

Mestrado Eng Agronómica – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural



INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
Universidade de Lisboa
Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas

UC AGRICULTURA DIGITAL

Rega Digital: Tecnologia e automatização

1. Enquadramento e objetivos da aula
2. Condução, programação e gestão da rega
3. Rega inteligente (*smart irrigation*): 3.1 Sensores; 3.2 Automação
4. Rega digital
5. Níveis tecnológicos da rega
6. Rega com dotação uniforme no espaço vs dotação variável no espaço (rega de precisão)
7. Barreiras à implementação
8. Tendências futuras



M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

1

Mestrado Eng Agronómica – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

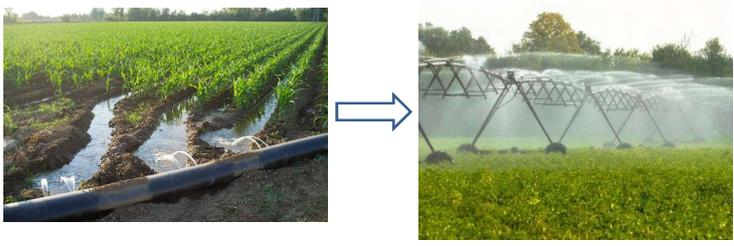
1. ENQUADRAMENTO E OBJETIVOS DA AULA

□ Enquadramento

- A água é um recurso limitado, especialmente na agricultura;
- **Reduzir perdas de água da rega** é essencial para uma agricultura sustentável (económica e ambientalmente)

↓

- **Reconversão** dos sistemas de rega por gravidade para os sistemas de rega sob pressão



Perdas de água

↓

↑

Custo energético

mas

Ganhos de eficiência de 46% no uso da água

Consumo de energia elétrica aumentou 580%



M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

2

Consumo energia eléctrica por equipamento e tipo de sistema de rega (Kwh/ha)



Coimbra (2020)

≈ 0.3 kWh m⁻³ (em média)

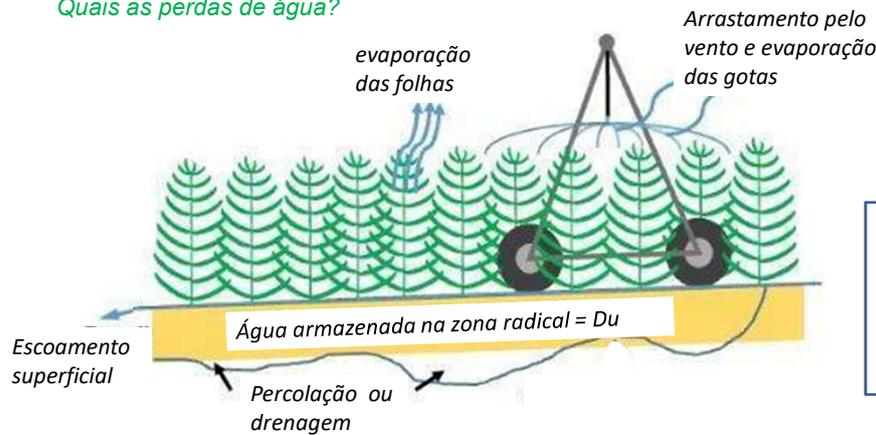


M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

Sistemas de rega em pressão

cada gota de água perdida => energia desperdiçada => aumento dos custos de produção

Quais as perdas de água?



Eficiência de aplicação (%)

$$E_a = \frac{D_u}{D} 100$$

D = dotação aplicada (mm)

Como aumentar a eficiência de aplicação e a uniformidade de distribuição da água de rega?

Quais as tecnologias disponíveis?



M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

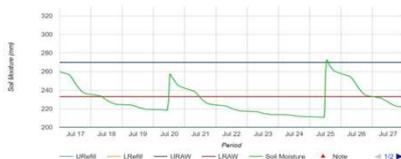
Objetivos da aula

- Esclarecer conceitos relacionados com a gestão da rega;
- Apresentar o estado da arte relativo aos sensores utilizados na condução da rega;
- Caracterizar as componentes de um sistema de rega automatizado;
- Caracterizar diferentes níveis de tecnologia utilizados na rega;

2. CONDUÇÃO, PROGRAMAÇÃO E GESTÃO DA REGA

condução

- aplicar a quantidade de água certa no momento certo;
- **tempo real**, desde a sementeira até à colheita;
- dados meteorológicos **diários**;
- monitorização da água do solo.

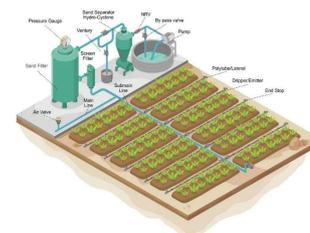


programação

- planeamento **à priori** das necessidades de rega;
- informação **histórica** (+ 30 anos);
- dados meteorológicos necessidades hídricas
- fundamental na gestão de um aproveitamento hidroagrícola ou de um aquífero
- as disponibilidades para rega em determinado ano satisfazem as necessidades das culturas inscritas e respetivas áreas

gestão

- conceito mais amplo
- condução + programação + vários equipamentos relacionados com a rega, deste a origem até à aplicação na parcela



3. REGA INTELIGENTE (SMART IRRIGATION)

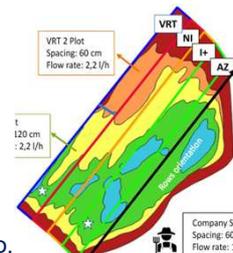


OTIMIZAÇÃO DO USO DA ÁGUA DE REGA

Rega inteligente (smart irrigation)

≠

Rega de precisão



Pode dizer-se que a Smart irrigation é um sistema integrado ou uma plataforma tecnológica que incorpora:

- tecnologia (equipamentos, métodos e técnicas) e
- automação (processo pelo qual os mecanismos controlam o seu próprio funcionamento, com a mínima interferência humana)

Rega de precisão:

- é uma modalidade de gestão da rega (com dotação variável no espaço)
- usualmente recorre à rega inteligente, mas não necessariamente



INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

Regulamento de 2011

O que quer isso dizer?

Na **rega de precisão**, a gestão reage a dados específicos obtidos com discretização espacial (ex. humidade do solo, clima, etc.)

Em vez de apenas reagir a dados, **a rega inteligente** aprende e adapta-se dinamicamente às condições em mudança, fazendo previsões e ajustando-se de forma autónoma (capacidade de autoaprendizagem). Pode integrar automação, adaptando a gestão da água de forma proativa.



INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA

Regulamento de 2011

Continuando no tema da smart irrigation

Tecnologia + automação

3.1 Tecnologia

□ O que é um sensor para condução da rega?

