

## mySense: uma Plataforma de IoT Integradora de Dados de Múltiplas Fontes para Aplicações Agroflorestais com Cariz de Polivalência

Raul MORAIS<sup>1,2</sup>, Telmo ADÃO<sup>1,2</sup>, António FERREIRA<sup>1</sup>, Jorge MENDES<sup>1,2</sup>, Luís PÁDUA<sup>1</sup>, Jonáš HRUŠKA<sup>1</sup>, José SOUSA<sup>1</sup>, Joaquim J. SOUSA<sup>\*,1,2</sup> e Emanuel PERES<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal.

<sup>2</sup>INESC TEC - Campus da FEUP, Porto, Portugal

(rmorais@utad.pt; telmoadao@utad.pt; antonioferreira.email94@gmail.com; jorge.m.mendes@inesctec.pt; luispadua@utad.pt; jonash@utad.pt; jmsousa@utad.pt; jjsousa@utad.pt; eperes@utad.pt)

**Palavras-chave:** IoT para a Agricultura, Sensoriamento de Terreno, Detecção Remota, Agricultura de Precisão, Suporte à Decisão, Aprendizagem Computacional, Fitossanidade, Previsão de Doenças e Pragas

**Resumo:** O mySense é uma inovadora plataforma de integração de dados especificamente criada e em contínuo desenvolvimento para oferecer soluções para os problemas específicos da agricultura de precisão. Neste sentido, o mySense apresenta-se como uma infraestrutura baseada na *Cloud*, que oferece suporte para o desenvolvimento de soluções particulares baseadas em sensores estáticos no terreno, móveis, de proximidade ou remotos com vista a fornecer dados essenciais de suporte às mais variadas práticas agroflorestais. Simultaneamente, algoritmos de aprendizagem computacional podem ser utilizados sobre os dados oriundos das referidas fontes, visando a implementação de ferramentas de suporte à decisão.

Todos os dispositivos associados à plataforma mySense produzem dados que podem ser numéricos e/ou imagens e que podem, ainda, ter referência geográfica, o que permite a associação a um contexto de localização. Estes dados são indexados ao domínio de cada utilizador ou grupo e considera uma filtragem centrada nas necessidades de cada um, garantindo, ao mesmo tempo, um isolamento assente na privacidade dos dados. Adicionalmente, a todos os utilizadores mySense é dada a liberdade de disponibilizarem os dados dos seus dispositivos para a comunidade, no sentido de contribuir para uma base de conhecimento mais rica e sólida. Em suma, a plataforma mySense assenta numa filosofia de aquisição de conhecimento sobre o desenvolvimento de culturas agrícolas ou florestais, o que inclui certificação, avaliação da fitossanidade e previsão de ocorrência de doenças e pragas.

## 1. Introdução

A agricultura é uma das áreas que mais tem beneficiado com o desenvolvimento da IoT (e.g. Bo & Wang, 2011; Dlodlo & Kalezhi, 2015; Shenoy & Pingle, 2016), visto que esta tem tido um papel preponderante no incremento da sustentabilidade, desde as fases iniciais de cultivo até comercialização na linha do consumidor final. É observável em desenvolvimentos feitos, por exemplo, para linha de produção (Ferrández-Pastor, García-Chamizo, Nieto-Hidalgo, Mora-Pascual, & Mora-Martínez, 2016; Jayaraman, Palmer, Zaslavsky, & Georgakopoulos, 2015; Varma, Mulla, Raut, & Pawar, 2017), cadeia de distribuição (Liu et al., 2016; Luthra, Mangla, Garg, & Kumar, 2018; Pang, Chen, Han, & Zheng, 2015) e pontos de venda finais (Baranwal, Nitika, & Pateriya, 2016). É, ainda, de notar o crescente conjunto de tecnologias – aquisição/atuação (e.g. veículos aéreos (VANT) e terrestres (VTNT) não-tripulados terrestres), processamento (e.g. visão por computador e IC), comunicação (nomeadamente, sem-fios), etc. – que se tem vindo a disponibilizar e que se estabelece como a chave para a efetiva implementação da IoT na agricultura, com elevado potencial de complementação e, até mesmo, de automatização de práticas tradicionais (Bacco et al., 2018), especialmente, quando coerentemente integradas por meio de arquitetura/framework (e.g. Ray, 2017). A necessidade da implementação efetiva dos conceitos de IoT como ferramenta tecnológica de apoio às práticas agrícolas – nomeadamente no âmbito da Agricultura de Precisão (AP) – encontra justificação no desperdício significativo de recursos decorrente dos modelos tradicionais, que fazem com que, por exemplo, 50% dos produtos agrícolas não cheguem às mãos do consumidor final (Shenoy & Pingle, 2016).

