



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR
Faculdade de Engenharia

Gestão e Monitorização da rega em produção agrícola com base em Autómatos Programáveis

Nuno Simões Martins

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Electrotécnica e de Computadores
(2º ciclo de estudos)

Orientadora: Prof.^a Doutora Maria do Rosário Alves Calado

Covilhã, Maio de 2016

Agradecimentos

Esta dissertação que agora apresento não teria chegado ao fim sem o apoio e estímulo de muitas pessoas, que me ajudaram a ultrapassar algumas barreiras que foram aparecendo ao longo do caminho, e assim tornaram este trabalho mais rico e possível.

Presto a todos os que contribuíram de alguma forma para o trabalho nesta dissertação o mais profundo agradecimento, sendo este dirigido em primeiro lugar à minha orientadora científica Professora Maria do Rosário Alves Calado, pela dedicação, disponibilidade e competência demonstradas ao longo desta dissertação. Agradeço também ao Professor Doutor Pedro Dinho pela disponibilização de equipamento laboratorial e pelo apoio prestado nos ensaios no laboratório de termodinâmica.

Um agradecimento especial a toda a minha família, especialmente ao meu afilhado Mathis e aos meus pais, José Carlos e Saudade de Jesus, pela sua dedicação e apoio durante todo o percurso académico.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos e companheiros de curso que me ajudaram a ultrapassar mais esta etapa da minha vida. Dar um especial agradecimento ao João Lourenço, ao Eng. David Martins e ao Eng. José Pombo que tantas horas dedicaram para me ajudar e contribuir nesta minha etapa.

Por último não posso deixar de agradecer a todos os amigos que de uma maneira ou de outra estiveram presentes durante a elaboração desta dissertação, realçando o Eng. Rui Soares.

Resumo

O processo de irrigação na agricultura apresenta-se como factor fundamental para alcançar uma boa evolução e rendimento das culturas agrícolas. Um sistema automático que controle o fornecimento de água, na quantidade certa a fornecer à planta e no momento certo, é essencial para a saúde da planta e para a produção da mesma a longo prazo. Nesta dissertação apresenta-se um protótipo de um sistema capaz de controlar o processo de irrigação de uma forma autónoma. Com a capacidade de aquisição das condições de temperatura e de humidade do meio, é então possível que o sistema, comandado por um autómato, entregue a quantidade adequada de água a cada momento, fazendo para isso várias leituras em intervalos diferentes decidindo qual o período mais adequado à irrigação tendo em conta a temperatura do solo. O sistema inclui ainda um sistema de comunicação sem fios utilizado como canal de comunicação entre as placas sensoriais e a placa mestre, e que permite ao utilizador uma fácil instalação e movimentação dos sensores ao longo das plantações.

Em primeiro lugar foram analisados os sensores de humidade e de temperatura por forma a estudar o melhor processo de calibração e dimensionar a componente de *hardware* responsável pela recolha de dados, tendo como objectivo que na placa sensorial ocorra o mínimo de processamento possível, promovendo assim a poupança de energia desejável para um módulo que é alimentado a bateria.

Seguidamente foi desenvolvida a unidade central de dados, com base num autómato da Siemens, o S71200, que comporta todo o processamento e cálculo associados aos sensores, e executa o algoritmo de decisão acerca do processo de irrigação. O autómato também disponibiliza uma página *web* personalizada para interagir com o produtor.

Por fim apresenta-se um estudo relativo aos custos associados a um sistema destes, às suas vantagens e os resultados de um questionário dirigido a alguns agricultores com o objectivo de avaliar o interesse no protótipo aqui apresentado.

Palavras-chave

Temperatura do solo; humidade do solo; Autómatos; Irrigação autónoma.

Abstract

The irrigation procedure in agriculture is a key factor in achieving good yields and plant performance. An automatic system of irrigation management is essential to longterm plant health. This dissertation presents a system capable of controlling an irrigation system autonomously. By acquiring humidity and temperature data, the system is capable of deliver proper quantity of water at the most advisable period, through the usage of a Programmable Logic Controller, optimising the water supply. The project includes wireless communication between the sensors boards and the main control board allowing the user to easily place the sensors wherever he wants.

The soil moisture sensor and the temperature sensor were studied to be calibrate and to design the hardware (sensorial module) which is responsible for collecting data. All system data processing is made at the central control unit to save power in the sensorial module.

The central control unit comprises a S7-1220 PLC from Siemens and the PLC is responsible for transmitting a reading order to the sensors and receiving the acquired data from the sensors, for processing all data and for the execution of the algorithm. The PLC also provide the information to the user via a webpage.

Finally, it is presented a study concerning the costs of the system and the results of a questionnaire that was given to some farmers.

Keywords

soil temperature; soil humidity; PLC; autonomous irrigation

Índice

Lista de Figuras.....	xv
Lista de Tabelas	xix
Nomenclatura.....	xxi
1. Introdução	23
1.1. Enquadramento do Tema.....	23
1.2. Objectivos.....	24
1.3. Estado da arte	24
1.4. Descrição do Sistema	26
2. Módulo sensorial	29
2.1. Sensor humidade.....	29
2.1.1. Descrição Geral.....	29
2.1.2. Watermark Soil Sensor	31
2.1.3. Calibração do sensor	32
2.1.4. SMX- Electrical Interface for Watermark	34
2.1.5. Simulação e análise prática do circuito SMX adaptado.....	36
2.1.6. Conversão de potencial matricial [<i>kPa</i>] para teor de humidade [%]	40
2.2. Sensor de temperatura	43
2.2.1. Descrição Geral.....	43
2.2.2. 200 TS- Temperature Sensor	45
2.2.3. Leitura de um NTC com um microcontrolador	48
2.3. Comunicação sem fios	50
2.4. Desenvolvimento de <i>hardware</i>	51
2.4.1. Placa mestre	51
2.4.2. Placa sensorial.....	52
3. Unidade Central de Dados (UCD)	55
3.1. Composição da UCD	55
3.1.1. Autómatos	55
3.1.2. Componentes e funcionalidades.....	57
3.1.3. Ligações dos componentes de rega	59
3.2. Tratamento de dados e algoritmo	60
3.3. Programação do autómato	61
3.3.1. Estrutura do programa	61

3.3.2. Página Web.....	64
3.3.3. Validação Experimental.....	66
4. Estudo económico	67
4.1. Custo do Sistema	67
4.2. Aplicabilidade no Mercado	69
5. Conclusões.....	73
5.1. Sugestão para trabalhos futuros	74
Referências bibliográficas	77
Anexo I	79
Anexo II: Questionário	81
Anexo III: Artigo Científico.....	85

Lista de Figuras

Figura 1.1 Esquema ilustrativo dos blocos do sistema	26
Figura 2.1 Watermark Soil Sensor 200 SS.....	31
Figura 2.2 Curva característica do sensor [19]	33
Figura 2.3 Circuito SMX original [20].....	34
Figura 2.4 Circuito adaptado do “SMX- Electrical Interface for Watermark”	35
Figura 2.5 Simulação através a ferramenta Multisim	36
Figura 2.6 Breadboard com circuito.....	38
Figura 2.7 Janela do programa associado ao PicoScope	38
Figura 2.8 Relação entre a resistência e o potencial matricial para 3 tipos de testes.....	40
Figura 2.9 Estados do solo	41
Figura 2.10 Curvas características, NTC e RTD [25].....	43
Figura 2.11 Representação gráfica dos limites extremos da temperatura no solo	44
Figura 2.12 Sensor 200 TS	45
Figura 2.13 Termistor Calculator	46
Figura 2.14 Curva característica do 200TS	47
Figura 2.15 Esquema da ponte de Wheatstone	48
Figura 2.16 Divisor de tensão	48
Figura 2.17 Módulo nRF24L01 (1) com antena associada (2)	50
Figura 2.18 Esquema de comunicação	51
Figura 2.19 Placa mestre	52
Figura 2.20 Protocolo de comunicação	53
Figura 2.21 Placa sensorial.....	54
Figura 2.22 Placa Sensorial + Pannel fotovoltaico.....	54
Figura 3.1 Gama SIMATIC S71200 da Siemens [34]	57
Figura 3.2 Esquema simples das ligações ao autómato.....	59
Figura 3.3 Ilustração da condição de rega	60
Figura 3.4 Tia Portal	61
Figura 3.5 Bloco Main.....	62
Figura 3.6 Algoritmo de leituras de bits	63
Figura 3.7 Fluxograma geral	64

Figura 3.8 Página Web65

Figura 3.9 Configuração experimental, 1-UCD, 2- Placa sensorial, 3-Sensores66

Figura 3.10 Tabela de parâmetros do sistema66

Figura 4.1 Gráfico sobre o interesse em adquirir o sistema70

Lista de Tabelas

<i>Tabela 2.1 Valor da resistência do sensor em função da potência.....</i>	<i>33</i>
<i>Tabela 2.2 Tabela para a determinação de P (kPa)</i>	<i>37</i>
<i>Tabela 2.3 Valores lidos a partir do circuito, aplicando valores resistivos equivalentes ao sensor (Re)</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 2.4 Valores lidos a partir do circuito, aplicando o sensor de humidade</i>	<i>39</i>
<i>Tabela 2.5 Condições do teor volumétrico de água no solo (humidade [%]) versus textura do solo</i>	<i>42</i>
<i>Tabela 3.1 Modelos de CPU quanto à alimentação e às entradas / saídas.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabela 4.1 Preços dos componentes por unidade e de um KIT10.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabela 4.2 Preço final do sistema</i>	<i>68</i>

Nomenclatura

AC - Alternating current;

CAD/CAE - Computer-aided design / Computer-aided engineering;

DC - Direct current;

ESA - European Space Agency;

GPRS - General Packet Radio Service;

PIVOT - Tomada central de água giratória com aspersores ou microjactos;

PLC - Programmable logic controller;

RLY - Relé;

SMOS - Soil Moisture and Ocean Salinity;

SMAP - Soil Moisture Active Passive;

UCD - Unidade Central de Dados;

WSN - Wireless sensor network.

1. Introdução

Neste capítulo introdutório é dada uma ideia geral do trabalho desenvolvido nesta dissertação.

1.1. Enquadramento do Tema

Esta dissertação tem como objectivo o estudo, desenvolvimento e a criação um sistema que, tendo como base as várias áreas do curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores, tais como automação, electrónica, aquisição de dados, consiga controlar e gerir as necessidades de água em agricultura tendo em conta as condições físicas do meio e as exigências biológicas das plantas.

A água apresenta-se como um recurso de grande importância quer a nível ambiental, quer pelo valor económico que representa nas produções agrícolas, essencial para a obtenção de uma plantação saudável e de maior qualidade. Quando um terço da água consumida na Europa tem como destino a agricultura, quando se verifica um crescente consumo da mesma noutros sectores e quando, em virtude das alterações climáticas, a incerteza da reposição deste bem essencial é cada vez maior, é cada vez mais difícil obtê-la nas quantidades desejáveis, sendo necessário portanto otimizar o seu consumo. No que toca ao sector agrícola, é necessário tornar os métodos de irrigação mais eficientes incentivando o desenvolvimento de sistemas que garantam aos humanos um bom planeamento e eficácia dos sistemas de rega para assim se poder reduzir a quantidade de água consumida na irrigação, tão elevada nos países do sul da Europa onde se inclui Portugal. O sector agrícola nestas regiões tem normalmente incentivos provenientes de intervenções políticas, como é o caso dos novos fundos do Quadro Portugal 2020, criados com o objectivo de conseguir diminuir a quantidade da água doce consumida, ter uma exploração que vá ao encontro de métodos que contribuam para o aumento da eficácia da rega e garantam uma menor poluição da mesma para que esta possa ser aproveitada para outros fins. [1]

Neste sentido, e para o desenvolvimento desta dissertação, foi criada uma parceria com a empresa Agrodom Smart Lda, empresa recente, situada na cidade da Covilhã e com interesses nos dois ramos em causa, o ramo da Agronomia e o ramo da Electrotécnica. A mesma demonstrou interesse no desenvolvimento prático desta dissertação e, portanto, na criação de um protótipo que se aproximasse às ideias desenvolvidas no parágrafo anterior, a optimização e o planeamento da irrigação.

No seguimento desta parceria, visitaram-se algumas das produções ao encargo da Agrodom Smart Lda, sob gerência do Engenheiro Agrónomo da empresa, com o objectivo de fazer um levantamento das condições em que o sistema se deve enquadrar e de como deverá operar. De uma forma genérica este sistema tem que ter a capacidade de fazer uma leitura contínua dos valores de humidade e de temperatura do solo, tomar uma decisão independente da presença do produtor e assim accionar as electroválvulas e a bomba de rega, tendo autonomia suficiente para dispensar o uso do relógio, da bomba e do programador associado às electroválvulas.

1.2. Objectivos

Como se mencionou no ponto 1.1 o objectivo da dissertação passa por desenvolver um sistema de gestão eficiente de irrigação, indo ao encontro e aprofundando métodos e conhecimentos adquiridos durante o leccionamento das unidades curriculares enquadradas.

Estruturalmente podem definir-se três campos, o campo da tecnologia dos módulos, o campo da decisão e acção dos módulos e o campo de enquadramento dos mesmos num meio onde é necessário ter em conta a sua especificidade, assim como o tipo de cultura e exploração.

Faz então parte do objectivo da dissertação apontar, no campo da tecnologia, o tipo de Unidade Central de Dados de processamento a utilizar, o tipo de sistema de sensores a aplicar, o módulo de leitura dos sensores e comunicação com a Unidade Central de Dados e o tipo/mecanismo de comunicação. No campo da decisão e acção definir, face a uma chegada de informação, qual o tipo de resposta que o sistema deverá adoptar. Por fim, a definição dos dois campos apontados deverá ter em conta um estudo prévio das condições do terreno em que é aplicado, da especificidade do utilizador e do tipo de cultura.

1.3. Estado da arte

Em [2] podemos ler uma boa revisão sobre a bibliografia existente acerca dos sensores utilizados na medição da quantidade de água no solo que foram surgindo desde a década 70. Com desenvolvimento destes sensores, surgem os primeiros sistemas de automatização de rega por *Phene and Howell (1984)*.

Smajstrla and Locascio (1996) concluíam que usando tensiómetros (referidos mais a baixo), associados a um dispositivo electrónico que inclui um relógio que dispara quando a quantidade de água desce abaixo de um certo nível, conseguem reduzir a irrigação numa cultura de tomate em 40-50% sem diminuir a produtividade. Muñoz-Carpena et al. (2005) verificaram que tanto o tensiómetro como o bloco resistivo (também referido mais à frente), associados a sistemas de irrigação gota a gota, permitem uma poupança de água quando comparado com as práticas convencionais de rega utilizadas por agricultores típicos [3].

Estes dispositivos de controlo de rega estão ligados, a partir de condutores, aos sensores e às electroválvulas sendo alimentados por baterias. Em 2010 é publicado um artigo na conferência *International Asia Conference on Informatics in Control* em que é apresentado um dispositivo deste tipo onde, a partir da ligação a um painel fotovoltaico, se põe termo ao problema dos gastos de baterias nestes sistemas [4].

Nos anos seguintes há uma grande proliferação de artigos de discussão nesta área, onde se chegam a incluir redes de sensores sem fios (WSN) como veículo de comunicação entre os rádios ZigBee e um computador, que permitem assim o acesso aos valores dos sensores via wireless, numa plataforma online, através do serviço GPRS. O serviço GPRS disponibiliza assim ao produtor a possibilidade de monitorizar a humidade do solo através do seu telemóvel [5] ou através de uma página *web* [6]. Tendo acesso on-line às informações sobre o estado do solo das culturas surge a agricultura de precisão, por exemplo em [7] apresenta-se um sistema que junta o sensor de humidade Watermark a um ZigBee e que comunica com o computador através do protocolo RS232.

Em [8] foi aplicado o controlo fuzzy aos dados disponibilizados através da rede de sensores sem fios para que o próprio dispositivo decida o período de tempo em que a electroválvula estará aberta e assim conseqa controlar a quantidade de água a usar na rega, conhecidos os valores de humidade. Em [9] temos um trabalho bastante desenvolvido acerca da aplicação de recolha de dados através de sensores em rede que comunicam com uma central que gere a irrigação. Para a arquitectura de rede de sensores sem fios utilizaram os ZigBee's e recorrem a um algoritmo a partir de um microprocessador (central) que actua nas electroválvulas de rega. Esta central também disponibiliza os dados recolhidos numa aplicação *web* com ajuda de módulos GPRS. Os autores também concluíram, depois de 136 dias de testes, que conseguem ter uma poupança de 90 % de água comparando com a rega tradicional.

Até agora só se falou em algoritmos para controlo de rega que incluíam electroválvulas e tubagem para o transporte de água até à planta, existem no entanto sistemas de rega através de PIVOT's que consistem em chuveiros associados a um meio de transporte que os

deslocarão ao longo do terreno. Para este método de irrigação, pode ler-se em [10], recorre-se a um método de controlo dos PIVOT's que tem por base um sistema de coordenadas de GPS e o tempo de rega através de um algoritmo que associa a humidade e a temperatura do solo. Estas informações (coordenadas e tempo de rega) são enviadas ao PIVOT, pela estação base, que recebe valores de temperatura e de humidade do solo das estações sensoriais colocadas no terreno.

