Interreg Sudoe

Co-funded by the European Union

SMART GREEN WATER

CARACTERIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS UTILIZADAS NA GESTÃO DA REGA

Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos

UPA

UNIVERSIDAD DE CÓRDOBA

IRTA

COTR CENTRO DE COMPETÊNCIAS PARA O REGADIO NACIONAL

AGRI SUD-OUEST INNOVATION

EUROREGIO

Junho de 2024

Distribuição pública

Prestação 2.5.1

Atividade: *Desenvolvimento conjunto de um método para caraterizar as soluções disponíveis no mercado.*

Índice

Introdução 4

Diferentes níveis de tecnologia na digitalização do regadio 6

Soluções Digitais para a rega na agricultura 9

Nível 1: Programação da Rega 9

Nível 2: Monitorização 9

Nível 3: Rega de precisão 10

Nível 4: Sistemas inteligentes de rega 10

Caracterização das principais soluções digitais para a rega 11

Sistemas automatizados de rega 11

1.1 Programador de rega 11

1.2 Sensores 12

1.2.1 Sensores distantes ou remotos 12

Imagens de satélite 13

Imagens de drones 15

1.2.2 Sensores de proximidade 16

Sensores na planta 17

Sensores de fluxo de seiva 19

Sensor de turgescência da folha 21

Sensores de temperatura de planta 22

Registo contínuo do potencial hídrico do caule 22

Sensores de solo 24

Sensores de teor de humidade 25

Sensores de medição do potencial matricial 30

Sensores resistivos e capacitivos em material poroso 31

Sensores de condutividade elétrica 32

SiAR (Sistema de Informação Agroclimática para o Regadio) 34

SAGRA (Sistema Agrometeorológico para a Gestão da rega no Alentejo) 36

Outros 41

Sensores de monitorização do sistema de rega 43

Medidor de caudal 43

Sensor de pressão 43

Sensores de qualidade da água de rega 45

2- Softwares de gestão da rega 46

3- Empresas do sector do regadio 48

Bibliografia 52

Índice de Figuras

Figura 1: Abordagem muito simples para a monitorização e gestão da rega com base em dados. 6
Figura 2: Abordagem baseada em dados para a monitorização e gestão da rega utilizando um repertório de ferramentas e fontes de dados disponíveis online. 7
Figura 3: Abordagem à monitorização e gestão da rega utilizando uma plataforma integrada de prescrição de rega, que alivia o regante das tarefas rotineiras de descarregamento e processamento de dados. 8
Figura 4: Principais programas com dados abertos. Fonte: María José Checa Tragsatec 14
Figura 5: Principais programas comerciais. Fonte: María José Checa Tragsatec 14
Figura 6: Arquitetura da agricultura 4.0. Fonte: Carmen Flores Cayuela, Universidade de Córdoba 17
Figura 7: Dendrómetro. Fonte Fernando Casares Universidade de Córdoba 18
Figura 8: Sensores de fluxo de seiva. Fonte: Fernando Casares Universidade de Córdoba 21
Figura 9: Sensor de turgescência da folha. Fonte: Francisco Casasres Universidade de Córdoba 21
Figura 10: Equipamento para monitorização contínua do potencial hídrico do tronco com base em microtensiómetros instalados no tronco das videiras. 23
Figura 11: Ferramenta da empresa "Vegetal Signal", Hydroscore, Uma aplicação para a monitorização em tempo real do estado hídrico das videiras. 24
Figura 12: Sensor capacitivo 26
Figura 13: Sensor FDR 27
Figura 14: Sensor TDR 27
Figura 15: Evolução do teor de humidade do solo a diferentes profundidades, mostrando quando a rega é aplicada. 28
Figura 16: Instalação de sondas de humidade a várias profundidades 28
Figura 17: Tensiómetros 31
Figura 18: Sonda Capacitiva de tensão da matriz do solo 32
Figura 19: Sonda Resistiva de tensão de matriz do solo 32
Figura 20: Estação agroclimática completa 34
Figura 21: Rede SIAR. Fonte: Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação 35
Figura 22: Exemplos de informações fornecidas por uma estação agroclimática da rede SIAR 36
Figura 23: Metodologia de funcionamento do serviço de aviso de rega 38
Figura 24: Rede de Estações Meteorológicas Automáticas - SAGRA 38
Figura 25: Utilizador do SAGRA-NET a consultar os dados diários (www.cotr.pt) 39
Figura 26: Utilizador MOGRA 40
Figura 27: A rede de estações meteorológicas atualmente em serviço em França 41
Figura 28: Ferramentas Sencrop 42
Figura 29: Estação meteorológica da Isagri 42
Figura 30: Ferramenta de gestão da rega da Weenat 42
Figura 31: Figura Digimapa. Plataforma Terra. Pesquisa de empresas de rega 48

Introdução

As soluções digitais para explorações agrícolas de regadio contribuem para a gestão eficiente do recurso mais crítico na agricultura, **a água**.

É de salientar que 70% da água utilizada em Espanha é destinada à agricultura; por conseguinte, o papel do sector é fundamental para conseguir poupar este recurso na produção alimentar.

A tecnologia é importante para maximizar os fatores de produção na agricultura, especialmente a água, que é um recurso escasso. No caso de Espanha, os processos de modernização do regadio nos últimos vinte anos têm vindo a substituir os sistemas tradicionais de regadio que utilizam condutas abertas por sistemas mais eficientes de condução pressurizada (aspersão e localizada), o que reduziu o consumo de água em 15% na última década.

A maximização da eficiência da aplicação de água dos atuais sistemas de rega implica que tanto a conceção da instalação como a sua gestão sejam adequadas. O progresso tecnológico está a tornar cada vez mais viável a medição, a recolha de dados e a análise da gestão da rega Através da utilização de diferentes tipos de sensores e algoritmos, as necessidades de rega de uma cultura podem ser calculadas automaticamente, de modo que se possa aplicar a quantidade exata de água no momento certo.

Foi assim que surgiu o conceito de rega de precisão, que se baseia na utilização das tecnologias disponíveis para conhecer durante a campanha de rega o estado do sistema solo-água-planta e para controlar a aplicação da rega, fornecendo a quantidade de água necessária à cultura no momento certo.

Existe uma grande variedade de soluções tecnológicas que são ferramentas fundamentais para a rega de precisão, tanto aqueles em que o regante toma a decisão final da rega como os sistemas de rega de precisão autónomos (rega

inteligente). Este documento foi elaborado no âmbito do projeto europeu SUDOE ***Smart Green Water***, como uma ferramenta para apoiar os agricultores no processo de seleção da tecnologia mais adequada para a sua exploração.

Este relatório apresenta as principais caraterísticas das tecnologias digitais aplicadas ao regadio. O presente documento foi elaborado no contexto da atividade "Desenvolvimento conjunto de um método para caraterizar as soluções disponíveis no mercado" do projeto Smart Green Water. Elaborado pela Unión de Pequeños Agricultores y Ganaderos (Espanha), beneficiou também da colaboração da Universidade de Córdoba (Espanha), do Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (Espanha), do Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (Portugal), da Agri Sud-Ouest Innovation (França) e da Euroregion Pyrenees-Mediterranean (França/Espanha).

Diferentes níveis de tecnologia na digitalização do regadio

Basicamente, a gestão da rega consiste em supervisionar o bom funcionamento da instalação de rega, de modo a atuar rapidamente em caso de avarias ou outras anomalias, e em atualizar regularmente as programações da rega, para os adaptar às condições meteorológicas e ao desenvolvimento da cultura. Neste contexto, a gestão da rega baseada em dados traz objetividade aos processos envolvidos.

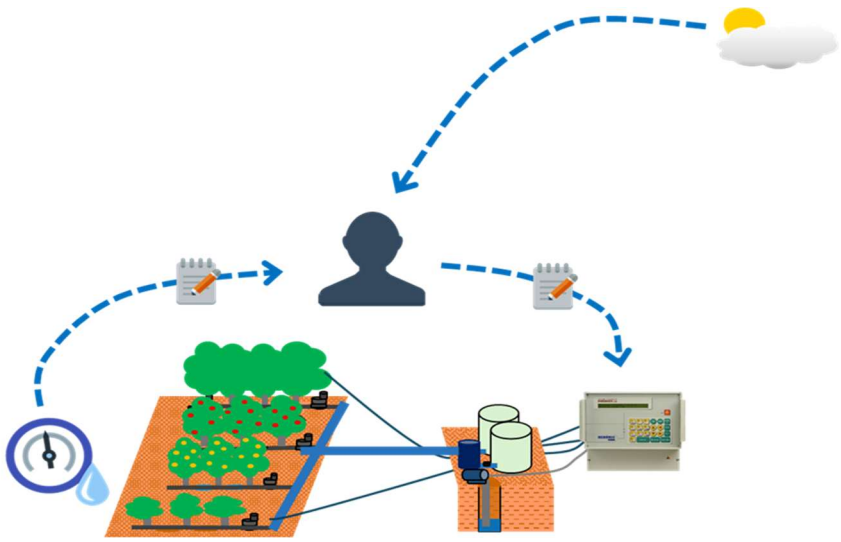


Figura 1: Abordagem muito simples para a monitorização e gestão da rega com base em dados.

Uma abordagem mais digital pode utilizar as telecomunicações para monitorizar e gerir a rega remotamente, bem como tirar partido de uma maior diversidade de dados disponíveis através de várias tecnologias. Por um lado, os programadores de rega são muitas vezes acessíveis remotamente, através de plataformas online ou aplicações móveis. Isto permite uma melhor interação com o utilizador, bem como aprofundar muito mais uma gestão baseada em dados. Um programador da rega gera muitos dados que podem ser utilizados para monitorizar o processo, otimizá-lo, bem como para ter rastreabilidade da gestão da rega. Por outro lado, os sensores

instalados no campo estão normalmente ligados a uma plataforma online, que facilita o acesso, a visualização, o descarregamento e o processamento de dados pelo utilizador. Da mesma forma, existem plataformas online onde se podem consultar ou descarregar dados meteorológicos. Existem também plataformas de teledeteção, que contribuem para o acompanhamento do desenvolvimento das culturas. Existem ainda plataformas *online* para recomendações de rega. Tudo isto permite uma grande diversidade de dados disponíveis para a gestão da rega.