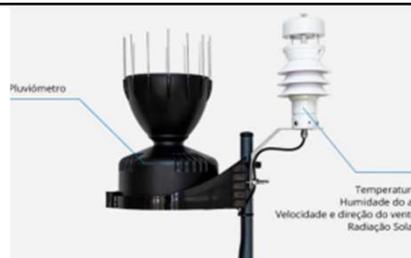
- Equipamento que reage a um **estímulo físico** ou químico de um modo específico quando inserido no solo, na planta ou na atmosfera;
- Como **resposta ao estímulo**, o equipamento emite um **signal** que é utilizado com o objetivo de medir ou monitorizar;
- Após a recolha dos dados necessários à condução da rega (signal) é necessário realizar o seu **processamento** seguido da **tomada de decisão**;
- Este processo pode ser caracterizado por diversos **graus de automatização**.

□ Sensores utilizados na condução da rega

➤ Sensores próximos (*ground truth*)

1. Sensores meteorológicos: medem variáveis meteorológicas instantâneas no local onde estão instalados

- **Temperatura:** Medida através de termómetros digitais, geralmente protegidos por abrigos meteorológicos para evitar a radiação solar direta;
- **Humidade relativa:** Medida com higrómetros, indicando a quantidade de vapor de água presente no ar;
- **Precipitação:** Medida com pluviómetros que registam a quantidade de precipitação
- **Velocidade e direção do vento:** Medida com anemómetros (velocidade) e cata-ventos (direção).
- **Radiação solar:** Medida com piranómetros ou radiómetros, indicando a quantidade de energia solar que atinge a superfície;
- **Pressão atmosférica:** Medida com barómetros, essencial para prever alterações no tempo.



2. Sensores na planta: Registam a resposta das plantas a alterações das condições meteorológicas e da quantidade de água no solo

Ver aulas de rega e drenagem

mais utilizados:

- **Sensores de fluxo de seiva.** Quanto maior for a transpiração da planta maior é o fluxo de seiva medido.
fluxo de seiva elevado => planta transpira ativamente
fluxo de seiva baixo => planta está sob stress hídrico.
- **Dendrômetros.** Medem pequenas variações no diâmetro do caule causadas por ciclos de contração e expansão, que indicam alterações no teor de água da planta.

diâmetro diminui (durante o dia) => transpiração elevada
diâmetro aumenta (durante a noite) => transpiração baixa

contração significativa durante o período de crescimento ativo pode indicar que a planta está a sofrer stress hídrico.



menos utilizados:

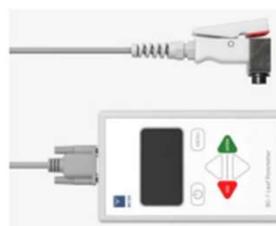
- **Câmara de Scholander,** mede o potencial de água no caule, isto é a tensão da água dentro do caule da planta, sendo que este é o parâmetro mais fidedigno de avaliação de stress hídrico da planta, principalmente quando esta se encontra num estado de stress hídrico severo



- **Psicrômetro** *idem*



- **Porómetro** mede a condutância estomática isto é a medição do grau de abertura dos estomas e pode ser utilizada como um indicador do estado hídrico da planta



3.Sensores no solo:

Recolhem informação sobre diversos parâmetros relativos à água no solo importantes para a condução da rega.

Ver aulas de rega e drenagem

Há diferentes tipos:

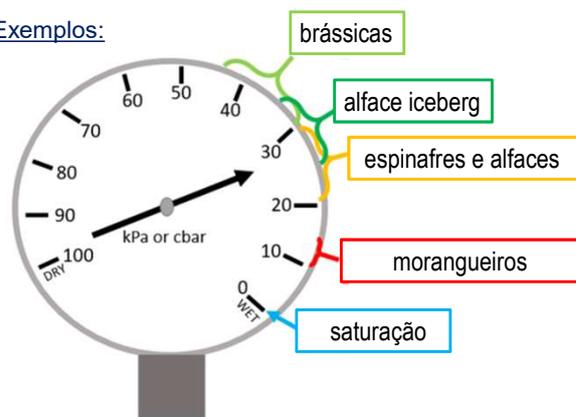
- medem a tensão da água no solo (potencial mátrico)
- Medem a resistência elétrica
- medem, direta ou indiretamente, o teor de água ou a humidade do solo

MEDIÇÃO DO POTENCIAL DA ÁGUA NO SOLO

A tensão da água no solo ou o potencial mátrico, que corresponde à energia com que a água está retida no solo

Está mais diretamente relacionada com a disponibilidade de água no solo para as plantas que o teor de água *per se*

Exemplos:

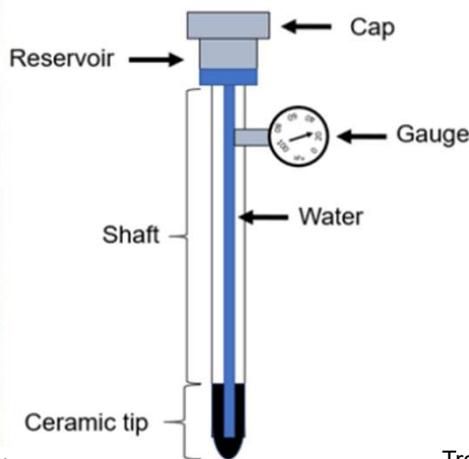




Manómetro mecânico

- Leitura pontual
- Não permite automatização de sistemas de rega

➤ **tensiómetros**



Transdutor de pressão

- Leitura contínua
- Armazenamento em *data logger* ou envio remoto
- Permite automatização de sistemas de rega



Leituras manuais pontuais com dispositivos portáteis



➤ **Sensor Watermark[®]**

mede a **resistência elétrica** entre 2 eletrodos embebidos em material poroso em contacto com o solo

Limitação: a leitura do potencial é muito afetado pela salinidade do solo



integradas em sistemas automáticos de monitorização transmitindo os dados para um controlador ou sistema de apoio à decisão



MEDIÇÃO DO TEOR DE ÁGUA OU DA HUMIDADE DO SOLO

Estes sensores baseiam-se na **constante dielétrica do solo (K_a)**



Relaciona-se com capacidade do solo armazenar e transmitir energia elétrica quando na presença de um campo **eletromagnético**

Os componentes do solo apresentam valores muito diferentes de cte dielétrica:

- Água: Aproximadamente **80**.
- Solo seco (minerais): Entre 3 e 5.
- Ar: Aproximadamente 1.



a presença de **água no solo** tem um impacto significativo na constante dielétrica global do solo

Capacitância:

- medida da capacidade do solo armazenar carga elétrica entre duas superfícies condutoras, geralmente representadas pelos eletrodos de uma sonda capacitiva;
- depende linearmente da constante dielétrica;

↑
Água
do solo

↑
Constante
dielétrica

↑
Capacitância



M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

Há vários tipos de sensores consoante o **estímulo** recebido e a **resposta** (sinal enviado)

▪ Time domain reflectometry : TDR

- Os sensores são constituídos por 2 ou 3 eletrodos ou varas metálicas que são inseridas no solo;
- Um pulso elétrico (**estímulo**) é enviado pelo sensor longo das varas gerando um campo eletromagnético que interage com o solo em redor
- chegando à extremidade, o pulso é refletido de volta para o sensor;
- O tempo que o pulso demora a fazer o percurso corrente elétrica ao longo da guia – **resposta**) é função do teor de água no solo e fornece a K_a ;
- Através de uma equação de calibração a constante dielétrica é convertida em teor de água no solo.