Acima foram apenas apresentados sistemas que para a monitorização da humidade utilizam sensores, mas como se pode ler em [11, 12], existem satélites que podem ser utilizados para obter dados relativos à humidade do solo e à meteorologia do local que se pretende monitorizar. Os artigos fazem referência ao satélite SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) que pertence à ESA (Agência Espacial Europeia) e ao satélite SMAP (Soil Moisture Active Passive) que é operado pela NASA.

1.4. Descrição do Sistema

Para que o sistema garanta um processo de irrigação mais próximo daquele que se considera o processo ideal, este deverá conter dois grandes blocos que, interligados em círculo (relação bidireccional), actuam em momentos distintos garantindo assim a eficácia de todo o processo.

Os blocos encontram-se divididos em quatro sub-blocos que representam melhor as sub-áreas do próprio sistema como se pode verificar na Figura 1.1.

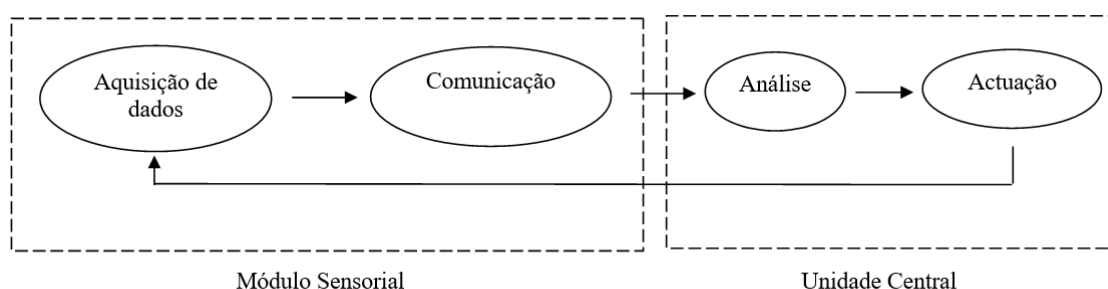


Figura 1.1 Esquema ilustrativo dos blocos do sistema

Conforme ilustrado na Figura 1.1, o sistema encontra-se representado a partir de dois blocos, sendo que o primeiro corresponde ao Módulo Sensorial, e o segundo bloco corresponde à Unidade Central de Dados.

O Módulo Sensorial representa a parte do sistema responsável pela recolha de dados no terreno que é feita mediante o uso de duas tipologias de sensores, já aplicados em sistemas equivalentes na indústria agrícola e que foram adquiridos à Watermark (sub-bloco Aquisição de dados), e pelo processo de transmissão dos mesmos, sub-bloco onde é feito o envio dos dados adquiridos através de ondas rádio (sub-bloco Comunicação) para o segundo bloco.

O segundo bloco, Unidade Central de Dados, tem como objectivo a manutenção de todos os cálculos necessários à interpretação dos dados recebidos, interpretação essa necessária para uma tomada de decisão que é feita tendo por base o algoritmo concebido para o efeito, desenvolvido a partir do conhecimento dos profissionais do ramo da agricultura e adaptado aos tipos de culturas (sub-bloco Análise). Por fim essa tomada de decisão gera uma resposta do sistema com acção directa na bomba de rega e nas electroválvulas, durante o período de tempo determinado no sub-bloco anterior, sub-bloco Actuação. Como Unidade Central de Dados propõe-se o uso de um autómato alimentado a corrente AC ou DC, sendo que o tipo de alimentação é determinado pelo sistema de alimentação já concebido para a bomba, AC caso a bomba seja alimentada por uma corrente alternada ou DC caso a bomba seja alimentada por uma corrente contínua típica dos sistemas de aproveitamento fotovoltaico.

Com o propósito de melhorar a gestão da rega, os módulos serão colocados conforme a divisão do terreno, por parcelas, em que a cada uma destas estará associada uma electroválvula independente, podendo ser individualmente accionada conforme necessite de mais ou menos água. Esta divisão em parcelas é determinante por exemplo para terrenos inclinados, que depositam água nas zonas mais baixas, ou mesmo em terrenos grandes onde o tipo do solo poderá diferenciar-se e assim comportar diferentes tipos de absorção de água.

2. Módulo sensorial

Neste capítulo apresenta-se de forma mais detalhada todo o sistema de sensores, que se enquadra, como verificado no capítulo anterior, no módulo sensorial, e que serve de fornecedor de informação à Unidade Central de Dados recolhida a partir de um conjunto vasto de sensores instalados no solo.

Depois de um processo inicial de pesquisa, verificou-se que, para o funcionamento do sistema, essencialmente será necessária a leitura de valores de temperatura e humidade do solo. No entanto outros dados, como por exemplo o pH, poderiam fazer parte da análise mas, por razões económicas, apenas serão usados os dois tipos referenciados e com maior importância num processo de boa gestão de uma rega.

2.1. Sensor humidade

2.1.1. Descrição Geral

Os sensores de humidade têm como objectivo medir o nível de humidade presente no solo num dado momento e podem apresentar diferentes tipologias quanto à sua constituição e funcionamento. A humidade no solo pode então ser determinada a partir de dois métodos, um que tem por base o potencial de água no solo (Ψ_t), e outro que tem por base o conteúdo (volume) de água presente no solo, sendo que neste trabalho utiliza-se o primeiro método referido.

Para aplicar este método e assim determinar o potencial de água no solo, temos de seleccionar um de entre os diversos tipos de sensores existentes no mercado, entre sensores dos tipos blocos resistivos, psicómetros, piezómetros ou tensiómetros [12][13].

Os blocos resistivos consistem em eléctrodos cuja resistência varia conforme o conteúdo de água no solo, encapsulados num material poroso.

Os psicómetros, usados sobretudo em ambiente laboratorial, são constituídos por um mini termopar colocado dentro de um compartimento com uma parede porosa. A variação do potencial é medida conforme a variação do arrefecimento do termopar.

Os piezómetros são dispositivos que se encontram instalados no fundo de tubos perfurados, que permitem a entrada e saída de água de forma livre. A presença da água faz assim variar a pressão exercida sobre o sensor.

Os tensiómetros consistem em tubos cheios de água e estanques ao ar, com uma ponta porosa na parte inferior. Quando enterrado no solo, a sua parte inferior permite que a água se mova livremente para dentro e para fora do tubo sendo que, à medida que o solo seca, a água é sugada para fora do tubo criando um vácuo no interior do tensiómetro, cujo valor é depois adquirido pelo sensor.

Para este trabalho foi adoptado o uso de sensores do tipo resistivo, que consistem em eléctrodos encapsulados num determinado material poroso que depois de algum tempo em contacto com o solo ficam em equilíbrio com o mesmo. Estes sensores determinam o potencial de água no solo em função da resistência eléctrica e da temperatura. [14]

O potencial de água no solo (Ψ_t) descreve o estado de energia do solo que decresce à medida que o solo se torna mais seco [12], sendo que o total do potencial de água [N/m^2] no solo é a soma entre o potencial de pressão (Ψ_p), o potencial gravitacional (Ψ_z), o potencial matricial (Ψ_m) e outros potenciais.

$$\Psi_t = \Psi_p + \Psi_z + \Psi_m + \dots$$

No caso dos sensores resistivos o único potencial que importa é o potencial matricial (Ψ_m ou P) [13] em que o seu valor varia desde o valor zero, quando o solo está saturado, até valores cada vez mais negativos, à medida que o solo fica mais seco [15]. Por esta razão na literatura que encontramos, relativa a este tipo de sensores, muitas das vezes o potencial de água no solo e o potencial matricial tem o mesmo significado.

Tendo em consideração os tópicos referidos acima optou-se pelo uso do sensor da Watermark, Soil Moisture Sensor Model 200SS, sendo este sensor um dos mais utilizados no mercado devido ao seu baixo custo e fácil adaptabilidade aos sistemas de irrigação automatizada [16]. Além das vantagens apresentadas anteriormente tem-se ainda o facto de o sensor não necessitar de muita manutenção e a sua própria composição trazer benefícios quando comparando com sensores de gesso que se dissolvem no solo ao longo do tempo.

2.1.2. Watermark Soil Sensor

O sensor (Figura 2.1) em causa é considerado um sensor resistivo onde o valor da resistência decresce com o aumento da água no solo, ou seja, em que o valor do potencial matricial tende para valores em torno dos 0 kPa caso o solo esteja saturado, e para -199 kPa caso o solo esteja seco.



Figura 2.1 Watermark Soil Sensor 200 SS

O sensor não apresenta uma configuração convencional, isto é, não é apenas composto por dois condutores paralelos mas possui também uma construção mais complexa concebida com a finalidade de melhorar a leitura no âmbito da sua aplicação no campo. Esta construção é feita através de um cilindro de aço inoxidável perfurado cujo interior é preenchido com uma membrana sintética. Já o núcleo do sensor é composto por um agregado¹ de sílica (“granular matrix”), uma placa de gesso numa das extremidades e por eléctrodos concêntricos ligados aos fios que transmitem os dados.

A placa de gesso serve de *buffer* para as diferenças de acidez (pH) e de salinidade do solo para que a resistência entre os eléctrodos dependa somente da humidade e da temperatura do solo.

Para aferir o valor de humidade do solo, e como já foi referido, é então necessário ter em conta o valor da temperatura, uma vez que esta influencia os valores da medição e deverá portanto entrar nos cálculos de determinação da humidade.

Antes da instalação do sensor é necessário verificar o seu estado, a partir dos valores de referência dados pelo fabricante, e ajustar o sistema onde este será enquadrado. No decorrer do trabalho, surgiu a necessidade de calibrar o sistema para que este se pudesse adaptar à tecnologia dos sensores utilizados cujo processo será discutido no subcapítulo seguinte.

¹ Os agregados são matérias granulares

Para uma correcta verificação de um sensor e portanto, para avaliar se este deverá ser substituído/adoptado ou não, deverão ser efectuados alguns testes, o sensor deverá apresentar uma leitura de -199 kPa quando completamente seco (3 dias ao ar livre) e uma leitura entre 0 e -10 kPa depois de 10-15 minutos embebido em água. O próprio sensor deverá ainda ser humedecido antes de colocado no solo para diminuir o tempo de resposta e melhorar a primeira leitura [17].

2.1.3. Calibração do sensor

Entre a resistência do sensor ($k\Omega$) e o potencial matricial (kPa) existe uma relação que pode ser representada a partir de várias equações (Shock et al, 1998) que servem para a calibração do sensor. Essas equações foram adquiridas para uma temperatura base de 24 graus (T_0) e estão divididas em três intervalos de resistência:

$$1) \quad 0 \leq R_s \leq 1k\Omega:$$

$$P = -20 \times [R_s \times 1 + 0.018 \times (T - 24)] - 0.55, \quad (1)$$

$$2) \quad 1 < R_s \leq 8k\Omega:$$

$$P = \frac{(-3.213 \times R_s - 4.093)}{1 - 0.009733 \times R_s - 0.01205 \times T}, \quad (2)$$

$$3) \quad R_s > 8k\Omega:$$

$$P = -2.246 - 5.239 \times R_s \times (1 + 0.018 \times T - 24) - 0.06756 \times R_s^2 \times (1 + 0.018 \times (T - 24))^2, \quad (3)$$

Onde:

P é o potencial matricial em kPa (Ψ_m ou P); R_s é a resistência obtida através do sensor em $k\Omega$;

T é a temperatura do solo em $^{\circ}C$.

Sendo que, para um solo saturado (0 kPa) o valor da resistência ronda os 550Ω e para um solo seco (-199 kPa) os 27950Ω , e tendo em conta que na agricultura o intervalo de humidade desejado se situa entre os -10 kPa e os -75 kPa , deverá então ser utilizada a segunda equação (2) para determinar os dados, tal como se vê na curva do sensor representada na Figura 2.2 [18].

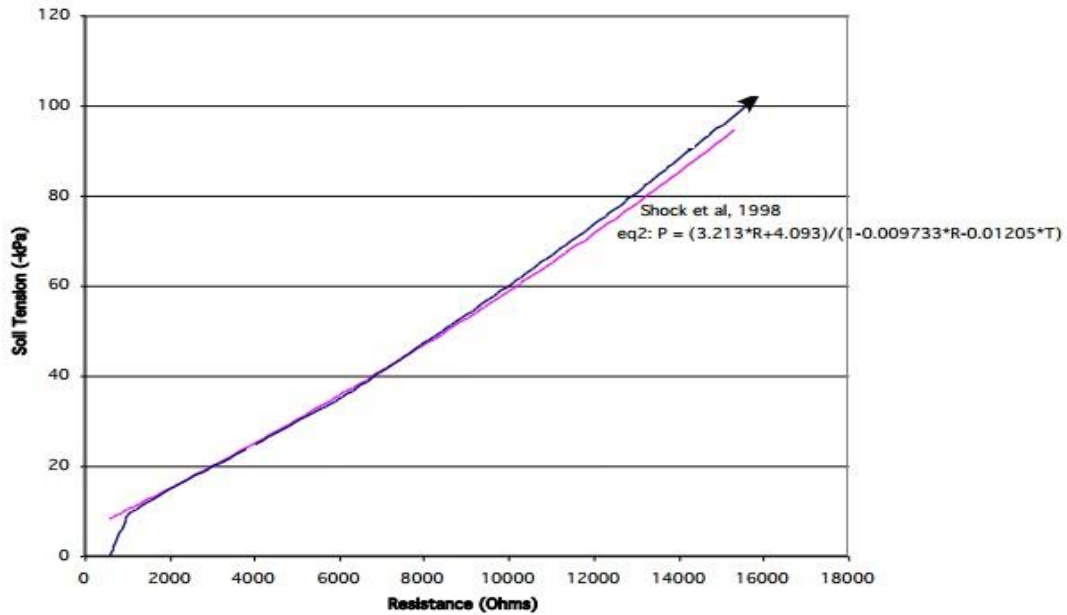


Figura 2.2 Curva característica do sensor [19]

Uma vez que os valores de potência para o ramo da agricultura oscilam entre os -10 kPa e os -75 kPa , valores limite que é possível alcançar em condições normais, foram determinados os valores teóricos da resistência do solo (Watermark Soil Sensor) pela equação (4), para diferentes potenciais dentro do intervalo de utilização, a uma temperatura de 24°C , Tabela 2.1

$$R_s = \frac{73.0299 \times P + 420.528}{P - 330.114}, \quad (4)$$

Tabela 2.1 Valor da resistência do sensor em função da potência

P(kPa)	-10	-12	-14	-16	-18	-20	-22	-24	-26	-28	-30
R _s (kΩ)	0.911	1.332	1.749	2.161	2.568	2.971	3.369	3.762	4.151	4.536	4.916
P(kPa)	-32	-34	-36	-38	-40	-42	-44	-46	-48	-50	-52
R _s (kΩ)	5.292	5.664	6.032	6.396	6.756	7.113	7.465	7.814	8.159	8.500	8.838
P(kPa)	-54	-56	-58	-60	-62	-64	-66	-68	-70	-72	-74
R _s (kΩ)	9.172	9.503	9.830	10.154	10.475	10.792	11.107	11.418	11.726	12.030	12.332

Através de uma análise da Tabela 2.1 pode concluir-se que o sensor Watermark apresenta uma variação de resistência entre os 900Ω e os $13 \text{ k}\Omega$.

Para a leitura da gama de resistências do sensor recorreu-se a um microcontrolador e a uma interface electrónica concebida especialmente para esse efeito por uma empresa californiana, o circuito SMX, “Electrical Interface for Watermark” [19].

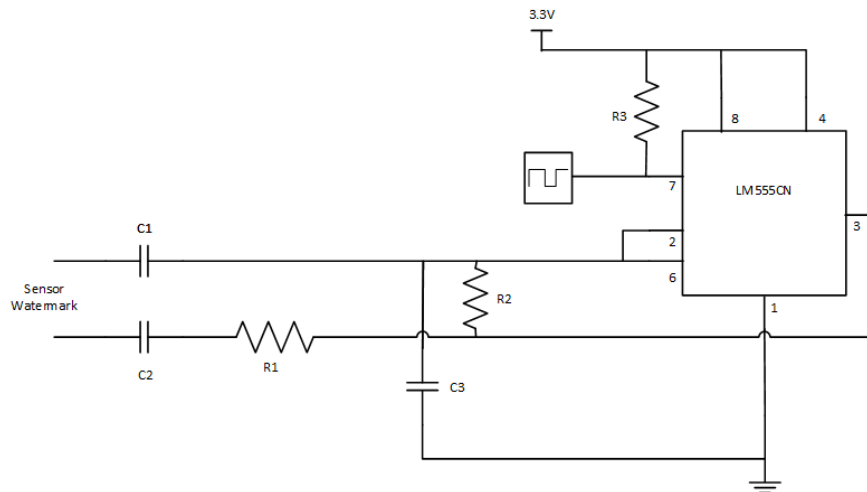


Figura 2.4 Circuito adaptado do “SMX- Electrical Interface for Watermark”

A partir da leitura do valor do período da onda quadrada, que reflecte o estado do solo, determina-se a frequência a partir da qual se adquire a resistência equivalente (R_{eq} do sensor Watermark, R_1 e R_2) chegando por fim ao valor da resistência do solo (que corresponde à resistência vista pelo sensor Watermark) depois de aplicada a equação (2), e através do seguinte processo de cálculo:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.4 \times C_3 \times R_{eq}}, \quad (5)$$

$$\Leftrightarrow R_{eq} = \frac{1}{1.4 \times C_3 \times f}, \quad (6)$$

Sendo que $C_3 = 0.1 \mu f$, e R_{eq} dada por:

$$R_{eq} = \frac{(R_s + R_1) \times R_2}{(R_s + R_1) \times R_3}, \quad (7)$$

A resistência do sensor, R_s , e que corresponde à resistência do solo, pode ser calculada através de:

$$R_s = \frac{R_1 \times R_2 - R_1 \times R_{eq} - R_2 \times R_{eq}}{R_{eq} - R_2}, \quad (8)$$

Da equação (8) é possível calcular-se a resistência R_s , com $R_1 = 390 \Omega$ e $R_2 = 150 k\Omega$.

