

# Sistema de Monitorização da Humidade do Solo para Gestão Eficiente da Irrigação

Helder Neves<sup>1</sup>; Pedro Dinis<sup>2</sup>; António Espírito Santo<sup>3</sup>; Bruno Ribeiro<sup>4</sup>

Departamento de Electromecânica

Universidade da Beira Interior

Tel: +351275329759 Fax: +351275329972

Email: <sup>1</sup>[helderfbn@gmail.com](mailto:helderfbn@gmail.com); <sup>2</sup>[dinis@ubi.pt](mailto:dinis@ubi.pt); <sup>3</sup>[aes@ubi.pt](mailto:aes@ubi.pt); <sup>4</sup>[bruno@ubi.pt](mailto:bruno@ubi.pt).

**Resumo** - A má utilização da água como recurso natural tornou-se uma preocupação geral devido à diminuição da água potável em todo o planeta. Neste artigo é descrito um sistema tecnológico de baixo custo e reduzido consumo energético, capaz de elaborar sistematicamente um plano de gestão eficaz de irrigação, em função das características ambientais e do solo em estudo. O sistema de monitorização da humidade do solo é constituído por sensores de humidade com sistema de comunicação sem fios (utilizando o protocolo ZigBee) incluído na ferramenta de desenvolvimento Texas Instruments eZ430-RF2480, que integra um microcontrolador MSP430F2274 e uma interface de rede CC2480; um módulo de análise de dados onde confluem todos os dados; e um sistema de actuação destinado a efectuar a irrigação. O plano de gestão permite uma maior eficiência na utilização da água e também uma cultura mais saudável, já que a obtenção de um mapa de humidade, permite evidenciar a distribuição espacial da necessidade de água, aumentando o tempo de rega se o solo se encontrar seco, e impedindo a rega em zonas onde o solo esteja demasiado húmido, dependendo do tipo de plantação.

## 1. Introdução

A água é um recurso natural com grande valor económico, ambiental e social, fundamental à subsistência e bem-estar da vida na Terra. Pode-se dizer que apenas 1% da água da Terra é utilizável, visto que 97,5% da água é salgada e a restante encontra-se em locais inacessíveis ao Homem [1].

### A. Objectivos

Tem-se como objectivo principal para este trabalho definir um sistema tecnológico destinado à elaboração sistemática de um plano de gestão eficaz da irrigação em função das características do solo em estudo. Este sistema tem de ter um baixo consumo energético e baixo custo, demonstrando que o investimento em tecnologia na área agrícola pode criar rendimento, para além de ambiental, também económico. Assim surgiu a motivação de elaborar um sistema que incorpore vários módulos diferentes que em conjunto levem a uma gestão eficiente da água, quer seja numa grande área agrícola, como num pequeno jardim ou até num campo de golfe. A aplicabilidade diferenciada é um ponto essencial que estes sistemas têm de ter como vantagem, tal como a facilidade de instalação e utilização.

### B. Solução do Problema

Como referido anteriormente, uma das situações onde existe um enorme desperdício de água é na irrigação de áreas agrícolas, jardins e locais similares. Apesar de ser necessário efectuar-la frequentemente, não é uma actividade obrigatoriamente regular, ou seja, pode ser realizada apenas quando o solo tiver pouca humidade e a respectiva vegetação necessite de água.

Pouco a pouco, novos instrumentos surgem no mercado para solucionar este tipo de dificuldades nesta área. Esta situação deve-se à diversificação das aplicações tecnológicas e à necessidade de poupança energética aliada à maior consciência ambiental. Assim, empresas como a DIG Irrigation Products<sup>1</sup>; WiSA Irrigation Solutions<sup>2</sup>; Pessl Instruments<sup>3</sup>; Sentek Sensor Technologies<sup>4</sup>; Aquagriace<sup>5</sup>; etc. disponibilizam várias soluções. Tendo em conta a irrigação, podem encontrar-se sistemas de controlo com base nas variações de características atmosféricas, com base em características do solo e alguns em ambas. Por norma, os sistemas disponibilizados por estas empresas consistem em distribuir um número variado de sensores no solo, para medir a humidade do mesmo. Estes estão ligados a uma torre que os alimenta e que recebe as leituras. De seguida a torre envia as leituras através de comunicação sem fios para uma unidade controladora onde dados são analisados.

O sistema proposto neste trabalho cria um plano de rega de uma dada área de forma eficiente. Para isso foi definido com vários blocos diferentes, interligados entre si, para que o processo de irrigação seja eficaz, localizado e preciso. Estes blocos ou módulos têm elementos que são adquiridos em lojas especializadas, que por si só realizam uma determinada função e que serão alterados, definidos ou acoplados, para realizarem uma tarefa necessária ao funcionamento global do sistema. O sistema está dividido em quatro grandes módulos. O primeiro módulo do sistema é o bloco de leitura e aquisição de dados (composto por sensores, que medem a humidade presente no solo). O segundo módulo, é o bloco de comunicações entre os vários pontos de leitura do solo e a unidade central onde são analisados os dados (comunicação sem fios). De seguida surge o terceiro módulo que corresponde ao

1 <http://www.digcorp.com/>

2 <http://www.iisystems.com.au/>

3 <http://metos.at/pessl/index.php?lang=en>

4 <http://www.sentek.com.au/products/enviroscan.asp?lang=en>

5 <http://www.aquagri.com/equipamentos.htm>

sistema caracterizado como a unidade central de dados (UCD), e é onde todos os dados da área agrícola em estudo são recolhidos e analisados. Por fim tem-se o último módulo, que consoante a análise efectuada no módulo precedente, é encarregue de actuar no sistema de irrigação, de modo a que se verifique a utilização eficaz da água segundo foi determinado. Qualquer um destes blocos tem um funcionamento específico e necessário ao módulo seguinte.

