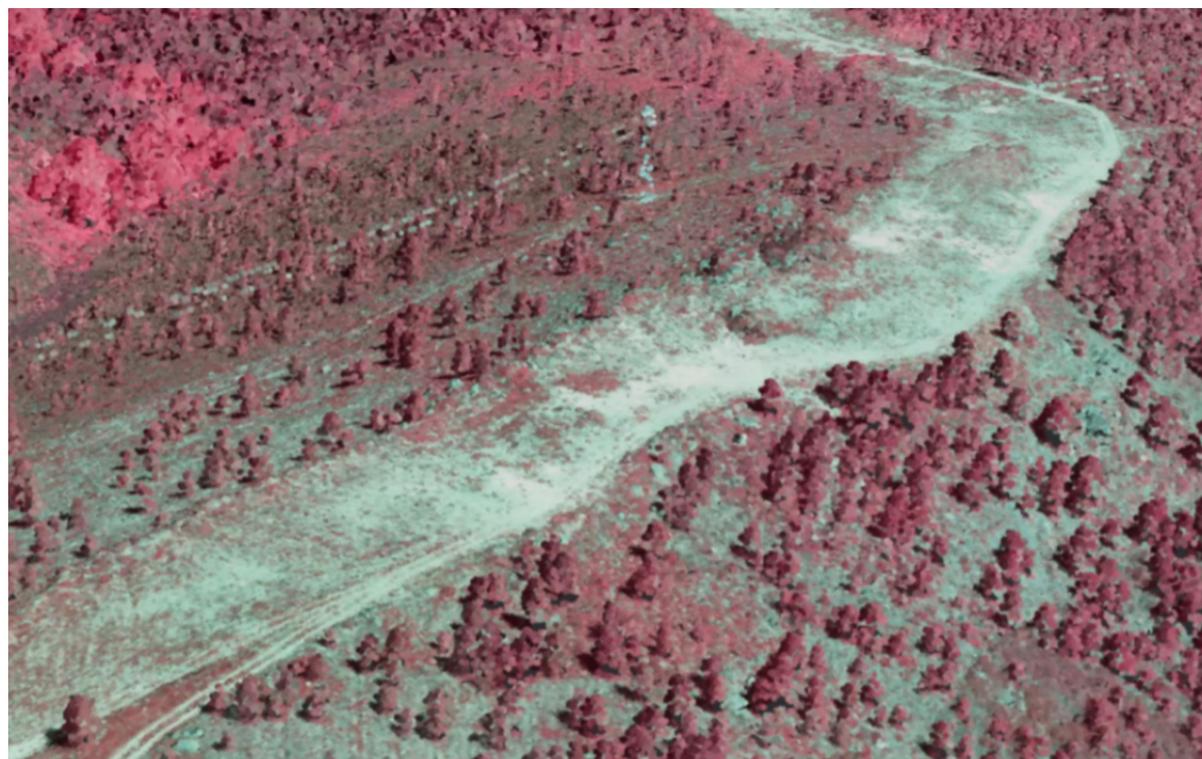


Figura 2 Os dados sobre a estrutura florestal e a acumulação de combustíveis de biomassa são cada vez mais importantes e necessários, além de fundamentais para o planeamento e a gestão florestal, e para reduzir os riscos de incêndio. A tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging) garante um conhecimento detalhado da floresta, incluindo áreas prioritárias de exposição a riscos e necessidades de intervenção. Estes dados são cruciais para apoiar os processos de tomada de decisão. Fotografia do projeto áGIL/ForestWISE/ICNF.

obstáculos. A segurança dos sistemas informáticos e a proteção de dados são outros dos desafios, tendo em conta que a questão da propriedade dos dados deve ser discutida entre todos os stakeholders. Outros desafios específicos do setor florestal são a robustez e a confiabilidade do equipamento (utilização de sensores em ambiente exterior, a transmissão de dados sem fios e a complexidade das operações florestais). Os aspetos transformacionais da digitalização florestal traduzem-se em barreiras socioeconómicas. O principal desafio para o setor florestal é a vontade de cooperar além das fronteiras organizacionais e a confiança em outras organizações dentro da cadeia de abastecimento, dada a elevada fragmentação entre stakeholders. ^[4]

A maior participação de todos os agentes da cadeia de abastecimento florestal é fundamental para ultrapassar estas questões. Estas iniciativas envolvem ações de divulgação, workshops, webinars e projetos que mobilizem proprietários e organizações florestais, prestadores de serviços (biomassa, silvicultura, madeira e produtos não-lenhosos), fornecedores (fertilizantes, plantas e máquinas), empresas do papel, mobiliário e energia, utilizadores finais e fornecedores de tecnologia (que visam promover e comercializar as soluções desenvolvidas por universidades e centros de investigação, testadas em projetos-piloto).

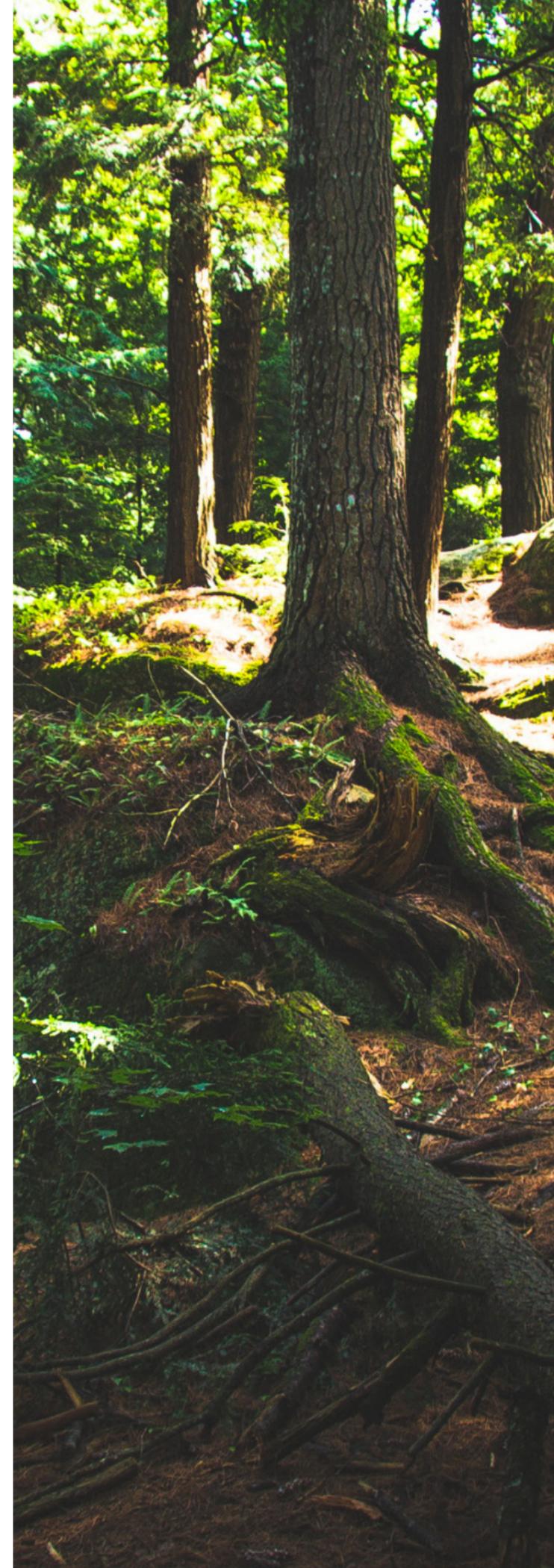
A integração destes diferentes níveis de conhecimento, inovação e tecnologia é essencial para a sustentabilidade ambiental, social e económica das florestas e zonas rurais europeias.

^[1] European Commission, "A New EU Forest Strategy: For Forests and the Forest-Based Sector," 2013.

^[2] I M de Arano et al., "A Forest-Based Circular Bioeconomy for Southern Europe: Visions, Opportunities and Challenges," Reflections on The, 2018, [https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/Reflections on the bioeconomy - Synthesis Report 2018 \(web\)_0.pdf](https://www.efi.int/sites/default/files/files/publication-bank/2018/Reflections%20on%20the%20bioeconomy%20-%20Synthesis%20Report%202018%20(web)_0.pdf).

^[3] Rajesh Singh et al., "Forest 4.0: Digitalization of Forest Using the Internet of Things (IoT)," Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, no. xxxx (2021), <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.02.009>.

^[4] Fabian Müller, Dirk Jaeger, and Marc Hanewinkel, "Digitization in Wood Supply – A Review on How Industry 4.0 Will Change the Forest Value Chain," Computers and Electronics in Agriculture 162, no. April (2019): 206–18, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.002>.



SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOESPACIAL NA AGRICULTURA COMO A CHAVE PARA A TOMADA DE DECISÃO

A gestão contínua de uma exploração agrícola está atualmente sustentada na informação sobre as culturas, as condições de crescimento, o progresso sazonal, e os impactos das alterações climáticas, entre outras. A qualidade e atualidade da informação disponível é um fator importante que determina a qualidade das decisões tomadas e, portanto, a qualidade dos resultados - das culturas produzidas e, em última análise, da rentabilidade económica.