2.1.5. Simulação e análise prática do circuito SMX adaptado

Recorrendo a ferramentas CAD/CAE, nomeadamente ao *software* de simulação Multisim, simulou-se o circuito de aquisição, testando-o para diferentes resistências (R_e) de entrada (Figura 2.5). Desta forma, avaliou-se o comportamento resistivo do sensor Watermark, e determinou-se os diferentes potenciais matriciais associados.

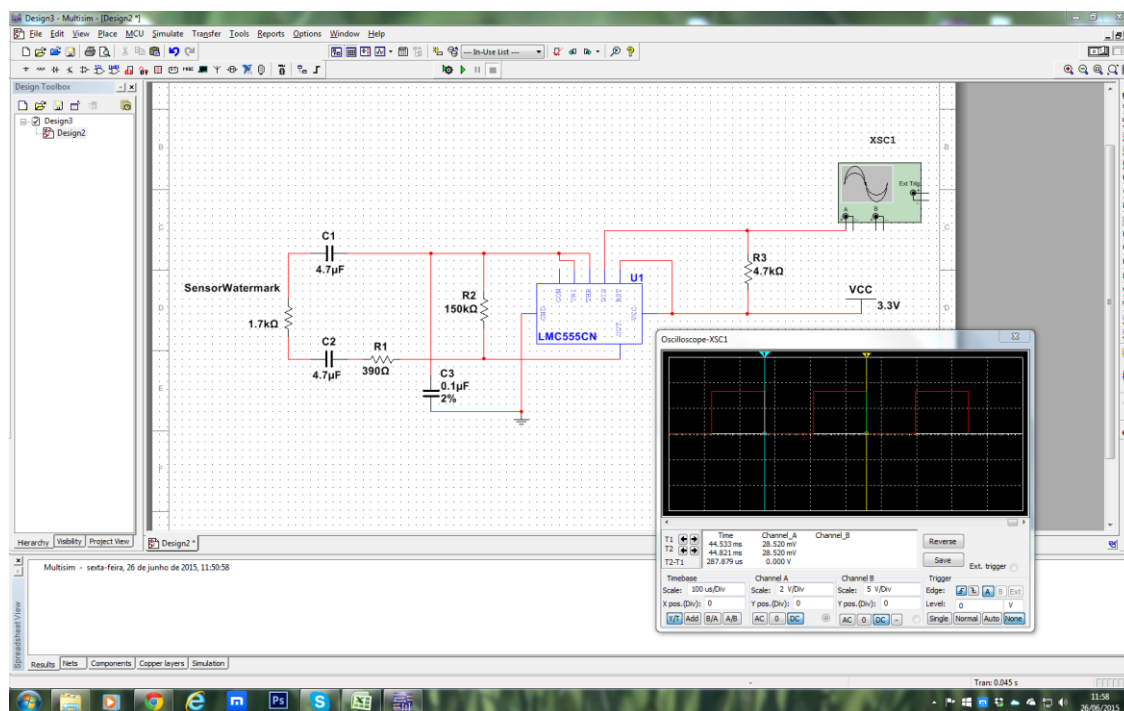


Figura 2.5 Simulação através a ferramenta Multisim

A partir da simulação, e recorrendo às relações já introduzidas anteriormente, conseguiram-se os seguintes resultados:

Tabela 2.2 Tabela para a determinação de P (kPa)

R_e (k Ω)	t (s)	f (Hz)	R_{eq} (Ω)	R_s (k Ω)	P (kPa)
0.920	1.818E-04	5500	1298.7	0.920	-10.0
1.33	2.386E-04	4190	1704.543	1.334	-12.0
1.75	2.955E-04	3385	2110.393	1.751	-14.0
2.16	3.447E-04	2901	2462.121	2.113	-15.8
2.56	4.015E-04	2491	2867.964	2.534	-17.8
2.97	4.545E-04	2200	3246.75	2.929	-19.8
3.36	5.114E-04	1956	3652.6	3.354	-21.9
3.76	5.606E-04	1784	4004.329	3.724	-23.8
4.15	6.136E-04	1630	4383.114	4.125	-25.9
4.53	6.629E-04	1509	4734.85	4.499	-27.8
4.91	7.159E-04	1397	5113.636	4.904	-29.9
5.29	7.614E-04	1313	5438.314	5.253	-31.8
5.66	8.144E-04	1228	5817.1	5.662	-34.0
6.03	8.617E-04	1160	6155.3	6.029	-36.0
6.39	8.996E-04	1112	6425.864	6.323	-37.6
6.75	9.470E-04	1056	6764.071	6.693	-39.6
7.11	1.004E-03	996	7171.429	7.142	-42.2
7.46	1.042E-03	960	7442.857	7.441	-43.9
7.81	1.080E-03	926	7714.286	7.743	-45.6
8.15	1.127E-03	887	8050	8.117	-47.8
8.50	1.165E-03	858	8321.429	8.420	-49.5
8.83	1.212E-03	825	8657.143	8.797	-51.8
9.17	1.259E-03	794	8992.857	9.176	-54.0
9.50	1.288E-03	776	9200	9.411	-55.4
9.83	1.345E-03	743	9607.143	9.875	-58.3
10.15	1.383E-03	723	9878.571	10.185	-60.2
10.47	1.400E-03	714	10000	10.324	-61.1
10.79	1.439E-03	695	10278.57	10.645	-63.1
11.10	1.496E-03	668	10685.71	11.115	-66.1
11.41	1.515E-03	660	10821.43	11.273	-67.1
11.72	1.553E-03	644	11092.86	11.589	-69.1
12.03	1.591E-03	629	11364.29	11.906	-71.2
12.33	1.629E-03	614	11635.71	12.224	-73.3

Analisando as tabelas anteriores, Tabela 2.1 e Tabela 2.2, conclui-se que os resultados simulados seguem os determinados analiticamente, não existindo grandes diferenças relativas.

Numa segunda fase, implementou-se o circuito, com a montagem do sistema numa placa de teste (*breadboard*), Figura 2.6, onde se aplicaram sequencialmente algumas resistências, dentro da mesma gama dos valores utilizados para as simulações.

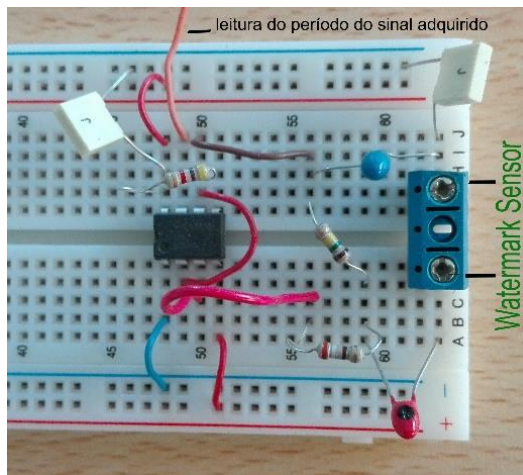


Figura 2.6 Breadboard com circuito

A leitura do período do sinal adquirido é feita com a ajuda de um osciloscópio (ferramenta PicoScope) ligando a ponta de prova ao fio laranja (Figura 2.6) obtendo-se assim o sinal gerado pelo LM555. A leitura do período pode então ser feita de forma directa a partir do programa associado ao osciloscópio digital (PicoScope 6), Figura 2.7.

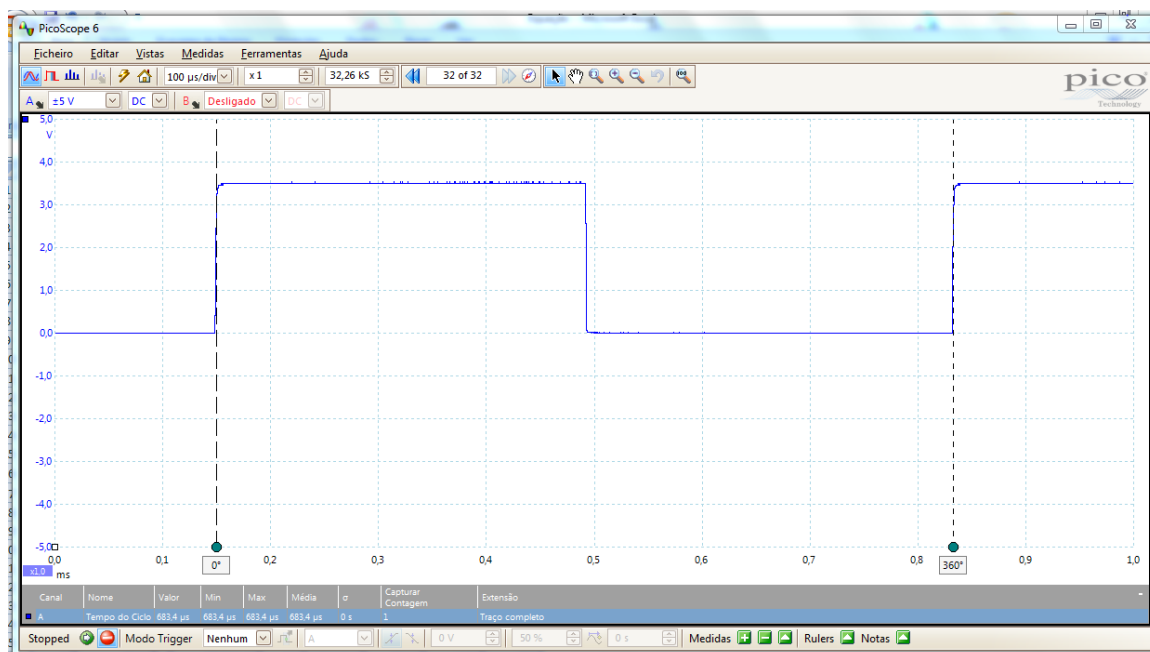


Figura 2.7 Janela do programa associado ao PicoScope

Na placa de teste (*breadboard*), além dos valores retirados a partir da aplicação de diferentes resistências conhecidas (Tabela 2.3), foram ainda retirados valores com a aplicação do sensor Watermark e para várias medidas de humidade no solo (Tabela 2.4).

Tabela 2.3 Valores lidos a partir do circuito, aplicando valores resistivos equivalentes ao sensor (R_e)

$R_e (k\Omega)$	$t (s)$	$f (Hz)$	$R_{eq} (\Omega)$	$R_s (k\Omega)$	$P (kPa)$
1	0.000194	5154.639	1385.714	1.008635	-10.462
1.1	0.00021	4761.905	1500	1.125152	-11.014
1.8	0.000302	3311.258	2157.143	1.798617	-14.239
2.2	0.000362	2762.431	2585.714	2.241069	-16.392
3.3	0.000504	1984.127	3600	3.298525	-21.646
3.8	0.00056	1785.714	4000	3.719589	-23.783
4.5	0.000662	1510.574	4728.571	4.492486	-27.774
5	0.000718	1392.758	5128.571	4.920127	-30.021
6	0.000846	1182.033	6042.857	5.906517	-35.313
7.7	0.00108	925.9259	7714.286	7.74253	-45.590
8	0.0011	909.0909	7857.143	7.901457	-46.507
9	0.00123	813.0081	8785.714	8.942322	-52.624
11.6	0.00155	645.1613	11071.43	11.56373	-68.946
12.7	0.00168	595.2381	12000	12.65348	-76.149

Tabela 2.4 Valores lidos a partir do circuito, aplicando o sensor de humidade

$t (s)$	$f (Hz)$	$R_{eq} (\Omega)$	$R_s (k\Omega)$	$P (kPa)$
0.000868	1152.339	6198.571	6.075761	-36.237
0.000144	6944.444	1028.571	0.645673	-8.754
0.000402	2487.562	2871.429	2.537469	-17.848
0.000754	1326.26	5385.714	5.196289	-31.487

Os dados obtidos permitem validar a aplicação do sensor de humidade no microcontrolador que substituirá o osciloscópio, passo que será analisado no Capítulo 2.4.2. Podemos ainda concluir que o circuito não apresenta variações significativas entre os valores obtidos por simulação e os valores obtidos experimentalmente, tal como se ilustra no gráfico da Figura 2.8.

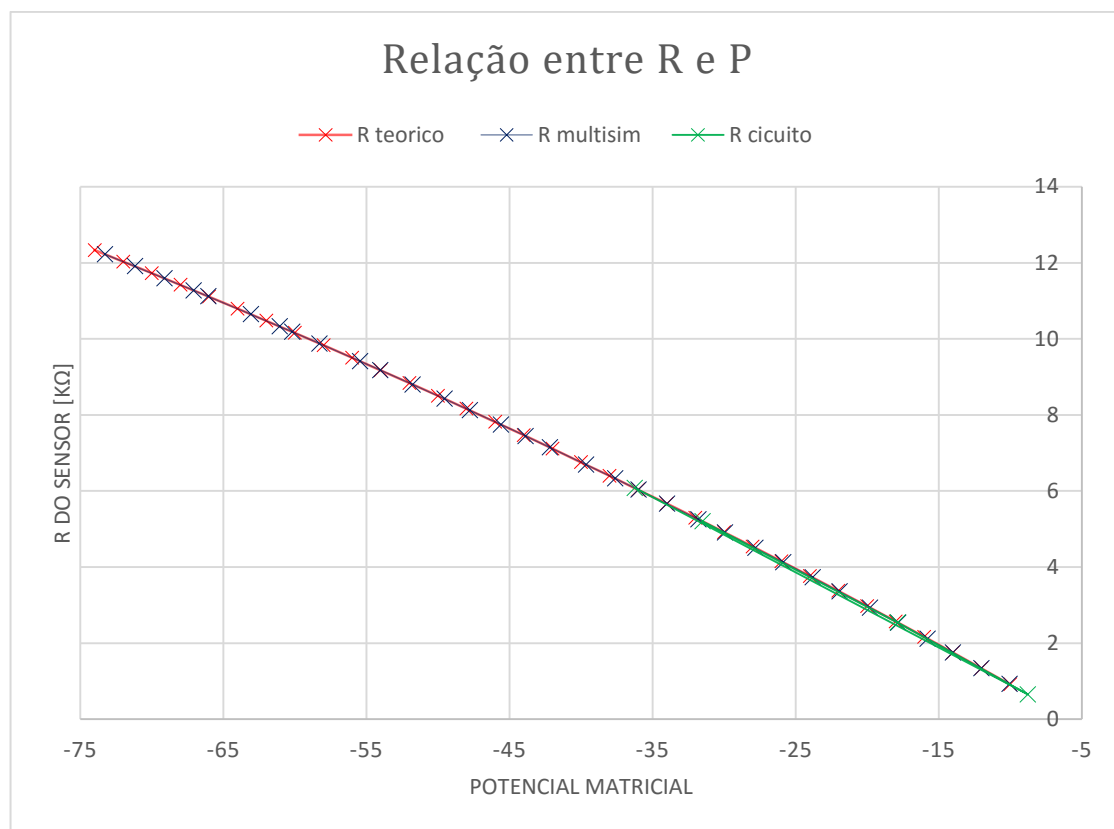


Figura 2.8 Relação entre a resistência e o potencial matricial para 3 tipos de testes

2.1.6. Conversão de potencial matricial [kPa] para teor de humidade [%]

O teor de humidade também considerado por alguns autores na literatura como o teor volumétrico de água no solo (θ) é calculado através do potencial matricial no modelo de van Genuchten (vG), [20].

O modelo vG representa-se através da seguinte equação:

$$\frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{[1 + (\alpha \times |\Psi_m|)^n]^m}, \quad (9)$$

Da qual se obtém a equação para o teor volumétrico de água no solo θ [$cm^3 cm^{-3}$]:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha \times |\Psi_m|)^n]^m}, \quad (10)$$

onde θ_r representa o teor residual de água no solo [$cm^3 cm^{-3}$], θ_s é o teor saturado de água no solo [$cm^3 cm^{-3}$], Ψ_m é o potencial matricial [kPa] e o α [kPa^{-1}], n e m são

parâmetros do modelo vG. Estes parâmetros do modelo de vG são adquiridos e determinados através de tabelas já existentes onde consta o valor de cada parâmetro associado a cada tipo de solo. Temos ainda uma relação entre n e m , dada pela fórmula:

$$m = 1 - \frac{1}{n}, \quad (11)$$

A relação (11) é necessária para determinar n ou m , uma vez que nas tabelas é apenas referenciado um destes parâmetros [21].