Com todos estes módulos a funcionar em conjunto, é feita uma análise aos dados e dessa forma é elaborado o plano de irrigação para os pontos necessários. Aumentando o tempo de rega se o solo se encontrar seco, e até não regando em zonas onde o solo esteja demasiado húmido. Claro que aquando de uma nova medição todo o processo será realizado novamente e um novo plano de irrigação será elaborado.

## 2. Solos, Plantas e Água

A principal fonte de criação de solo é a fragmentação e alteração das rochas ao longo dos milhões de anos da Terra. Isto deve-se principalmente a dois processos diferentes a Meteorização e a Erosão. O primeiro processo consiste em alteração das características da rocha sem transmissão de partículas o segundo através do movimento e deposição de partículas [2].

O solo pode ser visto como uma mistura de partículas minerais e orgânicas de variados tamanhos e composição (ver Figura 1). Estas partículas ocupam, mais ou menos, 50% do volume do solo, sendo que o restante 50% é composto por poros de múltiplas formas e tamanhos. Estes poros servem como canais para os movimentos de água e ar, para movimentos de pequenos animais e permitem o crescimento de raízes. As raízes funcionam como apoio das plantas no solo, e daí absorvem água, nutrientes e oxigénio.



Fig. 1. Constituição do solo. [3]

Essencialmente todos os solos dependem de certas propriedades físicas, tais como: Textura (ver Figura 2); Estrutura (ver Figura 3); Consistência; Densidade; Cor; Temperatura, entre outras. Todas as propriedades ajudam a definir o tipo de solo e o seu comportamento quanto em contacto com a água e com as plantas [3].

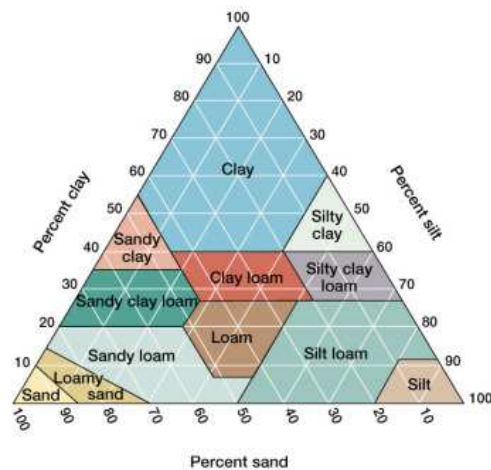


Fig. 2. Textura do solo [3].

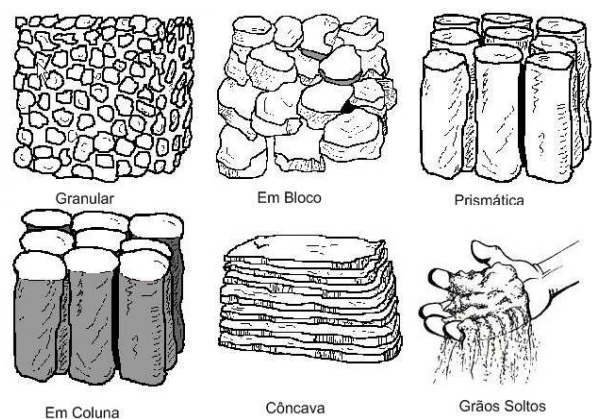


Fig. 3. Estrutura do solo. [3]

A capacidade de armazenamento de água pelo solo relaciona-se com a estrutura e textura do solo, isto é, depende do tipo de solo e conseqüentemente do tamanho dos poros. É necessário ter em conta que a quantidade de água presente no solo também influencia o crescimento das plantas. Através da água, absorvida pelas raízes no solo, a planta recebe os nutrientes e minerais de que necessita. Uma pequena parte da água é ainda combinada quimicamente para a planta crescer, mas a maioria da água evapora para a atmosfera através dos poros e folhas da planta. Conforme indicado na Figura 4, no caso da água evaporada pelas folhas ser em maior quantidade do que a água recolhida pelas raízes, a planta começa a secar (a murchar, *wilting point*), deixa de conseguir absorver a luz solar e realizar a fotossíntese, pára de crescer e eventualmente morre. No caso de o solo estar no ponto de saturação máxima (*saturation point*), ou seja todos os poros contêm água, a planta vai sofrer de falta de oxigénio (apesar de ter muita água), levando-a assim a uma diminuição da fotossíntese e conseqüente morte da planta. Deste modo para uma planta crescer de forma saudável deve encontrar-se num solo com conteúdo de água perto do ponto máximo (*field capacity*) mas com alguma disponibilidade para que exista oxigénio entre os espaços livres [4].