É no sentido de continuar a apostar na sustentabilidade através da integração das tecnologias de deteção e atuação, técnicas de tratamento de dados e sistemas de suporte à decisão que, neste trabalho, se apresenta o mySense: uma plataforma integradora baseada em IoT para a AP. Na análise desta plataforma, será dado ênfase aos dois principais componentes: os serviços e a camada de inteligência computacional (IC). Enquanto uma vasta rede de sensores e dispositivos procede à recolha de dados – seja por contacto ou de forma remota, para alimentar os repositórios do mySense – um conjunto de serviços personalizável e escalável pode ser configurado e disponibilizado a comunidades-alvo, cujo os interesses poderão passar por obter conhecimento em problemas de origem mais técnica/científica, tais como anomalias em culturas (stress hídrico, doença, etc.) e respetivas medidas interventivas. Numa primeira instância é possível que o motor de IC, ainda em fase de testes, execute a primeira linha de processamento e realize outputs que são entregues diretamente ao assinante dos serviços (como será o caso de um agricultor, por exemplo); numa segunda instância, mediante o grau de confiança dos outputs do módulo de IC, os pedidos poderão ou não ser reencaminhados para a avaliação de peritos (na atual fase de desenvolvimento, os peritos são os únicos intervenientes). Um caso-de-uso no âmbito da certificação de castas de vinha (*Vitis vinifera L.*) autóctones da Região Demarcada do Douro (RDD) será apresentado mais para o final deste trabalho, incluindo testes preliminares recorrendo a redes neurais convolucionais (do inglês, *convolutional neural network* ou CNNs).

Em termos de organização, este artigo encontra-se dividido da seguinte forma: para além desta secção introdutória e de enquadramento, a secção 2 introduz o mySense e descreve a sua arquitetura, a rede de recolha de dados associada, a componente de serviços e, finalmente, a componente de IC. Antes das conclusões (secção 4), na secção 3, é apresentado um caso-de-uso combinando serviços e IC.

## 2. Plataforma mySense

Nesta secção é apresentado o mySense: uma plataforma portuguesa de IoT orientada a aplicações agrícolas que se encontra a ser desenvolvida na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro e cujo o esquema conceptual se encontra ilustrado na Figura 1. Esta plataforma assenta numa camada de dispositivos que produzem dados, estruturados ou não, provenientes de redes de sensores (WSN) que consistem num conjunto de dispositivos de terreno que realizam medições periódicas de uma vasta variedade de parâmetros (e.g. temperatura, humidade relativa, etc.). Está, ainda, prevista a integração de dados de imagens aéreas de alta resolução obtidas por meio de sensores acoplados em VANTs, nomeadamente RGB, multi/hiperespectral e térmico. Os agricultores que sejam utilizadores da plataforma podem consultar os respetivos dados através de uma interface Web, sendo estes apresentados na forma de gráficos intuitivos e de fácil leitura. Alguns destes dados podem, por si só, fornecer indicações valiosas para a deteção de anomalias nas culturas. No entanto, é a partir de um conjunto de serviços que se pretende alcançar o efetivo suporte à decisão, que se desenrola a dois níveis: a) numa primeira instância, recorrendo a um motor de IC que se encontram em desenvolvimento e testes com o objetivo de automatizar a análise de padrões em dados oriundos das

diversas fontes; e b) com a intervenção de uma rede de especialistas, que é solicitada sempre que o grau de certeza inerente aos resultados de saída do motor de IC for dúbio.