Na literatura o potencial matricial e o parâmetro α são ainda quantificados em centímetros (cm), esta diferença está relacionada com o tipo de sensor que se utiliza para ler o potencial matricial que pode fornecer valores em quilo-pascal (kPa) ou em centímetro (cm). Na teoria relacionada com a leitura do potencial matricial do solo encontra-se a equação que relaciona estas duas unidades em que se definiu $1 kPa \approx 10.20 cm$:

$$\Psi_m[kPa] = \rho_w \times g \times h[cm] = 1000 \frac{kg}{m^3} \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 0.102m = 999 \frac{N}{m^2} = 999 Pa \approx 1 kPa, \quad (12)$$

A Equação (12), que permite a conversão de quilo-pascal para centímetro, tem somente o objectivo de enquadrar alguns artigos existentes que recorrem à equação (10).

Para que se entenda o algoritmo desenvolvido mais à frente, no capítulo 3 (Unidade Central de Dados (UCD)), é necessário o conhecimento de outras grandezas associadas ao solo, tais como a capacidade de campo (θ_{FC}), o limiar de stress hídrico (θ_{PW}) e a saturação (θ_S), representadas através da ilustração da Figura 2.9.

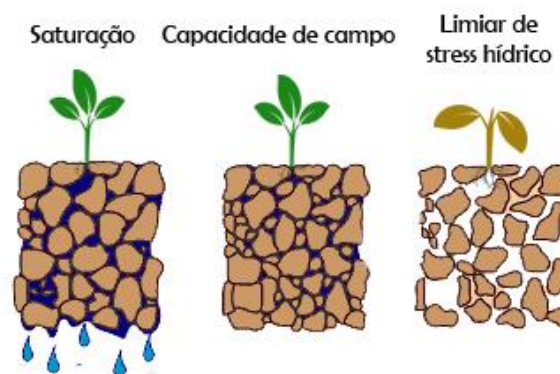


Figura 2.9 Estados do solo

A saturação ocorre quando a planta recebe um excesso de água, a capacidade máxima de retenção de água no solo é então atingida e há um desperdício de água. A capacidade de campo, na condição óptima, permite à planta produzir no máximo da sua capacidade fisiológica. Já o limiar de stress hídrico (que é uma boa aproximação do valor residual de água no solo) corresponde ao estado em que a água absorvida pela planta é menor que a água perdida por transpiração, o que causará a morte da planta. Estas duas últimas grandezas, gamas de valores do teor volumétrico de água, apresentam valores fixos que variam com o tipo de solo (ver Tabela 2.5) [22].

Tabela 2.5 Condições do teor volumétrico de água no solo (humidade [%]) versus textura do solo

Tipo Solo	Capacidade de Campo [%]	Limiar de stress hídrico [%]
Areia	10	5
Argila arenoso	18	8
Argila	28	14
Argila lodosa	30	6
Argila barrenta	38	22
Barro	42	30

2.2. Sensor de temperatura

2.2.1. Descrição Geral

Existe uma grande diversidade de sensores de temperatura, onde se podem distinguir os sensores associados a termopares, a termístores (NTC's) e a termoresistência (RTD's).

Importa então compreender as principais características associadas a cada tipologia para determinar qual a tecnologia associada ao sensor de temperatura adoptado neste trabalho.

O termopar apresenta na sua composição dois metais distintos, unidos por uma junção que, quando sujeita a diferentes temperaturas, gera uma diferença de potencial aos terminais dos dois metais e que varia com a variação dessa mesma temperatura.

Nas RTD's é tirado proveito de materiais em que a sua resistência varia com a variação da temperatura, aumentando com o incremento da mesma, sendo considerados portanto sensores de coeficiente positivo, normalmente utilizando materiais como o níquel e a platina.

Nos termístores (NTC's), que são constituídos principalmente por cerâmica ou polímeros, a resistência diminui com o aumento da temperatura, sendo portanto chamados de sensores de coeficiente de temperatura negativo (NTC) [23] e apresentam um comportamento não linear ao contrário das RTD's que tem um comportamento linear, conforme ilustrado na Figura 2.10 [24].

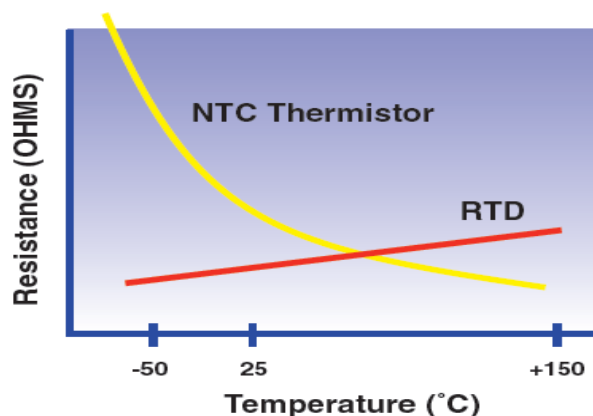


Figura 2.10 Curvas características, NTC e RTD [25]

Com o objectivo de perceber a gama de variação de temperaturas do solo foi pedida a divulgação dos registos com essa informação ao IPMA (Instituto Português do Mar e da Atmosfera). Após verificação dos dados disponibilizados pelo IPMA relativos à temperatura no solo registada em Portugal entre 1997 e 2007, nas profundidades de -10 cm, -20 cm e -50 cm, obtiveram-se os valores apresentados no gráfico da Figura 2.11 .

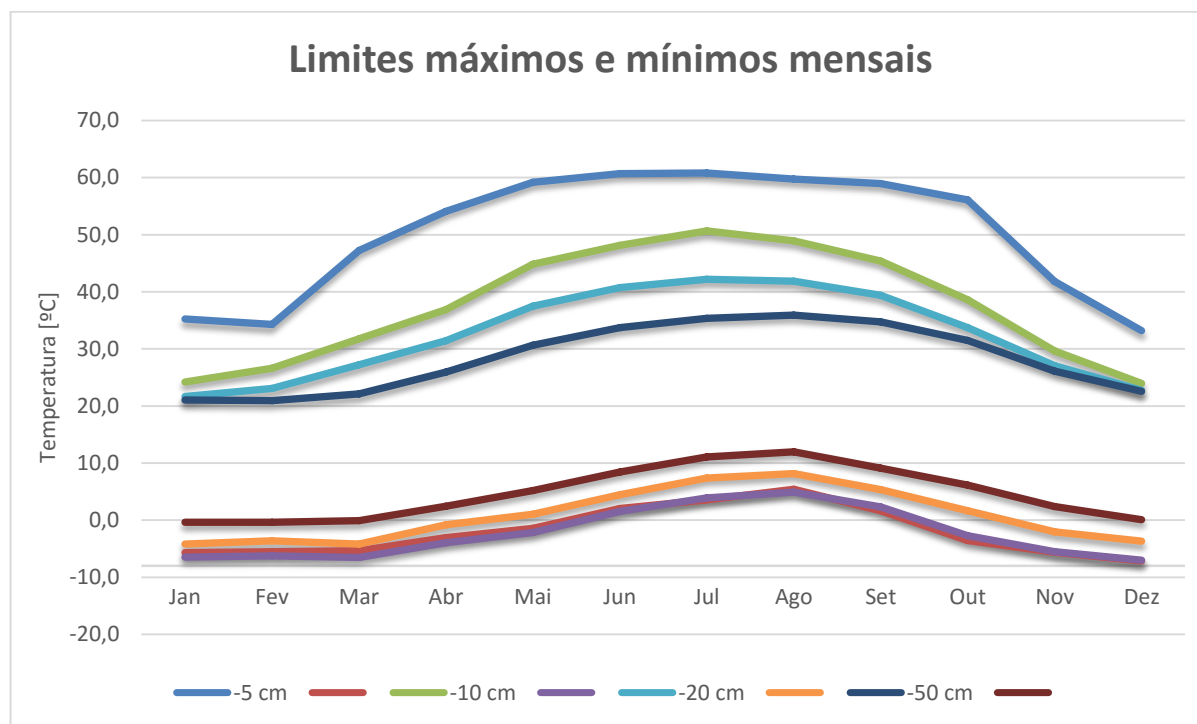


Figura 2.11 Representação gráfica dos limites extremos da temperatura no solo

Através dos gráficos da Figura 2.11 (organizadas por profundidade do solo) podemos concluir que a temperatura no limite, varia entre os $-9,4^{\circ}\text{C}$ e os 57°C . Assim sendo o sensor deverá ser calibrado para operar entre os -10°C e os 60°C .

2.2.2. 200 TS- Temperature Sensor

Para o desenvolvimento deste trabalho adquiriu-se o sensor de temperatura em conjunto com o sensor de humidade sendo então utilizado um sensor de temperatura da mesma marca, Watermark, designado por 200 TS e ilustrado na Figura 2.12.



Figura 2.12 Sensor 200 TS

Uma vez que, relativamente a este sensor, não se conseguiu encontrar nenhuma informação técnica, foi necessário fazer alguns testes para determinar a sua tipologia. Concluídos os testes, verificou-se que se trata de um termistor (NTC).

Nos NTC a resistência de referência é designada por R_o e é relativa à temperatura de referência (T_o). A curva característica de um NTC pode ser calculada a partir de dois modelos distintos, o modelo β e o modelo Steinhart-Hart (S-H), sendo que o segundo é o mais usado uma vez que suporta um maior número de pontos experimentais.

A equação que representa o modelo β é dada por:

$$R_t = R_o(T_o) * e^{-\beta\left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_K}\right)}, \quad (13)$$

onde β é o índice de sensibilidade ou constante do material usado, T_K é a temperatura (Kelvin) e R_t é a resistência associada a T_K (ohm).

A equação que representa o modelo S-H é dada por:

$$\frac{1}{T_K} = A + B * \ln(R_t) + C * [\ln R_t]^3, \quad (14)$$

onde $A, B, e C$ são os coeficientes de Steinhart-Hart, que variam consoante o termistor (material constituinte) e a gama de temperatura.

Foi solicitada mais informação à empresa fornecedora do sensor tendo sido disponibilizada posteriormente uma relação entre a variação da temperatura (em graus Celsius) e a variação da resistência e onde se pode ver que T_0 se situa a 25 °C (Anexo I).

Analisada a relação fornecida pelo produtor do sensor de temperatura, foi feita uma comparação entre essa relação e os valores obtidos através de um teste experimental em ambiente controlado até aos 50 °C (máximo possível em laboratório), onde se conclui que os valores experimentais da resistência apresentam uma divergência na ordem dos 5 °C. A partir do teste experimental foram então registados vários valores de temperatura, entre os -10 °C a 50 °C, com propósito de obter a fórmula do modelo S-H que se determinou através da ferramenta *Termistor Calculator* (Figura 2.13) disponibilizada pela *Stanford Research Systems Inc.* [25].

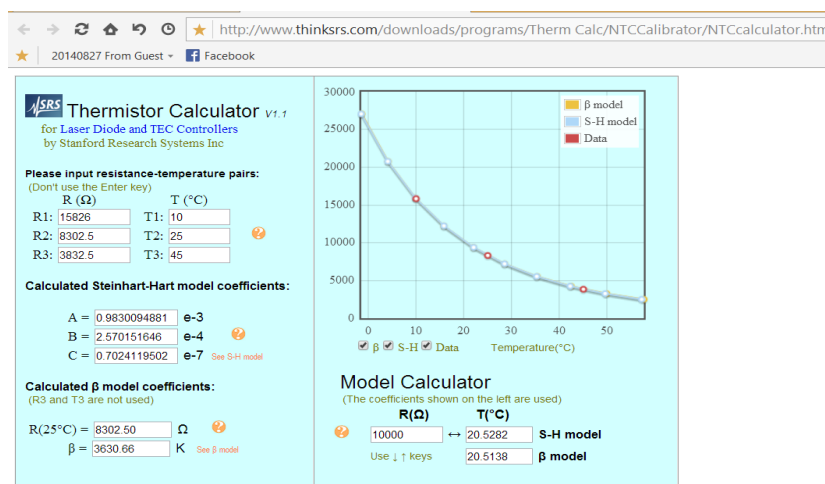


Figura 2.13 Termistor Calculator

Para aplicar o modelo através da ferramenta referida é necessária a introdução de coordenadas para 3 pontos do gráfico (resistência *versus* temperatura). Para a selecção das coordenadas para a qual o modelo apresentava melhor comportamento fizeram-se alguns testes aplicados aos dois modelos, escolhendo-se a solução para a qual os modelos melhor convergiam entre si e verificou-se a sua fiabilidade por comparação com os valores conhecidos, sendo por fim obtida a equação S-H da curva característica:

$$\frac{1}{T_k} = 0.0009830094881 + 0.0002570151646 * \ln(R_t) + 0.00000007024119502 * [\ln(R_t)]^3, \quad (15)$$

com T_k a temperatura (Kelvin) e R_t a resistência associada a T_k (ohm).

Traçando as duas curvas obtém-se a curva característica do termistor.

A partir da mesma ferramenta de *software* adoptou-se o processo já desenvolvido anteriormente agora para os valores teóricos fornecidos pelo vendedor do sensor 200 TS, e em que a selecção dos três valores também foi feita para que os dois modelos fossem correspondentes na sua curva, obtendo-se a seguinte equação característica:

$$1/(T_k) = 0.001125996457 + 0.0002346481102 * \ln(Rt) + 0.0000000855364104 * (\ln(Rt))^3 \quad (16)$$

As curvas características do sensor (teórica e experimental) estão representadas na Figura 2.14.

Neste trabalho confirmou-se que os valores práticos obtidos eram mais viáveis, por essa razão optou-se por utilizar a equação (15).

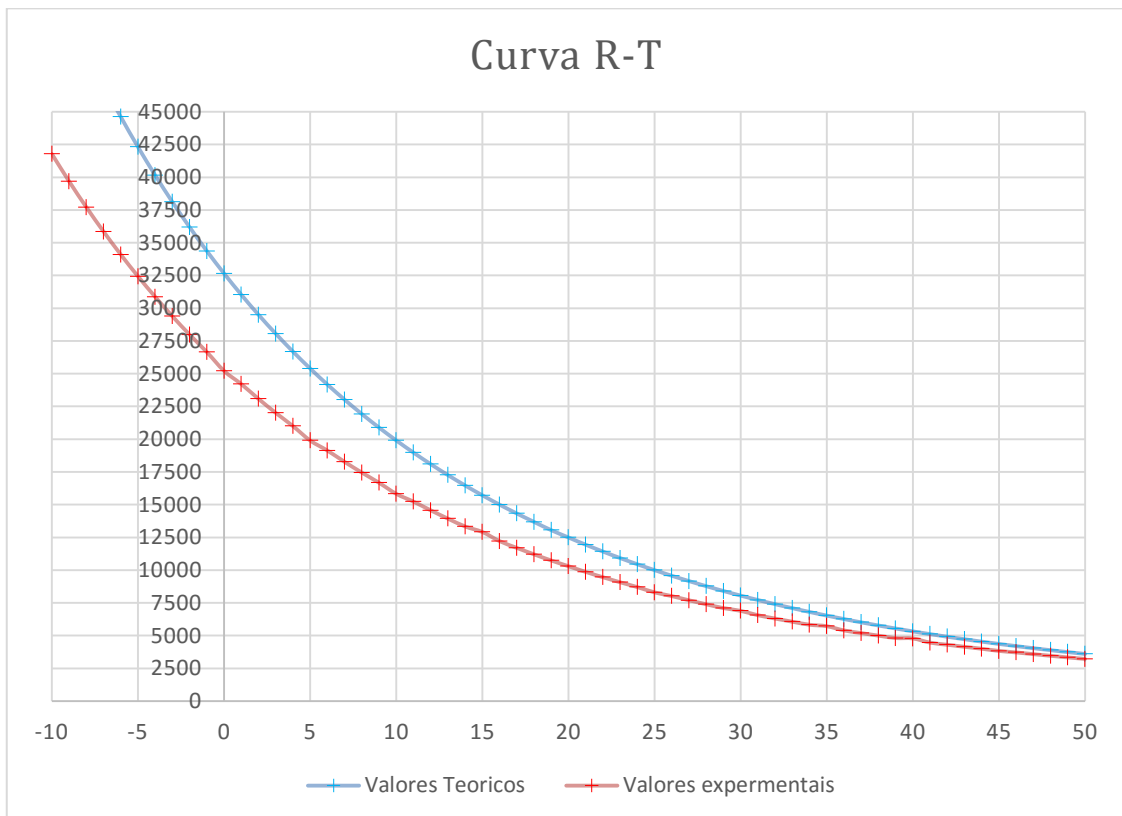


Figura 2.14 Curva característica do 200TS

2.2.3. Leitura de um NTC com um microcontrolador

Este subcapítulo irá incidir sobretudo em dois métodos de leitura de um termistor através de um microcontrolador.

O primeiro método baseia-se na utilização de um circuito conhecido como Ponte de Wheatstone, Figura 2.15 [26]:

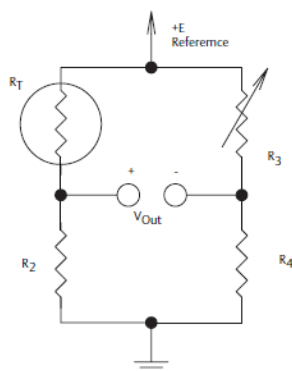


Figura 2.15 Esquema da ponte de Wheatstone

Nesta configuração, as resistências R_2 e R_4 devem ter valores aproximados, a resistência R_3 deve ser ajustada de forma a que para 0°C os terminais V_{out} apresentem uma diferença de potencial nula (0 V), sendo que R_t representa o sensor cuja leitura é influenciada pela temperatura do solo. O $+E$ reference representa a tensão (V_{dd}) a que o circuito será alimentado de acordo com o seu dimensionamento. Este método baseia-se por isso no ajuste da resistência R_3 de forma a ser atingido o equilíbrio da ponte.