LINO OLIVEIRA ⁽¹⁾
JOÃO SANTOS ⁽²⁾
⁽¹⁾ INESC TEC
⁽²⁾ UTAD-CITAB
lino.oliveira@inesctec.pt
jsantos@utad.pt



Figura 1 Mapas agregados numa base de dados espaciais (Consulta de mapas relativamente ao espaço e outros dados associados; outras opções possíveis seriam: selecionar área ou zonas de proximidade)

O conceito "apoio à decisão" refere-se a "esforços organizados para produzir, disseminar e facilitar o uso de dados e informações" para melhorar a tomada de decisões. Inclui processos, ferramentas de suporte à decisão e serviços. Alguns exemplos incluem métodos para avaliar tradeoffs entre opções, cenários do futuro usados para explorar os impactos de decisões alternativas, avaliações de vulnerabilidade e impactos, e ferramentas que ajudam as pessoas a localizar, organizar e exibir dados de novas maneiras. Os resultados de processos eficazes de "apoio à decisão" incluem a promoção de relacionamentos e confiança que podem apoiar a capacidade de resolução de problemas a longo prazo entre produtores e consumidores do conhecimento.

As atividades de "apoio à decisão" que facilitam processos de decisão bem estruturados podem resultar em consenso sobre a definição dos problemas a serem tratados, objetivos e opções a serem considerados, critérios para avaliação, oportunidades e consequências potenciais e opções.

No caso concreto da agricultura, a gestão contínua de uma exploração agrícola está atualmente sustentada na informação sobre as culturas, as condições de crescimento, o progresso sazonal, e os impactos das alterações climáticas, entre outras. A qualidade e atualidade da informação disponível é um fator importante que determina

a qualidade das decisões tomadas e, portanto, a qualidade dos resultados - das culturas produzidas e, em última análise, da rentabilidade económica. A maioria da informação está vinculada à localização, portanto a relevância espacial (geográfica) é um aspeto significativo dos dados que podem ser disponibilizados. A relevância e a aplicabilidade das informações espacialmente relacionadas e analisadas são uma das motivações principais para a sua utilização de base num sistema de apoio à decisão, pois muitas das variáveis que afetam a qualidade das culturas são inerentemente espaciais por natureza.

Adicionalmente, constata-se ainda existir uma falha de mercado relativamente a ferramentas tecnológicas baseadas em infraestruturas de dados espaciais, que de forma integrada e normalizada, disponibilize um conjunto de mapas com diferentes camadas de informação (drenagem do terreno, solo, irrigação, etc.) compreendendo uma base de dados espacial (Figura 1).

Um sistema deste tipo permite a exploração de correlações espaciais, associando atributos e funcionalidades que suportam a análise de padrões e processos numa determinada exploração agrícola. Outra capacidade que decorre da utilização de uma infraestrutura de dados espaciais aplicada à agricultura é a análise das extensões espaciais com características comuns, fenómenos ou semelhanças (ou, alternativamente, de

diferenças específicas). Isso inclui proximidades de outras espécies vegetais, zonagem agrícola, fauna, ou outros conjuntos integrados de informações. Uma Infraestrutura de Dados Espaciais temática na agricultura promove e desenvolve uma análise de dados automatizada com a produção de mapas digitais agregados (Figura 2), ou imagens, apresentando relatórios específicos ao agricultor ou ao produtor para decisões e ações apropriadas. Por exemplo, para identificar potenciais parcelas agrícolas de qualidade superior baseados em padrões espaciais identificados a partir de determinadas áreas que possuem especificidades orográficas, do solo, ou outras, permite entender e confirmar os fatores contribuintes para essa melhor qualidade.

A consolidação de toda esta informação, apresentada de forma gráfica, intuitiva e em tempo real, será sempre muito relevante para apoio à decisão na mitigação dos problemas.

Um dos problemas mais críticos hoje em dia prende-se com o impacto das alterações climáticas na agricultura. As projeções climáticas devem ter por base um conjunto de cenários

de emissão antropogénica de gases de efeito de estufa. Esta cenarização permite incorporar as incertezas relativas às diferentes trajetórias de desenvolvimento socioeconómico global nas próximas décadas. Por outro lado, estes cenários devem também ter por base diferentes simulações, geradas por diferentes modelos climáticos (ensembles multimodelo), o que possibilita a avaliação da incerteza quanto à modelação física, inicializações e parametrizações dos diferentes modelos. Uma correta avaliação e integração das incertezas é indispensável para um efetivo apoio à decisão. Acresce que a resolução espacial dos modelos globais (cerca de 100 km) é manifestamente insuficiente para uma aplicação útil à agricultura. Por conseguinte, o desenvolvimento de metodologias de redução de escala é essencial. Estas metodologias podem ser de tipo dinâmico, com o acoplamento de modelos climáticos regionais (escala espacial de cerca de 10 km) aos modelos globais, em ambos os casos modelos físico-matemáticos. Em seguida, poderão ser complementadas com metodologias geoestatísticas que permitem a redução da escala espacial para valores da ordem de 1 km. Em situações em que existam redes de sensores instaladas em propriedades agrícolas,

é mesmo possível a redução para escalas ainda inferiores (metros), permitindo resolver os padrões microclimáticos de uma dada parcela. Nestes casos, é ainda possível uma resolução à escala horária ou inferior.

A utilização de informação geográfica diversa e extensa existente ao nível do território, suportada pela recolha de informação agronómica, designadamente sobre a evolução fenológica, níveis de stress hídrico que as culturas estão sujeitas, grau de maturação e produtividade permitem, por um lado, a adoção de práticas que mitiguem os efeitos deste fenómeno a curto prazo (ex. aplicação de rega deficitária, etc.), e por outro a adoção de medidas de mitigação a longo prazo (ex. plantação de culturas mais resilientes). No entanto, a recolha deste tipo de informação agronómica e climática por cada agricultor, ao nível de cada parcela agrícola, por sua vez localizada em condições microclimáticas e edáficas diferenciadas, não é viável. Além disso, com vista a que a informação possa ser extrapolada para um nível regional (uma determinada região, por exemplo), sendo utilizada da forma mais adequada por um determinado sector, pode e deve ser complementada com informação climática adaptada/modelada ao território (incorporando o impacto da orografia, exposição ou informação geológica). A necessidade de mais e melhor informação, nomeadamente em tempo real, dispendo de redes de sensores no terreno, recolhendo dados com carácter espacial e temporal, de forma alargada e integrada, torna-se indispensável para apoiar de forma criteriosa a tomada de decisão.



Figura 2 Análise espacial



A AUTOMATIZAÇÃO E A ROBÓTICA PARA UMA NOVA ERA DA AGRICULTURA E DAS FLORESTAS

De que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização contribuir para a redução da sobre-utilização de recursos agrícolas (nutrientes, água e químicos)? De que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização apoiar e melhorar a interação entre a produção de determinada planta e os restantes ecossistemas? De que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização melhorar a qualidade de vida dos agricultores?



Figure 1 Robô INESC TEC em testes na floresta.

A AGRICULTURA E AS FLORESTAS CARECEM DE UMA CONTEXTUALIZAÇÃO ADEQUADA

Os setores agrícola e florestal são cruciais para sustentar a população mundial. Ambos contribuem com alimentos, oxigénio, madeira e matérias-primas para a produção de vestuário e de mobiliário. Tendo em conta que se trata de aspetos fundamentais para a nossa sobrevivência, enquanto sociedade, acabamos por explorar intensivamente a agricultura e as florestas, sem ter em conta que estamos perante recursos finitos, e ignorando a necessidade de encontrar um equilíbrio entre as plantas, os solos, a água, os animais, e os insetos (sustentabilidade). A sobre-exploração dos setores agrícola e florestal contribuiu para o aumento da qualidade de vida ao longo do último século. No entanto, também contribuiu para as alterações climáticas, para o aumento do desperdício e para a utilização excessiva de nutrientes e de produtos químicos agrícolas, e para a sobre-exploração da água e dos solos. Segundo este ponto de vista, e de acordo com uma perspetiva tecnológica, é possível colocar as seguintes questões:

Pergunta 1: “de que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização contribuir para a redução da sobre-utilização de recursos agrícolas (nutrientes, água e químicos)?”

De forma a obter elevados níveis de produção/rendimento, a sociedade tem encarado a agricultura como um sistema industrial, onde se tenta simplificar os sistemas de produção, e.g., recorrer apenas a uma cultura (e a uma variedade de planta) e lidar/eliminar qualquer tipo de interferência de ecossistemas/natureza, através da utilização excessiva de produtos químicos agrícolas. Mais: ao compararmos a inovação em termos de práticas agrícolas/florestais e práticas industriais, é possível observar que o nível de inovação nas primeiras é mais reduzido, e que são adotadas, recorrentemente, as mesmas abordagens. Essas mesmas abordagens traduzem-se na simplificação de processos e na eliminação de interferências do ecossistema/natureza, sendo possível adotá-las em contexto industrial, onde existe um controlo total dos processos. No entanto, as plantas têm origem na natureza, onde interagem com diferentes ecossistemas. Assim, coloca-se outra questão:

Pergunta 2: “de que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização apoiar e melhorar a interação entre a produção de determinada planta e os restantes ecossistemas?”