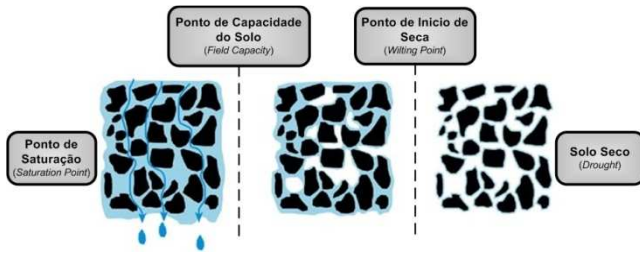


Fig. 4. Estados do solo em interação com a água. [4]

### 3. Módulo de Sensorização

Com o desenvolvimento da tecnologia foram surgindo métodos de medição mais fiáveis, que possibilitaram um maior controlo e conhecimento na agricultura que o efectuado outrora por agricultores, que se baseavam no método visual. Estas novas tecnologias são compostas por um variado número de sensores de medição. Estes sensores medem a quantidade de humidade no solo através de processos electrónicos e magnéticos, sendo elementos relevantes para um planeamento da irrigação. Para medir o conteúdo de água no solo existem alguns métodos práticos. No entanto, no terreno e para se obterem medições desta grandeza em tempo real é necessário utilizar sensores preparados para efectuar este tipo de medição. A medição da humidade do solo por sensores pode ser efectuada de diferentes formas, distinguindo-se assim o tipo de sensor. Os sensores mais comuns no mercado são descritos no ponto seguinte.

#### A. Tipos de Sensores

O conteúdo volumétrico de água num solo pode ser determinado através dos sensores dieléctricos. Neste momento, são comercializados e muito utilizados dois modos distintos de avaliar a humidade do solo por este método, um baseado na frequência (*frequency-domain reflectometry*) e outro no tempo (*time-domain reflectometry*) [5]. O primeiro método utiliza microondas a frequências na ordem dos Gigahertz. Estes sensores medem a constante dieléctrica, pela medição da amplitude e fase a uma determinada frequência. O segundo método determina a constante dieléctrica do solo monitorizando o caminho dum pulso electromagnético que é lançado ao longo de uma guia formada normalmente por um par de varetas inseridas no solo. O pulso é reflectido no final da guia, a velocidade e tempo de propagação são medidos [5].

Os Tensiómetros são os dispositivos mais utilizados e baratos para medir o potencial do solo. São instrumentos simples, que usualmente consistem numa ponta cerâmica (porosa) e um tubo cilíndrico (cheio de água) que liga a ponta cerâmica a um dispositivo de medição (que mede a tensão do solo de forma mecânica, manómetro, ou através de um transdutor) [6]. Estes dispositivos estabelecem uma condição de quase equilíbrio com a humidade do solo, em que a ponta cerâmica porosa actua como uma membrana por onde a água flui. Uma vez colocado no solo, o

tensiómetro é sujeito a um potencial negativo, levando a água a mover-se do seu interior para o meio envolvente, o solo (por efeito capilar ou efeito mátrico). O movimento da água vai criar um potencial negativo (ou sucção) no cilindro do tensiómetro, o qual vai ser registado pelo dispositivo de leitura. No caso contrário, quando o potencial do solo é maior, a água movimentada-se do solo para dentro do tensiómetro, resultando num menor potencial negativo alterando a medição [5]. No entanto a unidade de medida deste tipo de sensores é a tensão do solo em cBar. Este dispositivo tem associado alguma manutenção periódica para manter água no seu interior. Os sensores necessitam ainda de ser removidos do terreno durante o Inverno, pois a água presente no seu interior pode congelar [6].

Os sensores resistivos consistem em eléctrodos encapsulados num determinado material poroso, para que depois de algum tempo atinja um estado de quase equilíbrio com o solo. Os sensores mais comuns são compostos no seu bloco poroso por uma estrutura de nylon, fibra de vidro e gesso. Este método determina o potencial do solo húmido em função da resistência eléctrica medida com uma ponte de corrente alternada, visto que a corrente contínua provoca efeitos de polarização. Para uma medição mais rigorosa, o sinal de saída dos sensores poderá ser corrigido segundo a temperatura de funcionamento. Apesar destes sensores serem bastante baratos, existe necessidade de serem calibrados individualmente [5].

#### B. Sensores Seleccionados

Na pesquisa sobre sensores que se enquadrassem nos requisitos deste trabalho, foram encontrados vários com características distintas e distribuídos por vários fornecedores, tais como: Decagon<sup>6</sup>; Vernier<sup>7</sup>; Delta-T<sup>8</sup>; Spectrum<sup>9</sup>; IMKO<sup>10</sup>. Todos os sensores destes fabricantes realizam a função de ler a humidade do solo, mas têm um custo demasiado elevado para serem seleccionados. Dessa forma, os sensores seleccionados foram o GB-1 da Delmhorst<sup>11</sup> e Watermark da Irrometer<sup>12</sup>, (ver Figura 5), que têm um custo moderado de 11,50€ e 32,75€ respectivamente. Foi ainda seleccionado outro sensor, VG400 da Vegetronix<sup>13</sup>, que não foi utilizado devido à falta de resposta do fabricante em tempo útil.

6 [http://www.decagon.com/soil\\_moisture/](http://www.decagon.com/soil_moisture/)

7 <http://www.vernier.com/probes/sms-bta.html>

8 <http://www.delta-t.co.uk/groups.html?group2005092332137>

9

[http://www.specmeters.com/international/Soil\\_Moisture/WaterScout\\_SM\\_100.html](http://www.specmeters.com/international/Soil_Moisture/WaterScout_SM_100.html)

10

[http://www.imko.de/ENG/index.php?option=com\\_content&task=view&id=11&Itemid=11](http://www.imko.de/ENG/index.php?option=com_content&task=view&id=11&Itemid=11)

11 [http://www.delmhorst.com/products\\_soil.html](http://www.delmhorst.com/products_soil.html)

12 <http://www.irrometer.com/sensors.html#wm>

13 <http://www.vegetronix.com/Products/VG400/>



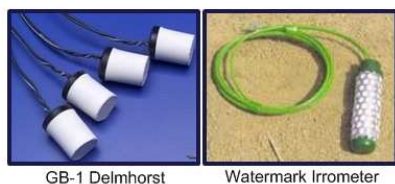


Fig. 5. Sensores utilizados na aplicação.