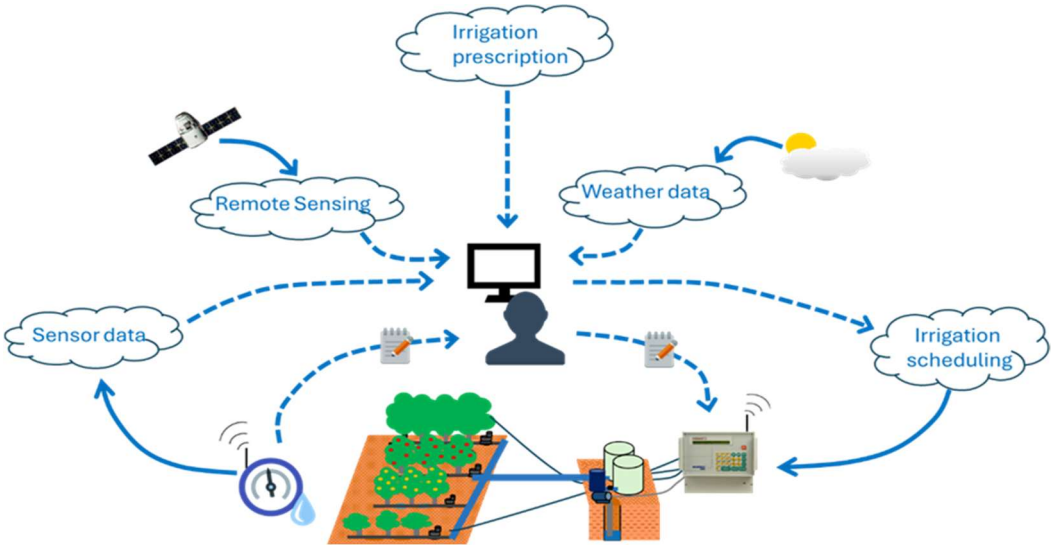


Figura 2: Abordagem baseada em dados para a monitorização e gestão da rega utilizando um repertório de ferramentas e fontes de dados disponíveis online.

Uma dificuldade comum é precisamente a grande diversidade de plataformas e soluções públicas ou comerciais que, de uma forma ou de outra, podem contribuir para a monitorização e gestão da rega. Isto significa que o utilizador fica muitas vezes sobrecarregado com a quantidade de dados e ferramentas à sua disposição. Em particular, pode ser bastante complexo e entediante se o utilizador tiver de descarregar dados de algumas ferramentas e introduzi-los noutras.

Face à crescente diversidade e complexidade de tecnologias e fontes de dados que podem ser utilizadas para a gestão da rega, surgiu a possibilidade de existirem plataformas que integram todo o circuito de dados, libertando o regante das tarefas rotineiras de descarregamento, processamento, etc. Estas plataformas são responsáveis pelo acesso e processamento de dados meteorológicos, de sensores instalados no campo e/ou de deteção remota, para gerar prescrições de rega que podem ser enviadas de máquina para máquina diretamente para o programador de rega.

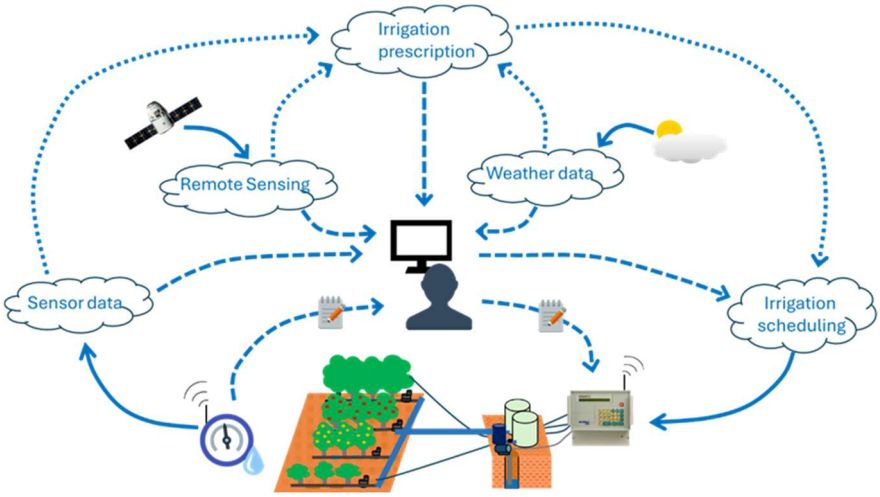


Figura 3: Abordagem à monitorização e gestão da rega utilizando uma plataforma integrada de prescrição de rega, que alivia o regante das tarefas rotineiras de descarregamento e processamento de dados.

Desta forma, que exige muito menos tempo por parte do regante, o processo de monitorização e controlo pode ser aplicado a um grande número de parcelas e pode ser atualizado com muito mais frequência.

Soluções Digitais para a rega na agricultura

Como já foi referido, as soluções digitais no domínio do regadio são fundamentais para aumentar a eficiência da utilização da água na agricultura, uma necessidade crítica em muitas partes do mundo devido à crescente escassez de água. Estas tecnologias permitem aos agricultores otimizar os seus recursos hídricos, melhorando a produtividade das culturas e reduzindo o impacto ambiental.

Tendo em conta os diferentes níveis de tecnologia utilizados na digitalização do regadio, explicados acima, podem ser diferenciados os seguintes níveis de digitalização na gestão da água:

Nível 1: Programação da Rega

Utilizando programadores de rega, os agricultores podem programar o seu calendário de rega e automatizar a rega. O programador pode ser operado manualmente ou remotamente através de dispositivos móveis ou computadores, dando-lhes flexibilidade e controlo em tempo real, sem necessidade de estarem fisicamente no campo.

Nível 2: Monitorização

Consiste no registo de informação sobre variáveis-chave na gestão da rega através de sensores (dispositivos de medição) localizados na exploração agrícola (por exemplo, sensores de humidade do solo, clima ou na planta) ou num local remoto (satélites e drones). Estes dispositivos registam informação em tempo real, enviando os dados através de sistemas de comunicação sem fios baseados na Internet das Coisas (IoT), quer para um computador, telemóvel/tablet ou para a nuvem. Desta forma, o gestor da rega pode saber como estão a evoluir as diferentes variáveis relacionadas com a rega na sua exploração agrícola.

Nível 3: Rega de precisão

Integrando a informação recolhida pelo sistema de monitorização, o conhecimento do comportamento hidráulico do sistema de rega, as caraterísticas da cultura e do solo, a estratégia de rega a seguir, entre outros aspetos, procede-se à programação da rega, de modo a que a quantidade de água estritamente necessária à cultura seja aplicada no momento certo da campanha de rega, reduzindo os caudais de retorno de água por escoamento superficial e percolação.

Nível 4: Sistemas inteligentes de rega

Trata-se de sistemas avançados de rega de precisão que analisam automaticamente a informação registada pelos diferentes tipos de sensores (próximos e remotos) para decidir autonomamente quanto, quando e durante quanto tempo regar, podendo mesmo fazer variar a rega espacialmente na parcela, tendo em conta a heterogeneidade da mesma. Controlam automaticamente o início e o fim de cada evento de rega.

Estes sistemas podem mesmo incorporar modelos preditivos das necessidades de rega em diferentes escalas temporais, com base na análise de registos históricos de variáveis relacionadas com as necessidades de rega das culturas armazenadas no sistema de monitorização. Estes sistemas ajudam os agricultores a utilizar os recursos hídricos de forma eficiente ao longo da época de rega, com base na disponibilidade de água, adaptando-se às condições ambientais e podendo mesmo incorporar outros fatores, como a energia.

Tendo em conta os diferentes níveis de digitalização da rega, caracterizam-se de seguida as principais soluções digitais atualmente existentes no mercado.

Caracterização das principais soluções digitais para a rega

Sistemas automatizados de rega

1.1 Programador de rega

O programador de rega é um dispositivo eletrónico especializado nas funções de dosear a água e os fertilizantes aplicados às culturas. É normalmente um equipamento essencial nas explorações com regadio pressurizado e pode ser mais ou menos sofisticado consoante o sector, a dimensão da exploração e o seu nível tecnológico. O programador de rega é o cérebro do cabeçal de rega constituído por um conjunto de componentes hidráulicos (válvulas, bombas, depósitos de fertilizantes, doseadores, etc.), coordenados pelo programador de rega.

A nível prático, os programadores de rega são responsáveis pela execução dos programas de rega e fertirrega, o que envolve a ativação das válvulas de rega nas horas programadas, a coordenação dos sistemas de bombagem e de injeção de fertilizante. Normalmente, os regantes especificam as horas de início e a sua duração, bem como a quantidade de fertilizante a injetar. Ao longo de uma campanha de rega, os regantes devem rever periodicamente a programação de rega e de fertirrega para os adaptar às condições climatéricas e ao desenvolvimento da cultura.

Os programadores de rega têm um elevado nível de autonomia operacional, incluindo a resposta programada a diferentes tipos de sensores locais (sondas de nível, pH, condutividade elétrica, humidade do solo, etc.). Na prática, os programadores de rega podem ser ligados à Internet e a interação do utilizador com os programadores é normalmente feita através de uma aplicação web. Desta forma, as capacidades dos programadores de rega para controlo com alguma

autonomia local podem ser complementadas pela interoperabilidade com sistemas remotos mais complexos, que marcam as decisões tácitas e estratégicas numa gestão de rega baseada em dados, oferecendo a oportunidade de utilizar uma vasta gama de tecnologias nas quais basear a tomada de decisões.

1.2 Sensores

São os principais componentes do sistema de monitorização e são, por isso, uma ferramenta fundamental na agricultura de precisão, uma vez que permitem uma gestão eficiente da rega para otimizar a utilização dos recursos hídricos utilizados na agricultura.

São também grandes aliados na melhoria do desenvolvimento das culturas e no aumento da produtividade de uma forma sustentável.

Os sensores podem ser divididos, de acordo com a sua proximidade do objeto de estudo, em deteção remota (Remote Sensing) e deteção próxima (Proximal Sensing):

1.2.1 Sensores distantes ou remotos

Os sensores remotos recolhem dados a uma distância considerável, sendo instalados em satélites ou drones equipados com tecnologia de imagem avançada. Estes sensores podem cobrir grandes áreas de terreno. A análise das imagens obtidas fornece informações sobre a variabilidade espacial das variáveis medidas, permitindo identificar zonas de *stress* hídrico, desenvolvimento do coberto vegetal, existência de pragas ou deficiências nutricionais. Iremos distinguir entre imagens de satélite e de drones.

Imagens de satélite

Utilizam diferentes bandas do espetro eletromagnético para captar informações sobre o estado das culturas, o teor de humidade do solo, a utilização da água e outros fatores ambientais. São úteis para monitorizar regularmente grandes áreas de terreno.

Através destas imagens, é possível obter informações sobre a variação da humidade em diferentes partes da parcela agrícola. As imagens podem mostrar ineficiências nos padrões existentes de rega, como a distribuição desigual da água, e ajudar a otimizar os sistemas de rega para garantir uma cobertura uniforme.

Devemos ressaltar, pela sua utilidade no regadio, o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) (Rouse et al., 1973). O NDVI pode ser usado para detetar stress hídrico nas culturas antes de se tornar visualmente aparente. Um decréscimo nos valores de NDVI (os valores de NDVI variam entre -1 e 1) pode indicar uma necessidade de água não satisfeita, permitindo aos agricultores ajustar as suas práticas de rega para abordar especificamente as áreas que mostram sinais de stress. Isto é particularmente útil em grandes explorações onde a monitorização visual direta não é prática.

A principal limitação deste índice é o facto de ter tendência a saturar quando o coberto vegetal é muito denso.