Os setores agrícola e florestal, tal como outros setores, necessitam de pessoas para realizar as operações e as tarefas necessárias para

FILIPE NEVES DOS SANTOS ⁽¹⁾

⁽¹⁾ INESC TEC

filipe.n.santos@inesctec.pt

a produção de determinados produtos. A maioria destes processos é bastante intensiva e demorada, sendo desempenhada longe dos centros urbanos em períodos bastante específicos (e.g., muitos não podem ser adiados até aos fins-de-semana). No entanto, a sociedade procura uma maior qualidade de vida, que se traduz em melhores empregos, mais qualificados. Tendo em conta que as tarefas relacionadas com a agricultura e a floresta nem sempre são bem remuneradas ou aliantes, quando comparadas com outros trabalhos, estes setores enfrentam um défice de mão-de-obra - que levanta outra questão:

Pergunta 3: “de que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização melhorar a qualidade de vida dos agricultores?”

A AUTOMATIZAÇÃO E A ROBÓTICA COMO RESPOSTA ÀS NECESSIDADES DA AGRICULTURA E DA FLORESTA

De forma a responder às questões acima apresentadas, é necessário explorar o conceito de Agricultura de Precisão (AP). A AP é a abordagem mais indicada para aumentar a eficiência dos setores agrícola e florestal. Na AP, encontramos o conceito de “aplicar o produto específico, no momento e no local corretos, e na quantidade indicada”, o que requer a utilização de Tecnologias de Taxa Variável (VRT). A implementação de AP engloba as VRT, nomeadamente a utilização de mapas de prescrição, apoiada por sistemas de apoio à decisão e sistemas globais de navegação por satélite.

Tendo em conta esta contextualização, é possível abordar as questões acima referidas; no que diz respeito à primeira questão (de que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização contribuir para a redução da sobre-utilização de recursos agrícolas [nutrientes, água e químicos]?), a sobredosagem/aplicação de macronutrientes (nitrogénio, fósforo e potássio) é um dos principais problemas para o setor, em termos de custos e impacto negativo na qualidade dos solos e da água. Neste caso, a utilização de VRT pode desempenhar um papel bastante importante; a utilização de máquinas com VRT integradas é já uma realidade, nomeadamente em sistemas extensivos de cultivo, mas ainda não chegaram à maioria das produções agrícolas de menor dimensão ou a culturas permanentes, devido à inexistência de soluções eficientes e de maquinaria/robôs adaptados a certas necessidades. No futuro, pensa-se que os

robôs irão assumir um papel crucial em tarefas de monitorização do nível dos produtos acima referidos, disponibilizando dados mais precisos aos sistemas de apoio de decisão, que por sua vez irá permitir o desenho de mapas de prescrição mais detalhados. Em contrapartida, a sobredosagem e/ou as perdas (para o ar ou para o solo) na aplicação de produtos químicos agrícolas permanecem dois dos grandes desafios do setor. As tecnologias de automatização e de robótica podem oferecer soluções para este problema. O uso de produtos químicos agrícolas obedece a períodos de aplicação rigorosos; o não cumprimento desses períodos pode levar à sobredosagem e, conseqüentemente, a impactos negativos. Os robôs podem desempenhar, de forma otimizada, tarefas de tratamento e fertilização, graças a sensores e atuadores avançados que permitem realizar estas tarefas de forma mais precisa; acima de tudo, os robôs são capazes de trabalhar durante 24 horas, ao longo de toda a semana, garantindo que conseguem estar nos locais indicados e respeitar horários definidos. Além disso, as tecnologias robóticas permitem operações mais rápidas, com elevados níveis de precisão e exatidão.

Relativamente à segunda questão (de que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização apoiar e melhorar a interação entre a produção de determinada planta e os restantes ecossistemas?), e se ignorarmos conceitos como estufas (um dos métodos mais sustentáveis para a produção de alimentos, mas também um dos mais caros) isoladas de outros ecossistemas, é possível observar que a agricultura e a floresta não são sistemas isolados; nesse sentido, a adoção de conceitos de policultura e de biologia pode trazer efeitos francamente positivos (para a qualidade e segurança dos alimentos e para a obtenção de um maior rendimento). No entanto, a adoção deste tipo de conceitos é bastante difícil, devido ao grande volume de trabalho a eles associado - mesmo utilizando máquinas avançadas; mas a utilização de robôs pode ser uma solução. Tal como foi referido anteriormente, os robôs podem reduzir a sobredosagem de fertilizantes e de nutrientes, algo de extrema importância para os setores, pois garante um equilíbrio entre as plantas, os solos, a água, os animais, e os insetos. Acima de tudo, as soluções robóticas podem apoiar na utilização de produtos de tratamento biodegradáveis e biocompatíveis, garantindo a monitorização contínua de doenças e a redução no uso de produtos nocivos. Além disso, os robôs podem também facilitar a polinização de precisão

(e.g., micro-drones), o controlo de vegetação (ceifeiras), sementeira e monda, as tarefas de fertilização e pulverização, bem como outras operações que garantem a sustentabilidade das explorações agrícolas de exterior.

De que forma podem as tecnologias robóticas e de automatização melhorar a qualidade de vida dos agricultores? Sem recurso à automatização, as tarefas agrícolas tornam-se bastante intensivas e fisicamente exigentes. A automatização de tarefas (monda, fertilização, colheita) aumentou a qualidade de vida dos agricultores, o nível de produção e os lucros. No entanto, as soluções automatizadas não estão acessíveis a todos os agricultores, devido aos seus elevados custos e à falta de adaptação às necessidades específicas de cada exploração e cultura. Apesar de existir um número considerável de robôs mais acessíveis no mercado, e à semelhança das soluções automatizadas, este tipo de tecnologias dificilmente se tornará acessível a todos os agricultores (pequenos ou grandes) e/ou culturas (extensivas e lenhosas). Assim, os robôs podem apoiar na melhoria da qualidade de vida dos agricultores, permitindo um maior rendimento e mais lucros, sem esquecer a promoção do desenvolvimento rural. No entanto, existem várias barreiras à adoção de tecnologias robóticas que devem ser abordadas, a saber:

- Garantir serviços que disponibilizem robôs para tarefas agrícolas e florestais, de forma a reduzir os riscos e a aumentar os lucros dos agricultores.
- Aumentar o número de fabricantes de soluções robóticas (tornar os pequenos e médios fabricantes de máquinas capazes de produzir robôs), com vista a aumentar o número de fornecedores de soluções, a reduzir os preços e a expandir o número de soluções, dando resposta às necessidades dos pequenos agricultores, tendo em conta as diferentes culturas.
- Criar uma legislação mais adequada para drones e robôs terrestres, de forma a reduzir os custos de operacionalização e a promover a automatização das explorações agrícolas; e,
- Continuar a desenvolver modelos de certificação e de responsabilização, e garantir seguros de segurança robótica, para reduzir riscos e custos para os agricultores.



Figura 2 INESC TEC armadilhas inteligentes.

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AGRICULTURA

DESAFIOS, BENEFÍCIOS E CASOS DE USO

De forma a demonstrar os benefícios da inteligência artificial (IA) na agricultura, exploramos, neste artigo, três casos de uso: gestão da água, estimativa de produção e gestão de recursos humanos.



Figura 1 Robô INESC TEC em demonstrações numa vinha.

De forma a demonstrar os benefícios da inteligência artificial (IA) na agricultura, exploramos, neste artigo, três casos de uso. Estes casos de uso não abrangem todas as potenciais aplicações de IA na agricultura, mas demonstram a sua utilidade nesta área económica tão fundamental. Os três casos de uso são: gestão da água, estimativa de produção e gestão de recursos humanos.

Gestão da água: (1) o setor agrícola é, de acordo com as Nações Unidas, uma atividade que requer cerca de 70% de toda a água consumida a nível mundial; (2) certas regiões do planeta estão a sentir o impacto do aquecimento global, i.e., acesso reduzido a água para atividades agrícolas ^[1]; (3) a utilização otimizada da água influencia a qualidade da produção. Todas estes factos demonstram a importância de otimizar a utilização da água na agricultura. No âmbito do projeto Smart Farming, o INESC TEC desenvolveu um sistema de irrigação para vinhas que permite gerir a irrigação de acordo com o stress hídrico que se prevê gerar nas plantas. O nível de stress hídrico das plantas influencia o teor alcoólico dos vinhos produzidos com as respetivas castas. Para o desenvolvimento do sistema de gestão de irrigação, foi necessário instalar sensores no solo, em diferentes profundidades. Também foi considerado o

potencial hídrico foliar de base, medido através de uma Câmara de Pressão Scholander. No entanto, e devido aos custos da obtenção destes indicadores, foi desenvolvido um regressor para estimar esse mesmo potencial ^[4]. Estas estimativas são utilizadas no método de otimização que define a quantidade necessária de água para irrigação, ao longo de um período de sete dias. Foram também utilizados algoritmos genéticos como método de otimização.