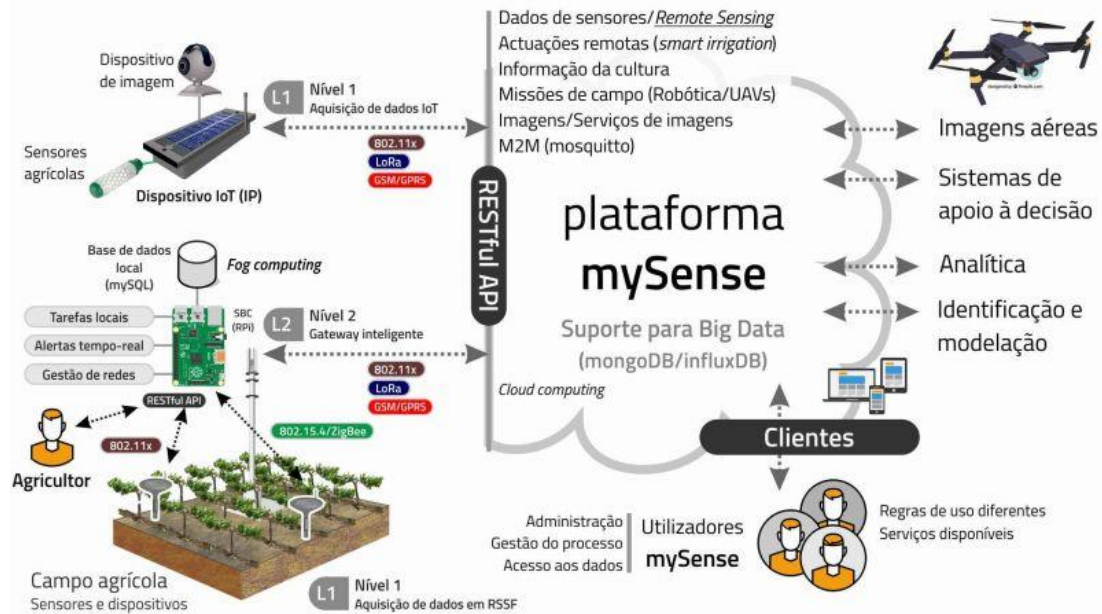


Figura 1 – Arquitetura mySense (Morais, 2018).

## Sensoriamento em terreno e deteção remota

As principais fontes de dados para o mySense dividem-se em dois grupos fundamentais e complementares: sensores de terreno (equipamentos de proximidade/contacto para monitorização permanente e em tempo real) e dispositivos de aquisição remota (sem necessidade de contacto, menos invasivos, com uma área de cobertura mais abrangente, mas, também, de acesso offline e, por isso, com uma taxa superior de obsolescência).

O primeiro grupo consiste num conjunto de equipamentos de contacto que são capazes de medir parâmetros tais como humidade relativa, temperatura e stress hídrico foliar, precipitação e radiação fotossinteticamente ativa (do inglês *photosynthetic active radiation*, PAR), entre outros elementos. A Figura 2 apresenta alguns exemplos.