Existem vários programas de dados abertos para a visualização de imagens de satélite:

GRATIS

Proveedor	Sensor	Cobertura	Resolución espectral	Resolución espacial	Resolución temporal
NASA	MODIS	2330 Km	Ms: 36 bandas (visible e infrarrojo cercano a térmico)	250, 500 y 1000 m	2 diarias (4 combinada TERRA/AQUA)
NASA	LANDSAT 8, 9	185 Km	Pan y Ms 10 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico)	15 (Pan), 30 y 100 m	16 / 8 días
NASA	ASTER	60 Km	Ms 14 bandas (visible, infrarrojo cercano a térmico)	15, 30, 90 m	16 días
ESA	SENTINEL1	80, 250, 400 Km	Banda C-SAR (polarizaciones VV, HH, VV+VH, HH+HV)	5*5, 5*20, 20*40 m.	6 días
ESA	SENTINEL2	290 Km	Ms 13 bandas (visible e infrarrojo cercano y medio)	10, 20, 60 m	10 / 5 días
ESA	SENTINEL3	1270 Km	Ms 21 bandas (OLCI), SLSTR y SRAL	300 m	1 día

Figura 4: Principais programas com dados abertos. Fonte: María José Checa Tragsatec

€

Proveedor	Sensor	Cobertura	Resolución espectral	Resoluc. espacial	Resoluc. temporal
Airbus	Spot6- Spot7	60 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 1,5 m y 6 m	4 días
Airbus	Pléiades 1A-1B	20 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 50 cm Ms 2 m	4 días (2 días const.)
Airbus	Pléiades NEO	14 Km	Pan y Ms: 6 bandas (visible, nir)	Pan 30 cm Ms 1,2 m	2 veces al dia
European Space Imaging (EUSI)	Maxar Worldview Constellation (4 activos)	16 Km	Pan y Ms: hasta 16 bandas (visible a irc)	Pan 30 cm Ms 1,2 m	3 días
European Space Imaging (EUSI)	GeoEye	15 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 50 cm Ms 2 m	3 días
Planet	SkySat	8-5,5 Km	Pan y Ms: 4 bandas (visible, nir)	Pan 57 cm Ms 75 cm	<1 día

Figura 5: Principais programas comerciais. Fonte: María José Checa Tragsatec

Da mesma forma, o programa *Copernicus* oferece serviços de informação baseados em dados de observação da Terra por satélite (utilizando o satélite Sentinel) e dados in situ (não espaciais).

Os serviços e dados do Copernicus são fornecidos aos utilizadores de forma gratuita https://www.copernicus.eu/es.

Imagens de drones

Os drones são veículos aéreos não tripulados (UAV) de pequena e média dimensão, que devem ser operados por pessoal qualificado.

Os drones podem transportar diferentes tipos de sensores, como câmaras multiespectrais, câmaras térmicas e LiDAR (Light Detection and Ranging), sensores de infravermelhos próximos (NIR). Fornecem informações semelhantes às imagens de satélite, mas com imagens de alta resolução e com uma frequência variável, dependendo da altura em que os voos são efetuados.

Na agricultura, podem ter diferentes aplicações:

- Os drones equipados com sensores de infravermelhos próximos (NIR) ou câmaras térmicas podem identificar zonas da parcela com diferentes níveis de humidade.

- Podem também incorporar sensores capazes de medir indicadores-chave da saúde do solo e das culturas. Esta informação pode ser utilizada para aplicar água e fertilizantes de forma mais eficiente, maximizando a absorção de nutrientes e minimizando o desperdício.

- Em alguns sistemas mais avançados, os dados recolhidos por drones podem ser diretamente integrados em sistemas de rega inteligente. Isto permite

que a rega seja automaticamente acionada em áreas que os dados indicam serem deficientes em humidade.

É de notar que a utilização de drones está sujeita a uma série de autorizações e regulamentos que exigem uma consulta prévia.

1.2.2 Sensores de proximidade

Os sensores de proximidade são aqueles que estão em contacto direto com o solo, com as plantas, com o sistema de rega ou estão localizados num ambiente próximo.

Fornecem medições pormenorizadas e específicas do local que são cruciais para as decisões de gestão a nível do campo.

Atualmente, a maioria dos sensores de proximidade são sensores sem fios do tipo IoT porque transmitem a informação registada em tempo real através de Internet. As informações são armazenadas em servidores acedidos pela Internet ou pela nuvem, aos quais os utilizadores podem aceder com os seus computadores, tablets ou telemóveis.

A figura seguinte mostra a arquitetura da rede de monitorização de uma exploração de rega composta por sensores de monitorização ambiental, do solo, da planta e do sistema de rega, que enviam informação para "a nuvem" para que o software apropriado a possa analisar e fornecer ao utilizador recomendações de rega, para que este as insira no programador, possibilitando que o programador/controlador de rega atue automaticamente aplicando as instruções recebidas do software de gestão da rega.

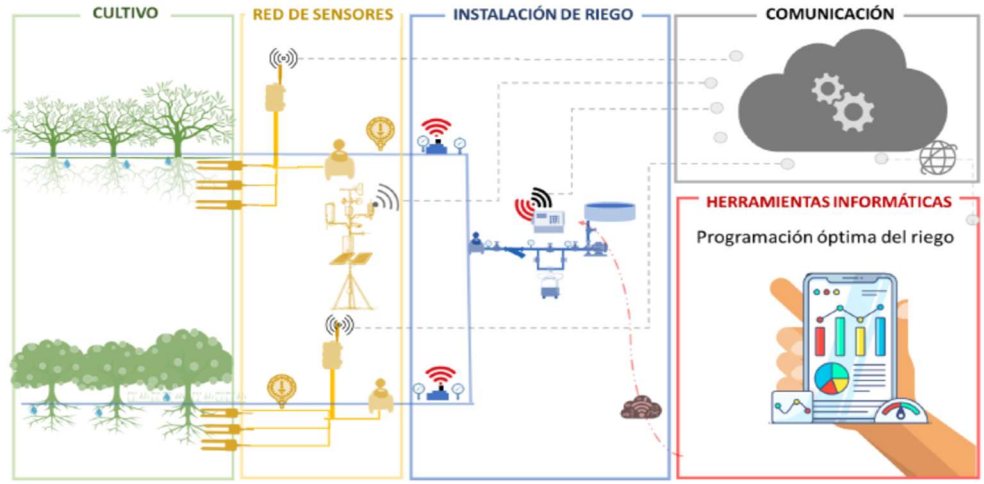


Figura 6: Arquitetura da agricultura 4.0. Fonte: Carmen Flores Cayuela, Universidade de Córdoba

As principais caraterísticas e aplicações dos sensores de proximidade são descritas a seguir.

Sensores na planta

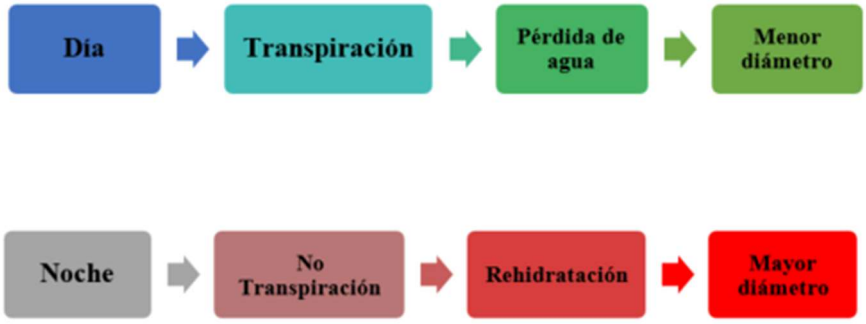
No que diz respeito aos sensores na planta, podemos destacar:

Dendrómetro: um sensor que mede continuamente o diâmetro do tronco ou de qualquer outra parte da planta (caule, ramo, fruto, etc.).

As variações do diâmetro do tronco entre o dia e a noite estão relacionadas com o estado hídrico da planta. Durante o dia a árvore transpira, perdendo água, fazendo com que o tronco se contraia. Durante a noite, por outro lado, não há transpiração, mas há absorção de água pelas raízes. Desta forma a árvore reidrata-se, aumentando o diâmetro do tronco durante a noite.

Os dendrómetros de precisão podem medir as variações diárias do diâmetro do tronco, mesmo que sejam muito pequenas (na ordem das centenas de mícron). Com esta informação, é possível saber se a árvore está com mais ou menos stress (maior variação diária do diâmetro, maior stress hídrico) e programar a rega.

Em geral, pode procurar-se a seguinte correlação:



São colocados no tronco ou na parte da planta a medir, como mostra a imagem seguinte.

Figura 7: Dendrómetro. Fonte Fernando Casares Universidade de Córdoba

Dendrómetro de banda ou perímetro: consiste numa banda de aço inoxidável (ou cabo) que é enrolada firmemente à volta da circunferência do tronco da árvore.

A banda é ligada ao sensor de forma a converter a expansão ou contração da circunferência da árvore numa variável elétrica proporcional a esta alteração. Recomenda-se a utilização de bandas ou cabos de aço inoxidável com um coeficiente térmico linear tão baixo quanto possível para minimizar a influência da temperatura na qualidade da medição.

Trata-se de um sensor não invasivo, adequado para diâmetros superiores a 5 cm. Pode ser reutilizado em árvores diferentes, bastando mudar a banda.

Dendrómetros pontuais ou radiais: medem a variação do raio do tronco num ponto específico.

Este dispositivo é composto por duas hastes: uma que é perfurada no caule para proporcionar estabilidade e a segunda que é colocada firmemente contra o xilema do caule. A segunda haste é onde se encontra o sensor, que regista a expansão e contração do caule e a converte num sinal elétrico. A tecnologia dos sensores é de vários tipos: LVTD, potenciométrico, etc.

Sensores de fluxo de seiva

Estes sensores medem continuamente o fluxo de seiva no tronco e nos ramos para estimar indiretamente a transpiração. Permitem o cálculo das necessidades hídricas da cultura com base em coeficientes culturais determinados para as diferentes fases de desenvolvimento da cultura a partir da transpiração estimada.

O funcionamento destes sensores consiste na aplicação de uma fonte de calor constante no fluxo de seiva bruta (sensor invasivo) ou na sua proximidade (sensor externo), através de uma resistência elétrica inserida numa sonda e alimentada por uma bateria. A temperatura na proximidade desta fonte é afetada pela maior

ou menor intensidade do fluxo de seiva, sendo a perda de calor diretamente proporcional a esse fluxo (caudal).

Com duas ou mais sondas inseridas radialmente no xilema, são medidas as variações de temperatura que, com a correlação adequada, permitem obter o valor da transpiração de forma contínua e quase em tempo real. Esta correlação, é influenciada pelo tipo de planta e várias variáveis climáticas (radiação solar, etc.), portanto, deve ser calibrada a saída do sensor para que a medição seja proporcional ao fluxo de seiva. Sem calibração, o erro na estimativa da transpiração pode ser da ordem dos 34 %.

É necessário dissociar o efeito da procura evaporativa da atmosfera das informações sobre o fluxo de seiva, a fim de obter informações reais sobre o estado da cultura.

Podem ser utilizadas em culturas lenhosas e em algumas plantas herbáceas com caules grossos e resistentes (milho e girassol).

Existem diferentes procedimentos para determinar as variações de temperatura em função do fluxo de seiva. Nas condições mediterrânicas, o mais adequado é o método do quociente calórico, uma variante do método do impulso térmico.