Estimativa da produção: a produção agrícola é altamente influenciada pelo clima. Mais concretamente, as alterações climáticas afetam o ambiente e alteram o comportamento de pestes e pragas, causando enormes variações interanuais na produção agrícola, impedindo que esta dê resposta à procura. A produção agrícola é também afetada pelas decisões dos produtores, i.e., irrigação, fertilização, seleção de sementes, etc. A imprevisibilidade das variações interanuais é uma grande ameaça para os produtores, o setor em si, e a sociedade. Nesse sentido, há uma clara necessidade de modelos preditivos que possam melhorar a eficiência da produção, otimizar o plano/operações de produção e apoiar estratégias comerciais ^[1,2]. Continua a registar-se a ausência de métodos operacionais, nomeadamente para

JOÃO MOREIRA ^(1,3)
CARLOS FERREIRA ^(1,2)
DUARTE DIAS ⁽¹⁾

⁽¹⁾ INESC TEC

⁽²⁾ IPP-ISEP

⁽³⁾ UP-FEUP

joao.mendes.moreira@inesctec.pt

carlos.ferreira@inesctec.pt

duarte.f.dias@inesctec.pt

a previsão das condições meteorológicas e da produção ao nível das explorações agrícolas. Os modelos de simulação de cultivo e os modelos orientados por dados são a principal base das abordagens mais utilizadas para a previsão da produção. Estes modelos de simulação são bastante complexos e dispendiosos no que diz respeito ao tempo e aos dados biofísicos, dificultando assim o seu funcionamento. Os modelos preditivos que recorrem a dados sobre a previsão da produção são desenvolvidos empiricamente, e não requerem um conhecimento profundo sobre os mecanismos biofísicos que estão na origem desses mesmos dados; o seu custo é mais reduzido, e já provaram ser métodos extremamente eficientes [1,2,3]. Assim, e ao longo dos últimos anos, foram aplicadas, com sucesso, diversas técnicas de machine learning (árvores de regressão, random forests, máquinas de vetor de suporte e deep learning) na previsão da produção agrícola. Grande parte destes métodos preditivos recorre a dados climáticos (previsão numérica, por exemplo) e relacionados com o cultivo (e.g., fenoestados) para realizar previsões. Além disso, estas previsões podem ser utilizadas como input para modelos de otimização matemáticos, de forma a adotar os planos de produção mais adequados [2,3].

Gestão de recursos humanos: de forma a garantir a contratação de trabalhadores especializados, os produtores apostam em salários mais elevados e benefícios adicionais, tal como os seguros de saúde. No entanto, os produtores começam agora a abordar outras questões que, previamente, não eram tão relevantes; por exemplo, estarão os trabalhadores a desempenhar corretamente as suas funções? Será o seu esforço proporcional ao salário e aos benefícios oferecidos? Para dar resposta a estas questões, são necessários indicadores do desempenho de cada trabalhador, abrindo assim portas para uma nova área na agricultura e fruticultura, relacionada com a necessidade de implementar tecnologias para a monitorização dos trabalhadores. Os investigadores do INESC TEC acreditam que a monitorização dos trabalhadores pode ser uma dimensão importante, quer para os empregadores, quer para os próprios trabalhadores - especialmente se considerarmos que é possível auscultar não só os índices de produtividade, mas também indicadores relacionados com a saúde (importantes para garantir o bem-estar e boas condições de trabalho) e outros que apoiem os

processos de tomada de decisão. O INESC TEC encontra-se a explorar esta dimensão através de um projeto nacional denominado AgWearCare, que visa aplicar este conceito de monitorização para recolher indicadores específicos nesta área, juntamente com a solução WiseCrop. Um sistema como este pode trazer várias vantagens: analisar a distância feita por cada trabalhador durante as vindimas, identificar a postura dos trabalhadores ou mesmo detetar a exposição a condições extremas de trabalho ou a altos níveis de esforço humano (combinando dispositivos portáteis com metodologias avançadas de processamento de dados e inteligência artificial). Mas, e à semelhança de outras tecnologias inovadoras, estas soluções apresentam algumas desvantagens - até que ponto estarão os trabalhadores dispostos a partilhar dados relativos ao seu desempenho e horas de trabalho? Trata-se de uma questão importante, com implicações a nível ético e de proteção de dados, mas também em termos de leis e políticas laborais, que devem ser consideradas. Assim, os trabalhadores podem ter algumas reservas em disponibilizar, aos empregadores, indicadores sobre as distâncias percorridas, as atividades realizadas e as práticas associadas à agricultura e à fruticultura. É, portanto, crucial encontrar um equilíbrio entre as duas abordagens, de forma a recolher os indicadores de produtividade necessários para apoiar o processo de tomada de decisão, sem comprometer a privacidade dos trabalhadores - e sem perder a sua confiança nos empregadores.

[1] Gornall J, Betts R, Burke E, et al. (2010) Implications of climate change for agricultural productivity in the early twenty-first century. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*: 365(1554):2973-2989. doi:10.1098/rstb.2010.0158.

[2] MS Sirsat, J Mendes-Moreira, C Ferreira, M Cunha (2019) Machine Learning predictive model of grapevine yield based on agroclimatic patterns. *Engineering in Agriculture, Environment and Food* 12 (4), 443-450.

[3] Yoosefzadeh-Najafabadi M, Tulpan D, Eskandari M (2021) Application of machine learning and genetic optimization algorithms for modeling and optimizing soybean yield using its component traits. *PLOS ONE* 16(4): e0250665. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0250665>

[4] AA Fares, F Vasconcelos, J Mendes-Moreira, C Ferreira (2021) Predicting Predawn Leaf Water Potential up to seven days using Machine Learning, *EPIA 2021*, pp. 39-50.



AGRICULTURA SUSTENTÁVEL NA ERA DA ÓMICA DE CAMPO

A REVOLUÇÃO AGROOMICA

Atualmente estão disponíveis ferramentas ómicas tais como a biologia de sistemas e bioinformática que permitem o desenvolvimento de simulações computacionais muito rigorosas desta cascata ómica (fluxómica) e respetiva produção de modelos in-silico para articular a informação entre o genótipo e do fenótipo.

MÁRIO CUNHA ^(1,2)
RUI MARTINS ⁽¹⁾
FILIPE SANTOS ⁽¹⁾

⁽¹⁾ INESC TEC
⁽²⁾ UP-FCUP

mario.cunha@inesctec.pt
rui.c.martins@inesctec.pt
filipe.n.santos@inesctec.pt

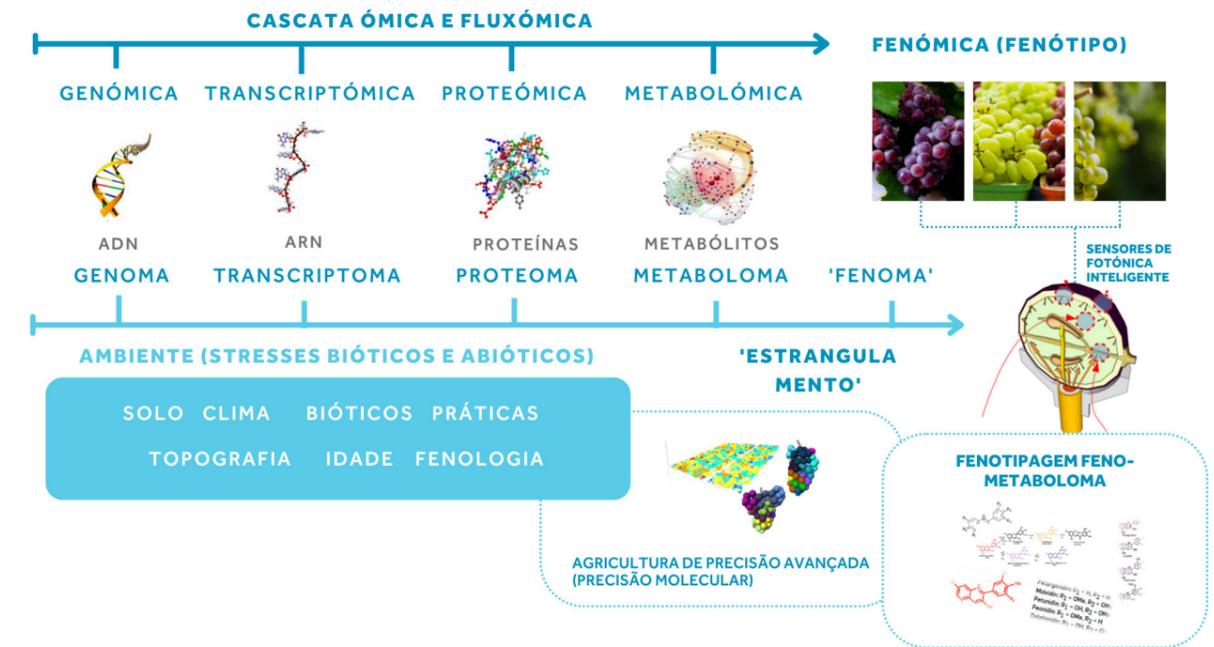


Figura 1 Modelo avançado de agricultura de precisão (precisão molecular) baseado em disciplinas ómicas e sensores fotônicos inteligentes.