Exemplos de sensores comerciais (sondas)

Campbell Scientific CS616 e CS650

<https://www.campbellsci.com/cs616-reflectometer>

ThetaProbe

<https://dynamax.com/products/soil-moisture/ml3-thetaprobe-soil-moisture-sensor>

TRIME PICO 64

<https://www.imko.de/en/trime-pico-64/>



$$\text{Ex. } \theta = 4.3 \times 10^{-6} \cdot K_a^3 - 5.5 \times 10^{-4} \cdot K_a^2 + 2.92 \times 10^{-2} \cdot K_a - 5.3 \times 10^{-2}$$

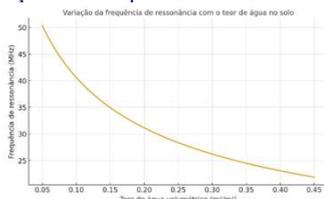
M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

18

▪ Frequency domain reflectometry : FDR

- O **estímulo** numa sonda FDR é um sinal de corrente alternada (AC), gerado com uma frequência específica.
- circuito oscilador com uma bobina e um condensador que gera um campo eletromagnético alternado a uma frequência específica

- A **resposta** é a alteração da frequência do sinal da corrente alternada, devida ao teor de água do solo, fornecendo a K_a ;

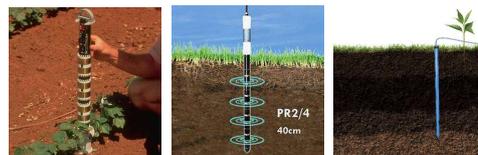


- Através de uma equação de calibração a constante dielétrica é convertida em teor de água no solo.



Ex. $\theta = 0.113 \cdot K_a^{0.5} - 0.067$

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural



Exemplos de sensores comerciais (sondas)

Sentek EnviroSCAN.

<https://sentektechnologies.com/products/soil-data-probes/enviroscan/>



Delta-T Devices PR2/6:

<https://delta-t.co.uk/product/pr2/>



19

▪ Capacitivas

- O **estímulo** é um campo eletromagnético gerado entre os eletrodos da sonda.
- O sinal gerado em **resposta** ao estímulo é uma variação na capacitância conforme o teor de água no solo aumenta ou diminui.
- Quanto mais água estiver presente no solo, maior será a constante dielétrica, o que resulta num aumento da capacitância medida.
- As sondas capacitivas medem a capacitância a **uma frequência fixa, não** medem a frequência de ressonância nem faz análise de impedância (Característica dos FDR).
- Através de uma equação de calibração a constante dielétrica é convertida em teor de água no solo.



Ex. $\theta = 0.02 \cdot C^{0.9} - 0.1$

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural



Exemplos de sensores comerciais (sondas)

Decagon Devices EC-5

<https://metergroup.com/products/ech20-ec-5-soil-moisture-sensor/>



Sentek Drill & Drop

<https://sentektechnologies.com/products/soil-data-probes/drill-drop/>



Diviner



<https://sentektechnologies.com/products/soil-data-probes/diviner-2000/>

AquaCheck Soil Moisture Probes

<https://aquacheckusa.com/probes/>

20

Resumo sobre os sensores para medição do teor de água no solo

- **Capacitivos:** Medem diretamente a capacitância entre dois eletrodos, a uma frequência fixa, e correlacionam essa capacitância com a humidade do solo.
- **FDR (Frequency Domain Reflectometry):** Medem a variação de frequência de um campo eletromagnético que oscila entre dois eletrodos, que por sua vez depende da constante dielétrica do solo;
- **TDR (Time Domain Reflectometry):** Medem o tempo de propagação de um pulso eletromagnético, que também depende da constante dielétrica do solo.

- **Capacitivas:** Mais baratas, com precisão aceitável para muitas aplicações práticas, mas influenciadas por fatores externos como a salinidade e a compactação do solo;
- **FDR:** Intermédio em termos de custo, com boa precisão e menos afetada por fatores externos;
- **TDR:** Mais caras, mas com elevada precisão, usadas principalmente em investigações científicas ou projetos onde a medição precisa da humidade é essencial.

Como associar a automação aos sensores apresentados?

Resumo dos três grupos de sensores de humidade do solo de acordo com o princípio físico utilizado

Família	Princípio físico	Medição	Precisão	Sensibilidade à salinidade	Custo	Exemplos representativos
TDR	Pulso no tempo; mede tempo de trânsito do sinal	Tempo → constante dielétrica	Alta	Baixa	€€€	CS650, TDR100
FDR	Medição da impedância/frequência ressonância (circuito LC)	Frequência → constante dielétrica	Alta	Média	€€-€€€	EnviroSCAN, PR2, Hydra Probe
Capacitivo	Medição direta da capacitância a uma frequência fixa	Tensão/frequência $ct \rightarrow$ constante dielétrica	Média	Alta	€-€€	Drill & Drop, AquaCheck, Teros