### C. Leitura do Sinal do Sensor

Como os sensores utilizados são do tipo blocos resistivos, não têm um funcionamento linear como os sensores dielétricos, pelo que é necessário realizar um tratamento do sinal apropriado.

Os sensores escolhidos incorporam normalmente um dispositivo de leitura próprio que inclui toda a instrumentação necessária para a aquisição e condicionamento do sinal. Para este trabalho apenas foram adquiridos os sensores e não o dispositivo de leitura, visto este não se enquadrar no sistema em desenvolvimento, e também caso se adquirisse um destes dispositivos, o custo iria aumentar consideravelmente. De referir ainda que os distribuidores para venderem o sistema de leitura juntamente com os sensores, pouca informação, para além dos princípios básicos, disponibilizam sobre o funcionamento dos sensores.

A forma correcta de medir a resistência destes sensores de bloco resistivo é excitá-los com um sinal de corrente alternada a uma frequência aproximada de 120Hz [7], com o intuito de não polarizar os eléctrodos. Tem-se assim de simular o funcionamento da maioria dos dispositivos de leitura deste tipo de sensores, que utilizam uma onda quadrada de corrente ou tensão alternada, visto esta ser mais fácil de gerar que uma onda sinusoidal pura. Normalmente, o sinal de excitação deve ser simétrico em relação ao potencial da Terra [8]. Com base nesta informação definiu-se um pequeno circuito de condicionamento de sinal (oscilador em anel) onde é gerada uma onda quadrada de 0V a 3V com o auxílio do microcontrolador.

Para se poder medir a resistência do sensor, e segundo a lei de Ohm ( $U = R I$ ), tem de se conhecer a corrente e a queda de tensão nessa mesma resistência. Por isso, uma outra resistência auxiliar ( $R = 10,5\Omega$ ) é necessária no circuito, representado na Figura 6. Esta resistência vai influenciar o valor da resistência do sensor, mas ao ter um valor pequeno não alterará o funcionamento do sistema.

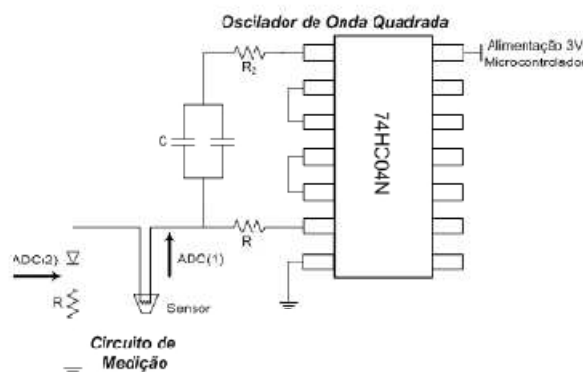


Fig. 6. Circuito de excitação do sensor.

As medições nos pontos ADC(1) e ADC(2) permitem calcular a corrente que passa no sensor através da equação (1), e de seguida a resistência do sensor pela equação (2).

$$I = \frac{V_2}{R} \quad (1)$$

$$R_s = \frac{V_1 - V_2 - 0,7}{I} \quad (2)$$

Onde a queda de tensão no díodo é de 0,7V. Desta forma apenas duas medições são necessárias ( $V_1$  e  $V_2$ ) para obter o valor da resistência do sensor. Como o nome indica, as medições vão ser realizadas por um conversor analógico/digital (ADC10) do microcontrolador a utilizar, que vai digitalizar os valores para de seguida se obter o valor da resistência. É assim necessário obter o valor eficaz das tensões e dessa forma calcular a resistência. Com base numa onda quadrada de *Duty Cycle* de aproximadamente 50%, calcula-se o valor eficaz da tensão no sensor com base na equação (3).

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^2} \quad (3)$$

Tendo o valor da tensão pode-se obter o valor da humidade no solo, medida pelo sensor.

## 4. Módulo de Comunicação

Hoje em dia, cada vez mais as comunicações sem fios (*wireless*) estão a ser a principal escolha entre os utilizadores. É cada vez mais um método de comunicação usual, visto haver possibilidade de ser utilizada em variadíssimos locais, mesmo que nestes seja também possível utilizar comunicações com fios [9].

Para o desenvolvimento da comunicação via rádio é utilizado o protocolo ZigBee. Este padrão destinado a baixa transferência de informação foi desenvolvido com intuito

de alcançar baixo custo, baixo consumo e tamanho reduzido, adequando-se a aplicações domésticas e industriais [10]. Este protocolo de comunicações pode ainda ser implementado em redes com malhas com muitos elementos. Os dispositivos podem ter três funções diferentes: *Coordenador*, elemento que cria e gere a rede e recolhe a informação de todos os dispositivos; *Router*, elemento que permite a comunicação de outros elementos com o coordenador e realiza a respectiva medição; *End Device*, elemento que não tem qualquer responsabilidade na rede, apenas realiza a sua medição e comunica-a ao seu superior hierárquico. Face a este conjunto diferenciado de dispositivos, a rede pode ser formada em três topologias diferentes: Estrela (*Star*), em que cabe ao Coordenador todo o controlo da rede, assumindo um papel central e de comunicação directa com todos os outros dispositivos (que serão *End Devices*); Malha (*Mesh*), cuja topologia os elementos Coordenador e *Router* podem comunicar livremente entre si, permitindo assim a expansão física da rede; *Árvore (Cluster Tree)*, semelhante à topologia em malha, no entanto efectua-se a distribuição de dados e mensagens de controlo numa estrutura hierárquica, onde o Coordenador assume o papel de elemento nuclear [11].