A agricultura enfrenta o desafio global de produzir mais (em quantidade e qualidade) com menos recursos, o que terá de ser alinhado com o uso sustentável de recursos naturais e a mitigação dos efeitos dos cenários climáticos. Os enormes ganhos de produtividade agrícola resultantes da "green revolution" estabelecida após a II guerra mundial foram baseados num modelo de agricultura intensiva que atualmente é insuficiente para desenvolver sistemas alimentares sustentáveis. Este modelo de agricultura foi suportado por diversas inovações tecnológicas, tais como variedades muito produtivas, fitofármacos, fertilizantes e sistemas mecanizados que já não estão ajustadas à dramática perda de fertilidade dos solos (e.x. erosão, salinização), à necessidade de preservação da biodiversidade e à escalada dos custos energéticos. Por outro lado, este modelo de agricultura foi desenvolvido num contexto de relativa estabilidade climática que não está adequado aos cenários climáticos para o séc. XXI.

Neste modelo de agricultura produtivista, o suporte à decisão agronómica é baseado em diagnósticos simplificados e normalizados que não consideraram nem a fisiologia da planta nem a sua casualidade com o contexto ambiental, ou seja, este processo agronómico não está focado nem no desempenho da planta (genótipo), nem na sua interação com o ambiente (fenótipo). Esta

abordagem agronómica está, assim, dissociada do conhecimento estruturado produzido nos laboratórios tecnológicos (da biotecnologia e da instrumentação) e tem limitação em assimilar os desenvolvimentos científicos e tecnológicos ocorridos nos últimos anos no âmbito das disciplinas ómicas – genómica, transcriptómica, metabolómica e fenómica (Fig. 1).

Atualmente estão disponíveis ferramentas ómicas tais como a biologia de sistemas e bioinformática que permitem o desenvolvimento de simulações computacionais muito rigorosas desta cascata ómica (fluxómica) e respetiva produção de modelos in-silico para articular a informação entre o genótipo e do fenótipo. Estas ferramentas ómicas, conjugadas com sensores de elevada dimensionalidade e elevado débito, suportam a transferência de informação para medir no campo, de modo não destrutivo, a resposta da planta ao nível celular e molecular, potenciando a passagem para um modelo de atuação agronómica causal de precisão molecular.

É neste contexto que a fenotipagem tem vindo a desenvolver o conceito de mapeamento genótipo-fenótipo associado às interações genótipo-ambiente-práticas agronómicas (GAP) as quais são uma oportunidade para promover modelos agronómicos avançados baseados nas disciplinas ómicas.

A fenotipagem consiste na análise de um conjunto de características quantitativas ou qualitativas do fenótipo das plantas (e.x. dimensões, cor e composição), relacionando-as com o desempenho de um genótipo em determinado ambiente (e.x. clima, solos) que, no caso agronómico, inclui as práticas culturais. Tradicionalmente, as técnicas de fenotipagem incidiam sobre as características da planta facilmente mensuráveis, sendo uma técnica utilizada pelos agricultores desde os tempos mais remotos para melhorar o seu sistema de produção. Recentemente, a sensorização de plantas permite obter de modo expedito, rápido e preciso dados que podem ser relacionados com as características fenotípicas das plantas, incluindo as mais complexas, tais como moléculas relacionadas com o metabolismo e a fisiologia da planta – fenometaboloma (fig. 1). Estes sensores podem ser montados em plataformas diversas e proceder ao mapeamento em “larga escala” das características fenotípicas das plantas no seu contexto ambiental.

Todavia, é consensual que não obstante os enormes avanços em precisão, rapidez e custos das técnicas aplicadas à genómica das plantas ocorridos nos últimos anos, nomeadamente na sequenciação do DNA por “Next-Generation Sequencing – NGS”, as técnicas de fenotipagem não foram desenvolvidas ao mesmo ritmo, sendo atualmente um estrangulamento (phenotyping bottleneck) para que a agricultura, tal como a medicina ou a indústria farmacêutica, também possa beneficiar dos enormes avanços das disciplinas ómicas (Fig. 1).

Na última década, a convergência entre disciplinas ómicas tem beneficiado de iniciativas desenvolvidas em várias zonas do globo de estruturas de fenotipagem de plantas com tecnologia muito avançada, com recursos humanos de excelência, geralmente com grande interação internacional e com confortáveis dotações financeiras. Destaca-se a “European Plant Phenotyping Network – EPPN” e a sua articulação efetiva com estruturas congéneres de fenotipagem de plantas mapeadas em vários pontos do globo. Neste âmbito, em 2016, a União Europeia, através da “European Strategy Forum for Research Infrastructures (ESFRI)”, identificou a fenotipagem de plantas como uma área prioritária de investigação e, em 2018, traçou no seu “roadmap” o papel estratégico das estruturas de fenotipagem de plantas na Europa para os próximos 20 anos. Neste roadmap de infraestruturas destaca-se a European Infrastructure for Plant Phenotyping – EMPHASIS”,

a que Portugal aderiu recentemente tendo como parceiro o INESC TEC.

Todavia, o panorama mundial da fenotipagem é, ainda, heterogéneo e apresenta limitações para a sua plena concretização em ambiente empresarial, nomeadamente a tradução multidirecional de espécies modelo para culturas agrícolas e a integração destes dados de fenotipagem em diferentes escalas, com aplicações de campo com baixo custo que considerem também as culturas arbóreo-arbustivas.

O INESC TEC tem vindo a desenvolver robôs com capacidades ómicas, aptos a executar fenotipagem digital de elevado débito e elevada dimensionalidade, integrando as várias disciplinas ómicas no processo agronómico de diferentes culturas (incluindo as arbóreo-arbustivas). O robô “Metbots” é um exemplo que recorre à fotónica inteligente baseada em dispositivos de baixo custo e point of care para medir, processar e mapear, de modo não destrutivo, parâmetros chave do metabolismo da planta relacionados com a sua fisiologia. Também em desenvolvimento, o robô “Omicbots” é outro exemplo com capacidade para articular a monitorização metabólica com ferramentas de bioinformática e biologia de sistemas para o diagnóstico fisiológico de precisão (Fig. 1).

Estes robôs estão equipados com sensores baseados em fotónica inteligente que permitem determinar uma miríade de moléculas do metabolismo celular ou fenometaboloma (e.x. clorofilas, feofitinas, antocianinas, carotenóides, fitohormonas) produzidas pelas plantas em resposta a stresses bióticos ou abióticos e que são a base do diagnóstico fisiológico da planta operacionalizado em decisões agronómicas (e.x. fertilização, rega doenças, seleção de variedades adaptadas a micro-zonagem). Portanto, estes sensores permitem fazer o screening metabólico de cada planta em diferentes condições ambientais (solo, clima) e, utilizando técnicas de biologia de sistemas, bioinformática e modelos in-silico incorporados no “OmicBots”, perceber quais as enzimas que estão ativas, quais os genes que estão a ser ativados ou silenciados em cada situação e compreender todo o mecanismo da planta, permitindo uma atuação muito precisa no processo agronómico.

A integração destas tecnologias ómicas, fotónicas e agronómicas é operacionalizada através de modelos virtuais do tipo digital-twin para transferência em tempo real e in situ de

informações entre os laboratórios e o processo agronómico.

Esta abordagem de agricultura de precisão molecular promovida pelo INESC TEC abre uma nova fronteira para estudar e implementar mecanismos de adaptação, tratamentos e intervenções agronómicas avançadas: i) gestão mais precisa dos recursos e fatores de produção, nomeadamente da água e dos nutrientes, permitindo produzir mais com menos recursos, ii) deteção precoce de doenças, ainda na fase assintomática, permitindo tratamento localizados antes de ocorrerem disseminações e, até, o suporte ao desenvolvimento de fitofármacos com maior eficiência agronómica, ambiental e menor impacto em espécies não alvo, iii) atuar de modo rigoroso nas frequentes situações de stresses combinados (ex. stress hídrico associado a stress térmico, stress luminoso), já que o metabolismo da planta é alterado de diferente modo em cada um desses stresses, mesmo que o fenótipo não o seja e iv) conhecer a plasticidade fenotípica da planta quando exposta a um conjunto de condições ambientais (práticas culturais incluídas) como ferramenta para a mitigação das alterações climáticas. O melhoramento genético é um processo geralmente demorado pelo que podemos aproveitar a plasticidade fenotípica das plantas, desde que conhecida, para mitigar, de modo mais imediato, os efeitos da imprevisibilidade que se avizinha no âmbito dos cenários climáticos.