Até à data, a utilização destes sensores está concentrada no domínio da investigação e é muito limitada a nível comercial.

Figura 8: Sensores de fluxo de seiva. Fonte: Fernando Casares Universidade de Córdoba

Sensor de turgescência da folha

Medem permanentemente o estado hídrico da árvore através da variação da pressão que o contéudo celular da folha gera na parede celular.

O registo diário da variação da pressão foliar e da temperatura ambiente permite-nos saber se a árvore está corretamente hidratada ou em stress por falta de água, e podemos mesmo discriminar entre três estados da planta:

- Bem regado
- Stress ligeiro
- Stress severo

Figura 9: Sensor de turgescência da folha. Fonte: Francisco Casasres Universidade de Córdoba

Sensores de temperatura de planta

A diferença de temperatura entre a folha e o ar está relacionada com o nível de água da folha, pelo que esta diferença pode ser utilizada para medir o estado hídrico das plantas.

Desvantagens dos sensores de proximidade instalados na planta:

- Precisão: As respostas dadas por estes tipos de sensores podem, por vezes, ser semelhantes perante uma situação de stress hídrico, ou de excesso de rega. Por este motivo, é necessário receber informações adicionais de outros tipos de dispositivos, tais como sensores de humidade do solo.

- Custo: A instalação destes dispositivos pode ser dispendiosa, especialmente em grandes extensões de terreno.

- Complexidade técnica: A instalação e manutenção de sensores requerem conhecimentos técnicos específicos. Isto pode ser um desafio para os agricultores ou técnicos que não estão familiarizados com estas tecnologias.

- Danos e durabilidade: Os sensores no terreno estão expostos a condições ambientais que podem danificá-los ou diminuir a sua vida útil, como a chuva, o vento e a exposição direta ao sol.

Registo contínuo do potencial hídrico do caule

Recentemente, apareceram no mercado sensores que permitem monitorizar o potencial hídrico do caule em registo contínuo, com base em microtensiómetros.

Figura 10: Equipamento para monitorização contínua do potencial hídrico do tronco com base em microtensiómetros instalados no tronco das videiras.

O microtensiómetro para monitorização contínua do potencial hídrico do caule nas culturas frutícolas proporciona uma compreensão muito maior das variações do estado hídrico das plantas, uma vez que integra o ambiente do ar e do solo, bem como a fisiologia e a condução da cultura (Lakso et al., 2022). A informação contínua sobre este parâmetro melhora significativamente a capacidade de determinar as práticas de gestão da rega, especialmente em culturas conduzidas em défice hídrico, como a vinha para vinho, ou em situações em que a disponibilidade de água para a rega é limitada. Os dados de monitorização estão disponíveis em tempo real numa plataforma fácil de utilizar para os gestores de rega.

Outras inovações estão a ser realizadas em França com o resultado de sinais elétricos nas plantas. Trata-se do sensor de biointerface VS8 para registar a atividade elétrica das plantas. Esta atividade da planta permite a troca de informações em todo o organismo vegetal. Está associada à capacidade de se adaptar rapidamente aos estímulos externos, nomeadamente aos fatores de stress ambiental.

Considera-se atualmente que desempenha um papel fundamental na adaptação das plantas ao stress biótico e abiótico (empresa Vegetal signal, França).

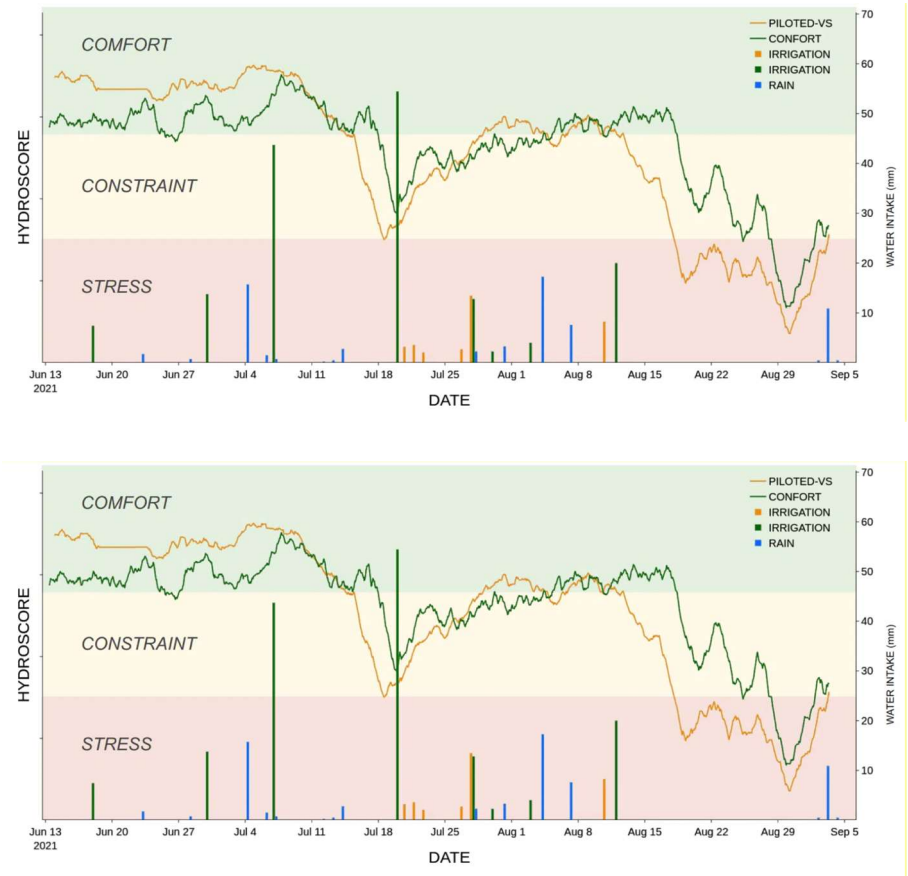


Figura 11: Ferramenta da empresa "Vegetal Signal", Hydroscore, Uma aplicação para a monitorização em tempo real do estado hídrico das videiras.

Sensores de solo

Estes sensores medem diferentes variáveis envolvidas na rega e fertilização, como o teor de humidade, o potencial matricial, a temperatura, a condutividade elétrica e o teor de NPK. A informação que fornecem ajuda na tomada de decisões para efetuar uma rega e fertirrega de precisão.

Sensores de teor de humidade

Permitem medir o conteúdo volumétrico da água, informação que será utilizada na programação da rega. Existem diferentes tipos de sensores dependendo do seu princípio de funcionamento, sendo os mais comummente utilizados as sondas dielétricas (capacitivas), TDR (refletometria no domínio do tempo) e FDR (refletometria no domínio da frequência).

Os diferentes tipos de sondas dielétricas determinam a constante dielétrica do solo (como um meio que não tem condutividade elétrica) por vários procedimentos. A constante dielétrica de um solo muda quando a percentagem de ar e água varia, pelo que as mudanças nesta variável estão relacionadas com o conteúdo volumétrico de água.

Fornecem o teor de humidade volumétrica do solo ao longo do tempo. O valor do teor de humidade registado a uma determinada hora do dia é normalmente utilizado para calcular o défice de água no solo, informação necessário para a programação da rega.

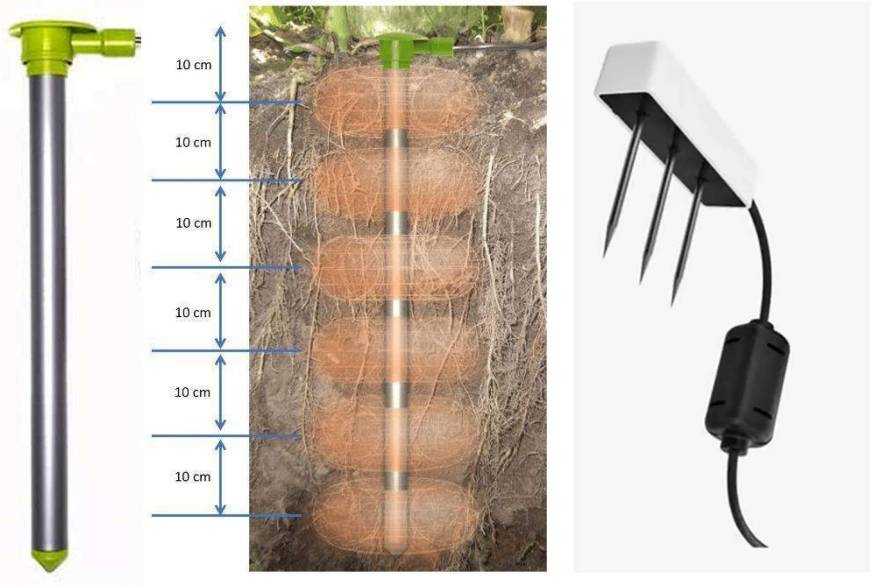


Figura 12: Sensor capacitivo

Figura 13: Sensor FDR

Figura 14: Sensor TDR

O teor de humidade do solo varia com a profundidade, pelo que se efetuam medições a diferentes profundidades para determinar a evolução do teor de humidade na zona mais superficial, na zona onde se concentram as raízes das culturas e na zona fora do alcance das raízes para observar a ocorrência ou não de percolação, como mostra a figura seguinte.

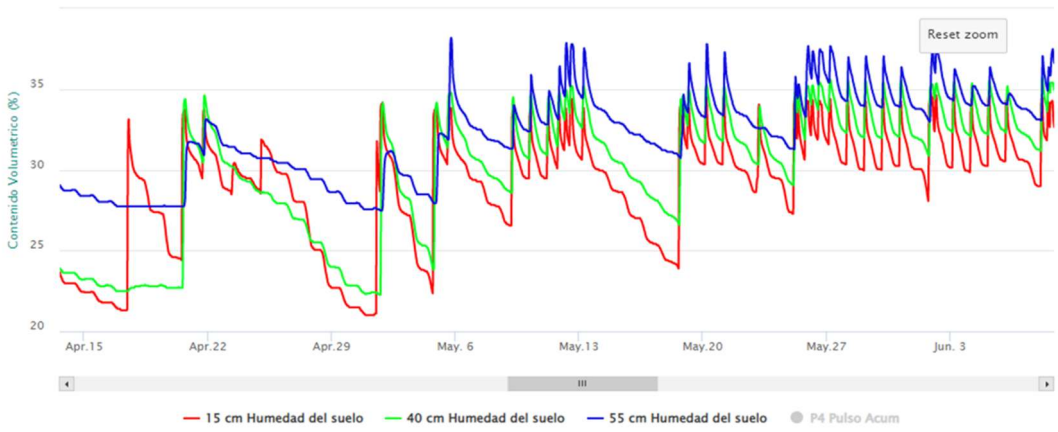


Figura 15: Evolução do teor de humidade do solo a diferentes profundidades, mostrando quando a rega é aplicada.

Na imagem acima pode-se observar que o sensor capacitivo tem um formato tubular, o que permite medir o teor de humidade a diferentes profundidades, enquanto os outros dois tipos de sensores necessitam da instalação de uma sonda em cada profundidade a medir. O tipo de solo e as práticas agrícolas realizadas no terreno onde a sonda será instalada devem ser tidos em conta na hora de a escolher, e qualquer um deles são dispositivos fiáveis.