O segundo método baseia-se na utilização de um simples divisor de tensão, Figura 2.16.

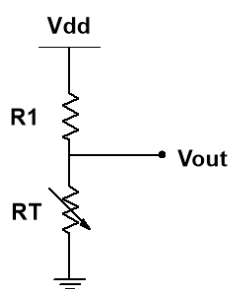


Figura 2.16 Divisor de tensão

A tensão V_{dd} é o valor da tensão de alimentação do circuito (neste caso é igual a $3.3V$) e R_1 é uma resistência fixa, em que seu valor corresponde à temperatura média da gama de temperaturas que serão lidas através do termistor. A resistência R_t , como referido anteriormente, é a resistência do termistor que varia com a variação da temperatura do solo. A tensão V_{out} (indicada na Figura 2.16) é calculada através de:

$$V_{out} = \frac{V_{dd}}{R_1 + R_t} * R_t, \quad (17)$$

Como V_{out} é obtida através do microcontrolador, interessa- calcular R_t :

$$R_t = \frac{V_{out} * R_1}{V_{dd} - V_{out}}, \quad (18)$$

A partir do valor de R_t , conhecida a relação resistência/temperatura determinada anteriormente pelo método Steinhart - Hart, obtém-se a temperatura (T).

Tanto num processo como no outro a tensão na saída é lida através do ADC do microcontrolador, sendo que, quando usado o divisor de tensão, esta leitura pode ser feita de forma directa. Já no caso da aplicação da Ponte de Wheastone, seria necessário fazer um circuito diferencial para obter V_{out} , razão pela qual, sabendo ainda que a equação S-H é conhecida, se optou pela aplicação de um divisor de tensão.

2.3. Comunicação sem fios

Este capítulo debruçar-se-á sobre o modelo de comunicação entre os módulos sensoriais e a unidade de central, processo com alguma complexidade que deve ser estudado e desenvolvido com maior pormenor.

No contexto de um campo agrícola é clara a dificuldade, senão quase impossibilidade, em passar cabos ao longo da exploração. Assim sendo, todos os módulos inseridos no campo têm de utilizar o ar como veículo de transmissão, razão pela qual se optou pelo uso de módulos sem fios. Uma vez que, tipicamente, nestes meios o acesso a redes *wireless* é inexistente, optou-se por um mecanismo de comunicação via rádio. O envio de dados por GSM poderia também ser uma opção com alguma facilidade de implementação, no entanto, esta solução possui custos associados, como a aquisição de um cartão a uma operadora de rede, que recairiam sobre a pessoa responsável pela exploração.

Também como referido no estado de arte, a maior parte dos sistemas agrícolas utilizam como veículo de comunicação em redes de sensores sem fios os rádios ZigBee e módulos GSM para permitir o acesso online aos dados [27]. Em [10] a rede de sensores sem fios comunica por Bluetooth com a central e em [28] encontramos um estudo mais aprofundado sobre sensores sem fios de *low-power*.

O módulo sem fios escolhido para esta dissertação foi um rádio economicamente acessível e de baixo de consumo energético, o módulo nRF24L01, Figura 2.17.

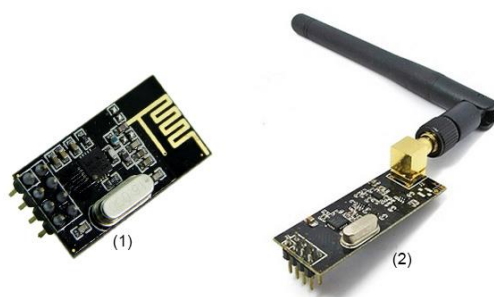


Figura 2.17 Módulo nRF24L01 (1) com antena associada (2)

Este módulo funciona com uma tensão (V_{dd}) de 3.3 V, numa banda de 2.4GHz, tal como alguns *routers* de WIFI, com um alcance que pode chegar a 1 km de distância quando em campo aberto e com antena associada, apresentando um consumo máximo de 100 mW [29] .

Foi adquirido um dispositivo (Simpladio) para a programação do módulo nRF24L01, desenvolvido na Universidade da Beira Interior por um outro colega de curso, em que, quando conectado ao circuito da Figura 2.4 e ao da Figura 2.16, a placa sensorial envia os dados dos sensores para a placa mestre do rádio que por sua vez comunica, através do protocolo RS232 [30], com a Unidade Central de Dados como ilustrado Figura 2.18

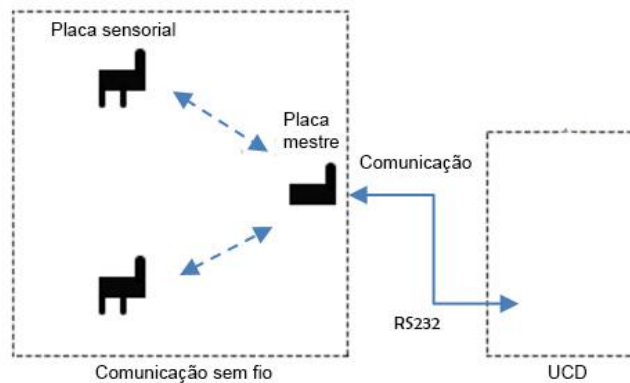


Figura 2.18 Esquema de comunicação

2.4. Desenvolvimento de *hardware*

2.4.1. Placa mestre

Como referido anteriormente a placa mestre é responsável pela comunicação RS232 entre o Simpladio e a carta da Unidade Central de Dados. Nesta fase foi detectado um problema de compatibilidade na conexão do módulo receptor mestre com a carta do autómato que serve de Unidade Central de Dados, problema esse devido ao facto de o dispositivo Simpladio ter sido dimensionado para níveis baixos de tensão (CMOS/TTL) em contraste com o dimensionamento da carta do autómato, que foi feito para níveis altos de tensão, com vista à aplicação no ramo industrial onde estes sistemas são usados frequentemente para tensões entre os 12V e os 24V.

Na família TTL o nível lógico 0 corresponde a uma tensão de entrada compreendida entre 0V e 0.8V, já o nível de lógico 1 corresponde a uma tensão compreendida entre os 2V e os 5V, sendo que entre estes dois níveis lógicos existe uma banda indeterminada.

De acordo com o protocolo RS232, os níveis de tensão encontram-se entre os +3V e +15V para o nível lógico 0, e entre os -3V e os -15V para o nível lógico 1, sendo que o intervalo compreendido entre os -3V e os +3V não é válido nos níveis do RS232.

Com o objectivo de ultrapassar esta incompatibilidade, optou-se por uma solução simples e barata que passou pela utilização de um adaptador de tensões, responsável pelo ajuste dos níveis de tensão entre TTL e RS232. Fez-se então uma placa com o circuito integrado MAX232 [31], que liga o RX/TX da carta do autómato (Figura 2.19) e os pinos RX/TX do dispositivo Simpladio com o rádio mestre. A placa do rádio mestre contém o microcontrolador que faz a gestão da comunicação entre rádios das placas que contêm os sensores e a comunicação via RS232 com o autómato.

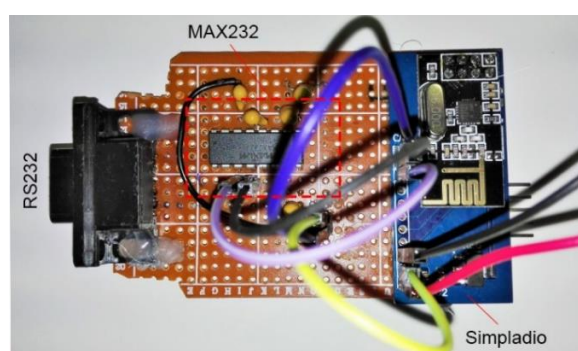


Figura 2.19 Placa mestre

Em termos da lógica de comunicação este rádio (placa mestre) encontra-se em modo espera até que receba instruções da Unidade Central de Dados (autómato). Quando a Unidade Central de Dados inicia a comunicação, é disponibilizado o endereço da placa sensorial da qual se pretende a comunicação dos parâmetros medidos. A placa mestre, ao receber o endereço, transmite o endereço e fica então a aguardar a recepção de uma *frame* com os valores dos sensores vindo da placa sensorial para depois voltar a transmitir os primeiros 4 *bytes* dessa *frame* via RS232 para a Unidade Central de Dados.

2.4.2. Placa sensorial

Neste subcapítulo descrever-se-á a placa de circuito impresso que reúne os circuitos de recolha de dados, os sensores associados a cada circuito, e o envio dos dados para a placa mestre via rádio.

Antes de se apresentar a placa em si, demonstrar-se-ão alguns dos processos algorítmicos por detrás do código usado no microcontrolador, localizado no Simpladio.

Em primeiro lugar a placa sensorial aguarda por uma solicitação (mensagem endereçada) para reiniciar a leitura de dados do solo.

Para a leitura do valor de humidade, e como referido anteriormente, deixamos de recorrer ao osciloscópio, sendo que agora o pin 7 do oscilador (lmc555) é ligado a uma entrada do micro que acciona uma interrupção cada vez que se verifique uma transição de nível baixo para nível alto, sendo que é essa interrupção que regula um *timer*. O timer inicializa-se na primeira transição e contará o tempo decorrido até à segunda transição do sinal do oscilador, que corresponde ao período do sinal. A resposta do timer é um valor que é incrementado a cada 500 nanosegundos, portanto a cada dois incrementos decorre 1 microssegundo. Para obter o tempo do período da onda quadrada de um *duty cycle* de 50%, naquele pin e em microssegundos, é feita a divisão por dois do valor dado pelo timer.

No caso do divisor de tensão, os valores de V_{out} não são obtidos directamente (ver equação (19)). Esta tensão aplica-se a uma entrada de um ADC que retorna valores entre 0 e 1023, sendo que a 1023 corresponde 3.3V e a 0 corresponde 0V.

$$V_{out} = \frac{ADC * 3.3}{1023}, \quad (19)$$

Depois do microprocessador requerer estes valores, valores do ADC e o período em microssegundos, organiza os valores em 4 bytes conforme representado na Figura 2.20



Figura 2.20 Protocolo de comunicação

O valor do ADC ocupa 9 bits e o valor do timer, que vai de 115 microssegundos até 20000 microssegundos, ocupa 15 bits, sendo que para cada um deles são necessários 2 bytes onde o segundo não é preenchido totalmente. No desenvolvimento prático, os bits sobrantes dos bytes referidos não foram utilizados. No futuro estes poderão ser utilizados para implementar um *checksum* para prevenir erros de comunicação. No fim destes processos é reenviada a informação numa *frame* para o rádio da placa mestre através do protocolo próprio deste modelo rádio nRF24L01.

A placa sensorial (Figura 2.21) é constituída por um divisor de tensão com conector para o sensor de temperatura (200 TS) (1) e o circuito SMX (2) que fornece a entrada do sensor de humidade (200 SS). Estes dois circuitos serão alimentados pelo Simpladio (3) a 3.3V apenas quando é feita a leitura. Na placa também se encontra o Simpladio associado ao rádio nRF24L01.

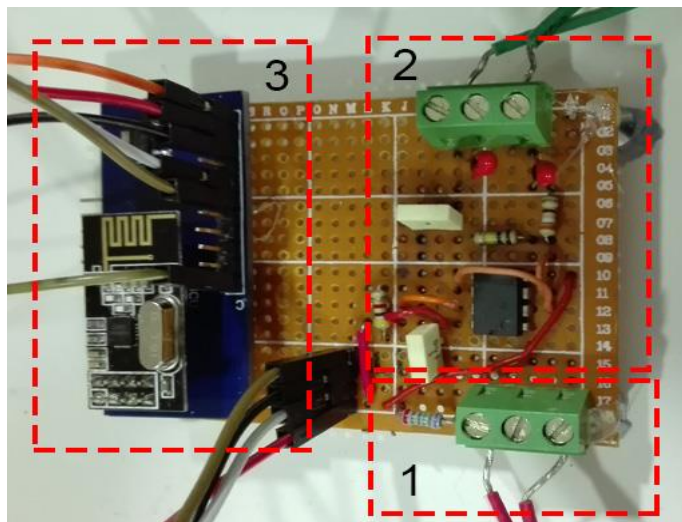


Figura 2.21 Placa sensorial

O próprio Simpladio poderá ser alimentado por um painel fotovoltaico (Figura 2.22) de 5 Volt, 0.5 Watt sendo que em laboratório se verificou uma exigência de 0.02 A por parte da placa.

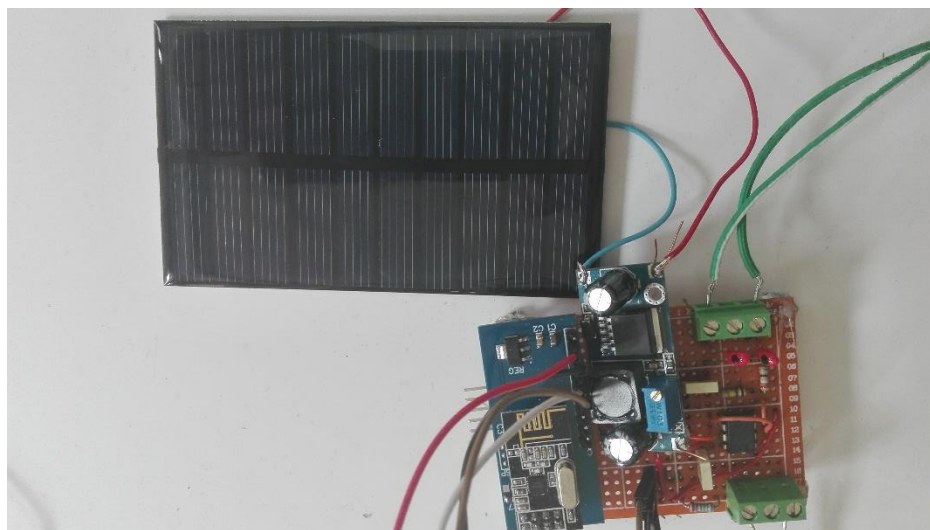


Figura 2.22 Placa Sensorial + Painel fotolvoltaico

3. Unidade Central de Dados (UCD)

Neste capítulo trataremos toda a informação necessária para uma tomada de decisão de actuação na rega, desde cálculos de interpretação dos valores adquiridos pelo módulo sensorial a cálculos de engenharia da agronomia. Aqui também se explorará o envio de dados do sistema para uma página *web* que servirá de interface entre a Unidade Central de Dados e o responsável da exploração.

3.1. Composição da UCD

A Unidade Central de Dados pode ser vista como uma placa projectada para executar as tarefas pretendidas a partir de vários circuitos electrónicos dimensionados e programados para o efeito, microcontroladores, relés ou até o raspberry pi. Estes sistemas poderiam ser adoptados, não o tendo sido por questões de simplicidade e por se ter optado por uma filosofia de utilização e exploração do recurso a autómatos programáveis (PLC's).

3.1.1. Autómatos

Um Controlador Lógico Programável é definido pelo IEC (International Electrotechnical Commission) na norma 61131-1 como: “A programmable logic controller (PLC) or programmable controller is a digital computer used for automation of industrial processes, such as control of machinery on factory assembly lines. Unlike general-purpose computers, the PLC is designed for multiple inputs and output arrangements, extended temperature ranges, immunity to electrical noise, and resistance to vibration and impact. Programs to control machine operation are typically stored in battery-backed or non-volatile memory.” Também se encontram na literatura portuguesa definições equivalentes, no livro “Autómatos Programáveis” por exemplo, surge como definição: “O autómato pode ser considerado como um computador cuja arquitetura, sistema operativo, linguagem de programação, entradas/saídas e forma construtiva estão especialmente adaptados para aplicações de controlo industrial. Está concebido para funcionar em ambientes industriais agressivos (temperaturas, vibrações, microcortes na tensão, ruído eléctrico, etc.), por isso, é também um equipamento muito robusto.”[32].

Neste caso o autómato não é usado em ambiente industrial mas sim num ambiente agrícola onde também é de extrema importância o seu fácil manuseamento e fácil integração em explorações em que frequentemente existem variações ao nível da quantidade de saídas a controlar, correspondendo a um também variável número de electroválvulas e de bombas e adaptadas ao tipo de cultura em causa.

Os autómatos são dispositivos robustos, resistentes ao ruído, à poluição (poeira) e ao choque térmico. São equipamentos modulares, tornando fácil a adição ou remoção de módulos de entrada /saída ou de módulos de comunicação, sem que exista a necessidade de uma substituição total nem de uma nova projecção de *hardware*. Ao nível da memória física, os autómatos vêm equipados com memórias não voláteis, permitindo assim que, caso ocorram falhas na alimentação, quando o autómato volta a ser alimentado, retome o programa e os dados já calculados.