As disciplinas e ferramentas ómicas perspetivam o desenvolvimento de uma nova Era de atuação agronómica muito precisa e fundamental para suportar sistemas alimentares sustentáveis. Para tal, é necessário que os progressos da biotecnologia e da instrumentação fluam bidireccionalmente entre o laboratório e o campo. A ciência de base e a tecnologia está disponível, mas o conhecimento terá ainda de ser aplicado. As tecnologias e avanços científicos nesta linha de trabalho do INESC TEC têm recebido diversos prémios e distinções relevando o elevado impacto para a implementação de modelos avançados de agricultura de precisão.



DIGITAL TWINS NO AGRO-ALIMENTAR E FLORESTA

A tecnologia de gémeo digital tem sido aplicada na área da saúde e nas indústrias automóvel, aeronáutica e aeroespacial, mas pode ajudar também a resolver vários desafios noutros domínios. Por exemplo, na agricultura, ajuda na mitigação de problemas como a gestão de recursos, segurança alimentar, questões meteorológicas e na monitorização do solo.

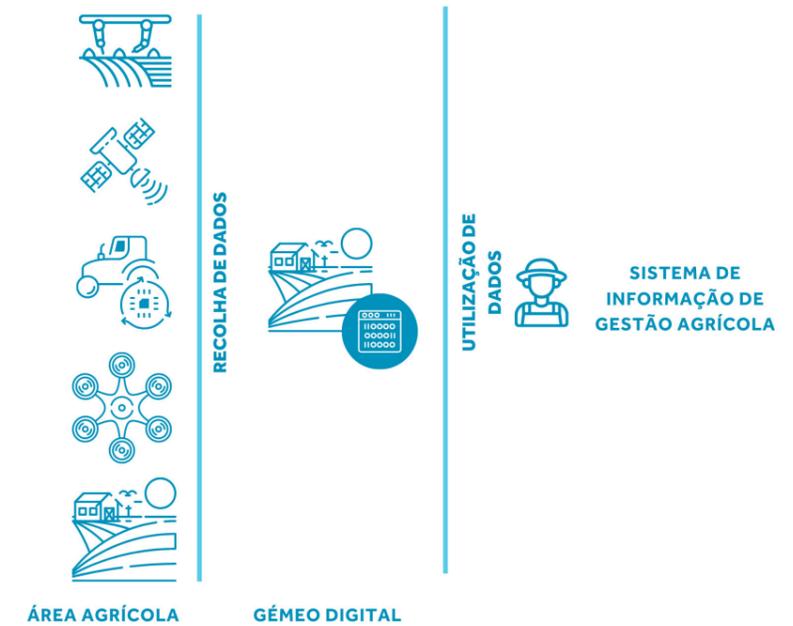


FIGURA 1 Fluxo de dados Gémeo Digital

Figura 1 Fluxo de dados Gémeo Digital [1]

Um gémeo digital consiste numa representação digital de um objeto ou infraestrutura do mundo real. Aliado a dados em tempo real, um gémeo digital pode ser usado para monitorização à distância ou para simular e prever um conjunto de ações. Este conceito é caracterizado por três componentes: uma entidade física, uma entidade virtual, e os dados que ligam estas duas partes. Esta tecnologia permite a visualização e extração de informação em tempo real sobre uma entidade, eliminando a necessidade de contato físico, e pode ser aplicada a uma organização, apoiando a sua gestão e monitorização.

A tecnologia de gémeo digital tem sido aplicada

na área da saúde e nas indústrias automóvel, aeronáutica e aeroespacial, mas pode ajudar também a resolver vários desafios noutros domínios. Por exemplo, na agricultura, ajuda na mitigação de problemas como a gestão de recursos, segurança alimentar, questões meteorológicas e na monitorização do solo.

Mais recentemente, existiram tentativas para a criação de gémeos digitais de áreas florestais. Estas podem ser muito úteis em tarefas como o planeamento florestal, inventário e planos de recolha, avaliação de cálculos de carbono, compreensão e monitorização dos efeitos da seca e doenças.

LINO OLIVEIRA ⁽¹⁾
ALEXANDRE COSTA ⁽¹⁾
MAFALDA CASTRO ⁽¹⁾
RUI RAMOS ⁽¹⁾

⁽¹⁾ INESC TEC
lino.oliveira@inesctec.pt
alexandre.a.costa@inesctec.pt
mafalda.r.castro@inesctec.pt
rui.j.ramos@inesctec.pt

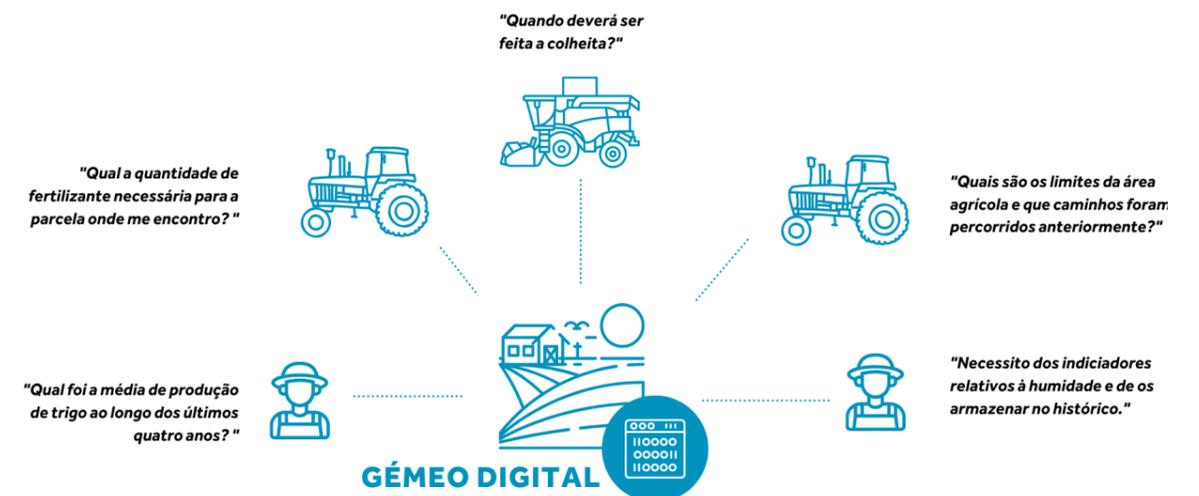


Figura 2 Possíveis funções de gémeos digitais agrícolas [1].

No que toca ao agroflorestal, os gémeos digitais podem servir de ajuda a agricultores através da monitorização e controlo de operações à distância, com base em informação digital em tempo real, levando à redução do tempo e esforço gasto em tarefas manuais. Um agricultor pode ser automaticamente informado da ocorrência de problemas, e simular e avaliar ações preventivas e de correção na representação digital. Esta tecnologia também ajuda a minimizar riscos associados a fatores como o clima, assim como contribuir para aumentar a rentabilidade.

Existem diversas operações envolvidas num gémeo digital agrícola. Alguns dos seus possíveis usos permitem responder a questões geralmente difíceis de responder sem algum contexto, como por exemplo a quantidade de fertilizante necessária para uma determinada região do solo, o tempo de preparação do solo, valores meteorológicos, históricos, entre outros.

O mundo físico requer tecnologias de medidas e sensores para coletar e receber dados de um objeto físico. Estas medidas podem ser adquiridas por várias tecnologias, como estações meteorológicas, para monitorizar o ambiente, qualidade do ar, e prever o estado meteorológico. Sensores de luz podem ser usados para medir a exposição solar de plantas em crescimento. No que toca à monitorização do solo, sensores óticos e eletroquímicos podem ser usados para determinar a sua fertilidade e medir a quantidade de matéria orgânica e humidade do solo, acompanhados de sensores mecânicos para medir a sua compactação, deformação e resistência. Estas medidas permitem identificar onde e como são gastos os recursos, quer por plantas e animais invasivos, pela qualidade do solo, poluição, e outros fatores.

A utilização de drones pode apoiar substancialmente as atividades de monitorização. Podem ser equipados com vários sensores e atuadores para realizar atividades agrícolas, desde a recolha de dados, a aplicação de fertilizantes e sementes, etc. No agroflorestal, os drones podem também ajudar na recolha de dados para suportar a agricultura de precisão, através da criação de mapas de projeções com base em imagem multiespectral. Além disso, eles também obtêm dados de observação como os de topografia do terreno, como e onde são efetuadas as plantações, fornecendo apoio à construção de um modelo virtual.

Com os avanços da tecnologia e o crescimento de métodos como o LiDAR, é possível criar cenários completos em 3D a partir de observações e medições de maneira fácil e acessível, o que permite que a construção de mundos virtuais que representam a realidade seja mais exata, e um processo mais confiável [2].

Equipamentos agrícolas autónomos podem fornecer um apoio fundamental na redução de custos e de tempo envolvido na colheita e produção, comparados a equipamentos agrícolas manuais [3]. Estes equipamentos trazem inúmeras vantagens, como a possibilidade de efetuar operações frequentes rápidas e precisas, independentemente das condições atmosféricas. Estas vantagens têm potenciado o uso extensivo de veículos não tripulados, como tratores e outros equipamentos [4].