Principais sensores comerciais de humidade do solo

Fabricante / Modelo	País	Princípio físico	Frequência / Tempo	Tipo de instalação	Precisão típica (\pm m ³ /m ³)	Custo relativo	Notas principais
Campbell Scientific – CS616 / CS650 / CS655	EUA	TDR (Time Domain Reflectometry) – mede o tempo de trânsito de um pulso eletromagnético	Pulso no domínio do tempo (~1 GHz efetivo)	Hastes (pontual ou multiponto)	0.01–0.02	€€–€€€	Padrão de referência; alta precisão; pouca influência da salinidade; mede também temperatura e EC aparente.
METER Group – TDR100 / TDR315L	EUA	TDR verdadeiro	Pulso elétrico	Hastes (laboratório e campo)	0.01–0.02	€€€	Muito usado em investigação; requer calibração e eletrónica externa.
IMKO – TRIME-T3 / PICO64	DE	FDR (onda de varrimento de frequência) – híbrido FDR/TDR	20–250 MHz	Pontual ou multiponto	0.01–0.02	€€€	Mede a fase da onda senoidal; precisão semelhante à TDR; usado em solos e materiais porosos.
Sentek – EnviroSCAN	AU	FDR verdadeiro (circuito LC ressonante)	100–150 MHz	Tubo de acesso (fixo, modular)	0.01–0.02	€€€	FDR clássico; mede frequência de ressonância; referência em rega científica.
Delta-T Devices – PR2 / PR1	GB	FDR verdadeiro (impedância vs. frequência)	100–150 MHz	Tubo de acesso (fixo ou portátil)	0.02	€€€	Mede em 4–6 profundidades; amplamente validado em literatura científica.
Stevens – Hydra Probe II	EUA	FDR vetorial (impedância dielétrica complexa)	50–150 MHz	Pontual	0.01–0.02	€€	Mede parte real e imaginária da constante dielétrica; também temperatura e condutividade elétrica.
Campbell Scientific – SoilVUE10	EUA	FDR vetorial multiponto	50–150 MHz	Sonda multiponto (até 1 m)	0.01–0.02	€€€	10 sensores internos; alta resolução vertical; derivado do Hydra Probe.
Sentek – Drill & Drop	AU	Capacitivo de alta frequência (freq. fixa)	~140 MHz	Sonda multiponto (fixa)	0.02–0.03	€€	Instalação direta; sensível à salinidade e à qualidade do contacto solo–sensor.
Sentek – Diviner 2000	AU	Capacitivo de alta frequência (freq. fixa)	~100 MHz	Portátil (tubo de acesso)	0.02–0.03	€€	Leitura manual rápida; útil em monitorização pontual.
AquaCheck	ZA	Capacitivo de alta frequência (freq. fixa)	~100 MHz	Sonda multiponto (fixa)	0.02–0.03	€€	Requer calibração local; sensível a salinidade e densidade aparente.
METER Group – TEROs 10/12/21	EUA	Capacitivo (freq. fixa)	70–150 MHz	Pontual	0.02–0.03	€	Económicos, estáveis, ideais para redes IoT; não FDR.
Vegetronix – VH400	EUA	Capacitivo (freq. baixa)	~80 MHz	Pontual	0.03–0.05	€	Muito acessível; alta sensibilidade à salinidade; adequado apenas para uso indicativo.



➤ Sensores remotos

Fornecem, à distância, informações sobre fatores que podem afetar o crescimento das culturas e a variabilidade da produção, tais como as características do solo, a fertilidade do solo, a água do solo, o volume das copas, a biomassa e a arquitetura dos copados e o conteúdo de água das plantas.

Os dispositivos que transportam os sensores remotos são satélites, aviões e veículos aéreos não tripulados usualmente designados por *drones*.

Os principais tipos de sensores instalados nestes dispositivos são:

- sensores multiespectrais e
- de radar.

Os sensores multiespectrais permitem estimar as necessidades de rega através de relações empíricas que relacionam o coeficiente cultural com índices de vegetação, sendo o mais comum o NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada).





❑ O que é um sensor inteligente?

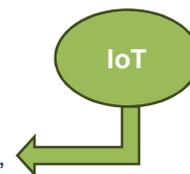
É um sensor que, com base no estímulo recebido e, com recurso a microprocessadores embutidos e comunicação sem fio, é utilizado para executar funções predefinidas.

Componentes: *não tem que apresentar todos os componentes, mas para ser qualificado como inteligente, o elemento sensor e o processador devem fazer parte da mesma unidade física.*

- i) o elemento sensor, que é o componente principal e que deteta a grandeza física que o sensor está projetado para medir;
- ii) a unidade de processamento, que consiste num microprocessador, responsável por processar os dados do sensor e executar algoritmos para extrair informações úteis;
- iii) algoritmos de processamento específicos (ex. machine learning) para realizar tarefas como filtragem de dados, deteção de padrões ou processamento de dados brutos;
- iv) a memória interna para armazenar dados ou configurações temporariamente;
- v) a interface de comunicação que confere ao sensor capacidade de comunicação embutida para transmitir dados para outros dispositivos ou sistemas (ex. UART, SPI, I2C, USB, Wi-Fi, Bluetooth);
- vi) uma fonte de energia que pode ser uma bateria, um painel solar ou outra fonte de alimentação;
- vii) um software de controlo e configuração para ajustar configurações e parâmetros conforme necessário.

A interface de comunicação é o que confere ao sensor capacidade de comunicação embutida para **transmitir e receber dados para outros sensores, dispositivos ou sistemas**

tecnologia que liga objetos físicos à internet, permitindo a partilha de dados entre eles



Esta ligação requer a existência de protocolos de comunicação, sendo o mais comum o Low Power Wide Area Network (LPWAN). SigFox e LoRaWAN são exemplos de tecnologia LPWAN, integrando dados, sem fios, a longa distância.

De um modo geral, os principais desafios que a IoT enfrenta atualmente são:

- segurança,
- cálculo limitado e
- capacidade de armazenamento dos dados produzidos pelos dispositivos de monitorização.

Existem vários estudos para aplicação da tecnologia IoT à gestão da rega

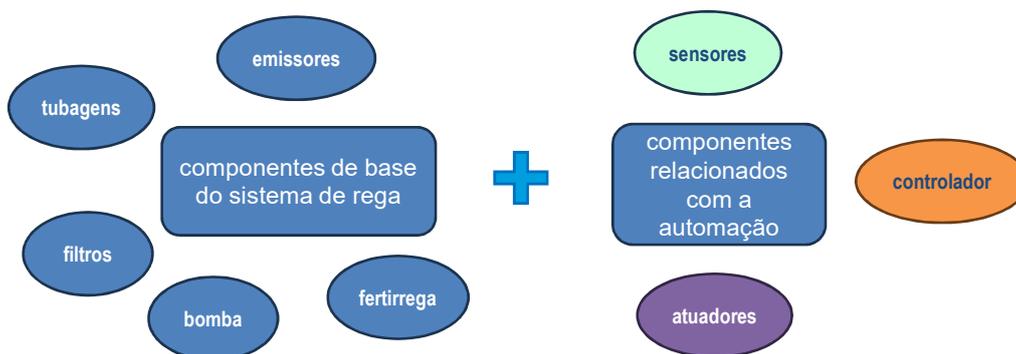
- Os *sensores de fluxo de seiva, os dendrómetros e os sensores de humidade do solo* são dos sensores mais utilizados na rega inteligente, pois, para além de funcionarem de forma contínua podem ser implementados com sistemas de transmissão de dados para um fácil e remoto acesso aos dados registados através da Internet

Nesta área há alguns desafios específicos a ultrapassar:

- O desenvolvimento de **software** para aplicações inteligentes na rega baseadas na IoT é ainda escasso;
- Continuam a faltar plataformas avançadas de software IoT para automatizar parte do processo e integrar diferentes tecnologias tais como a análises de **grandes conjuntos de dados** (Big Data) e **computação em nuvem**.