A alimentação, dependendo dos modelos dos autómatos, pode ser feita em AC ou DC. No caso prático da aplicação do sistema que pretendemos desenvolver a maioria das vezes será necessária uma entrada de alimentação DC, uma vez que cada vez mais as explorações têm painéis fotovoltaicos associados a baterias para a bombagem de água e que servirão de suporte a estes tipos de sistemas. Em ambiente laboratorial trabalharemos com a tecnologia de que dispomos, ou seja com um autómato da Siemens, alimentado a AC, e que inclui a vantagem de permitir o acesso a um servidor *web* a partir do qual será desenvolvida uma página *web* que possibilita o acesso aos comandos de utilizador/programador à distância, bastando para isso estar ligado através de uma rede Ethernet ou através de um módulo GPRS.

Ao implementar um sistema de autómatos numa produção agrícola podemos considerar estar perante uma agricultura de precisão sendo que além das funcionalidades descritas nesta dissertação, este equipamento poderá servir outros sistemas com outras finalidades, tais como o controlo de seguidores solares, o controlo associado à fertirega² entre outros.

² Técnica de adubação em que diluem fertilizantes na água de irrigação [www.infopedia.pt].

3.1.2. Componentes e funcionalidades

Como já foi referido, a Unidade Central de Dados nesta dissertação terá com base os sistemas de automação da Siemens, mais concretamente da família SIMATIC S71200 [33] ilustrado na Figura 3.1.

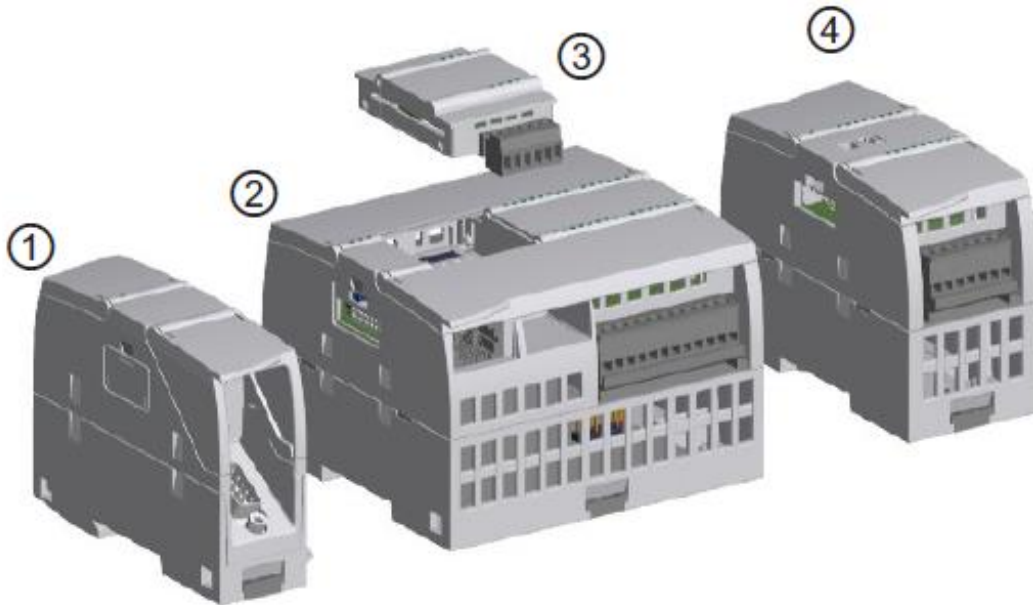


Figura 3.1 Gama SIMATIC S71200 da Siemens [34]

Os módulos mostrados na Figura 3.1 são: (1) o módulo de comunicação (CM); (2) CPU; (3) o Signal Board (SB) ou placa de comunicação (CB); (4) o módulo de entradas/saídas (SM).

Neste trabalho apenas se recorrerá aos dispositivos (1) e (2), suficientes para formar a Unidade Central de Dados. A família S7 1200 oferece uma vasta gama de modelos de CPU's (2) que variam, conforme o modelo, a capacidade das memórias (memória de trabalho, memória de carga) e o número de entradas e saídas. Nos laboratórios da Universidade da Beira Interior o modelo existente é a CPU 1214C que tem uma memória de trabalho de 14 Kb e uma memória de carga com 4 Mb, 14 entradas e 10 saídas. Este modelo é ainda subdividido em vários tipos, de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Modelos de CPU quanto à alimentação e às entradas / saídas

DC/DC/DC	Alimentação em corrente contínua Entradas de corrente contínua (entradas digitais de 24V e entradas analógicas de 0 - 10 V) Saídas de corrente contínua que alimentam o circuito a 24V.
AC/DC/RLY	Alimentação em corrente alternada Entradas de corrente contínua (entradas digitais de 24V e entradas analógicas de 0 - 10 V) Saídas de relé em que a alimentação do circuito terá que ser feita por uma fonte externa.
DC/DC/RLY	Alimentação em corrente contínua Entradas de corrente contínua (entradas digitais de 24V e entradas analógicas de 0 - 10 V) Saídas de relé em que a alimentação do circuito terá que ser feita por uma fonte externa.

Nesta dissertação, a programação da CPU 1214C, do tipo AC/DC/RLY, será feita através do *software* TIA Portal, que será apresentado mais em pormenor no subcapítulo Programação do autómato. A esta CPU será ainda acrescentada a carta CM 1241-RS232 (1) que disponibiliza a entrada e saída (RX/TX) necessárias para a aplicação do protocolo RS232 e para poder comunicar com o módulo rádio mestre, conforme referido anteriormente. Através desta carta de comunicação a CPU receberá os dados lidos pelo microcontrolador, e tomará as suas decisões relativas ao sistema de rega.

3.1.3. Ligações dos componentes de rega

Além dos componentes utilizados na UCD, do sistema de rega fazem ainda parte outros dispositivos tais como a bomba de rega e as electroválvulas. As segundas serão ligadas às saídas do autómato e alimentadas através de um banco de baterias. As baterias serão recarregadas através dos painéis fotovoltaicos que também servem de alimentação ao autómato.

Ao nível das tensões de alimentação, o autómato é alimentado a 24V DC, a bomba de rega a 48V DC e as electroválvulas a 9V DC (valores que podem ainda variar consoante o fabricante). Conhecidos estes níveis de tensão, será necessário um banco de baterias de 48 V como fonte, que depois fornecerá energia a cada aparelho. Uma das soluções possíveis é ter um banco de 4 baterias de 12V ligadas em série. O autómato será ligado a duas delas e a bomba de rega aos terminais do banco, portanto às quatro baterias; no que diz respeito à alimentação das electroválvulas, será necessário um regulador de tensão para 9V.

As fontes de alimentação, quer da bomba de rega, quer das electroválvulas, são ligadas às saídas de relé do autómato, neste caso um autómato DC/DC/RLY conforme ilustrado na Figura 3.2.

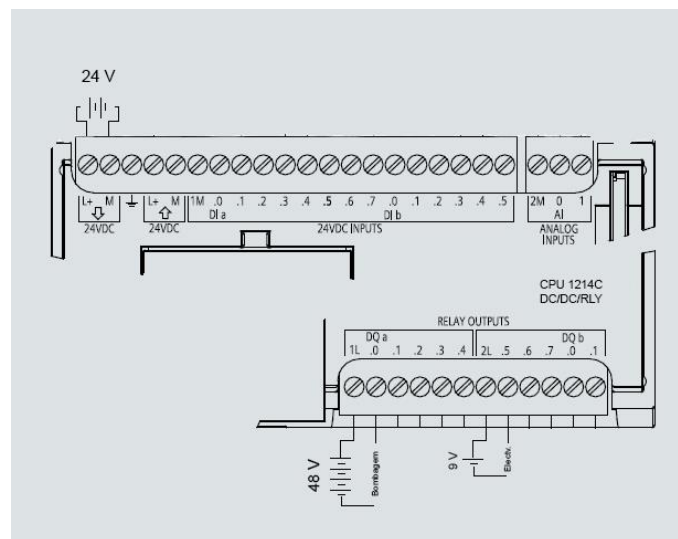


Figura 3.2 Esquema simples das ligações ao autómato

No caso da carta de comunicação de RS232, que se encontra acoplada, é alimentada directamente a partir do autómato. Já a placa mestre, que se encontra ligada a esta carta, necessita de uma tensão de 5 V sendo que, tal como as electroválvulas, tem o seu próprio circuito de alimentação.

3.2. Tratamento de dados e algoritmo

Os valores lidos pelos sensores são recolhidos através da carta de comunicação CM1241 e guardados num *buffer*. Estes valores são depois copiados/divididos para/por variáveis associadas a cada sensor. O valor do ADC (parâmetro da temperatura) é copiado para a variável *V_ADC*, assim como o valor que corresponde ao sensor de humidade que é copiado para *V_Time*.

A partir daí serão aplicadas as equações já apresentadas em capítulos anteriores para calcular as grandezas desejados: temperatura do solo em °C (*T_Final*) e humidade em percentagem (*H_Final*). O algoritmo descrito de seguida baseia-se e foi adoptado para uma exploração de mirtilos. Contudo, e para outro tipo de cultura, as variáveis principais associadas ao funcionamento da rega poderão ser modificadas a partir de uma página *web*, disponibilizada pelo autómato.

O algoritmo apresenta como variáveis principais o *T_Final*, a *H_Final*, a capacidade de campo θ_{FC} (*V_CC* nas variáveis do autómato), o limiar de stress hídrico θ_{PW} (*V_LSH* nas variáveis do autómato) e o tempo de ciclo entre cada leitura dos sensores (*Tempo_C*). O ciclo de tempo entre leituras, *Temp_C*, é introduzido na página *web* mas é adaptado ao longo do algoritmo conforme as condições verificadas.

O principal objectivo é garantir que a planta obtenha a capacidade de campo necessária na rega, mas também promover um aumento da poupança de água, sendo que a rega só é accionada quando o teor volumétrico de água no solo atingir ou descer abaixo de 1.1 (*Por_LSH*) do limiar de stress hídrico, *VminH*, (Figura 3.3), valor que é também possível definir na página *web*.

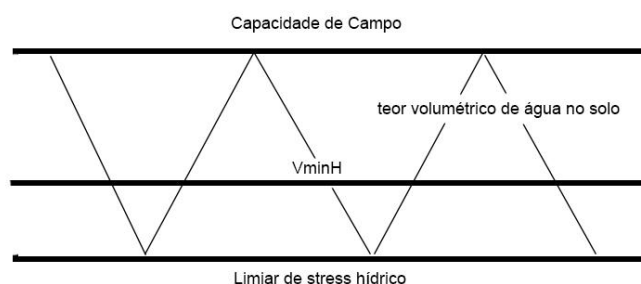


Figura 3.3 Ilustração da condição de rega

A acrescentar às condições do teor volumétrico de água no solo, existe a condição de temperatura, quando esta é superior a 30°C (*T_Max*) e no caso do mirtilo, não é viável

regar, uma vez que a planta não irá absorver nenhuma água, sendo, portanto, desperdiçada nestas condições.

3.3. Programação do autômato

3.3.1. Estrutura do programa

Através da ferramenta de *software* TIA Portal (Figura 3.4) são disponibilizadas as ferramentas de programação do autômato. Os autômatos podem ser programados em 6 linguagens diferentes de acordo com a norma internacional IEC 61131-3, e que são: diagrama ladder (LD), diagrama de Blocos (FBD), texto estruturado (ST), lista de instruções (IL), diagrama de funções sequenciais (SFC) e diagrama de funções contínuas (CFC). Nem todas estão disponíveis em todos os autômatos. Por exemplo, o TIA Portal só disponibiliza para o S7-1200 três linguagens (LD, FBD e ST). A linguagem de texto estruturado é designada pela Siemens por SCL, e é aquela que dá mais liberdade ao programador. Considerando esta vantagem, optou-se por programar em SCL.

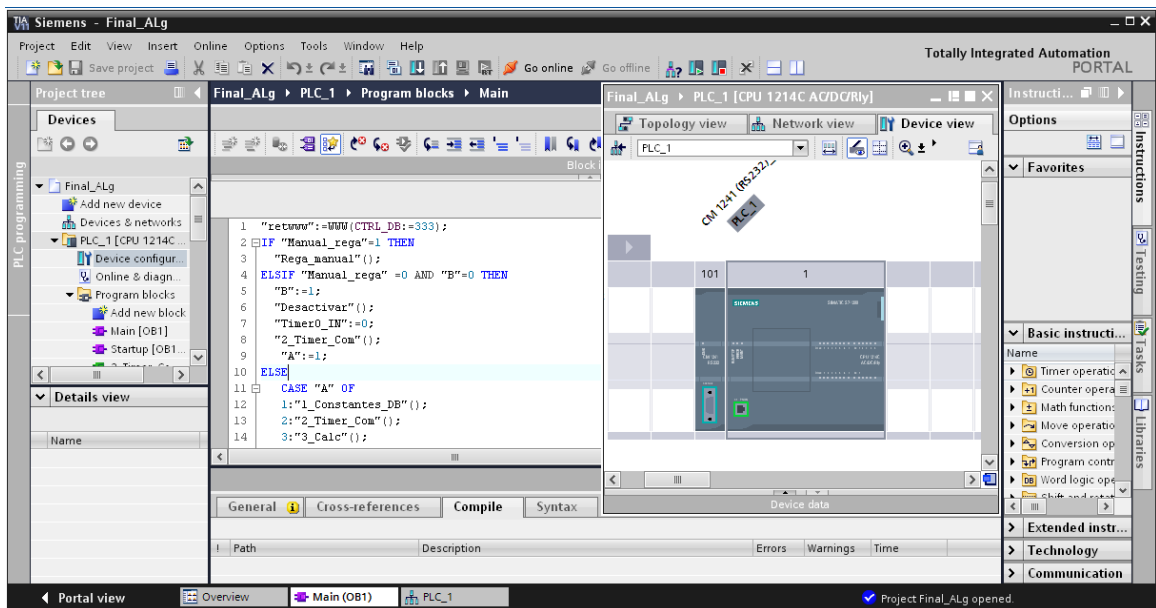


Figura 3.4 Tia Portal

O ambiente de programação está dividido em vários blocos, de forma a estruturar melhor as etapas de programação.

O programa desenvolvido é composto por um bloco principal, *Main* [OB1], e por diversos blocos de funções depois dividido em vários blocos de funções [FC ou FB].

O *main*, representado na Figura 3.5, chama a página *web*, deixa o produtor seleccionar o modo de rega que deseja: rega manual ou rega controlada pelo autómato. Na rega manual o produtor pode desactivar o controlo automático e assim decidir por ele próprio.

A rega automatizada, no *main*, é estruturada através de blocos de funções relativos às várias etapas necessárias para uma tomada de decisão autónoma. Uma função é chamada assim que a execução da função que a antecede for concluída. As instruções de 1 a 4 (como se vê na Figura 3.5) são as principais, caso haja uma falha por exemplo no envio de uma ordem de recolha de dados ou na recepção dos dados, 10 segundos depois de ocorrer esse erro, é chamada a função de erro “O_Erro_Estado”, as variáveis são actualizadas e o autómato volta a tentar comunicar após 15 segundos. Assim, caso haja uma falha na comunicação sem fios, a Unidade Central de Dados volta a pedir a repetição do envio do pacote de dados.

```

Final_Alg2 > PLC_1 > Program blocks > Main
Block interface
1 |"retwww" := WWW(CTRL_DB:=333);
2 |IF "Manual_rega"=1 THEN
3 |   "Rega_manual"();
4 | ELSIF "Manual_rega" =0 AND "B"=0 THEN
5 |   "B" :=1;
6 |   "Desactivar"();
7 |   "Timer0_IN" :=0;
8 |   "2_Timer_Com"();
9 |   "Estado" :=1;
10 | ELSE
11 | CASE "Estado" OF
12 | 1:"1_Constantes_DB"();
13 | 2:"2_Timer_Com"();
14 | 3:"3_Calc"();
15 | 4:"4_Condicoes"();
16 | ELSE
17 |   "O_Erro_Estado"();
18 | END_CASE;
19 | END_IF;
    
```

Figura 3.5 Bloco Main

Nas funções de 1 a 4 temos o primeiro bloco de função, “1_Constantes_DB”, que actualiza os valores que foram inseridos na página *web* no fim de cada ciclo de decisão sobre a rega, e que contém as variáveis fixas necessárias para as fórmulas apresentadas anteriormente.

No bloco seguinte, “2_Timer_Com”, é decorrido o tempo entre decisões para que depois seja enviada a ordem para prosseguir com a leitura dos sensores e receber os dados adquiridos. Para gerir o tempo é activado um contador com a instrução “IEC_Timer_0_DB”.TON(), no fim da contagem ele activa a instrução “SEND_PTP_DB”(), que

por sua vez envia o endereço da placa sensorial e depois, através a instrução "RCV_PTP_DB"(), recebe os 4 bytes que trazem os valores dos dois sensores. Neste bloco também são sinalizadas as falhas de comunicação, sendo que se for o caso o programa fica bloqueado numa das instruções, enviar ou receber e, se depois de 10 segundos não mudar de estado, a função de erro é chamada.