Figura 16: Instalação de sondas de humidade a várias profundidades

É importante ter em conta, ao utilizar a informação dos sensores de humidade do solo, que estes são medições pontuais do teor de humidade. Idealmente, deveria estar disponível pelo menos um sensor em cada sector de rega.

Estes dispositivos são robustos e resistentes a condições climatéricas adversas, como altas temperaturas e humidade, garantindo a sua fiabilidade e longa vida útil no campo (podem ser utilizados em diversas campanhas).

Foram concebidos para serem fáceis de instalar e exigirem um mínimo de manutenção, o que os torna adequados para utilização numa vasta gama de ambientes agrícolas.

A fim de fornecer informações adequadas, é aconselhável seguir estes critérios de instalação:

- Instalar o dispositivo sob a vertical de um gotejador para monitorizar corretamente o teor de água no solo após aplicações de rega.
- Na zona de maior volume de raízes da cultura para observar as alterações na humidade do solo devido à absorção da cultura. Em culturas lenhosas cerca de 50 cm
- A várias profundidades (15, 30 e 45 cm dependendo da cultura):

- 15 e 30 cm - disponibilidade de água para a planta.

- 45 cm - perdas por percolação

- Bom contacto com o solo

- Ter cuidado para não alterar a estrutura do solo.

Sensores de medição do potencial matricial

Os sensores do Potencial matricial do Solo (PMS) medem direta ou indiretamente a força com que o solo retém a água. Este potencial reflete o estado hídrico do solo: quanto mais baixo (mais negativo) for o valor, maior é a força com que o solo retém água e vice-versa. A função que relaciona o potencial matricial do solo com o teor de água é designada por "curva caraterística do solo". Com esta informação é possível determinar o valor da capacidade de campo e o ponto de emurchecimento permanente do solo da cultura e calcular com precisão o balanço de humidade do solo e, consequentemente, a dotação de rega.

Permitem identificar o momento da rega, embora não detetem as regas em excesso.

Sabe-se que a capacidade de campo, independentemente da textura ou do tipo de solo, se situa entre -5 e -33 kPa e que o ponto de emurchecimento permanente é de cerca de -1500 kPa. Nem todos os equipamentos de medição do potencial matricial são adequados para todos os tipos de solos, pelo que é muito importante saber em que gama se encontra e escolher bem o equipamento correto.

Existem diferentes tipos de sensores de potencial matricial

Tensiómetros. O sensor consiste num tubo cheio de água com uma cápsula de cerâmica porosa numa das extremidades, que é enterrada no solo à profundidade de medição desejada; a outra extremidade do tubo é ligada a um sensor de pressão negativa (vacuómetro).

Quando o solo seca há um aumento da tensão matricial (a leitura absoluta do tensiómetro aumenta), enquanto quando fica húmido há uma diminuição (a

leitura absoluta do tensiómetro diminui), podendo atingir-se valores próximos de zero quando o solo fica saturado de água. A partir desta propriedade é possível estimar o teor de água do solo. Para solos hortícolas, este tipo de sensor é normalmente utilizado, uma vez que estes solos têm níveis de humidade bastante elevados, entre a saturação e a capacidade de campo, sendo mais interessante medir a tensão do solo do que a sua humidade.

Figura 17: Tensiómetros

Sensores resistivos e capacitivos em material poroso

São normalmente utilizados em culturas lenhosas ou em estratégias de rega com défice controlado, uma vez que podem ser atingidos níveis potenciais de -230 kPa. Aplicam o princípio da resistência elétrica variável devido a alterações na humidade do solo ou calculam a constante dielétrica do solo para determinar a tensão da água no solo.

Figura 18: Sonda Capacitiva de tensão da matriz do solo

Figura 19: Sonda Resistiva de tensão de matriz do solo

Sensores de condutividade elétrica

Medem a salinidade do solo, o que pode afetar a absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Sensores de ambiente

Estes sensores registam as variáveis climáticas necessárias para o cálculo da evapotranspiração de referência, Eto, informação básica para a programação da rega (temperatura do ar, humidade relativa e pressão relativa do ar, radiação, velocidade e direção do vento, precipitação). O registo de variáveis é contínuo.

Dentro deste tipo de sensores, destacam-se:

- Sensor de radiação (piranómetro)
- Sensor de temperatura ambiente
- Sensor de humidade relativa
- Sensor de precipitação
- Sensor de velocidade do vento
- Sensor de direção do vento, etc.

Estes sensores podem ser integrados numa estação agroclimática (Figura 18).

Equipados com capacidades de comunicação sem fios, como Wi-Fi, Bluetooth ou conetividade celular, estes sensores podem enviar dados em tempo real para um sistema central ou diretamente para dispositivos móveis, permitindo uma monitorização contínua e ajustes rápidos na gestão da rega.

São geralmente muito precisos nas suas medições e são robustos, o que os torna muito duráveis e resistentes.

Podem ser integrados em sistemas de rega inteligentes para automatização do sistema de rega com base nas condições climatéricas e nas necessidades específicas das plantas, melhorando a eficiência da utilização da água e reduzindo o desperdício.

Os sensores ambientais são geralmente fáceis de instalar e manter. A sua conceção permite uma instalação rápida no terreno e uma manutenção mínima, tornando-os práticos para uma utilização agrícola em grande escala.

Figura 20: Estação agroclimática completa

SiAR (Sistema de Informação Agroclimática para o Regadio)

O Ministério da Agricultura do Governo de Espanha, através da Subdireção Geral de Regadios e Infraestruturas Rurais, põe à disposição dos utilizadores, de forma gratuita, toda a informação recolhida através da Rede de Estações Agrometeorológicas SiAR.

Trata-se de uma infraestrutura que **recolhe**, **regista** e **divulga** os **dados climáticos** necessários para o cálculo da procura de água nas zonas regadas.

Fornece informação **útil**, **rigorosa** e **de qualidade** que permite aos técnicos e aos agricultores calcular as necessidades hídricas das culturas e programar a rega.

Com esta ferramenta, é possível obter um melhor planeamento, gestão, manuseamento e controlo das explorações de rega, de modo a promover a

poupança de água e energia e a satisfazer as exigências tecnológicas dos profissionais do sector.

É composto por mais de 500 estações meteorológicas, que representam uma cobertura aproximada de 90% da superfície irrigável de Espanha e fornecem a informação necessária para determinar a evapotranspiração de referência e o posterior cálculo das necessidades hídricas das culturas regadas.

Trata-se de uma rede colaborativa que combina as estações próprias do Ministério e as das 12 comunidades autónomas que participam, as quais asseguram também o contacto direto com o regante, o utilizador final da informação do sistema.

https://eportal.mapa.gob.es/websiar/Inicio.asp

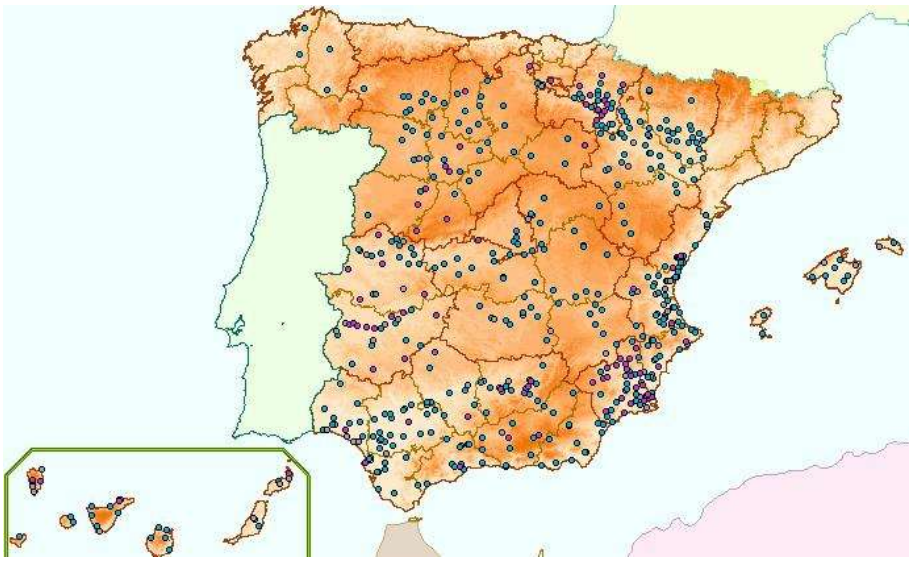
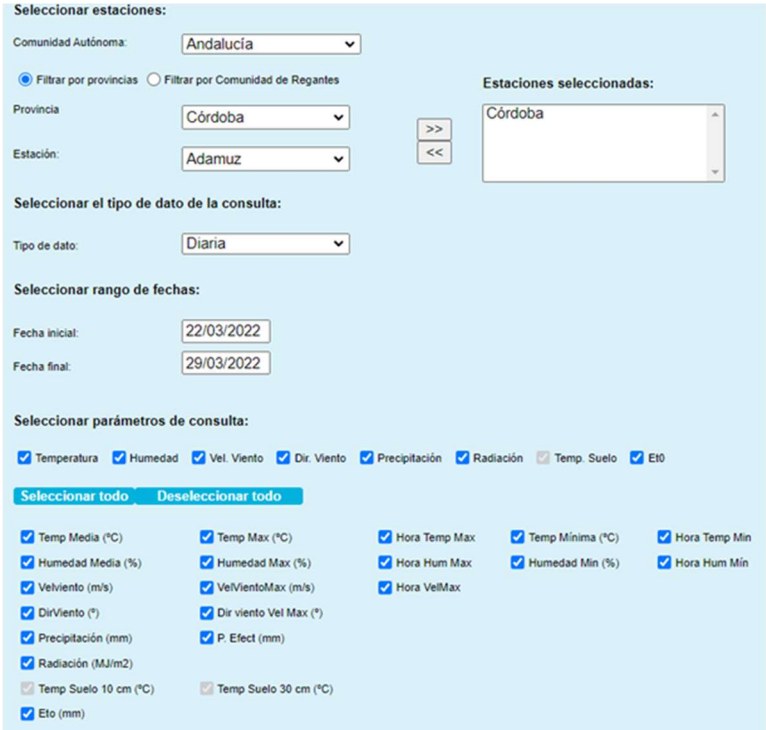