Este sistema de comunicação sem fios (protocolo ZigBee) foi escolhido devido às funcionalidades que se enquadram muito bem nas necessidades do processo. Ou seja, é necessário um sistema de rede de comunicação sem fios de montagem fácil e com uma vida útil grande que devido à baixa taxa de transmissão de dados, potenciam essa funcionalidade. Uma baixa transmissão de dados é suficiente, pois apenas os dados lidos dos sensores no solo serão transmitidos. Os dispositivos irão funcionar em modo de suspensão durante a maior parte do tempo e a uma pré-determinada hora voltar ao estado activo, e aí realizar a leitura dos dados no solo e transmiti-los ao dispositivo seguinte na rede. Para fazer este tipo de redes neste protocolo, utiliza-se o *Z-Accel Demonstration Kit eZ430-RF2480* da Texas Instruments (TI), apresentado na Figura 7. Este módulo de demonstração consiste no hardware necessário para demonstrar a funcionalidade ZigBee com o dispositivo CC2480. Assim, este pacote inclui três *Target Boards* CC2480, um *eZ430 USB Emulator Board* e duas *eZ430 Battery Boards*. Para verificação do funcionamento deste kit de demonstração, que já inclui uma aplicação base (*ZASA - ZigBee Accelerator Sample Application*), é utilizada uma ferramenta de apoio disponibilizada pela TI. Este software, denominado *Sensor Monitor*, permite visualizar a rede em funcionamento tal como adquirir os pacotes de dados (medições da temperatura e energia da bateria, neste caso) transmitidos para o Coordenador pelos outros elementos da rede [12].



Fig. 7. Kit eZ430-RF2480 [12].

A aplicação disponibilizada, ZASA, é fornecida como um projecto exemplo, de referência para os potenciais utilizadores. Como aplicação exemplo, é de fácil inicialização e funcionamento. No entanto, o intuito deste trabalho é adoptar a aplicação já existente e adicionar-lhe alguns recursos, tais como a medição de duas grandezas eléctricas e a alteração do intervalo temporal das medições. Desta forma, breves alterações ao código já existente tiveram de ser efectuadas. Estas ocorreram na camada de aplicação. Isto não exclui no entanto, a necessidade de uma análise a todo o código, para se analisar o modo correcto de alterar a aplicação e conhecer o seu funcionamento. Conforme a Figura 8, e de uma forma sucinta pode-se referir que o código começa com a inicialização indispensável de algumas funções. Depois da inicialização, o programa entra num ciclo indefinidamente onde executará os eventos definidos pelo *hardware* e os eventos de *feedback* do dispositivo de rede, CC2480. Executa de seguida as acções mais visíveis da aplicação como as medições, a retransmissão de mensagens, entre outras.



Fig. 8. Fluxograma da aplicação.

De uma forma mais específica, as alterações ao código da aplicação original mantiveram uma aplicação semelhante (comunicação e gestão da rede), mas com pequenas alterações (medições de sensores). Neste sentido, foi alterada a periodicidade das leituras, visto neste sistema a periodicidade necessita de ser na ordem das horas e não na ordem dos segundos. De seguida, foi configurado o ADC10 (do MSP430F2274) para que realizasse várias aquisições do sinal do sensor (como a excitação deste era através de uma onda quadrada, apenas uma amostragem é insuficiente). Para apoio a estas leituras, uma organização no pacote de dados também foi necessária. Como não podia deixar de ser, visto que se trabalha com dispositivos exteriores, uma nova definição dos portos foi realizada, para se obter a alimentação do oscilador (3V) e se poder obter a aquisição do sinal do sensor em duas fases distintas (ADC(1) e ADC(2)).

Face ao consumo energético, o sistema de comunicações (módulo mais sensível), segundo a TI este cada elemento do módulo pode funcionar aproximadamente um ano com uma pilha AAA. No entanto esta utilização consistem em ter todas as funcionalidades operacionais e realizar uma leitura dos sensores de dez segundos. Visto que na utilização deste sistema a leitura dos sensores pode ser realizado na ordem das horas, o tempo de funcionamento de cada dispositivo com uma pilha aumenta para vários anos.

## 5. Módulo de Análise de Dados

Toda a informação conflui para o módulo de análise de dados, denominado de Unidade Central de Dados (UCD). Depois dos dados serem recebidos, são analisados e seguidamente é elaborado um plano de irrigação.

Este plano de irrigação é formado por duas matrizes, uma de manutenção, outra de actuação, elaboradas através das medições. No caso da matriz de manutenção, utiliza-se a medição da energia das baterias e temperatura efectuada pelo kit, para conhecer se este está a funcionar dentro dos limites de funcionamento para os quais foi dimensionado (2,2V a 3,3V e -10°C a 40°C respectivamente). No caso da tensão de alimentação ou a temperatura de funcionamento sair da gama de valores apresentada, uma mensagem de aviso será gerada na matriz, informando desta forma o utilizador que determinado dispositivo necessita de manutenção, indicado pela sua posição na matriz. Quanto à matriz de actuação, é formada pelos valores medidos pelo sensor no solo, através do qual se vai conhecer o valor da humidade em cada zona (correspondente à posição na matriz). Quando o momento indicado de irrigar ocorrer, esta será influenciada pelos valores calculados nesta matriz.