Um gémeo digital pode também ser usado para medir e compreender o conteúdo e a capacidade do solo em que uma planta cresce, permitindo ao agricultor tirar o máximo de partido do terreno e com isso melhorar a qualidade de uma colheita. O terreno também pode ser visualizado através da criação de modelos exatos de paisagem, graças ao uso de modelos de elevação digitais, imagem topográfica multiespectral e ortofotomapas capazes de serem integrados num Sistema de Informação Geográfica (GIS).

Atualmente, existem diversos exemplos do mundo real de ferramentas que usam a tecnologia de gémeo digital como a sua base de operação, tirando partido das inúmeras vantagens que esta traz.

Por exemplo, a Intelligent Growth Solutions (IGS) desenvolveu uma solução focada em agricultura controlada de interior [5], que tem a capacidade de ajustar parâmetros como a luz, água, nutrientes, humidade e temperatura, e verificar o seu efeito numa planta. Esta solução examina a colheita através de câmaras que capturam imagens em duas ou três dimensões, e utiliza sensores para medir fatores como a água e nitratos.

A Connecterra criou um sistema inteligente de monitorização de bovinos baseados em Inteligência Artificial (IA) que permite visualizar a saúde e o bem-estar de uma manada [6]. Ao anexar um sensor à coleira do animal, o sistema consegue gerar alertas relativos à saúde, calor e mudanças de estado de um animal, permitindo uma monitorização mais precisa.



[1] Awan, J., 2020. Digital Twins for Agriculture. [online] Available at: <https://www.iese.fraunhofer.de/blog/digital-twins-agriculture/> [Accessed 24 March 22].

[2] Nita, M.D., 2021. Testing Forestry Digital Twinning Workflow Based on Mobile LiDAR Scanner and AI Platform.

[3] Autonomous Farm Equipment Market, [online] Available at: <https://www.persistencemarketresearch.com/market-research/autonomous-farm-equipment-market.asp> [Accessed 25 March 2022].

[4] Robotic Technologies In Agriculture, [online] Available at: <https://www.croptracker.com/blog/robotic-technologies-in-agriculture.html> [Accessed 25 March 2022].

[5] Saran, C., 2021. A digital twin for farming [online] Available at: <https://www.computerweekly.com/news/252505460/A-digital-twin-for-farming>. [Accessed 25 March 2022].

[6] Bedord, L., 2020. Connecterra digitizing dairy to improve animal health and efficiency of cows. [online] Available at: <https://www.agriculture.com/technology/livestock/connecterra-digitizing-dairy-to-improve-animal-health-and-efficiency-of-cows>. [Accessed 25 March 2022].

PORQUE PRECISAMOS DE TECNOLOGIA NA INDÚSTRIA DO VINHO.

Não é surpresa que independentemente da dimensão, dos pequenos aos grandes produtores, se verifique na atualidade uma busca constante de otimização da tecnologia para a melhoria da sua sustentabilidade, dos pontos de vista social, ambiental e económico, com uma consequente expectativa no aumento da competitividade e resiliência, o que de forma agregada, se constitui como garante da sustentabilidade do crescimento almejado pelo Cluster económico e social da indústria vitivinícola.

JOSÉ MANSO ^(1,2,3)

⁽¹⁾ ADVID

⁽²⁾ COLAB VINES&WINES

⁽³⁾ DOURO SOGRAPE VINHOS SA
jose.manso@advid.pt



Figura 1 Detecção remota numa vinha com recurso a drone.

“WHY”

Como é geralmente conhecido e reconhecido a vinha e o vinho são realidades milenares, consequência da elevada resiliência de uma atividade com uma forte identidade, regional e nacional, que marcou e marca ainda hoje os territórios e culturas aonde se desenvolve e de que o reconhecimento do DOURO como Património Mundial, bem como de outras paisagens vitícolas mundiais é um exemplo

Contudo a “novidade” que é a velocidade e intensidade dos acontecimentos nos nossos dias, nomeadamente no que concerne às alterações climáticas, às questões demográficas, às questões comportamentais do consumidor, e à evolução dos mercados, pressionam os agentes económicos desta atividade de uma forma ainda nunca antes sentida. As ferramentas tecnológicas resultantes de um progresso científico também ele provido de uma “velocidade” e intensidade nunca vivida são uma das soluções de capacitação mais eficazes e apelativas para esse objetivo.

Hoje em dia as ameaças globais tais como alterações climáticas, instabilidade geopolítica, concorrência intensa entre países e regiões ou as ameaças locais tais como a baixa densidade populacional e consequente falta de mão de obra ou um tecido socioeconómico pouco desenvolvi-

do e consequente lacunas nas suas capacidades, obrigam todo um sector económico a evoluir e transformar-se para potenciar a retenção e atração de mão de obra, a maximizar a produtividade dessa mão de obra escassa, aonde o recurso às ferramentas tecnológicas existentes e em desenvolvimento, mesmo que não seja o mais imediato é o mais lógico.

Deste modo, não é surpresa que independentemente da dimensão, dos pequenos aos grandes produtores, se verifique na atualidade uma busca constante de otimização da tecnologia para a melhoria da sua sustentabilidade, dos pontos de vista social, ambiental e económico, com uma consequente expectativa no aumento da competitividade e resiliência, o que de forma agregada, se constitui como garante da sustentabilidade do crescimento almejado pelo Cluster económico e social da indústria vitivinícola.

“WHAT”

A noção e o reconhecimento da existência de um Cluster da Vinha e do Vinho neste sector económico, mesmo que parte ainda se encontre numa forma menos estruturada, permite potenciar as abordagens multi-ator, em que com o envolvimento de todos, estado, entidades de I&DT,

associações, empresas, cooperativas, particulares, podem tomar parte ativa no processo. O CoLAB da vinha e do Vinho (CoLAB Vines & Wines) como entidade de interface é um dos veículos preferenciais de desenvolvimento dos processos interativos que se iniciam através da sinalização de necessidades e de direcionamento do desenvolvimento tecnológico no sentido de lhes responder, com subsequentes ciclos de auscultação das empresas em relação às soluções demonstradas ou desenvolvidas, geração de "massa crítica" para alavancar o desenvolvimento de soluções por parte de "tech providers", assim como na democratização das mesmas através da capacidade de diluir custos e de levar tecnologia e conhecimento técnico até à sua aplicação, assegurando assim a sua rápida endogeneização em todos os agentes económicos, e estreitando deste modo o fosso entre as empresas e o ecossistema de Investigação, inovação e desenvolvimento.

"HOW"

As tecnologias representam uma solução, não só direta, à maioria dos problemas, mas também indireta, e transversal, pois permitem potenciar a retenção e valorização de mão de obra capacitada, bem como a criação de capacidades de formação direcionada, para por um lado, potenciar a instalação das tecnologias a curto prazo, desta forma tirando o máximo partido das mesmas e por outro, potenciar o desígnio da retenção de mão de obra jovem e especializada, a que corresponderá uma valorização da sua remuneração, em linha com o incremento de produtividade.

Este "ambiente" que designamos como Agricultura Inteligente e que no caso da vinha especificamos como Viticultura de Precisão, resultará da conjugação de 3 fatores expressos desta forma sucinta:

- i) Melhoria da gestão das operações, realizadas de forma mecanizada /automatizada ou manual, com recurso a ferramentas de suporte à decisão (DSS) tais como as estações meteorológicas, fotografias NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) ou RVI (Ratio Vegetation Index) em ambiente SIG (Sistema de Informação Geográfica) obtidas por drones/UAV, sensores para transformar as explorações agrícolas em sistemas inteligentes que possam sentir e comunicar práticas e riscos climáticos, ambientais e outras práticas operacionais tais como informação sobre humidade do solo e ambiental, teor de nutrientes, índices de biomassa, condutividade elétrica do solo, pragas e doenças, tudo num ambiente IoT;

- ii) Alfaias associadas a plataformas inteligentes para a aplicação direta das tecnologias, especificamente através de ferramentas de VRT (Variable Rate Technologies) complementadas com sensores óticos, ultrassónicos ou LIDAR (Light Detection and Ranging);

- iii) E por fim o incremento da capacitação dos colaboradores, tirando máximo partido das abordagens tecnológicas, potenciando a retenção de mão de obra jovem e qualificada.

A solução, de facto, encontra-se na forma de fazer acontecer, explorando e potenciando a abordagem multi-ator através de estruturas de interface como o CoLAB da Vinha e Vinho, maximização os benefícios da mesma, e que deverá (tem) de ser alavancado pelo poder decisório ao apoiar ativamente esta abordagem, assumindo com outra "velocidade" o conhecimento científico e endogeneizando na legislação tal evolução, diminuído as barreiras à introdução de novas soluções, bem como reconhecer a importância do envolvimento de todos os agentes económicos, incluindo a capacidade de tração e liderança das empresas neste processo.



FORNECEDORES DE TECNOLOGIA INTELIGENTE E DE PRECISÃO PARA ATIVIDADE COM TECNOLOGIAS DE TAXA VARIÁVEL

Entre os fatores que afetam a adoção da agricultura de precisão, podem enumerar-se: empresários agrícolas, tecnologias e outros, tais como a existência de prestadores de serviços.