Figura 21: Rede SIAR. Fonte: Ministério da Agricultura, Pescas e Alimentação



Consulta de datos diarios

Exportar el informe de datos a un archivo CSV

Córdoba

Fecha	Temp Media (ºC)	Temp Max (ºC)	Hora Tª Max	Temp Min (ºC)	Hora Tª Min	Hum Media (%)	Hum Max (%)	Hora Hum Max	Hum Min (%)	Hora Hum Min	Vel Viento (m/s)	Dir Viento (º)	Vel V. Max (m/s)	Hora Vel Max V.	Dir V. Vel Max (º)	Rad (MJ/m2)	Precip (mm)	P. Efect (mm)	Eto (mm)
22/03/2022	14,26	19,42	15:24	11,92	05:56	86,90	99,40	02:08	52,74	14:06	1,16	42,30	5,97	16:34	201,90	13,65	11,20	6,48	2,31
23/03/2022	13,99	18,63	16:52	11,51	04:52	78,60	99,40	05:22	54,24	16:04	2,73	47,13	7,88	17:02	77,90	8,43	0,40	0,00	2,23
24/03/2022	14,94	18,23	13:06	12,05	07:40	70,20	94,00	08:00	50,94	16:14	2,91	48,26	8,58	13:08	38,71	6,75	0,80	0,00	2,29
25/03/2022	13,98	16,49	13:34	10,03	23:58	73,40	99,50	22:54	52,51	01:56	2,07	61,77	7,91	01:33	48,31	6,15	1,00	0,00	1,80
26/03/2022	13,99	18,96	14:06	8,56	07:04	77,80	99,50	00:30	48,91	15:12	1,13	58,50	4,25	14:07	34,49		0,40		
27/03/2022	14,65	21,18	15:40	8,15	06:24	69,21	95,30	06:30	39,79	16:12	1,52	60,17	5,07	12:36	67,24		0,00		
28/03/2022	15,10	21,24	13:22	10,17	04:56	72,10	97,70	23:20	42,29	12:52	1,26	98,10	5,39	09:02	61,91		0,00		

Figura 22: Exemplos de informações fornecidas por uma estação agroclimática da rede SIAR

SAGRA (Sistema Agrometeorológico para a Gestão da rega no Alentejo)

O Centro Operativo e de Tecnologia de Regadio (COTR), em Portugal, tem estado envolvido na transferência de tecnologia do regadio, em serviços relacionados com o uso eficiente da água de rega. A aplicação da agrometeorologia tem sido uma das principais áreas de trabalho com o objetivo principal de estimar as necessidades hídricas das culturas, por ser considerada uma atividade fundamental para o desenvolvimento de uma agricultura sustentável e competitiva, procurando não

só aumentar a eficiência do uso da água, mas também aumentar a eficiência do uso da água de rega, o que normalmente é feito aquando do planeamento também para conseguir a maior precisão possível no momento da aplicação, respondendo não só às questões técnicas do sector mas também às pressões ambientais.

A determinação das necessidades hídricas das culturas tem dois objetivos principais:

- Dimensionamento - que é normalmente feito quando se planeia a implementação da rega. Tem como principal objetivo estimar o consumo anual, de forma a estabelecer a superfície máxima regada em relação à disponibilidade existente, e as necessidades durante o período de ponta, que permitam dimensionar a rede de rega.

- Gestão (Avisos de Rega) - que é normalmente realizada durante a operação de uma área regada. Tem como principal objetivo determinar, com a maior precisão possível, a quantidade de água a aplicar em função do estado fenológico da cultura.

Informação básica para a criação de um serviço de notificação de rega

- Informação agrometeorológica de qualidade, necessária para estimar a Evapotranspiração de Referência da Cultura (Eto): temperatura do ar, humidade relativa do ar, velocidade do vento a 2 m e radiação solar global. Para além destes parâmetros, é importante monitorizar a precipitação para fazer o balanço hídrico.

- Cultura: são utilizadas as informações existentes nas bases de dados de culturas (Allen et al., 1998), com a caraterização das principais fases de

desenvolvimento vegetativo da cultura (duração) e a identificação dos períodos em que a cultura é mais ou menos sensível ao stress. Estas informações são adaptadas às condições reais da região.

Figura 23: Metodologia de funcionamento do serviço de aviso de rega

Para garantir o serviço de aviso de rega no Alentejo, o COTR tem em funcionamento, desde 2001, a rede SAGRA (Sistema Agrometeorológico para a Gestão da Rega no Alentejo), constituída por 14 estações meteorológicas automáticas, que caracterizam as principais áreas de rega do Alentejo.

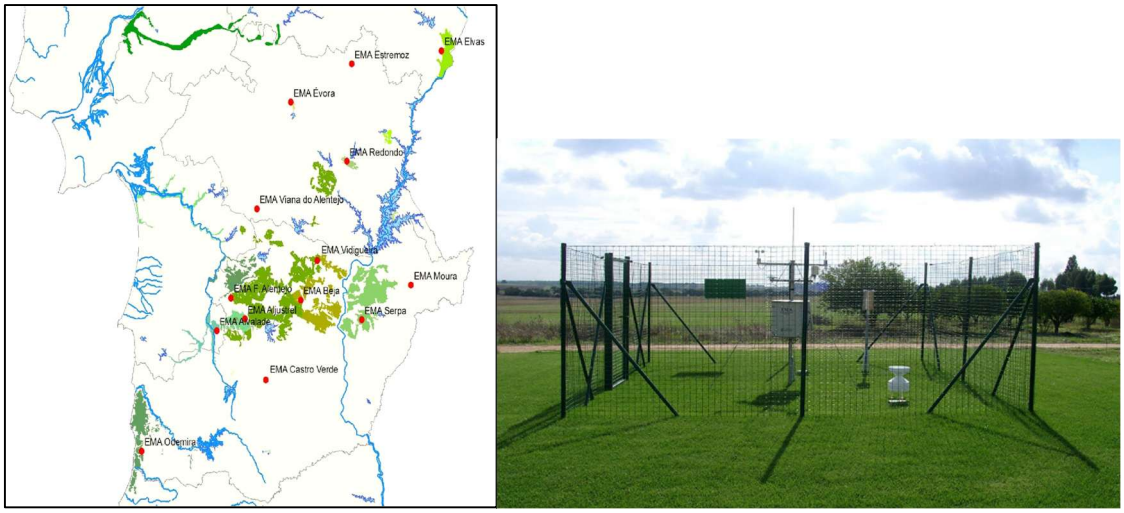
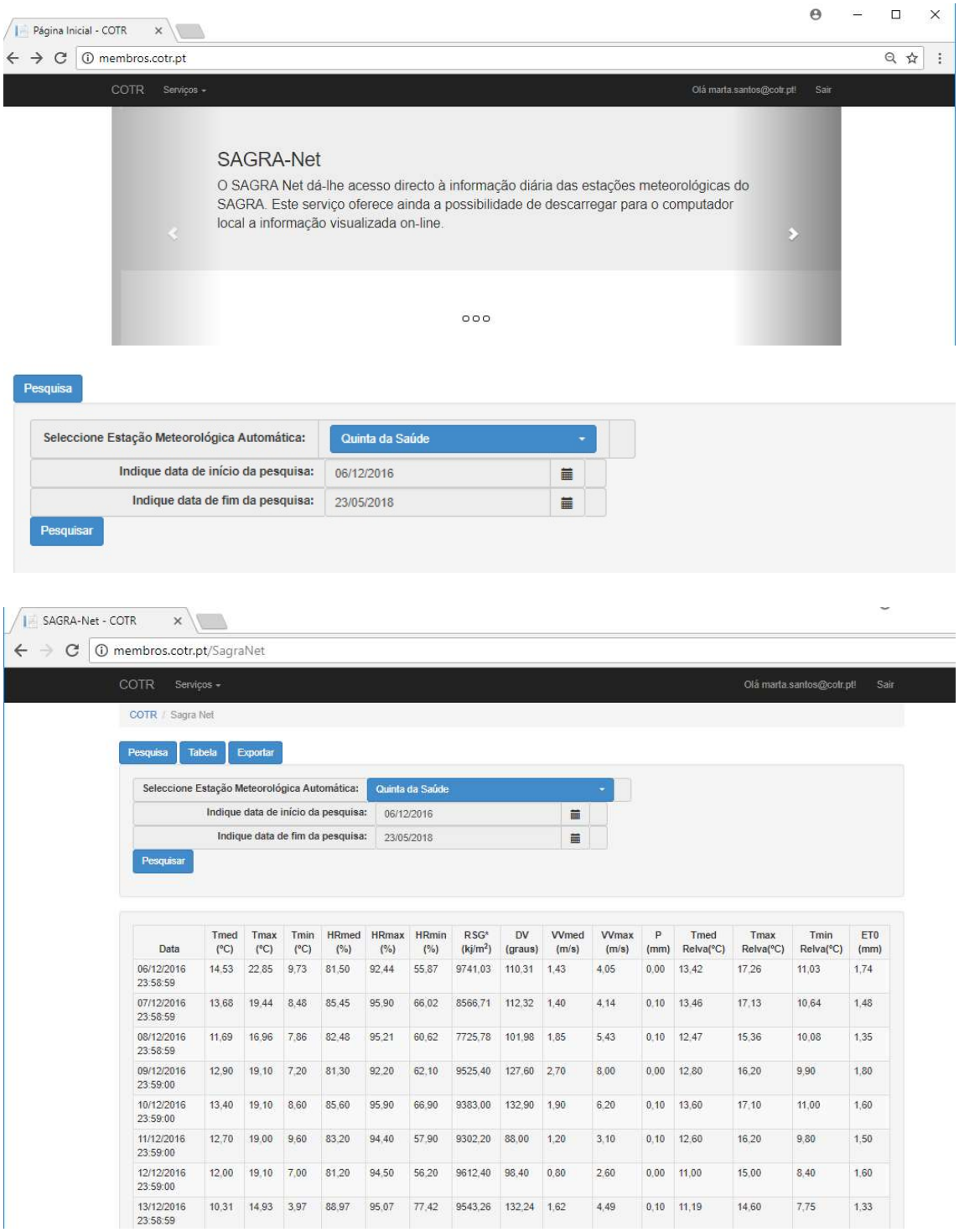


Figura 24: Rede de Estações Meteorológicas Automáticas - SAGRA



Data	Tmed (ºC)	Tmax (ºC)	Tmin (ºC)	HRmed (%)	HRmax (%)	HRmin (%)	RSG* (kj/m²)	DV (graus)	VVmed (m/s)	VVmax (m/s)	P (mm)	Tmed Relva(ºC)	Tmax Relva(ºC)	Tmin Relva(ºC)	ET0 (mm)
06/12/2016 23:58:59	14,53	22,85	9,73	81,50	92,44	55,87	9741,03	110,31	1,43	4,05	0,00	13,42	17,26	11,03	1,74
07/12/2016 23:58:59	13,68	19,44	8,48	85,45	95,90	66,02	8566,71	112,32	1,40	4,14	0,10	13,46	17,13	10,64	1,48
08/12/2016 23:58:59	11,69	16,96	7,86	82,48	95,21	60,62	7725,78	101,98	1,85	5,43	0,10	12,47	15,36	10,08	1,35
09/12/2016 23:59:00	12,90	19,10	7,20	81,30	92,20	62,10	9525,40	127,60	2,70	8,00	0,00	12,80	16,20	9,90	1,80
10/12/2016 23:59:00	13,40	19,10	8,60	85,60	95,90	66,90	9383,00	132,90	1,90	6,20	0,10	13,60	17,10	11,00	1,60
11/12/2016 23:59:00	12,70	19,00	9,60	83,20	94,40	57,90	9302,20	88,00	1,20	3,10	0,10	12,60	16,20	9,80	1,50
12/12/2016 23:59:00	12,00	19,10	7,00	81,20	94,50	56,20	9612,40	98,40	0,80	2,60	0,00	11,00	15,00	8,40	1,60
13/12/2016 23:58:59	10,31	14,93	3,97	88,97	95,07	77,42	9543,26	132,24	1,62	4,49	0,10	11,19	14,60	7,75	1,33

Figura 25: Utilizador do SAGRA-NET a consultar os dados diários (www.cotr.pt)

A partir da informação sazonal é também possível caraterizar climaticamente uma região, o que pode servir de base para o estudo da adaptabilidade de novas culturas. É ainda possível desenvolver produtos agrometeorológicos como os

graus-dia que indicam o desenvolvimento fenológico, as unidades de frio que indicam o aparecimento do repouso vegetativo com base na temperatura média horária e a identificação de fenómenos meteorológicos extremos (trombas de água, tornados, etc.).