A variação da humidade consoante as necessidades do solo é feita segundo a periodicidade da irrigação, variando assim a quantidade de água libertada no solo. A estrutura da UCD encontra-se exposta na Figura 9.

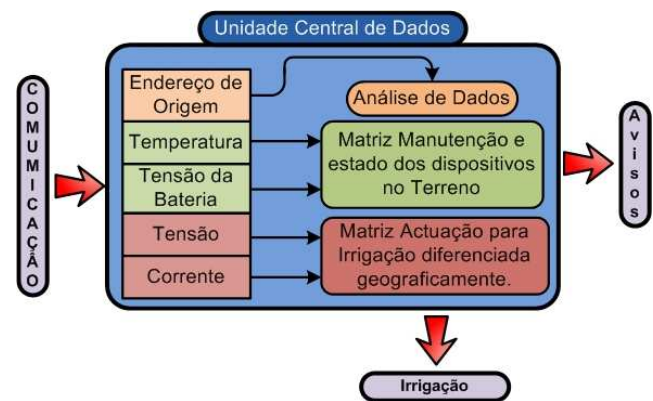


Fig. 9. Estrutura da Unidade Central de Dados (UCD).

## 6. Módulo de Actuação da Irrigação

O módulo de actuação da irrigação é aquele por onde a água circula e efectua a irrigação no local necessário. Retira a água de um reservatório, por meio de bombas de água, ou da rede de distribuição de água, por válvulas, que é depois distribuída através de tubagens, até aos locais onde se deseja irrigar. O bloco de actuação consiste apenas em receber a informação da interface de actuação no módulo UCD e desse modo vai controlar qualquer sistema de irrigação já implementado ou a implementar. Este módulo como é exterior ao sistema pode funcionar segundo vários métodos, como: irrigação gota a gota, por aspersores, no subsolo, por regos, por cheia, etc. Desta forma não se define um novo módulo, mas liga-se o sistema a qualquer método de irrigação desejado, ganhando uma aplicabilidade muito interessante. Uma alteração a implementar em sistemas já existentes consiste na divisão da área a irrigar em zonas diferentes, para diferenciar a actuação consoante os diferentes resultados na necessidade de água. O objectivo de dividir uma área agrícola em pequenas zonas independentes é ganhar resolução na irrigação, não sendo necessário regar toda a área agrícola da mesma forma, levando assim a uma esperada poupança energética.

Existem no entanto factores a considerar na implementação deste módulo, tais como: a duração do ciclo de irrigação [4]; o intervalo entre os ciclos de irrigação [4], que são definidos pelo utilizador em função da orografia do terreno; da textura do solo e da cultura que está plantada; determinação e divisão das zonas de irrigação, que devem ser definidas com cuidado (tipo de cultura, método de irrigação, relevo do terreno, etc.); a localização e volume da reserva de água a utilizar na irrigação [4] ou o preço da

água da rede geral de distribuição. Todos estes factores pressupõem informação que é necessário adquirir sobre o clima, o solo, as plantas a irrigar e o local, com especial ênfase à topografia [4].

## 7. Análise de Resultados

### A. Sensores

Os sensores adquiridos foram as sondas Watermark da Irrrometer e a GB-1 da Delmhorst. Estes possuem um funcionamento muito semelhante, baseado na variação da resistência em função da humidade. As diferenças encontram-se principalmente ao nível da protecção do exterior, em que o Watermark é muito mais robusto que o GB-1.

Numa fase inicial foi estudado o comportamento dos sensores face a sua alimentação segundo o circuito da Figura 1. Os valores da tensão de entrada e da tensão de saída do sensor GB-1 são medidos. Segundo as equações (1) e (2) obtêm-se o valor da tensão em função da humidade. Observa-se pelos resultados, que para este sensor, com alimentação constante, a perda sucessiva de humidade ao longo do tempo é medida correctamente, ou seja, o aumento de resistência, até ao último dia onde se efectua uma rega e rapidamente, em questão de minutos, a resistência diminui indicando o aumento de humidade.

Para verificar se estes resultados eram fidedignos, compararam-se com outros dispositivos de medição noutra teste. Os sensores utilizados foram um outro sensor de gesso e dois tensiómetros (ver Figura 10), fazendo uso de um dispositivo de leitura para os sensores de bloco de gesso. No dia de colocação de todos os sensores regou-se uma planta até, visualmente, o solo estar saturado. Nos dias seguintes, a constante perda de humidade do solo foi medida pelos sensores. Analisando os resultados, observa-se que ambos os sensores de gesso GB-1 não realizaram medições correctas. Para além de se obterem valores pouco constantes, era necessário fornecer o sinal de excitação ao sensor durante algum tempo para que a medição por este fornecida estabilizasse, o que é inconveniente neste sistema. Este fenómeno já tinha ocorrido no teste anterior. Quanto ao outro sensor de gesso, apesar de nos primeiros dias indicar pouca variação na humidade, pôde-se observar que nos últimos dias apresentava já a variação da mesma, apesar das suas leituras apresentarem valores elevados quando comparados com os obtidos com a sonda Watermak e com o Tensiómetro 1. Quanto ao Tensiómetro 2, não forneceu leituras fidedignas. Finalmente, analisando os dois últimos dispositivos, Tensiómetro 1 e o sensor Watermak, observa-se que estes tiveram comportamentos

dentro do esperado, pois com o passar dos dias, a humidade diminuiu e a tensão do solo aumentou. Estes dois sensores apresentam uma evolução das suas medições muito similar. Concluindo, em relação aos sensores de gesso que não forneceram medições fiáveis, uma possível causa para o seu mau funcionamento foi a constante utilização e experimentação com uma onda quadrada positiva (polarizando-os). Recomenda-se assim em trabalho futuro, a utilização de uma onda quadrada simétrica para alimentação dos sensores, ou simplificando o sistema com a utilização de um sensor dieléctrico, que tem um funcionamento linear face ao sinal de entrada e de saída.