3.2 Automação

- Sistema de rega automatizado é aquele cuja operação decorre sem, ou com mínima intervenção humana, para além da supervisão e parametrização do sistema de controlo



O controlador/temporizador é o “cérebro” do sistema de rega: dispositivo eletrónico cuja principal função é controlar quando, com que frequência e por quanto tempo o sistema de rega funciona.

➤ atuadores

Os **atuadores** em sistemas de rega automatizados têm a função de **executar ações físicas** com base nas decisões do controlador

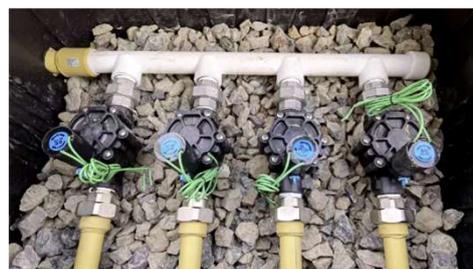
- abrir e fechar válvulas,
- ajustar a pressão da água e
- ligar ou desligar bombas.
- controlar o movimento de rampas pivotantes.

Principais tipos de atuadores em sistemas de rega

Eletroválvulas: o atuador é um solenoide ligado ao controlador do sistema que abre ou fecha a válvula em resposta aos comandos programados.

um solenóide é uma bobina de fio que, quando energizada por uma corrente elétrica, gera um campo magnético. Esse campo magnético move um êmbolo ou pistão dentro da válvula, permitindo o **controle rápido** de abrir e fechar.

- Vantagem: ação rápida
- Desvantagem: só tem as posições on e off



Válvulas Motorizadas: *Ver aulas de mecanização*

O atuador é um pequeno motor elétrico que move mecanicamente um válvula principal para abrir ou fechar o fluxo de água.

Este atuador pode **abrir, fechar parcialmente ou totalmente** a válvula

- Desvantagem: a operação é mais lenta
- Vantagem: a operação é mais controlada permitindo **ajustes graduais** na passagem de água.



válvulas redutoras de pressão e as válvulas sustentadoras de pressão:

Recebem informação de um pressostato que é um sensor ou dispositivo de controle que monitoriza a pressão

Um controlador de pressão lê a pressão numa linha de rega através de um **transdutor de pressão**, envia o sinal para um **PLC ou controlador inteligente**, e este **ajusta a velocidade da bomba (via variador de frequência)** ou a **abertura de uma válvula motorizada**, mantendo a pressão desejada em tempo real.



➤ controlador

- É o dispositivo central responsável por gerir e automatizar a rega.
- Recebe dados de sensores, ajusta os tempos de rega e controla os atuadores

Funções de um controlador num sistema de sega Inteligente:

Calendarização da rega:

- O controlador permite definir **horários de rega** com base em critérios pré-estabelecidos, como o tempo do dia, frequência de rega e duração para diferentes zonas.
- Alguns controladores avançados ajustam automaticamente o cronograma com base em fatores como previsão meteorológica ou a humidade do solo.

Integração com Sensores:

- pode ser integrado com **sensores de humidade do solo**, do estado hídrico da planta meteorológicos que fornecem informações em tempo real que o controlador



Conectividade e Automação:

- Processadores/Controladores de rega inteligentes frequentemente são equipados com Wi-Fi ou conectividade móvel, permitindo que os agricultores monitorizem e ajustem o sistema remotamente, usando aplicações móveis ou plataformas na nuvem.
- Com a conectividade, o controlador pode receber atualizações climáticas em tempo real e ajustar automaticamente os ciclos de rega

Controle de Válvulas e Atuadores:

- O controlador envia sinais para abrir ou fechar as válvulas e ativar bombas em zonas específicas. Ele também pode regular a quantidade de água aplicada em diferentes partes do campo, dependendo das necessidades de cada zona.

Compatibilidade com Sistemas de Taxa Variável (rega de precisão)

- o controlador ajusta a quantidade de água aplicada em diferentes áreas com base na variabilidade do solo, necessidades das plantas ou dados de GPS

Utilização de Inteligência Artificial (IA):

- Alguns controladores avançados utilizam inteligência artificial (IA) para analisar dados históricos de rega, clima e produtividade das plantas, fazendo previsões sobre as necessidades hídricas futuras e otimizando a rega de forma contínua.



1. Nível Básico

Hunter X-Core**•Características:**

- Controlador simples, acessível e fácil de programar.
- Controla até 8 sub-zonas ou setores.
- Conexão com sensores de precipitação e radiação.

•Aplicação: Pequenas parcelas e jardins.**•Tecnologia:** Não possui conectividade, controle manual.

<https://www.hunterindustries.com/irrigation-product/controllers/x-core/>

Rain Bird ESP-TM2**•Características:**

- Compatível com o módulo Wi-Fi "LNK" para controle remoto via smartphone.
- Até 12 setores.
- Ajuste sazonal manual.
- Compatível com sensores de precipitação e humidade do solo.

•Aplicação: Pequenas e médias explorações agrícolas.**•Tecnologia:** Conectividade opcional com o módulo Wi-Fi, sensores de precipitação e humidade do solo.

<https://www.rainbird.com/pt/products/programadores-da-serie-esp-tm2>



2. Nível Intermédio

Toro Evolution**Características:**

- Sistema modular que pode controlar até 16 setores
- Compatível com sensores de humidade do solo e sensores de chuva.
- Programação baseada no clima local;
- Pode ser expandido com módulo de Wi-Fi para controle remoto.

Aplicação: Agricultura de precisão, grandes hortas, estufas.**Tecnologia:** Conectividade remota com o módulo Wi-Fi, programação avançada.

<https://www.toro.com/en/evolution#>



3. Nível Avançado

Lindsay FieldNET

Características:

- Controle completo de rampas pivotantes
- Conectividade via IoT para monitorização e controle remoto em tempo real
- Integração com sensores de solo, estações meteorológicas e plataformas de IA
- Possibilidade de rega com taxa variável (VRI) com base em dados GPS

Aplicação: Grandes explorações agrícolas, agricultura de precisão.

Tecnologia: Controle baseado em IA, conectividade total com dispositivos móveis, gestão remota.