Paralelamente ao serviço de aviso de rega, o COTR desenvolveu o serviço MOGRA - Modelo de Gestão da Rega para o Alentejo (www.cotr.pt/mogra), apoiado na rede de estações meteorológicas automáticas e baseado na técnica do balanço hídrico, que permite o acesso a um serviço online. Serviço de programação da rega de acordo com a metodologia proposta pela FAO e utilizando bases de dados de solos, culturas e tecnologias de rega. O modelo fornece um calendário de rega ótimo (a estratégia é regar quando a água facilmente utilizável se esgota) e um calendário de rega real que permite ao utilizador visualizar o comportamento da sua gestão da rega, com a introdução das regas efetuadas, e assim decidir sobre a oportunidade de rega. Para complementar esta informação podem ser utilizados equipamentos de monitorização do solo ou das plantas.

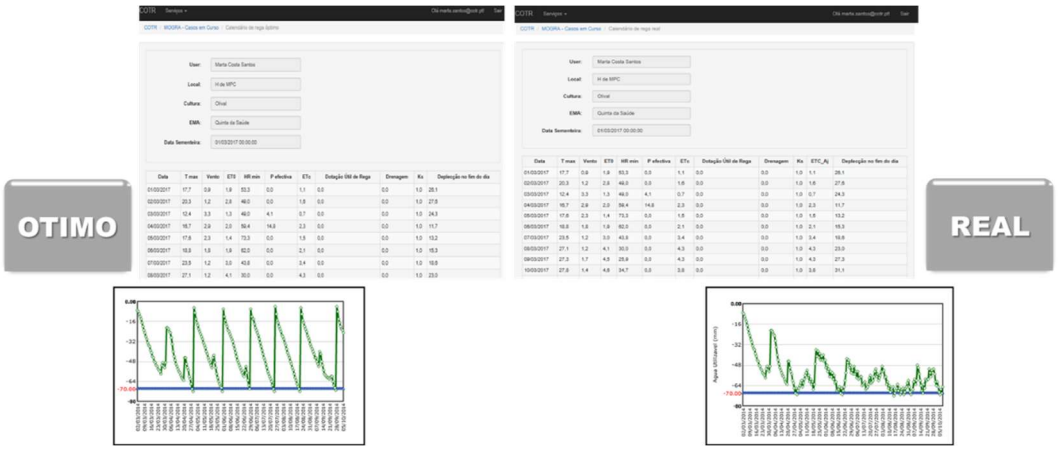


Figura 26: Utilizador MOGRA

Outros

Em França, existem muitas redes de estações meteorológicas dedicadas à população, geridas pela Météo France, mas também dedicadas à agricultura como a Sencrop, uma plataforma agrometeorológica ligada a estações meteorológicas locais. As cooperativas também estão a criar estações meteorológicas colaborativas, e a Union des Coopératives Agricoles de l'Allier (UCAL) tem atualmente mais de 40 estações ligadas.

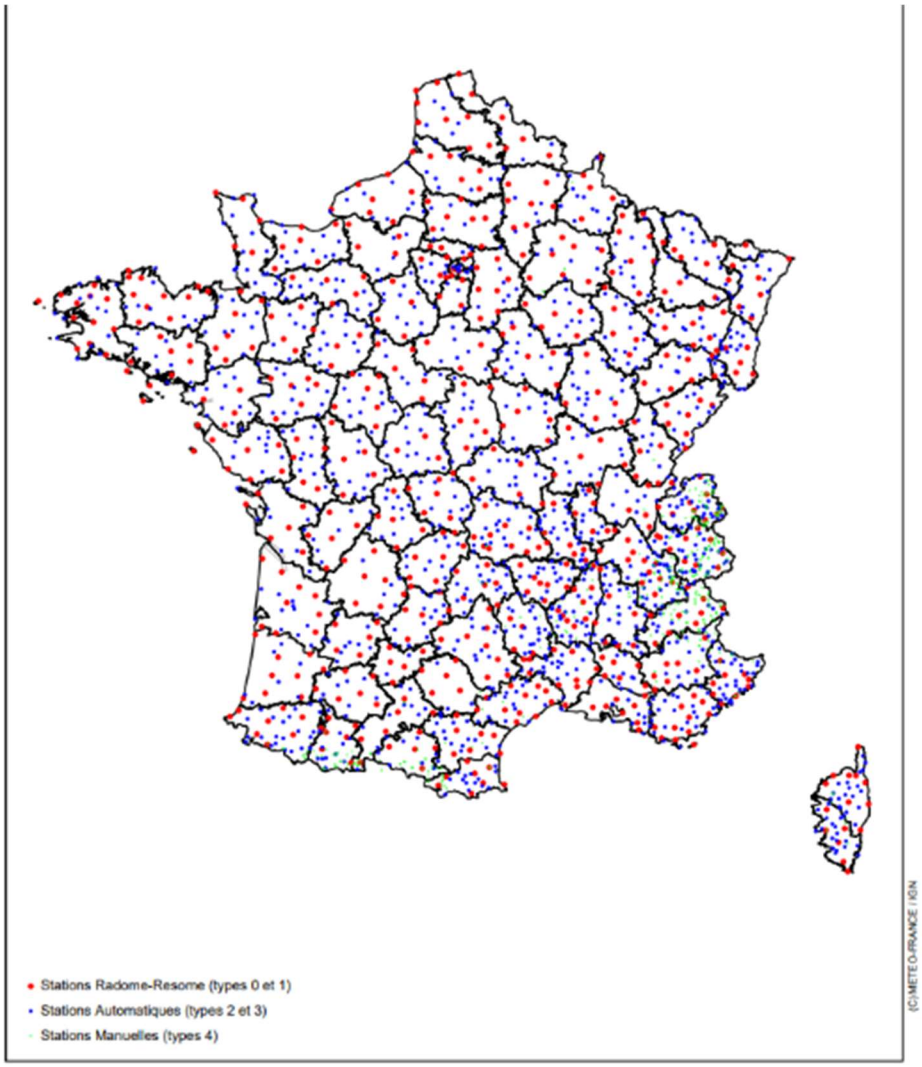


Figura 27: A rede de estações meteorológicas atualmente em serviço em França

A empresa francesa ISAGRI oferece mesmo uma plataforma de estações meteorológicas agrícolas conectadas, como a Weenat, que permite aos agricultores seguir a informação meteorológica em tempo real a partir dos seus campos através de redes meteorológicas conectadas.

Figura 28: Ferramentas Sencrop

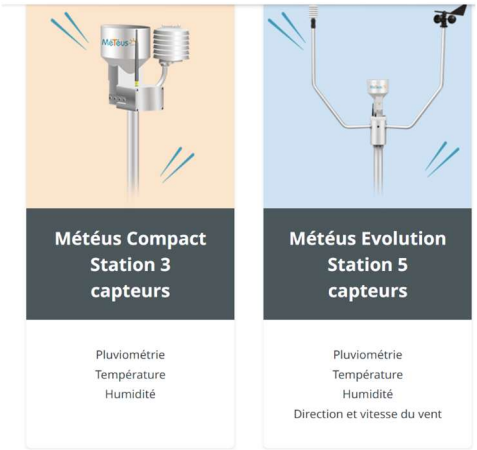


Figura 29: Estação meteorológica da Isagri

Figura 30: Ferramenta de gestão da rega da Weenat

Sensores de monitorização do sistema de rega

A implementação da rega de precisão implica a monitorização das principais variáveis hidráulicas: o caudal e volume de água utilizado e a pressão na rede de rega. É também conveniente conhecer a qualidade da água.

A figura em anexo mostra uma rede de rega na qual os pontos de monitorização do caudal e da pressão podem ser vistos em pormenor.

Medidor de caudal

Trata-se de um sensor que mede o caudal de um fluido através de uma superfície. De agora em diante, apenas serão abordados caudalímetros utilizados para medir o caudal de água que passa através de uma conduta. Nas redes de rega pressurizadas, são normalmente utilizados os seguintes tipos de caudalímetros:

- Caudalímetros eletromagnéticos
- Caudalímetros ultrassónicos
- Contadores mecânicos com emissores de impulsos.

Sensor de pressão

Mede a pressão (força por unidade de área) exercida pela água num ponto de uma instalação hidráulica. A unidade de medida da pressão no sistema internacional é o Pascal (N/m^2), mas na prática são utilizadas outras unidades, como o bar, a atmosfera ou o PSI (libras por polegada quadrada).

Os sensores de pressão da água são normalmente transdutores, ou seja, transformam a pressão medida pelo elemento sensor numa saída analógica elétrica normalizada. Encontramos principalmente sensores com saída de 4-20

mA ou 0-10 V, embora ultimamente, devido aos requisitos de adaptação para nós IoT, estejam a ser utilizadas outras saídas elétricas: 1-5 V, 0- 5 V, 0,5-4,5 V e saída RS-485 com ModBus. O sinal elétrico fornecido é análogo ao valor da pressão medida, menos o valor fornecido pelos transmissores de comunicações, que nos dão diretamente a pressão na unidade escolhida.

As gamas de pressão de medição são muito amplas, tal como as caraterísticas do sensor, tais como ligações elétricas, ligações ao processo, tipo de saída elétrica, tipo de medição, etc. Por conseguinte, existe uma grande quantidade de variabilidade de oferta no mercado.

O conhecimento da pressão em diferentes pontos de uma rede permite:

- Saber como se desenvolve o processo de distribuição e impulsão da água.
- Melhorar a qualidade da rega: através da monitorização da pressão nas parcelas, é possível obter a melhor uniformidade de rega possível, controlando a pressão de rega.
- Estudo da eficiência da distribuição de água: Com vários sensores podemos determinar as perdas de pressão que ocorrem em elementos singulares da distribuição de água (filtros, etc.) e em secções desta. Ao recolher estes dados e analisá-los, é possível prever possíveis falhas futuras e procurar soluções e correções antes de estas ocorrerem, minimizando as perdas de água.
- Estudo da eficiência das bombas: Através da monitorização do desempenho do sistema de bombagem e da manutenção de registos, podem ser estabelecidos limiares mínimos de eficiência, de modo a que, se a eficiência descer abaixo destes valores são gerados alarmes e podem ser tomadas medidas corretivas.

- Indiretamente, pode ser medido o nível de água num depósito (sensores de pressão hidrostática) e também o caudal circulante através de um tubo (medidores de fluxo por pressão diferencial).