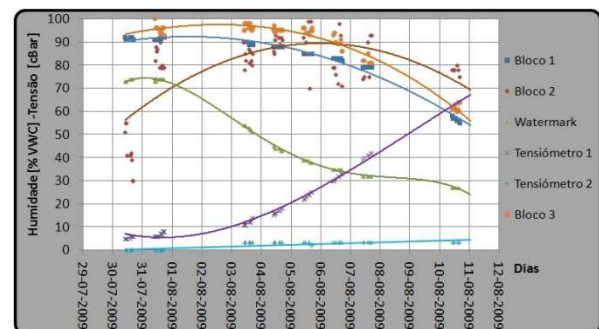


Fig. 10. Gráfico de comparação dos resultados experimentais das medições da humidade do solo.

### B. Comunicação

A primeira fase de teste do sistema de comunicação (após a sua aquisição) baseou-se no teste indicado pelo fornecedor para verificar se o kit se encontrava em adequadas condições de funcionamento (com apoio do *software* de interface *Sensor Monitor*). Após breves momentos de inicialização, a rede ficou definida e as trocas de informação entre os elementos iniciou-se de forma a transferirem as leituras da temperatura e energia da bateria ao Coordenador da rede.

Outro teste realizado ao sistema de comunicações, assentou na necessidade de estudar os pacotes de comunicação que este sistema trocava no seu funcionamento. Com a utilização da ferramenta *Packet Sniffer*, foi possível observar e analisar os fluxos de comunicação do sistema.

Tendo em conta as alterações necessárias, realizou-se um teste em que se alterou o intervalo de tempo entre as medições e aumentou o pacote de dados das medições, medindo-se uma grandeza exterior ao *kit*. O objectivo deste teste consistiu na realização de várias amostras de um mesmo valor. Essas medições são enviadas ao Coordenador



e este por sua vez envia-as à UCD, onde os cálculos da humidade serão efectuados. Assim e face a estas alterações no módulo de comunicação, os resultados dos testes foram positivos, visto ter-se conseguido com sucesso realizar a aplicação desejada que incluía a comunicação dos novos dados, observados através do *Sensor Monitor*.

### C. Aspectos Económicos

O desenvolvimento de um sistema de baixo custo é um dos objectivos primordiais deste trabalho. Obteve-se um custo, para um sistema de dois elementos de campo e um Coordenador, de 143,18€, conforme indicado na Tabela 1. Corresponde a um investimento controlado para a implementação de um sistema que efectua uma gestão eficiente da irrigação e desse modo oferece um retorno económico que certamente rentabilizará os custos necessários.

**Tabela 1. Tabela de custos.**

| Módulo                              | Preço          |
|-------------------------------------|----------------|
| Sensorização (sensor + electrónica) | 66,58€         |
| Comunicação (eZ430-RF2480)          | 62,50€         |
| UCD (processador + interface)       | 14,10€         |
| <b>Total</b>                        | <b>143,18€</b> |

Face à aplicabilidade no mercado deste sistema, existe cada vez mais sensibilidade em utilizar métodos sem prejuízo do meio ambiente e que diminuam o gasto energético. A estes factores adiciona-se a execução de uma tarefa automaticamente (sem qualquer trabalho humano). Caso se possa garantir que é obtido lucro financeiro, quer pela poupança energética, quer pela poupança de recursos, associadas a uma potencial melhoria da qualidade do produto cultivado, então estão reunidas condições que tornam este sistema com aplicabilidade no mercado. É importante salientar que este tipo de sistemas tem aplicação real no nosso mercado, já que existem empresas que disponibilizam sistemas semelhantes. Todos estes factores demonstram a cada vez maior aplicabilidade de sistemas deste tipo.

## 8. Conclusões

Este trabalho é resultado de uma combinação de vários módulos diferentes, com componentes distintos. Assenta no objectivo geral de monitorizar a humidade do solo e segundo um esquema de comunicações sem fios com o intuito de elaborar um plano eficiente de controlo da irrigação.

Devido ao elevado número de factores presentes numa área agrícola (tipo de cultura, relevo, reserva de água, etc.), existe um número de variáveis (dispositivos de actuação, número de elementos de campo, topologia da rede sem fios, periodicidade das leituras, etc.) que só devem ser totalmente definidas após o conhecimento desses mesmos factores. A adaptabilidade deste sistema reside na independência de qualquer sistema de irrigação em particular, podendo assim ser implementado em qualquer sistema já existente ou a construir. Conclui-se, desta forma, que o sistema tem uma grande aplicabilidade e versatilidade, pois nenhum dos seus componentes apresenta qualquer restrição aos factores acima mencionados. É assim um sistema com uma implementação fácil e adaptável a qualquer situação presente no terreno, não tendo necessidade de ligação dos seus elementos a uma torre e dessa forma condicionados por fios, facilitando o livre acesso na área agrícola. É aplicável em qualquer terreno e em qualquer cultura face à sua portabilidade. É também pouco intrusivo visualmente, pois o seu tamanho é reduzido. Uma das suas grandes vantagens, em relação aos demais referidos neste trabalho, consiste na possibilidade de se poder adicionar a qualquer instante um novo dispositivo de medição no campo. Este é reconhecido automaticamente pela rede já criada e entra em funcionamento, iniciando imediatamente as suas funções, medição da humidade do solo e comunicação à UCD. Este factor é de extrema importância, visto ser possível alterar a área monitorizada sem qualquer impedimento. Da mesma forma, é possível retirar um elemento da rede a qualquer instante, permitindo efectuar, sempre que necessário, manutenção (sem necessidade de desligar o sistema).