4. REGA DIGITAL

- A distinção entre rega digital e rega inteligente não é universalmente padronizada.
- Por vezes os termos são utilizados com o mesmo significado e outras com significados diferentes, dependendo do contexto e das características específicas do sistema em estudo.
- O termo rega digital geralmente sugere uma abordagem mais avançada e intensiva em dados, particularmente adequada para aplicações em larga escala.



Mestrado Eng Agrônoma – Agricultura Digital – Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

REGA DIGITAL (DIGITAL IRRIGATION)

- Integração de tecnologias digitais, sensores, comunicação, plataformas de dados, algoritmos e controlo remoto, em todo o processo de gestão da rega.
- Abordagem tecnológica e sistémica, centrada na digitalização de dados e operações do sistema de rega.

Componentes típicos:

- Sensores de humidade do solo, clima e plantas;
- Transmissão de dados;
- Plataformas digitais de armazenamento e visualização;
- Modelos de suporte à decisão (balanço hídrico, deteção remota ou IA);
- Controlo remoto e automatizado de válvulas e bombas;
- Integração em sistemas de gestão da exploração (FMIS).

Foco: Digitalização dos processos; Conectividade e interoperabilidade; Acesso e gestão de dados; Transparência, rastreabilidade e eficiência administrativa.

A rega digital é sobre dados e conectividade; transformar a rega num sistema digitalmente monitorizado, registado e gerido.

SUPERIOR DE AGRONOMIA
Faculdade de Engenharia
Região do Alentejo

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

37

Mestrado Eng Agrônoma – Agricultura Digital – Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

REGA INTELIGENTE (SMART IRRIGATION)

- Sistema de rega que usa dados e algoritmos para tomar decisões automáticas ou semi-automáticas, otimizando o uso da água e energia de forma dinâmica e adaptativa.
- Implica análise, decisão e ação, não apenas recolha de dados.

Componentes típicos

- Dados em tempo real (solo, clima, planta, satélite);
- Algoritmos de interpretação (por exemplo, modelos de evapotranspiração, IA, machine learning);
- Tomada de decisão automática (quando regar, quanto regar, onde regar);
- Sistemas de controlo que ajustam a rega em função do estado hídrico atual.

Foco:

- Inteligência artificial ou regras de decisão;
- Aprendizagem e otimização;
- Reação automática às condições variáveis;
- Eficiência hídrica e energética.

A rega inteligente é sobre decisão e adaptação, transformar a rega num sistema cognitivo que “decide” quando e quanto regar.

Mestrado Eng Agrônômica – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

Rega digital vs rega inteligente

	Rega digital	Rega inteligente
Natureza	Tecnológica / informacional	Cognitiva / decisional
Objetivo principal	Recolher, transmitir e gerir dados	Analisar dados e tomar decisões ótimas
Grau de automação	Médio (monitorização e controlo remoto)	Elevado (decisão automática ou assistida)
Base tecnológica	Sensores + IoT + plataformas de dados	IA + modelos de decisão + controlo adaptativo
Exemplo típico	Sistema com sensores de solo e app de visualização	Sistema que ajusta automaticamente a rega em função da ET _o e do teor de água
Palavras-chave	Digitalização, conectividade, dados	Inteligência, decisão, otimização

Antes da era IoT, já existiam sistemas de controlo automático da rega baseados em sensores simples :

- programadores que usam tensiómetros ligados a relés,
- sistemas que interrompem a rega quando a humidade do solo atinge um limiar,
- estes sistemas tomam decisões automáticas, mas não registam, transmitem ou processam dados digitalmente. Podiam, no sentido mais rudimentar, ser chamados de “inteligentes” (porque reagem), mas não digitais.
- Hoje, tanto em investigação como em políticas europeias (ex.: *Smart Farming, Agriculture 4.0*) — o termo “inteligente” implica obrigatoriamente digitalização: dados, conectividade e algoritmos.

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

39

Mestrado Eng Agrônômica – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

Em particular, o *upgrade* para o digital verifica-se nos seguintes setores:

- **Armazenamento e gestão de dados:** a computação em nuvem fornece uma plataforma escalável e económica para armazenar grandes quantidades dos dados recolhidos pelos vários sensores, com fácil acesso, recuperação e backup;
- **Análise e processamento de dados:** são disponibilizados recursos poderosos de análise e processamento de grandes quantidades de dados;
- **Monitorização e controlo remotos:** os regantes podem aceder ao sistema por meio de aplicativos móveis ou baseados na *web* e hospedados na nuvem, podendo realizar ajustes tempo real nos calendários de rega de qualquer lugar com ligação à *internet*;
- **Escalabilidade:** à medida que o nível tecnológico da rega aumenta e novos sensores e dispositivos são adicionados, as soluções baseadas em nuvem podem acomodar facilmente maiores requisitos de armazenamento e processamento de dados sem atualizações significativas de *hardware* no local;
- **Compartilhamento e colaboração de dados:** os sistemas de rega digital baseados na nuvem facilitam a partilha de dados e a colaboração entre várias partes interessadas;
- Regantes, técnicos, investigadores e consultores podem aceder aos mesmos dados e colaborar em estratégias de rega e tomada de decisões.

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

40

5. NÍVEIS TECNOLÓGICOS DA REGA

Nível mais baixo: Experiência do regante.

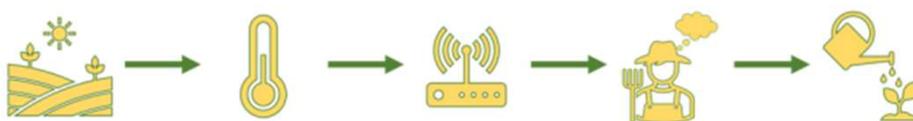
Em termos práticos, o regante decide quando e quanto deve regar, tendo por base a observação do solo e da cultura.

**Monitorização com tomada de decisão e atuação humana presencial**

- A experiência do regante é complementada com alguma tecnologia que ajuda a tomada de decisão.
- A tecnologia inclui sensores ligados à planta e de medição de parâmetros do solo tais como a quantidade água do solo, pH e condutividade elétrica, entre outros.
- O regante pode ainda recolher informação de estações meteorológicas que auxiliam a tomada de decisão, sendo esta presencial.