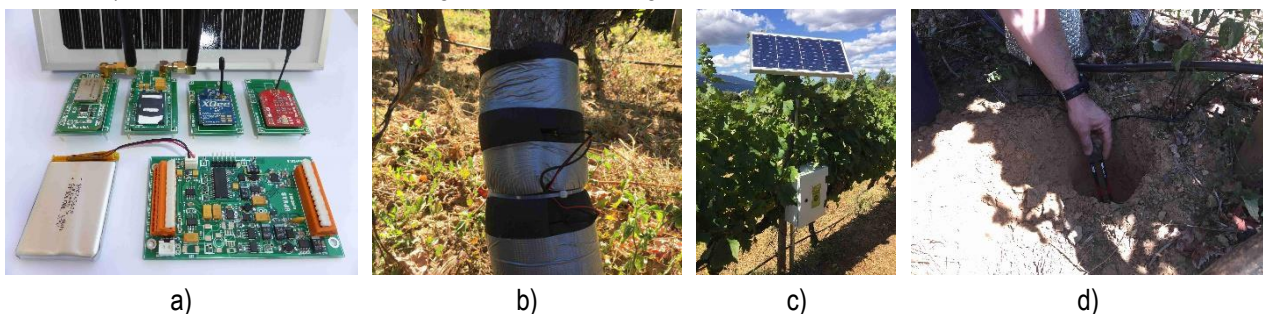


Figura 2 – Dispositivos de terreno, desenvolvidos no âmbito do mySense: a) mostra um microcontrolador (proprietário mySense) alimentado a bateria, equipável com diversos sensores e placas de montagem rápida placas para comunicação WiFi, 3G/4G, LoRa e ZigBee; b) apresenta uma sonda de Granier (usada para dissipação térmica e avaliação da evapotranspiração em aplicações agrícolas) ; c) contem um exemplo de gateway de terreno para reencaminhamento de dados dos sensores, baseado em Raspberry Pi; e d) mostra um sensor de alta precisão para medição de humidade no solo.



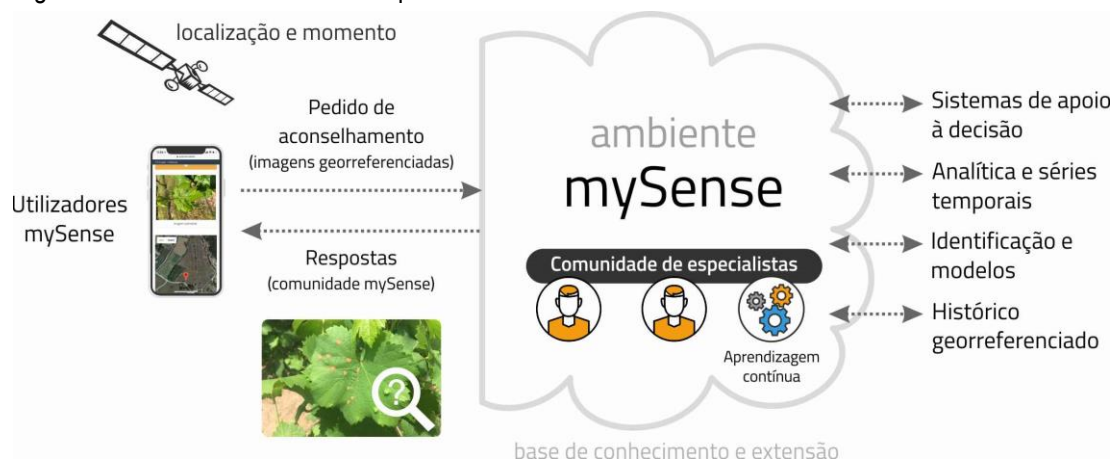
A comunicação é feita com *gateways*, através de tecnologias sem fio (WiFi, 3G/4G, LoRa e ZigBee) de médio/longo alcance que têm como função reencaminhar os dados para as bases de dados do mySense, recorrendo a protocolos de comunicação de pedido/resposta (*Hypertext Transfer Protocol* ou HTTP, em combinação com *secure socket layer* ou SSL) ou baseados na filosofia publicação/subscrição (*Message Queuing Telemetry Transport*, MQTT). Cada dispositivo de aquisição de dados colocado em funcionamento no campo é visto como um objeto na plataforma, contendo canais (transdutores) de entrada (sensores) e saída (atuadores). Se um dispositivo recebe dados de outros em regime M2M, pode ser definido como um concentrador (*gateway*), que por sua vez tem a capacidade de reencaminhar os dados para o mySense. Um canal é a unidade mínima com identificador único na plataforma. Os dados gerados por um transdutor podem ser públicos, ser de propriedade privada ou pertencer a um grupo específico de utilizadores. Para facilitar a integração das fontes, existe uma biblioteca de sensores prontos a serem usados.