Figure 1 Robô INESC TEC do projeto PRYSM em testes numa vinha.

O grande desafio do setor está intimamente relacionado com os últimos dados lançados pela ONU, que estima que até 2050 a população mundial aumentará entre 2 a 3 mil milhões (de 7 para 10 mil milhões) e de acordo com a FAO, este fator demográfico, aliado ao aumento do poder económico dos países subdesenvolvidos, irá duplicar a procura de alimentos o que exigirá duplicar a produtividade agrícola, já que é escassa a terra arável disponível. Esta necessidade de produzir mais com menos recursos, conduzirá, inevitavelmente, à intensificação dos sistemas de produção agrícola o que poderá originar maiores riscos de ocorrência de pragas e doenças, diminuição da fertilidade do solo e problemas ambientais tais como a contaminação, salinização e erosão do solo. Estes problemas só poderão ser mitigados através do recurso a tecnologias inovadoras com enfoque em processos com níveis de performance elevados, numa ótica de agricultura de precisão, a qual terá um impacto positivo sobre a eficiência de utilização dos recursos. Portanto, o futuro irá exigir mais agricultura de precisão, impondo máquinas baseadas em tecnologia de automação de processos precisos capazes de aplicar os produtos na quantidade certa, no local exato e no momento certo e que ao mesmo tempo consigam avaliar e

reportar o estado da cultura e do solo de acordo com os princípios da agricultura 4.0.

Na verdade, com o uso de sistemas adequados é possível gerar e analisar um elevado volume de dados e desta forma tomar as decisões de forma consciente e acertada. O uso de tecnologia de ponta, como softwares, sistemas, equipamentos, e data science, ajudam no controle, monitorização e apoio na tomada de decisão. Atualmente o uso de tecnologias ocorre desde o estudo do solo, controle de pragas e ervas daninhas, plantação e colheita, mas também está presente em processos de gestão, como distribuição de recursos e gestão de processos administrativos. Com o recurso a estes sistemas é possível encontrar formas para aumentar a produtividade e reduzir os custos de produção. Uma das grandes vantagens da agricultura 4.0 é oferecer informações essenciais e precisas ao gestor agrícola, permitindo a tomada de decisão ser efetuada com assertividade e confiança.

Entre os fatores que afetam a adoção da agricultura de precisão, podem enumerar-se:

- Empresários agrícolas: nível educacional/

SÉRGIO OLIVEIRA ⁽¹⁾
RICARDO TEIXEIRA ⁽²⁾

⁽¹⁾ PULVERIZADORES ROCHA, SA

⁽²⁾ HERCULANO

sergio.oliveira@pulverocha.pt

ricardo.teixeira@ferpinta.pt

formação, idade, capacidade de investimento, conhecimento informático, recursos humanos, aversão ao risco, dimensão e perspicácia.

- Tecnologia: percetibilidade dos ganhos, facilidade de operacionalização, custo de investimento inicial, dificuldades de interpretação dos dados obtidos.

- Outros: existência de prestadores de serviços, suporte competente e eficaz por parte dos fabricantes/vendedores, força do "sistema de inovação"/comunicação.

Entendemos por isso, que se deva avançar com um conjunto de medidas de desmistificação e incentivo à utilização destas tecnologias, tais como:

- Mudar o paradigma dos agricultores e ajudar na implementação de uma cultura mais profissionalizada que olha para o retorno do investimento. Então, em toda a tecnologia, a premissa é a mesma, o quanto vai impactar nos custos e se vai ter retorno. Tem que entregar um serviço relevante, que traga retorno sobre o investimento e que seja tangível. Para isto, é necessário investimento em estudos comparativos da situação atual e futura e jornadas de demonstração.

- É também primordial a formação aos utilizadores/ agricultores, transmitir o conhecimento e capacitá-los para esta nova era da agricultura. Mas isto tem de ser algo comandado pelo Ministério da Agricultura de uma forma estruturada adotando políticas de incentivo e criando redes e ecossistemas de partilha de conhecimento de competências entre todos os intervenientes.

- Fundar uma associação de fabricantes de máquinas agrícolas nacionais, que defenda verdadeiramente os interesses, necessidades e dificuldades reais do setor junto do poder político. Temos o exemplo da Ansemat em Espanha que é uma referência na representação das propensões dos fabricantes com um forte poder mobilizador junto das entidades políticas e com uma grande componente informativa e formativa para o setor agrícola espanhol.

- Criação de linhas simples de financiamento direto aos agricultores para aquisição de equipamentos de agricultura de precisão, pois se as empresas e os institutos tecnológicos estão a investir em tecnologia é necessário haver adesão nacional. Custa muito desenvolvermos novos produtos (agricultura 4.0) que não são vendáveis em Portugal pois continuamos de forma generalizada na era da mecanização, temos de ultrapassar

barreiras. Temos de começar por renovar o parque de máquinas.

- Foco na questão da segurança (substituir tarefas potencialmente perigosas por robótica). Portugal é o terceiro país da União Europeia com mais acidentes com máquinas agrícolas. Mais de 350 vítimas mortais em cinco anos é o total que resulta dos acidentes com tratores em Portugal. Os dados reportam-se ao intervalo entre 2013 e 2017

Na Herculano, acerca da revolução digital, foi um caminho que iniciamos há 3 anos e como ponto de partida começamos com uma análise à nossa estratégia e mercado (atual e futuro). Cedo percebemos que faltava uma peça para completar o nosso puzzle nesta caminhada e foi aí que apareceu o INESC TEC, numa primeira fase com um projeto isolado DPA, solução de débito proporcional ao avanço para as Cisternas e Espalhadores, foi uma fase de "namoro" para nos conhecermos e então decidimos avançar para o casamento com a celebração de um protocolo de parceria entre a Herculano e o instituto assinado na Agroglobal de 2018 com a presença do Ministro da Agricultura. Posto isto, decidimos avançar com um novo projeto "Smart Fertilizers", que consiste na Investigação e desenvolvimento de uma cisterna e de um espalhador inteligentes, a um custo competitivo, eficiente e versátil para utilização na agricultura 4.0 e com um claro contributo para o aumento da eficiência da operação de fertilização nas componentes ambiental, agronómica e económica.

A fertilização e correção orgânica dos solos hoje em dia, utilizando espalhadores de estrume e cisternas de chorume, são operações agronómicas realizadas com muito baixa eficiência em termos ambientais e económicos. Existindo, mesmo normativas europeias, tendencialmente mais rígidas, que exigem maior controlo nos processos de fertilização por forma a reduzir a quantidade de azoto aplicado.

Neste momento, a escassez de matérias-primas tem forte impacto na disponibilidade dos fertilizantes artificiais. Devido aos altos custos, principalmente causados pelo aumento do preço da energia, os fabricantes de fertilizantes estão a limitar a sua produção. Isso ameaça a disponibilidade de fertilizantes químicos para a próxima temporada. Há uma grande necessidade de uma alternativa sustentável, fertilizante orgânico, para garantir um crescimento ideal.

A Pulverizadores Rocha, SA, através do seu

departamento de I&D e em conjunto com algumas entidades externas, nomeadamente o INESC TEC, tem trabalhado para desenvolver soluções tecnológicas enquadradas na revolução digital que a agricultura está a atravessar e permitir tirar a maior rentabilidade das explorações agrícolas e simplificar os processos. Na verdade, a agricultura não pode viver sob o conceito de fazer as coisas porque o vizinho faz ou porque sempre se fez assim, é importante inovar e encontrar formas de fazer compatíveis com as necessidades atuais, tal como produzir em menos espaço, ser sustentável, fazer face as alterações climáticas, suprir a falta de mão de obra qualificada, entre outros.

O robot para vinhas de montanha, que resulta do projeto Prysm onde a Rocha e o INESC TEC são parceiros é um excelente exemplo de um equipamento enquadrado na agricultura 4.0. Neste projeto, e tendo em consideração a necessidade

de uma agricultura de maior precisão e com baixos níveis de impacto ambiental, foi concebida de raiz uma solução robótica com capacidade de realizar tratamentos de baixo débito, 100 litros por hectare. Esta solução robótica é capaz de receber um mapa de prescrição e ajustar a aplicação de acordo com esta prescrição, com a velocidade do robô e de acordo com o real volume da massa foliar. De salientar, que este robô é competente para estimar a trajetória mais segura, tendo em consideração o declive do terreno e o centro de massa do robô e de se localizar autonomamente mesmo na ausência de sinais GNSS (GPS).

A Herculano e a Pulverizadores Rocha, SA, têm como objetivo criar soluções digitais inovadoras e automatizadas para o sector e em paralelo disseminar o uso de agricultura digital a todos os agentes, facilitando e democratizando o acesso à tecnologia.

Figura 2 "Green Precision": desenvolvida pela Herculano, em parceria com o INESC TEC.





Tema da próxima edição da Revista *INESC TEC Science&Society*: A Transição Energética
[Subscrever aqui](#)





INSTITUTE FOR SYSTEMS AND
COMPUTER ENGINEERING,
TECHNOLOGY AND SCIENCE