No terceiro bloco o "3_Calc" em primeiro lugar é executado o algoritmo (ver Figura 3.6), em que são divididos os 4 bytes com a informação para a variável do sensor de temperatura (V_ADC), representada pelos primeiros 9 bits, e para a variável do sensor de humidade (V_Time) representada pelos bits de 16 ao 31. De seguida são definidos os termos das equações já representados anteriormente, associadas a cada sensor, a fim de se obter H_Final e T_Final.

```

6 FOR "FOR_COUNT" := 0 TO 30 DO
7   "Res_AND" := "Comm_Buffer".buffer AND "Peso";
8   IF "FOR_COUNT" < 9 THEN
9     IF "Res_AND" = "Peso" THEN
10      "V_ADC" := "V_ADC" + "Peso";
11    ELSE
12      "V_ADC" := "V_ADC";
13    END_IF;
14  ELSE IF "FOR_COUNT" >= 16 THEN
15    IF "Res_AND" = "Peso" THEN
16      "V_Time" := "V_Time" + ("Peso" / 65536);
17    ELSE
18      "V_Time" := "V_Time";
19    END_IF;
20  END_IF;
21  "Peso" := "Peso" + "Peso";
22 END_FOR;

```

Figura 3.6 Algoritmo de leituras de bits

Por fim é executado o 4º bloco, "4_Condicoes", que tomará as decisões de rega. Para começar é verificado se a humidade é inferior ao limiar de stress hídrico e, se for este o caso, o autómato acciona um alarme (demonstrado na página web) e acciona a rega. De seguida é verificado se a temperatura é adequada para se regar, se não for o caso verifica-se se as condições se alteraram num curto espaço de tempo. Caso a temperatura seja a desejada, é testado o valor de humidade e assim accionada ou desactivada a rega, conforme as condições verificadas.

No primeiro caso, primeira verificação deste bloco, não se verifica a temperatura uma vez que existe o risco de que a planta morra caso a humidade desça abaixo do valor do limiar de stress hídrico. O alarme servirá para alertar o produtor que deverá verificar o estado da plantação. Este bloco é apresentado no fluxograma da Figura 3.7 que demonstra a lógica do mesmo e a forma como estão intercalados os blocos anteriores.

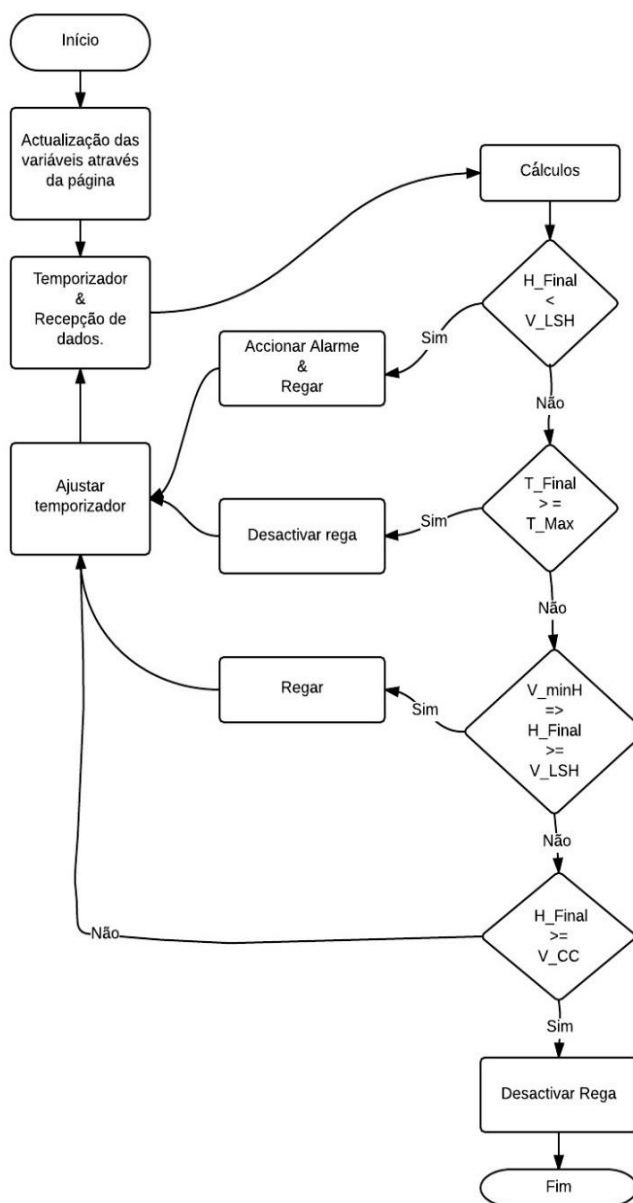


Figura 3.7 Fluxograma geral

3.3.2. Página Web

A página *web* foi desenvolvida em *html* e depois foi feito o *upload* para o TIA Portal que disponibiliza a página a partir do IP do autómato. O próprio manual do S7-1200 fornece os comandos especiais (comandos AWP) que permitem interagir com o algoritmo que corre no autómato. Os comandos AWP são introduzidos no código *html* e assim é possível obter uma página personalizada que permite manipular (ler e escrever) as variáveis do código de programação do autómato. Neste trabalho, a página serve de plataforma entre o produtor

agrícola e a máquina/sistema, na qual se disponibilizam os valores de humidade e de temperatura, a opção de desactivar o modo automático (autómato como centro decisor) e activar o modo de rega manual, Figura 3.8. À página podem ainda ser associados alarmes que chamarão a atenção do produtor para determinados eventos, neste caso aplicou-se um alarme que dispara caso o valor de humidade passe o seu limite inferior, valor de *stress* hídrico, e que apenas poderá ser desligado pelo próprio produtor através da plataforma.

Caso seja necessário fazer ajustes mais profundos no sistema, alterações no algoritmo base do sistema, será necessário que o utilizador ou técnico façam a autenticação de administrador na plataforma, onde terá também acesso aos menus de configuração das propriedades de rega e dos parâmetros do solo, já mencionados em capítulos anteriores.

Plataforma de rega

User Name:
admin
Password:
Login

Humidade do solo 47 % / Temperatura do solo 15 °C

Rega manual:
Activar
Desactivar

Alarme accionado quando o valor da humidade é inferior ao limite de stress hídrico:
ON(1) Off(0): 0 -- Desactivar alarme

Propriedades de rega:
Numero de ciclos de rega em tempo(min ou horas): T#30S
Capacidade de campo: 41 %
Limiar de stress hídrico: 27 %
Percentagem a cima do stress hídrico: 10 %
Temperatura maxima de rega: 30 °C

Parâmetros do solo:
Teor residual de água: 0.1
Teor saturado de água no solo: 0.5
Alpha de van Genuchten: 0.2 kPa⁻¹
Parâmetro de vG, n: 1.2

Posted by: Nuno Marins

Figura 3.8 Página Web

3.3.3. Validação Experimental

O protótipo do sistema foi testado em laboratório como ilustrado na Figura 3.9.

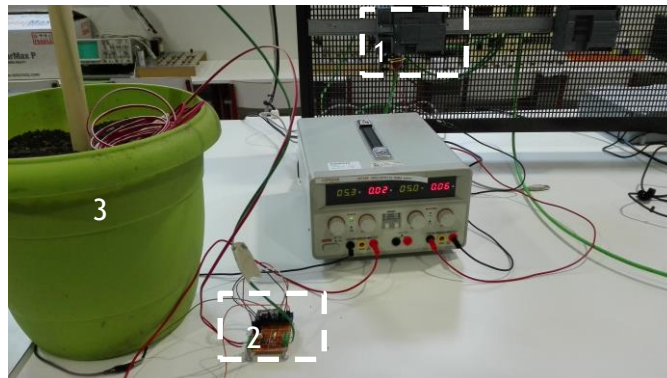


Figura 3.9 Configuração experimental, 1-UCD, 2- Placa sensorial, 3-Sensores

A Figura 3.10 ilustra, a partir do autômato, as variáveis internas do sistema conforme os valores obtidos através da placa sensorial ou calculados pelo PLC.

Por exemplo, numa das amostras das medições, a umidade do solo θ , ou H_Final, é de 47% e a temperatura T, ou T_Final, é de 15°C.

Default tag table							
	Name	Data type	Address	Retain	Visibl...	Acces...	Monitor value
28	Tempo_C	Time	%MD100	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	T#305
29	T0_time	Time	%MD104	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	T#25_981M5
30	Res_AND	DWord	%MD108	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16#0000_0000
31	Peso	DWord	%MD112	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	16#0000_0000
32	V_Time	UDInt	%MD116	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	126
33	V_ADC	UDInt	%MD120	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	659
34	R_T	Real	%MD124	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	12766.86
35	V_ADC_R	Real	%MD128	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	659.0
36	V_Temp_R	Real	%MD132	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	14.98932
37	T_Final	DInt	%MD136	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	15
38	V_Time_R	Real	%MD140	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.26e-005
39	R_S	Real	%MD144	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-0.3001141
40	P	Real	%MD148	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	-3.804858
41	teor_r	Real	%MD152	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.1
42	teor_s	Real	%MD156	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.5
43	alpha	Real	%MD160	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.2
44	n	Real	%MD164	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1.2
45	m	Real	%MD168	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.1666667
46	VWC	Real	%MD172	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	0.4654127
47	V_MinH	DInt	%MD176	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	29
48	H_Final	DInt	%MD180	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	47

Figura 3.10 Tabela de parâmetros do sistema

4. Estudo económico

Neste capítulo é apresentado um estudo relativo ao custo associado à implementação de um sistema do tipo do desenvolvido nesta dissertação e aos ganhos (retorno) que o produtor pode retirar ao adquirir este sistema de gestão de rega. Também inclui um pequeno enquadramento de mercado acerca de outros produtos já existentes, e os resultados de um questionário levado a cabo junto de produtores agrícolas para avaliação do interesse e necessidades associadas à problemática em estudo, a gestão eficiente de regas.

4.1. Custo do Sistema

Os custos do sistema que deverão ser suportados pelo produtor agrícola correspondem à soma do custo associado a cada componente que o compõe, com a dita mão-de-obra que não poderá ser quantificada nesta dissertação. Sendo assim vamos referir-nos apenas aos preços dos componentes e ao seu total.

Na seguinte tabela apresentam-se os preços de cada componente do sistema e os preços para um conjunto, denominado por KIT10, que inclui uma UCD e dez módulos sensoriais.

Tabela 4.1 Preços dos componentes por unidade e de um KIT10

	Preço /un	KIT10
SIMATIC S7-1200, CPU 1212C	235.00 €	235.00 €
COMMUNICATION MODULE CM 1241, RS232	120.00 €	120.00 €
Watermark 200SS	34.00 €	340.00 €
Watermark 200TS	40.00 €	400.00 €
Componentes electrónicos (radio, 555, micro, etc)	20.00 €	200.00 €
Total:	449.00 €	1,295.00 €

Todos os valores acima apresentados na Tabela 4.1 se basearam em tabelas de preços de empresas fornecedoras de cada produto, à excepção do material electrónico, em que foi feita uma estimativa total do custo de todos os componentes adquiridos para este trabalho de dissertação aos quais ainda terão de ser acrescentados os custos da caixa do módulo sensorial e do sistema de painéis fotovoltaicos, necessários para a alimentação do mesmo

módulo, que deverá incrementar os custos em cinquenta euros por conjunto (os valores para o painel e a caixa-foram estimados depois de uma pesquisa na internet).

Após reunião com a empresa parceira (Agrodom Smart Lda), que nos foi dando algumas noções mais específicas associadas à agricultura e com aplicabilidade nesta dissertação, foi determinado o seguinte preço final para o sistema.

Tabela 4.2 Preço final do sistema

	Preço /un	KIT10
Sistema completo	600.00 €	1500.00 €

É importante ainda referir que a nenhum dos montantes apresentados acima foi acrescentado o imposto de valor acrescentado (IVA) e que estes estão sujeitos a flutuações das margens de lucro associadas ao preço de venda ao público que pode variar entre empresas.

Apresentados os custos é agora necessário apresentar o retorno esperado para os produtores que adquiram este sistema tendo em conta que a aquisição poderá ser subsidiada por meio de ajudas comunitárias ao nível dos incentivos à qualidade, desenvolvimento e ao aumento da produção.

O quadro comunitário Portugal 2020 prevê incentivos financeiros para o sector agrícola, incentivos que se enquadram no Programa de Desenvolvimento Rural 2020 (PDR 2020). Associados ao PDR 2020, existem vários subprogramas de apoio comunitário, subprogramas estes em que, para a sua atribuição, é necessário que seja submetida e aprovada uma candidatura. Candidaturas que utilizem tecnologia associada a energias renováveis, e que promovam o uso eficiente de água na agricultura, são candidaturas de interesse e com probabilidade acrescida de aprovação. Sendo o nosso produto alimentado por painéis fotovoltaicos e concebido para uma boa gestão da rega, da qual não se pode dissociar a poupança de água, é uma mais-valia incluí-lo numa candidatura como por exemplo ao subprograma Jovem Agricultor. Estas vantagens, além de estarem sujeitas à atribuição de uma maior pontuação durante a fase de candidatura, permitem ainda a disponibilização de um montante superior ao montante típico atribuído a candidaturas que não sigam a mesma linha [34].

A produtividade das culturas vegetais, com carácter produtivo, ou não, é ainda influenciada por aquelas que se apelidam por condições edafoclimáticas, requisitos que, quando cumpridos, garantem à planta as condições óptimas de sobrevivência e produção. Dentro destas, aquela que se considera mais importante é a de garantir que a planta nunca

alcance o limiar de *stress* hídrico e que não exista um excesso de irrigação, cumprindo os valores de capacidade de campo. Por razões óbvias, uma melhor produção da cultura, corresponde a um maior ganho na venda do produto e portanto um maior lucro para os intervenientes na cadeia de produção.

4.2. Aplicabilidade no Mercado

Quando falamos da aplicabilidade do sistema aqui proposto é quase certo que esta tenderá a crescer, uma vez que a aquisição deste tipo de sistemas electrónicos facilita o cumprimento de tarefas na óptica do seu utilizador e uma vez que a sensibilidade da população também despertará cada vez mais nesse sentido, muito face à crescente importância da temática da poupança de água. Existem já alguns sistemas semelhantes ao aqui proposto no mercado, como é o caso do Intelliwater [35] que disponibiliza sensores que comunicam com uma base de dados, que por sua vez se encontra ligada a electroválvulas, e assim efectua o controlo da passagem de água para a rega. Entre os produtos da empresa Libelium [36] podemos encontrar soluções em que, a partir de módulos sensoriais responsáveis pelas leituras da humidade e de temperatura, entre outras, os dados são enviados para um *Web Server*, a que apenas o produtor tem acesso, onde pode consultar o estado da sua produção e controlar o sistema. Também no mercado português existem algumas soluções propostas como é o caso da criação de uma ferramenta de apoio à decisão que actua através da recolha de dados do estado da rega e da meteorologia, canalizando depois estes dados para uma aplicação *online* (WiseCrop) [37]. Como demonstrado nos exemplos anteriores o mercado está a crescer nesta área e o sistema proposto nesta dissertação não se apresenta apenas como mais um sistema, mas sim como uma mais-valia para o mercado, sendo que as maiores contribuições apresentadas são a existência de uma Unidade Central de Dados que actua sem que seja necessária a actuação humana, e ainda a disponibilização, a partir de uma plataforma *online*, de campos que podem ser verificados e modificados pelo responsável da produção agrícola.

Com o objectivo de perceber quais os sistemas de irrigação actualmente utilizados nas explorações agrícolas, quais as necessidades sentidas neste ramo pelos seus exploradores e, na óptica do jovem agricultor e agricultor comum, qual a abertura e importância dada a sistemas com o propósito descrito nesta dissertação, foi realizado um inquérito (Anexo II) simples e objectivo posteriormente divulgado via *online*, através da Associação dos Jovens Agricultores de Portugal (AJAP), das redes sociais e distribuído em papel a exploradores agrícolas situados na zona da Covilhã.

A população inquirida apresenta-se numa faixa de idades que vai dos 25 aos 65 anos, é na maioria masculina sendo que 15 % dos inquiridos é do sexo feminino. Os inquiridos subdividem-se ainda em pequenos produtores, que desenvolvem a sua actividade em terrenos de 1 a 10 hectares, e em grandes produtores, proprietários de terrenos com áreas superiores a 10 hectares.

O questionário começa por verificar se os inquiridos consideram vantajosa a associação de sistemas automatizados aos sistemas de irrigação, sendo que existe um perfil unânime de resposta em que se considera que sim e, além de isso, uma esmagadora maioria (85.7%) considera ainda que esta é uma tecnologia crucial para o desenvolvimento nesta área. Alguns deles referem ainda aquando da entrega dos questionários, que o mais importante para eles é a garantia de que o sistema permite uma significativa poupança de água, o que diverge dos sistemas convencionalmente usados como é o caso do sistema com maior taxa de utilização, 64.3%, que funciona através relógios associados à rega, e o caso da rega manual que é o segundo método mais utilizado (28.6%) pela amostra da população inquirida.

Quando indagados quanto ao interesse na aquisição de um sistema deste tipo para as suas culturas agrícolas, as opiniões divergem dando origem a uma maior diversidade de respostas (ver Figura 4.1), diversidade essa muito associada ao tamanho da exploração, variando os seus proprietários entre pequenos produtores e grandes produtores agrícolas.