Já o grupo de dispositivos de aquisição remota inclui – para além dos difundidos smartphones de consumo geral – um conjunto de sensores concebidos para serem transportados por VANTs (*drones*). Dependendo da função de cada um, estes dispositivos podem ser usados para obter registos digitais, cujo o pós-processamento se pode revelar muito útil e proveitoso em aplicações na área da AP. Camaras RGB, de radiação infravermelha ou próxima ao vermelho (*near-infra red*, NIR) e hiperespectral são exemplos dos sensores que podem ser aplicados (Pádua et al., 2017). Os dados adquiridos por meio destes equipamentos podem ser incluídos na plataforma web do mySense e disponibilizado aos utilizadores, através de serviços.

## Serviços para a comunidade

Os serviços mySense pretendem ser uma interface entre a comunidade académica, com todo o seu conhecimento, e os utilizadores que, através de uma subscrição ativa na plataforma web, podem recorrer a este conhecimento para obter respostas práticas às suas questões de cariz profissional (e.g. rega, monitorização de desenvolvimento de culturas até às questões inerentes à fitossanidade as plantações).

Uma das vertentes dos serviços mySense prevê submissão espontânea de pedidos de apoio à comunidade científica e foi pensada para ser simples e intuitiva: basta recorrer a um dispositivo móvel e, através da aplicação web para solicitação de assistência disponibilizada pela plataforma, tirar até 6 fotografias da situação/problema para o qual se pretende apoio. Essas fotografias, georreferenciadas, são submetidas ao mySense juntamente com uma descrição e um título sugestivos – a preencher pelo utilizador no formulário da referida aplicação web – formalizando, assim, o pedido que fica em espera. Atualmente, a interação ocorre com um painel de especialistas que analisa a solicitação e realiza contribuições que consistem em indicações/sugestões para a resolução do problema reportado. Sucessivas iterações podem ocorrer até que o utilizador se sinta confortável com uma das indicações/sugestões, que deve marcar como resposta útil ao seu pedido, proporcionando, assim, um incremento da base de conhecimento que posteriormente se torna acessível à restante comunidade associada ao serviço subscrito. A Figura 3 ilustra o funcionamento do processo descrito.



**Figura 3** – Funcionamento do sistema de serviços, vertente submissão espontânea de pedidos de apoio à comunidade científica: quando um utilizador afeto a um dado serviço precisa de aconselhamento, recorre à plataforma mySense através do seu dispositivo móvel, onde

submete um conjunto de fotos juntamente com uma caracterização descritiva da situação/problema. Após análise, a comunidade de especialistas associada a esse serviço responde à solicitação até que o utilizador marque uma das respostas como útil, fechando o tópico.

Para complementar a componente de serviços, encontra-se a ser desenvolvido e testado o suporte para a integração de imagens aéreas RGB, multi/hiperespectral e térmica que, mediante assinatura, permitirá aos subscritores ter acesso a preciosos dados acerca do estado das suas culturas, estendendo a abrangência à escala dos terrenos agrícolas. Desta forma, cria-se uma janela de oportunidade para que os utilizadores consigam obter diagnósticos precisos e extensivos, em tempo útil.