Sensores de qualidade da água de rega

É necessário conhecer a qualidade da água de rega para determinar se a água de rega disponível é adequada às caraterísticas da cultura. A principal fonte de acumulação de sal no solo é a água de rega.

O sensor de condutividade elétrica da água de rega mede a condutividade elétrica da água, um fator que condiciona a produção das culturas.

A condutividade elétrica superior a 1,5 dS/m apresenta um risco moderado de salinidade

A informação fornecida pelo sensor de condutividade elétrica permite calcular a fração de lavagem dos sais.

Uma descrição exaustiva dos sistemas de monitorização descritos e da sua aplicação na gestão da rega está disponível na plataforma E-learning do sítio web do projeto Interreg Espanha-Portugal Hub Iberia Agrotech (HIBA), https://learningdata.hubiberiaagrotech.eu/ e na documentação da conferência organizada pelo Ministério da Agricultura do Governo de Espanha, intitulada Utilização de big data, sensorização e teledeteção para o cálculo da dotação de rega (23 de abril de 2024).

https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/formacion-difusion/documentacion/detalle.aspx?id=tcm:30-682067-16

2- Softwares de gestão da rega

Fornecem uma plataforma para integrar todos os dados de sensores e programadores, permitindo aos agricultores visualizar, analisar e gerir as suas operações de rega. Estes programas oferecem análises avançadas que podem prever as necessidades de água e ajustar os planos de rega em conformidade.

Principais caraterísticas destes programas:

- Podem integrar dados de várias fontes, incluindo sensores no campo, estações meteorológicas, imagens de satélite e drones. Isto proporciona uma visão holística do estado do campo e das necessidades de rega.
- Automatização da rega: Permite a programação e o controlo automáticos dos sistemas de rega com base nas condições do solo, no clima e nas necessidades específicas das culturas. Isto inclui a capacidade de ajustar os planos de rega e a quantidade de água aplicada, otimizando assim o consumo de água.
- Oferecem capacidades de monitorização em tempo real que permitem aos agricultores ver o estado atual do seu sistema de rega, a humidade do solo, o clima e outros fatores relevantes diretamente a partir dos seus dispositivos móveis ou computadores.
- Fornecem ferramentas de análise que ajudam os agricultores a compreender o desempenho das suas práticas de rega, a identificar tendências e áreas problemáticas e a tomar decisões informadas para melhorar a eficiência.
- Alguns softwares avançados incluem capacidades de previsão que utilizam modelos meteorológicos e de culturas para prever as necessidades futuras

de água, permitindo aos agricultores planear com antecedência e ajustar as suas estratégias de rega.

- Os sistemas incluem normalmente definições de alerta que notificam os utilizadores de condições críticas que requerem atenção, tais como potenciais falhas do sistema, condições de stress hídrico das culturas ou recomendações para ajustes da rega com base em previsões meteorológicas. - São concebidos com interfaces intuitivas que os tornam fáceis de utilizar pelos agricultores e técnicos, independentemente do seu nível de conhecimentos tecnológicos.
- São compatíveis com uma vasta gama de sistemas de rega e dispositivos de hardware, e podem ser dimensionados desde pequenas operações a grandes explorações agrícolas.
- Os fornecedores deste tipo de software oferecem normalmente apoio técnico e atualizações regulares para garantir que o sistema funciona corretamente e está equipado com as tecnologias e funcionalidades mais recentes.

Alguns exemplos de software de gestão da rega.

Irridesk

https://irridesk.com/

Irriolea

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rafacode.hiba_app&pcampaignid=web_share

Reutivar

https://play.google.com/store/apps/details?id=com.rafacode.reutivarapp&hl=es

3- Empresas do sector do regadio

Quanto às empresas que fornecem soluções digitais para o regadio, existe um motor de busca, propriedade do Ministério da Agricultura do Governo espanhol, que vale a pena destacar pela sua importância para os profissionais do sector agrícola. Trata-se da ferramenta ***digimapa***, alojada na plataforma Tierra. Trata-se de uma ferramenta de pesquisa para empresas *agrotech*: https://digimapa.plataformatierra.es/

Se aplicarmos o filtro "regadio", a pesquisa apresenta um resultado de 117 empresas.

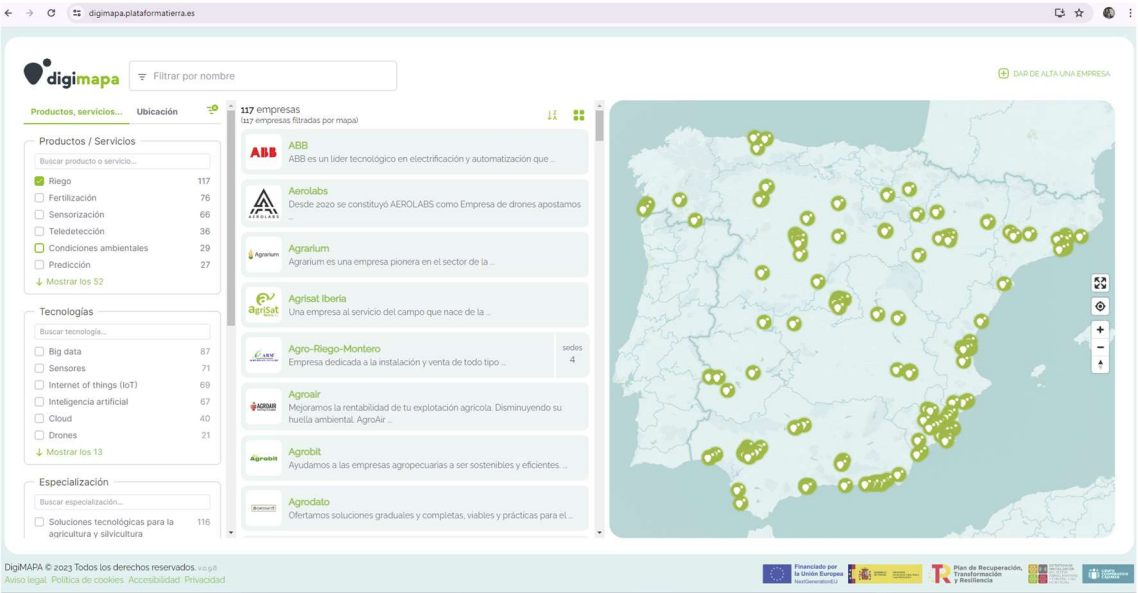


Figura 31: Figura Digimapa. Plataforma Terra. Pesquisa de empresas de rega

Para além disso, de forma a contribuir para a concretização de todos os objetivos do projeto ***Smart Green Water***, foi desenvolvido o seguinte modelo para caraterizar algumas soluções digitais específicas existentes no mercado, com o objetivo de ajudar os agricultores e profissionais do sector a procurar informação sobre essas soluções. A ideia é que o modelo seja preenchido pelas empresas do sector do regadio e que esta informação seja disponibilizada aos agricultores.

MODELO PARA A CARACTERIZAÇÃO DE SOLUÇÕES DIGITAIS NO REGADIO

Nome da empresa

Nome da solução comercializada:

A solução comercializada:

- Automatiza a rega?
- Utiliza sensores?
- Utiliza modelos preditivos?

Se forem utilizados sensores, estes são:

- Remotos
  - Satélites
  - Drones
  - Outros
- De proximidade
  - De solo
  - De ambiente
  - De planta

Parâmetros tidos em conta pela solução

- Ciclo horário da energia
- Dados diretos da cultura (seguir a prescrição de acordo com estudos publicados)
- Dados indiretos sobre as culturas (previsões de precipitação, dados de observatórios...)

A solução permite a gestão remota da rega?

É um instrumento de ajuda à tomada de decisões do regante? (Sim/Não) E, em caso afirmativo, sobre o que é que fornece informações?

- Quando regar
- Quanto regar
- Onde regar

Indique as culturas para as quais está otimizada:

A solução foi testada em qualquer região agroclimática?

É interoperável com outros sistemas e soluções?

Como são garantidas a autenticidade, a integridade e a disponibilidade dos dados do utilizador?

Interface do Utilizador:

- Aplicação móvel
- Plataforma web
- Outras interfaces (especificar)

Suporte e Manutenção

Opções de Suporte:

- Suporte técnico (24/7, horario comercial, etc.)
- Canais de suporte (telefone, email, chat, etc.)

Manutenção:

- Serviços de manutenção preventiva e correctiva
- Atualizações de software

Preço e Modalidades de Financiamento

Modalidade de Preços:

- Assinatura

- Pagamento único
- Modelos híbridos

Gama de Preços:

- Custo aproximado ou intervalos de preços

Opções de Financiamento:

- Financiamento próprio
- Colaboração com instituições financeiras

Bibliografia

- Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Levante. (2023). Catálogo de Soluciones de Digitalización del Regadío en el marco de la convocatoria del PERTE de digitalización del ciclo del agua. Recuperado de https://www.coial.org/catalogo-de-soluciones-de-digitalizacion-del-regadio-en-el-marco-de-la-convocatoria-del-perte-de-digitalizacion-del-ciclo-del-agua/
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe. (2020). Las oportunidades de la digitalización en América Latina: Desafíos y estrategias. Recuperado de https://repositorio.cepal.org
- ISAGRI (2024). https://www.isagri.fr/meteus/meteus-la-station-meteo-au-coeur-de-vos-champs
- Lamo, J., & Garrido, A., (2024). Regadío y Seguridad Alimentaria. La situación en España. Edición: Cajamar Caja Rural.
- Lakso, A.N.; Santiago, M.; Stroock, A.D. (2022). Monitoring Stem Water Potential with an Embedded Microtensiometer to Inform Irrigation Scheduling in Fruit Crops. *Horticulturae 8*(12), 1207; https://doi.org/10.3390/horticulturae8121207
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Secretaría General Técnica. Centro de Publicaciones & Cajamar Caja Rural. (2023). Observatorio para la Digitalización del Sector Agroalimentario Análisis del estado actual de la digitalización del sector agroalimentario español.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subsecretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación. Subdirección General de Análisis, Coordinación y Estadística. (2022). Encuesta sobre superficies y rendimientos de cultivos. Análisis de los regadíos en España.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2023). Estrategia de digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-

digitalizacion-sector-agroalimentario/ii-plan-accion-estrategia-digitalizacion-2021-2023_tcm30-583049.pdf

- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024). Estrategia de digitalización del sector agroalimentario y forestal y del medio rural. https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/planes-estrategias/estrategia-digitalizacion-sector-agroalimentario/estrategia_digitalizacion_sector_agroalimentario_forestal_medio_rural_ve_tcm30-509645.pdf
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2023). Las bases del PERTE de digitalización del ciclo del agua para regadío. Recuperado de https://www.camaradeaguas.com
- SENCROP (2024). https://sencrop.com/fr/
- Trillo Guardia, C. (2023). Hacia una digitalización sostenible del regadío. Cámara Insular de Aguas de Tenerife. Recuperado de https://www.camaradeaguas.com/hacia-una-digitalizacion-sostenible-del-regadio/
- Union des Coopératives Agricoles de l'Allier (2024). https://www.ucal.coop/
- WEENAT (2024). https://weenat.com/