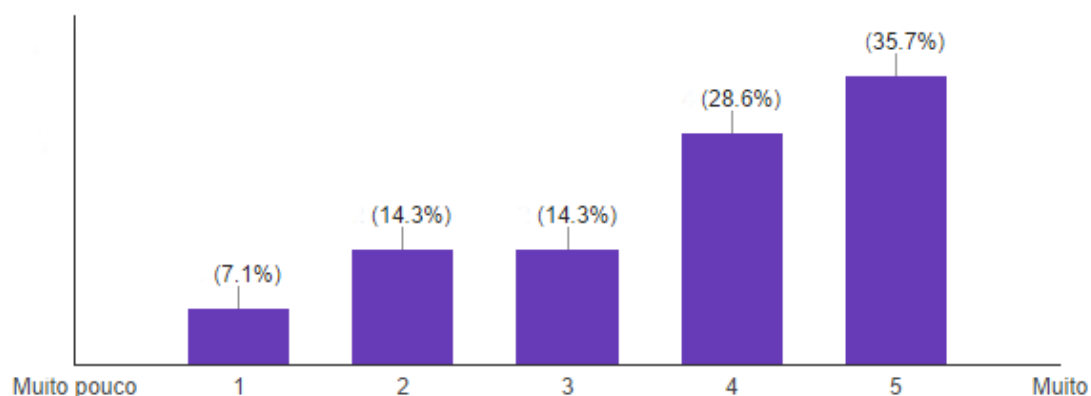


Figura 4.1 Gráfico sobre o interesse em adquirir o sistema

Como se verifica na Figura 4.1, onde 1 representa muito pouco interesse, o numero 3 algum interesse e o 5 muito interesse na aquisição do sistema, mesmo com a diversidade de interesse no que toca ao interesse da aquisição de um sistema de rega automatizada,

os resultados mostram que a maior parte da população amostrada tem um grande interesse na aquisição de um produto deste tipo.

A população de inquiridos foi depois informada do custo associado ao sistema aqui apresentado e novamente questionada quanto ao interesse na aquisição deste produto. Foram então informados que, para 10 electroválvulas, o que equivale a 10 secções de terreno, o custo desta tecnologia rondava os 2000 euros e que devia ter um sistema de bombagem preferencialmente fotovoltaico. Depois de divulgados estes valores 71% dos inquiridos não mudava o seu interesse e 29% mudava. Destes 29% houve quem alterasse a sua opinião e tivesse um grande interesse na aquisição deste produto, mas também houve alguns inquiridos para os quais o seu interesse diminuísse. Em suma, relativamente ao custo do sistema e com base nas opiniões vivenciadas aquando do preenchimento dos questionários impressos em papel e entregues pessoalmente, pode-se concluir que para os grandes produtores 2000 euros não representa um grande investimento se de facto este se traduzir numa significativa poupança de água.

5. Conclusões

Nesta dissertação foi desenvolvido um projecto de prova de conceito em que se apresenta um sistema de gestão inteligente de rega baseado na monitorização de solos associados a terrenos / culturas agrícolas e que pode ser visto, em termos estruturais, a partir de dois subsistemas e da interacção entre eles, o subsistema correspondente ao módulo sensorial e o subsistema associado à Unidade Central de Dados.

Para o desenvolvimento do sistema proposto foi necessário alargar o leque de conhecimentos, nomeadamente na área da engenharia agrónoma, no que toca à relação entre as culturas agrícolas e as condições do meio onde estas se encontram inseridas. Estes conhecimentos permitiram compreender quais as condições que seria necessário o sistema reproduzir para garantir a subsistência das culturas, potenciar o seu desenvolvimento e utilizar para isso os recursos estritamente necessários.

Na fase de dimensionamento do módulo sensorial, para o qual se objectivou a recolha de parâmetros do solo (temperatura e humidade), destaca-se o processo de selecção e de calibração de sensores por meio das suas equações de calibração, assim como o desenvolvimento da electrónica associada ao funcionamento destes componentes e o sistema de comunicação rádio que faz a ponte entre este módulo e a Unidade Central de Dados. Verificou-se ainda que os sensores previamente seleccionados e mais tarde testados apresentavam, pelas suas características, um padrão de funcionamento correspondente ao desejado.

Como centro decisor apresentou-se a Unidade Central de Dados, responsável pela interacção utilizador-sistema e sistema-cultura agrícola e implementada a partir de um dispositivo versátil, robusto e adaptado a ambientes de maior exigência, o autómato. Neste centro foi tida em conta a necessidade da existência de uma interface utilizador-sistema que se caracterizasse pela sua simplicidade e fácil adaptação para os utilizadores, neste caso agricultores.

Durante a projecção e dimensionamento do sistema, e para que este fosse desenhado com vista à aplicação no mercado, foi ainda necessário quantificar o custo associado a cada uma das partes do sistema para assim estabelecer uma relação custo-benefício que permita a sua aquisição por parte dos produtores agrícolas. Através do questionário feito pode concluir-se que o ramo agrícola, no que toca a técnicas de irrigação, encontra-se ainda dependente de técnicas obsoletas e pouco económicas do ponto de vista da sua

eficiência. No entanto existe a sensibilidade e a consciência, essencialmente por parte dos grandes produtores, para esta problemática reconhecendo estes a necessidade de evoluir e otimizar os sistemas existentes. No que toca ao custo do produto, este terá de reflectir uma significativa poupança de água por forma a que o produtor em tempo útil consiga retirar o valor do investimento associado a um sistema de rega autónomo.

Por fim, concluído o sistema e verificado o seu funcionamento, verifica-se que este se apresenta como um utilitário que segue a linha do desenvolvimento tecnológico, permitindo que tarefas que outrora faziam despender tempo e cuja sua eficácia dependia do nível de conhecimento do executante, passem agora a ser automáticas e concebidas para um funcionamento óptimo, garantindo um serviço ao nível da especialidade do ramo, num mercado onde as soluções existentes ainda são escassas.

Num contexto onde o crescimento demográfico e industrial potenciam um crescente consumo de água, e o acesso a este recurso se encontra cada vez mais restringido, fruto da sua poluição e escassez, a possibilidade da implementação deste sistema permite, sem pôr em causa o desenvolvimento das culturas, um nível de poupança de água muito elevado, no entanto, difícil de quantificar com o tempo disponível para o desenvolvimento de uma dissertação.

Este sistema foi idealizado ainda tendo em conta a existência de explorações agrícolas em zonas remotas, onde não existe o acesso à rede energética ou, para os sistemas em que esse acesso não se encontra restringido, permitir uma mudança do contexto da gestão energética associado à exploração agrícola, indo ao encontro dos modernos sistemas de energia limpa, os sistemas fotovoltaicos.

5.1. Sugestão para trabalhos futuros

Ao longo do trabalho desenvolvido foram surgindo alguns aspectos com potencial de desenvolvimento. Associado ao dimensionamento do sistema de comunicação sem fios seria vantajoso estudar tipologias de redes de comunicação no qual se enquadrasse um maior número de pontos de recolha de dados e com capacidade para maiores áreas de cobertura.

Para o sistema de aquisição de temperatura, na escolha do sensor a utilizar, verificámos que após análises efectuadas ao dispositivo, deve considerar-se, no momento da escolha dos sensores, aqueles que se façam acompanhar de informações técnicas mais detalhadas.

Para a instalação das placas sensoriais, associadas aos sensores, no terreno, deverá considerar-se a criação ou aquisição de uma caixa de protecção (por placa sensorial) especialmente concebida para o efeito, com sistema de ligação *plug and play* e adaptada a um mini painel fotovoltaico. Para o sistema pode ainda ser equacionada a aquisição de outros tipos de sensores, como por exemplo o sensor de pH, e incluir as respectivas condições no algoritmo de decisão por forma a alcançar uma resposta ainda mais completa no momento da decisão.

Como medida de teste complementar do sistema aqui proposto, seria interessante a elaboração de um estudo relativo à quantidade de água gasta numa exploração agrícola antes e depois da implementação do sistema, durante o período de um ano. Paralelamente a este estudo poder-se-ia desenvolver um sistema que determinasse os gastos energéticos para sistemas que fossem inicialmente alimentados pela rede. Com os resultados de ambos os estudos poder-se-ia fazer um balanço do tempo necessário para o retorno do investimento.

.

Referências bibliográficas

- [1] B. Werner and R. Collins, *Towards efficient use of water resources in Europe*, no. 1. European Environment Agency Report, 2012.
- [2] H. F. de B. Neves, "Sistema de Monitorização da Humidade do Solo para Gestão Eficiente da Irrigação," Universidade da Beira Interior, 2009.
- [3] R. Muñoz-Carpena and M. D. Dukes, "Automatic Irrigation Based on Soil Moisture for Vegetable Crops," *Dep. Agric. Biol. Eng. UF/IFAS Ext.*, pp. 1-4, 2014.
- [4] X. Liu, J. Ling, L. Yao, H. Wu, and J. Tao, "Engineering quality control of solar-powered intelligent water-saving irrigation," *CAR 2010 - 2010 2nd Int. Asia Conf. Informatics Control. Autom. Robot.*, vol. 3, pp. 254-257, 2010.
- [5] Zhang Feng, "Research on water-saving irrigation automatic control system based on internet of things," *2011 Int. Conf. Electr. Inf. Control Eng.*, pp. 2541-2544, 2011.
- [6] M. Usha Rani and S. Kamalesh, "Web based service to monitor automatic irrigation system for the agriculture field using sensors," in *2014 International Conference on Advances in Electrical Engineering, ICAEE 2014*, 2014, pp. 1-5.
- [7] P. Patil, V. H., S. Patil, and U. Kulkarni, "Wireless Sensor Network for Precision Agriculture," *2011 Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Networks*, pp. 763-766, 2011.
- [8] X. Peng, Z. Mo, L. Xiao, and G. Liu, "A Water-Saving Irrigation System Based on Fuzzy Control Technology and Wireless Sensor Network," *2009 5th Int. Conf. Wirel. Commun. Netw. Mob. Comput.*, pp. 1-4, 2009.
- [9] J. Gutierrez, J. F. Villa-Medina, A. Nieto-Garibay, and M. A. Porta-Gandara, "Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 63, no. 1, pp. 166-176, 2014.
- [10] R. G. Evans and W. M. Iversen, "Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 57, no. 7, pp. 1379-1387, 2008.
- [11] and P. C. Kurt C. Kornelsen, Member, IEEE, "Design of an Optimal Soil Moisture Monitoring Network Using SMOS Retrieved Soil Moisture," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 53, no. 7, pp. 3950-3959, 2015.
- [12] WMO, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, vol. I & II, no. 7. 2008.
- [13] N. J. Livingston and G. C. Topp, "Soil Water Potential," *Agriculture*, no. 1965, pp. 1-126, 2006.
- [14] a L. L. Transport, F. Similar, M. Laws, and a S. Darcy, "Chapter 2. soil-water potential: concepts and measurement," *Molecules*, pp. 1-26, 2000.
- [15] and J. M. W. Or Dani, Markus Tuller, "Soil water potential," *Encyclopedia of soils in the environment*, no. 3. pp. 270-277, 2005.
- [16] A. Berrada, T. M. Hooten, G. E. Cardon, and I. Broner, "TROL-7 Part II: Calibration of the Watermark Soil Moisture Sensor and ETgage Atmometer," *Area*, pp. 1-19, 2001.
- [17] B. Vandewalle, E. Educator, F. County, J. Rees, E. Educator, C. County, G. Zoubek, E. Educator, and C. County, "Principles and Operational Characteristics of Watermark Granular Matrix Sensor to Measure Soil Water Status and Its Practical Applications for Irrigation Management in Various Soil Textures," vol. 5, pp. 1-14, 2014.
- [18] U. of I. Rick Allen, "Calibration for the Watermark 200SS Soil Water Potential," 2000. [Online]. Available: http://www.kimberly.uidaho.edu/water/swm/Calibration_Watermark2.htm#_ftnref2.
- [19] EME Systems, "Electrical Interface for Watermark™ or Gypsum Block Sensors.," pp. 1-15, 2002.
- [20] M. T. van Genuchten, "A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils," *Soil Sci. Soc. Am. J.*, pp. 1-7, 1980.
- [21] B. GHANBARIAN-ALAVIJEH, A. LIAGHAT, G. H. HUANG, and M. T. VAN GENUCHTEN, "Estimation of the van Genuchten Soil Water Retention Properties from Soil Textural Data," *Pedosphere*, pp. 456-465, 2010.
- [22] "An Introduction to Soil Moisture Concepts." [Online]. Available: http://hydrogold.org/education.soil_moisture_concepts.html.
- [23] I. SPECTRUM SENSORS & CONTROLS, "NTC Thermistor Applications," pp. 53-55, 2005.
- [24] I. Spectrum Sensors & Controls, "NTC Thermistor Engineering Notes," pp. 49-52, 2005.
- [25] S. R. Systems, "Calibrate Steinhart-Hart Coefficients for Thermistors," pp. 1-3, 2012.
- [26] Emerson, "APPLICATION NOTES - DEFINITIONS, NTC Thermistor 101," pp. 38-50, 2013.
- [27] J. Haule and M. Kisangiri, "Deployment of Wireless Sensor Networks (WSN) in Automated Irrigation Management and Scheduling Systems: a review," *Pan African Int. Conf. Sci. Comput. Telecommun.*, pp. 86-91, 2014.
- [28] L. M. OLIVEIRA, L. RODRIGUES, and J. J. P. C., "Wireless Sensor Networks: a Survey on Environment Monitoring," *J. Commun.*, vol. 6, no. 2, pp. 143-151, 2011.
- [29] P. Specification and K. Features, "Product specification, nRF24L01+," *NORDIC, semiconductor*, no. 1, pp. 1-78, 2008.

Referências bibliográficas

- [30] Joao M. G. Figueiredo, "PLC based Structure for Management and Control of Distributed Energy Production Units", Programmable Logic Controller, Luiz Affonso Guedes (Ed.), ISBN: 978-953-7619-63-3, InTech, 2010.
- [31] Maxim Integrated, "RS-232 Drivers / Receivers MAX220 / MAX232 / MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit MAX220 - MAX249 RS-232 Drivers / Receivers."
- [32] A. Francisco, *Autómatos Programáveis*, 5th ed. 2015.
- [33] Siemens, "Controlador programable S7-1200," pp. 1-834, 2011.
- [34] Programa de desenvolvimento rural 2020, "Programa de Desenvolvimento Rural do Continente para 2014-2020," pp. 1-30, 2014.
- [35] "IDIS-Smart irrigation." [Online]. Available: <http://www.idiscompany.com>.
- [36] "Libelium." [Online]. Available: <http://www.libelium.com>.
- [37] "Wisecrop." [Online]. Available: <https://www.wisecrop.com/pt/>.

Anexo I

Anexo II: Questionário

Sr. / Sra.

Este questionário surge no âmbito do desenvolvimento de uma dissertação de mestrado onde se dimensiona um sistema autónomo que pretende ser uma mais-valia na gestão de explorações agrícolas, mais concretamente na gestão da rega de uma forma eficiente. Do sistema proposto faz parte uma rede de sensores, instalada no campo agrícola e em pontos estratégicos, que recolhem e enviam informações relativas aos valores de temperatura e humidade do solo para uma central onde, consoante os dados recebidos e introduzidos pelo utilizador, será tomada a decisão de activação ou desactivação da irrigação. A central é concebida para gerir a humidade do solo de tal forma que a cultura agrícola tenha sempre a quantidade de água suficiente e estritamente necessária, tendo em conta os períodos de maior calor. Como consequência, a partir do sistema proposto, é possível garantir uma poupança de água e melhores taxas de produção das culturas. O responsável da exploração terá também acesso a todos os parâmetros da central através de uma página web, a partir da qual lhe será possível ajustar, a qualquer altura, os parâmetros essenciais que servem de referência às tomadas de decisão, e verificar o estado do solo.

Questionário

Sexo: M () F ()

Idade: _____

Área aproximada da exploração agrícola (em hectares): _____

Pensa ser vantajosa a existência de sistemas automáticos para gestão da irrigação, semelhantes ao acima apresentado, em produções agrícolas?

Sim ();

Não ().

Caso tenha respondido sim, na questão anterior, como classifica, em termos da sua importância, o desenvolvimento nesta área?

Nada importante

Importante

Muito importante

1

2

3

4

5

Actualmente como é feito o controlo da irrigação da sua produção? Selecciona a opção que melhor descreve o sistema de que dispõe.

- Sistema de rega manual (accionado pelo utilizador);
- Monitorização da temperatura e humidade do solo (valores disponíveis para leitura);
- Rega automática por temporização (associada a um relógio);

Referências bibliográficas

- Rega automática em função da temperatura, humidade do solo e tipo de cultura em exploração.

Qual seria o seu interesse na aquisição de um sistema deste tipo para a sua plantação/ cultura agrícola ou futura plantação / cultura agrícola?

Muito pouco Algum Muito

1 2 3 4 5

Sabendo que este sistema (com cerca de 10 electroválvulas) tem um custo médio associado na ordem dos 2000 euros, a acrescentar ao sistema de bombagem fotovoltaico (que ronda os 4000 a 6000 euros), o seu interesse mantinha-se igual?

Sim ();

Não ().

Se não, qual seria agora o seu nível de interesse?

Muito pouco Algum Muito

1 2 3 4 5

Obrigado pela sua participação.

Nuno Simões Martins

m6307@ubi.pt



Anexo III: Artigo Científico