## Suporte de apoio à decisão baseado em IC

Uma das grandes vertentes da IC explora a possibilidade de enriquecer computadores com a capacidade de classificar dados por meio de generalização de características. Com este objetivo, técnicas baseadas em aprendizagem profunda (*deep learning*), como é o caso das CNNs, apresentam-se como poderosas abordagens. Para mais informações, literatura como (Brownlee, 2017) pode ser consultada.

A integração das CNNs no mySense prevê um complemento ao processo de tratamento das solicitações realizadas pelos subscritores (como descrito na secção de serviços para a comunidade). Numa primeira fase, a avaliação será feita pelo motor de IC e, apenas em caso de necessidade, serão consultados peritos, numa segunda fase. Mais especificamente, se a estimativa da componente IC não indicar um grau de confiança sólido – por exemplo, 90% de certeza – a situação reportada é reencaminhada para os peritos. Caso contrário, o resultado é retornado diretamente ao utilizador. O modelo de IC a aplicar está relacionado com o serviço solicitado pelo utilizador (por exemplo, identificação de variedades de frutos para certificação ou de anomalias para prescrição de tratamentos). Em seguida, um caso de estudo será apresentado para clarificar a aplicabilidade da analítica de IC no mySense.

## 3. Caso-de-uso: um serviço de IC para a identificação de castas

Reconhecendo a importância da certificação de castas de videira (*Vitis vinifera L.*) na RDD, além da necessidade de preservar o conhecimento relacionado com impacto direto na qualidade/credibilidade dos vinhos – especialmente na esfera comercial que inclui mercados nacionais e internacionais –, encontra-se em fase de avaliação funcional um serviço automático de apoio potenciado por um motor de IC, nomeadamente com recurso a CNNs.

Em primeiro lugar, foi preparado um conjunto de dados com base numa série de fotografias de folhas de vinha, adquiridas durante o verão 2017 e pertencentes a seis castas diferentes: Touriga Nacional, Tinto Cão, Códega, Moscatel, Tinta Roriz e Rabigato. Neste conjunto, procedeu-se à remoção das fotografias influenciadas por fatores adversos (e.g. excesso de sombra, esbatimento), bem como à replicação das sobranças (*data augmentation*) para tornar a amostragem significativa. No final, foram obtidas 3156 imagens RGB de 300x300 píxeis – 526 por casta –, das quais 60% foram usadas para treino, 30% para validação e 10% para teste. Em seguida, uma CNN para classificação/aprendizagem dos dados anteriormente preparados foi implementada, recorrendo ao ambiente Python (Python Software Foundation, Delaware, Estados Unidos), com Keras (François Chollet/Google, São Francisco, Estados Unidos) e TensorFlow (Google Brain, Califórnia, Estados Unidos). Tendo por base a arquitetura VGG (Simonyan & Zisserman, 2014), uma versão simplificada (Rosebrock, 2018) foi configurada para este caso-de-estudo (Figura 4) e treinada usando 50 passos de treino por ronda (*epoch*), em 50 rondas. Segue-se uma breve explicação das camadas usadas. Convolução (*Conv2D*) é um tipo de camada que recorre a N filtros de uma determinada dimensão que vão deslizando sobre a imagem para gerar mapas de características. A primeira destas camadas deve prever dimensão para as imagens de treino/validação (por exemplo, 150x150 píxeis de largura por altura, mais 3 bandas, no caso das RGB). Ativação (e.g. *ReLU*) representa uma função que intensifica e desvanece neurónios. Nas CNNs a operar com imagens parece ter uma função de acentuação de características. As camadas do tipo normalização (*BatchNorm*) tratam da uniformização da escala dos dados (previnem que intervalos dispares tenham impacto na performance da rede). Pouco sensíveis à posição, escala e rotação das imagens, as camadas de compressão/simplificação (e.g. *MaxPooling*) aparecem normalmente depois das camadas de convolução para condensar os mapas de características delas resultantes. Existe, ainda, um mecanismo que inativa neurónios numa ronda de treino para que os seus pesos não influenciem a ativação das camadas subsequentes, aplicado por camadas de redução de sobreajuste (*Dropout*). Enquanto a camada de achatamento (*Flatten*) dispõe linearmente os neurónios (nas CNNs a





**Quadro 1** – Resultados da fase de predição experimental, com imagens de teste não antes vistas pela CNN implementada. A última coluna apresenta a taxa de sucesso para cada casta, enquanto que a última linha mostra a taxa média de falha/acerto para o conjunto de castas considerado.