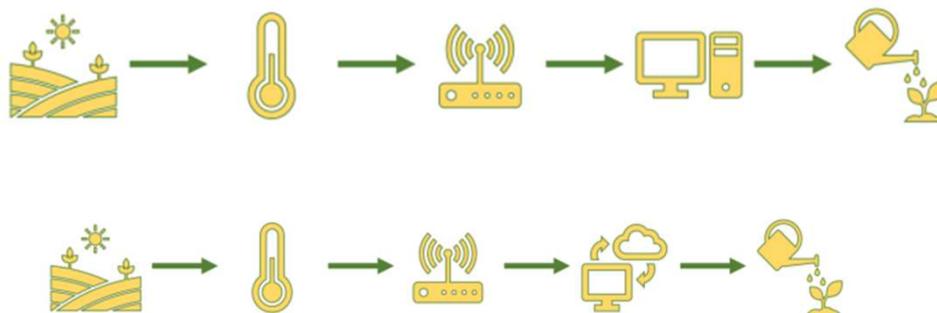
**Monitorização inteligente com tomada de decisão humana remota**

- A condução da rega depende da experiência do regante, auxiliado por informação transmitida por tecnologias que o ajudam a tomar a decisão de quando e quanto regar.
- Os sensores utilizados incorporam, pelo menos um processador, embora possam apresentar mais componentes.
- A decisão da rega continua a ser tomada pelo regante, embora este possa fazê-lo remotamente.



Monitorização inteligente com parametrização local ou na nuvem e automatização completa do sistema

- nível de tecnologia mais elevado
- sensores inteligentes que comunicam entre si através da IoT,
- atuadores (ex. electroválvulas, reguladores de pressão, atuadores de posicionamento de emissores)
- tratamento dos dados enviados pelos sensores pode ser feito por algoritmos locais ou guardados na nuvem



6. DOTAÇÃO UNIFORME NO ESPAÇO VS DOTAÇÃO VARIÁVEL NO ESPAÇO

□ Rega com dotação uniforme no espaço

Distribuição da água na parcela de modo uniforme, de forma a garantir que para aplicar a lâmina de água pretendida nos pontos que recebem menos água não se terá de aplicar dotações mais elevadas nos outros pontos que levarão a perdas por percolação

No entanto, a aplicação da rega uniforme na parcela, ou seja, a aplicação de dotações iguais em todos os pontos com base em valores médios, ignora a influência da variabilidade espacial da parcela na resposta das culturas à água

excesso ou défice de disponibilidade de água e num retorno económico negativo em alguns locais da parcela.



Dotações variáveis no espaço ou rega de precisão

□ Rega de precisão

- modalidade de **gestão** da rega;
- não são aplicadas necessariamente dotações iguais em todos os pontos;
- o volume de água aplicado varia consoante as características de cada sub-zona identificada na parcela;



Objetivo: regar cada planta da parcela com a quantidade certa de forma a aumentar a eficiência do uso da água de rega

Sistema de rega

características físicas que permitam aplicar dotações diferentes nos seus diferentes setores

Estratégia de rega

conforto ou stress hídrico

sensores

monitorização das diferentes sub-zonas

informação que pode ou não ser analisada remotamente e a resposta pode ser mais ou menos automatizada

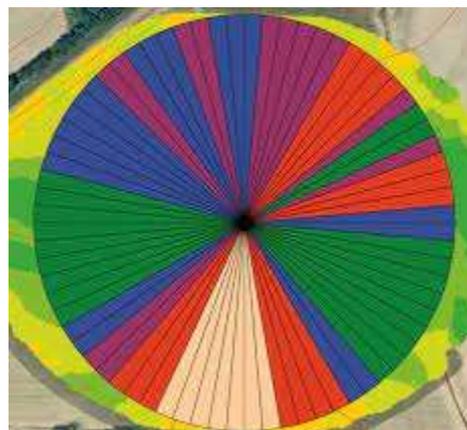


Há dois grandes tipos de rega de precisão

➤ Controlo de velocidade

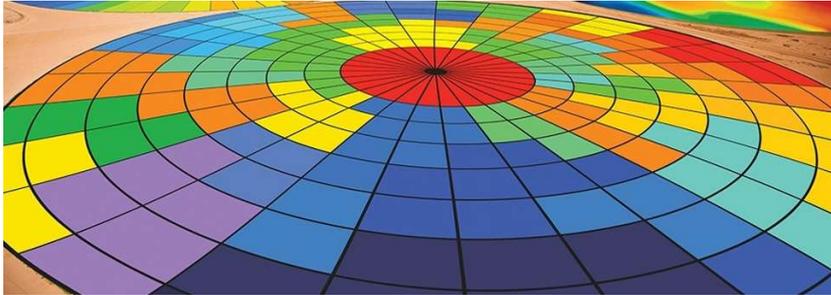
a prescrição VRI personalizada acelera ou desacelera a torre exterior de uma rampa pivotante para que seja aplicada a dotação desejada em cada setor

Exemplo: Relacionar velocidade do pivot com textura do solo



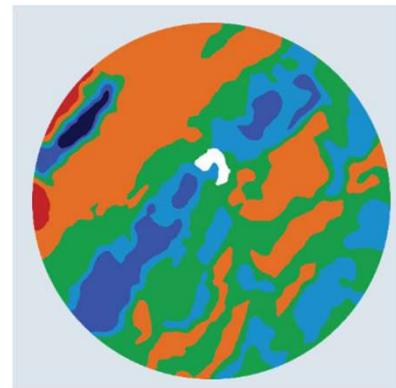
Controlo por Zonas

O conjunto de aspersores é dividido por zonas;
 Cada conjunto tem comando independente de modo aplicar dotações diferentes



Controlo por emissor individual

- São atribuídas automaticamente IDs a todas as localizações das válvulas dos aspersores através do painel de controlo;
- São controladas com precisão as alterações na dotação a aplicar utilizando as posições GPS.



Mestrado Eng Agrônoma – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
 Maria do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

49

Mestrado Eng Agrônoma – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
 Maria do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

Fator de comparação rega		dotação constante no espaço	dotação variável no espaço
Económicos	Custos com água e energia para a bombagem	Maior	Menor
Investimentos	Investimento em software e equipamento	Menor	Maior
Ambientais	Sustentabilidade dos recursos hídricos	Menor	Maior
Formação	Complexidade da condução da rega	Menor	Maior
Agronómicos	Conforto hídrico da cultura	Menor	Maior
Equipamentos	Número de equipamentos necessários para a condução da rega	Menor	Maior

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

50

Mestrado Eng Agrônoma – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

7. DESAFIOS NA IMPLEMENTAÇÃO

□ Barreiras à adoção



Elevado investimento inicial
custo de equipamentos avançados, como sensores, drones e plataformas de IA, pode ser proibitivo para muitos agricultores



Conhecimento Técnico
Os agricultores precisam de conhecimentos especializados para operar e manter esses sistemas, o que requer formação e suporte contínuos



Contextos com poucos recursos
Em ambientes agrícolas de pequena escala ou com recursos limitados, o acesso à tecnologia e à infraestrutura continua a ser um desafio significativo..