Tendo em conta o factor económico, este sistema de monitorização da humidade do solo, foi definido com baixo custo (tabela 1) que facilita a obtenção de ganhos se um certo investimento for realizado. Cumpre-se assim um dos principais objectivos propostos para este trabalho.

É também um sistema de baixo consumo de energia, como foi inicialmente ambicionado. O *kit* de comunicação tem um funcionamento totalmente baseado na poupança energética, já que, entre momentos de medição entra num estado de suspensão que é caracterizado por baixo consumo energético. O próprio protocolo de comunicação é focado na baixa transmissão de dados para diminuir o consumo de energia. Neste sentido, é definido que qualquer cálculo necessário é realizado na UCD, de forma a não sobrecarregar o processamento dos dispositivos de campo. Todos os componentes de condicionamento de sinal são passivos, não requerendo assim qualquer alimentação.



Quanto aos sensores de humidade do solo, é importante referir que de todos os sensores utilizados, a sonda Watermark é a mais robusta e indicada para estas funções. Foi o sensor que melhor comportamento teve nos testes experimentais. No entanto, face ao tipo de excitação torna-se algo difícil a utilização de um circuito de alimentação e da mesma forma um circuito de condicionamento de sinal para ler o sinal de saída dificultando a sua aquisição. Resumindo, conclui-se que sensores dieléctricos têm uma mais fácil aplicabilidade neste sistema, apesar de normalmente terem um custo maior. No entanto, existem já no mercado sensores deste tipo mais acessíveis, como o caso do sensor VG400 da Vegetronix, que pelas suas características se julga também adequado para este sistema.

Neste sistema, o processo de endereçamento e localização de cada elemento da rede é realizado manualmente. Assim, pretende-se como trabalho futuro, a automatização deste processo para facilitar a elaboração do mapa de humidade. Este constrangimento pode ser resolvido com a inclusão de um sistema GPS (*Global Positioning System*) em cada dispositivo.

Uma evolução também a ter em conta consiste na inclusão, em cada elemento de campo, de um método de microgeração de energia de forma a recarregar as baterias, diminuindo a periodicidade da manutenção e aumentando a vida útil dos dispositivos.

Outra vertente do trabalho residirá na elaboração de uma UCD mais atractiva ao utilizador, onde este possa aceder aos dados lidos e alterar definições de funcionamento do sistema.

Para finalizar, a realização de estudos de campo será uma boa ferramenta para provar e testar este sistema em todas as vertentes dimensionadas neste trabalho. Face à implementação do sistema numa área agrícola, resultados como a capacidade de alcançar baixo consumo energético, a diminuição na utilização da água, a obtenção de lucros e até melhoria na qualidade da cultura agrícola são factores que quando comparados com um sistema que funcione segundo um método de gestão de irrigação simples, tomariam um outro peso neste trabalho. Mas factores como analisar o funcionamento do sistema face a muitos dispositivos de medição no terreno ligados na mesma rede, a distância média a que estes deverão estar colocados para conseguirem transmitir dados sem constrangimentos de sinal até à unidade central e capacidade de resistirem às normais diferenças térmicas entre o dia e a noite, são detalhes importantes para uma optimização do funcionamento deste sistema.

## Referências

- [1]. *Água, um recurso natural em risco de escassez*. Rianço, Marisa. 2005.
- [2]. Roque, Mercês, Ferreira, M. Ângela e Castro, Adalmiro. *Geologia 12.º Ano*. s.l. : Porto Editora, 2001.
- [3]. Foth, Henry D. *Fundamentals of Soil Science*. s.l. : Jonh Wiley & Sons, 1990.
- [4]. DTI. *Public Health Engineering - Irrigation*. 2004.
- [5]. World Meteorological Organization. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. 2008.
- [6]. *Soil Moisture Basics*. Irrrometer Company, Inc. 2008.
- [7]. *Watermark Soil Moisture Sensor*. Irrrometer Company, Inc.
- [8]. Institute of Hydraulics and Rural Water-Management, University of Agricultural Sciences Vienna. *An Electronic Interface for Watermark and Gypsumblock Sensors for Use with Standard Dataloggers*. 2002.
- [9]. Labiod, Houda, Afifi, Hossam e Santis, Constantino De. *Wi-Fi, Bluetooth and WiMax*. s.l. : Springer, 2007.
- [10]. Ergen, Sinem Coleri. *ZigBee/IEEE 802.15.4 Summary*. 2004.
- [11]. *Módulos de Comunicação Wireless para Sensores*. Da Silva, André Teixeira. s.l. : Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [12]. Texas Instruments. *User's Guide EZ430-RF2480*. 2008.
- [13]. Texas Instruments. *Measuring the Power Consumption on EZ430-RF2480*.