Casta	Falso	Verdadeiro	
Touriga Nacional	3	49	≈94%
Tinto Cao	0	52	≈100%
Codega	4	48	≈92%
Moscatel	10	42	≈81%
Tinta Roriz	8	44	≈85%
Rabigato	26	26	≈50%
	≈16,13%	≈83,65%	

- Consulta gráfica de dados de sensores de monitorização no terreno, podendo estes ser de pertença própria, de difusão em *broadcast* por parte da plataforma, ou tornados públicos por outros utilizadores;
- Consulta cartográfica digital de dados adquiridos por VANT (RGB, multi e hiperespectral), com filtragem por áreas de interesse relativas aos assinantes;
- Acesso a ferramentas de apoio à decisão e alarmística, com base em IC, dados adquiridos e previsões ambientais (por exemplo, conjunto de fatores meteorológicos que potenciam o aparecimento de determinada anomalia, tal como stress hídrico ou doença) a curto-medio prazo;
- Acesso a serviços variados de interação direta com os motores de IC e a comunidade académica, para diagnósticos de sintomatologia de manifestação visualmente identificável em diversas culturas, através da submissão de imagens tiradas com recurso a equipamentos de uso corrente, como é o caso dos *smartphones*.
- Utilização de serviços de IC – na mesma, com ligação à comunidade académica – para a certificação de variadas espécies agrícolas e/ou florestais, recorrendo a registos (imagens, parâmetros solicitados ao utilizador, leituras multi/hiperespectrais, etc.) que contenham os elementos necessários á distinção de características.

#### 4. Notas finais

Neste artigo foi apresentado um inovador sistema de IoT para a AP designado de mySense que se encontra a ser desenvolvido na Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. Baseia-se numa camada de sensores no terreno que recolhem dados (sobretudo, de parâmetros ambientais) para efeitos de histórico e processamento analítico, cujo o acesso pode ser público, restrito a grupos de utilizadores ou privado. Complementarmente, o mySense também suporta dados adquiridos por deteção remota – *smartphone* ou VANT – que podem incluir imagens RGB, multi/hiperespectrais e térmicas, com diversas aplicabilidades desde a criação de mapas de vigor vegetativo à deteção de anomalias nas culturas. O fator inovador que distingue o mySense da maioria dos sistemas IoT é a combinação de uma vasta e escalável panóplia de serviços para a comunidade agrícola com a analítica realizada através de IC. Enquanto que a estrutura de serviços disponibiliza interfaces com o conhecimento académico para fornecer apoio nas ocorrências menos obvias ligadas a atividade agrícola, a componente complementar de IC visa enriquecer o mySense com a autonomia necessária para dar respostas precisas em tempo útil, solicitando os especialistas somente quando necessário, nomeadamente para os casos em que o grau de confiança das estimativas for insuficiente. Apesar do caso-de-estudo apresentado se confinar ao serviço de identificação de castas através da submissão de fotografias via *smartphone*, o trabalho futuro terá como objetivo estender o conjunto de serviços de interface a outras temáticas de relevo – e.g.

doenças nas culturas – a par da analítica providenciada pela componente de IC, com alcance para dados provenientes de vários tipos de fontes, nomeadamente sensores no terreno e VANTs, para além dos dispositivos móveis.

## Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização – COMPETE 2020 sob o Acordo de Parceria PORTUGAL 2020, e através da Agência Nacional de Inovação (ANI), como parte do projeto “PARRA – Plataforma integrAda de monitoRização e avaliação da doença da flavescência douRada na vinhA” (Nº 3447) e suportado pelo FEDER e Norte 2020 – Programa Operacional Regional do Norte, como parte do projeto “INNOVINE&WINE – Plataforma de Inovação da Vinha e do Vinho” (NORTE-01-0145-FEDER-000038).

## Referências Bibliográficas

- Bacco, M., Berton, A., Ferro, E., Gennaro, C., Gotta, A., Matteoli, S., ... Zanella, A. (2018). Smart farming: Opportunities, challenges and technology enablers. In 2018 IoT Vertical and Topical Summit on Agriculture - Tuscany (IOT Tuscany) (pp. 1–6).
- Baranwal, T., Nitika, & Pateriya, P. K. (2016). Development of IoT based smart security and monitoring devices for agriculture. In 2016 6th International Conference - Cloud System and Big Data Engineering (Confluence) (pp. 597–602).
- Bo, Y., & Wang, H. (2011). The Application of Cloud Computing and the Internet of Things in Agriculture and Forestry (pp. 168–172). IEEE.
- Brownlee, J. (2017). Deep Learning with Python: Develop Deep Learning Models on Theano and TensorFlow Using Keras (v1.11). Melbourne Australia: Machine Learning Mastery.
- Dlodlo, N., & Kalezhi, J. (2015). The internet of things in agriculture for sustainable rural development (pp. 13–18). IEEE.
- Ferrández-Pastor, F. J., García-Chamizo, J. M., Nieto-Hidalgo, M., Mora-Pascual, J., & Mora-Martínez, J. (2016). Developing Ubiquitous Sensor Network Platform Using Internet of Things: Application in Precision Agriculture. *Sensors*, 16(7), 1141.
- Jayaraman, P. P., Palmer, D., Zaslavsky, A., & Georgakopoulos, D. (2015). Do-it-Yourself Digital Agriculture applications with semantically enhanced IoT platform (pp. 1–6). IEEE.
- Liu, Y., Han, W., Zhang, Y., Li, L., Wang, J., & Zheng, L. (2016). An Internet-of-Things solution for food safety and quality control: A pilot project in China. *Journal of Industrial Information Integration*, 3, 1–7.
- Luthra, S., Mangla, S. K., Garg, D., & Kumar, A. (2018). Internet of Things (IoT) in Agriculture Supply Chain Management: A Developing Country Perspective. In *Emerging Markets from a Multidisciplinary Perspective* (pp. 209–220). Springer, Cham.
- Morais, R. (2018). mySense IoT framework UTAD. Retrieved July 27, 2018, from <https://mysense.utad.pt>
- Pádua, L., Vanko, J., Hruška, J., Adão, T., Sousa, J. J., Peres, E., & Morais, R. (2017). UAS, sensors, and data processing in agroforestry: a review towards practical applications. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8–10), 2349–2391.
- Pang, Z., Chen, Q., Han, W., & Zheng, L. (2015). Value-centric design of the internet-of-things solution for food supply chain: Value creation, sensor portfolio and information fusion. *Information Systems Frontiers*, 17(2), 289–319.
- Ray, P. P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 395–420.
- Rosebrock, A. (2018, April 16). Keras and Convolutional Neural Networks (CNNs). Retrieved July 24, 2018, from <https://www.pyimagesearch.com/2018/04/16/keras-and-convolutional-neural-networks-cnns/>
- Shenoy, J., & Pingle, Y. (2016). IOT in agriculture. In 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom) (pp. 1456–1458).
- Simonyan, K., & Zisserman, A. (2014). Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition. ArXiv:1409.1556 [Cs]. Retrieved from <http://arxiv.org/abs/1409.1556>
- Varma, H., Mulla, C., Raut, R., & Pawar, D. V. R. (2017). Fertigation & Irrigation System for Agricultural Application along with Soil Monitoring using IoT, 1(2), 5.