Outra barreira importante à adoção da tecnologia associado à rega deve-se ao receio que os gestores dos sistemas de rega manifestam em perder o controlo dos processos devido à automatização

INSTITUTO SUPERIOR D AGRONOMIA
Universidade de Évora
Região do Alentejo

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

Mestrado Eng Agrônoma – Agricultura Digital: Rega Digital: Tecnologia e automatização
Marta do Rosário Cameira - ISA- Eng. Rural

8. TENDÊNCIAS FUTURAS



AI e IOT
Sistemas de rega equipados com IA e dispositivos IoT permitirão otimizar a condução da rega em tempo real



Integração de dados meteorológicos
A integração dos dados climáticos (ex. previsões a curto prazo) aumentarão a precisão da estimativa das necessidades de rega, permitindo que os sistemas de rega respondam de uma forma rápida, contínua e dinâmica à variabilidade climática

INSTITUTO SUPERIOR D AGRONOMIA
Universidade de Évora
Região do Alentejo

M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

Aula prática de laboratório

TEMA: Automatização de um sistema de rega gota-a-gota com sensor de humidade do solo

LOCAL: Laboratório de Rega Digital, Engenharia Rural

DOCENTE: Maria do Rosário Cameira

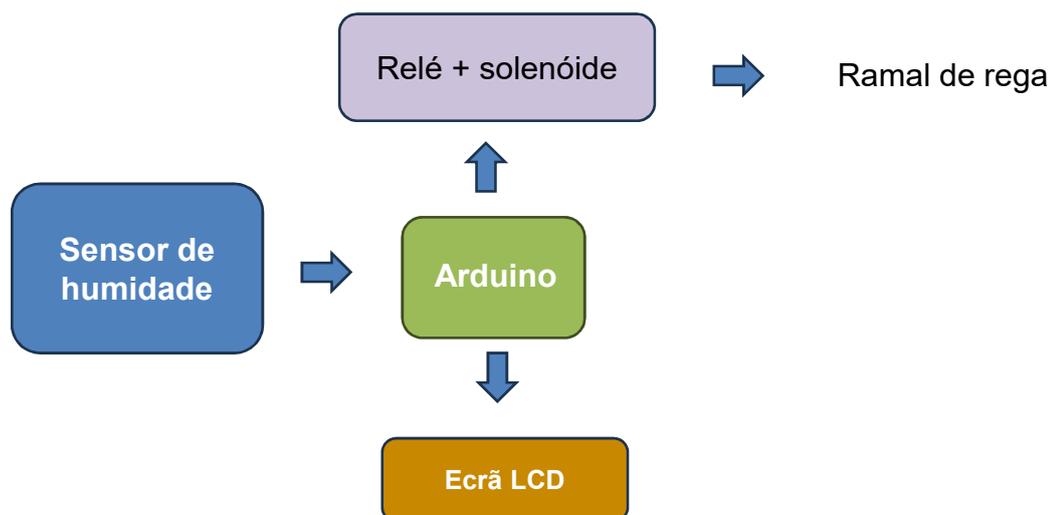
DURAÇÃO: 2 horas

OBJETIVOS

No final da atividade, os alunos deverão ser capazes de:

1. Conectar um sensor de humidade e um leitor LCD a um microcontrolador Arduino;
2. Programar o Arduino para ler o sensor de humidade do solo e para apresentar a leitura no computador e no ecrã;
3. Conectar um relé a uma electroválvula e programar o Arduino para acioná-la com base num limiar de humidade definido;

Esquema simplificado



1. SENSOR

Sensor resistivo de humidade do solo



≈ 1.6 €

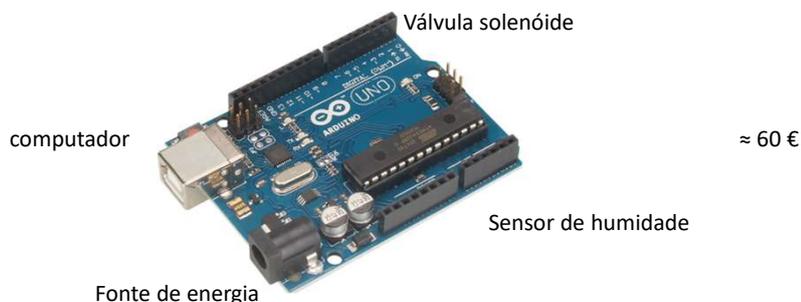
Consiste em duas sondas condutoras utilizadas para fazer passar uma corrente elétrica através do solo, sendo a resistência medida pelo sensor utilizada para inferir o teor de humidade. À medida que aumenta a quantidade de água presente no solo, este conduz a eletricidade de forma mais eficiente, enquanto um solo seco apresenta uma condutividade elétrica reduzida. O sensor fornece uma tensão analógica proporcional ao nível de humidade do solo.

2. CONTROLADOR

Microprocessador arduino UNO

Funções:

- Interpretar as leituras do sensor de humidade
- Aplicar regras de decisão (ex: “regar se humidade < 30%”)
- Comunicar com outros dispositivos (válvula solenóide)



3. ATUADORES

Executam ações físicas no sistema:

- Electroválvula-solenóide (abre a passagem de água para o ramal gota-a-gota)
- Relés (para ligar/desligar equipamentos)

Válvula Solenóide



≈17 €

É uma bobina de fio que, quando energizada por uma corrente elétrica, gera um campo magnético. Este, move um êmbolo dentro da válvula, permitindo o **controle rápido** de abrir e fechar.

Relé 5 V

O relé funciona como um interruptor elétrico comandado à distância

- O sistema de controlo (Arduino) envia um sinal de baixa corrente ao relé;
- O relé, ao receber esse sinal, fecha (ou abre) um circuito elétrico de maior potência, que alimenta a válvula solenóide.

Arduino →



≈ 11 €



→ Solenóide



M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

57

Ecrã LCD para visualização das leituras do sensor

Ecrã LCD



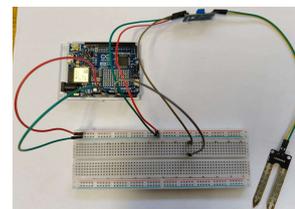
≈ 4.95 €

Notas:

a) Na maior parte dos casos as ligações entre os componentes não são diretas, mas passam pela protoboard.

A razão para tal deve-se ao facto de que as componentes não têm “portas” suficientes e placa faz a sua multiplicação

b) É necessário utilizar um resistor na ligação ao LCD, para impedir que picos de corrente o danifiquem



M^o Rosário Cameira - Área Disciplinar de Eng^a Rural

58