

09\_2019

[Sistema de Monitorização de Canais de Rega]

[Dissertação]

Manuel Lameira – nº 4829 |

**MESTRADO “INTERNET DAS COISAS” – IP BEJA – 2018/2019**

# Agradecimentos

# Resumo

# Abstract

Índice

[Agradecimentos 1](#_Toc20945556)

[Resumo 2](#_Toc20945557)

[Abstract 3](#_Toc20945558)

[Índice 4](#_Toc20945559)

[Índice Ilustrações 6](#_Toc20945560)

[Índice Tabelas 6](#_Toc20945561)

[Índice de Siglas e Acrónimos 7](#_Toc20945562)

[1. Introdução 9](#_Toc20945563)

[1.1. Enquadramento 9](#_Toc20945564)

[1.2. Estrutura do Documento 10](#_Toc20945565)

[2. Analise do problema 11](#_Toc20945566)

[2.1. *Modus operandi* Associação de Regantes e Beneficiários de Campilhas e Alto Sado 11](#_Toc20945567)

[2.2. Qualidade da Água 12](#_Toc20945568)

[2.3. Parâmetros da Água 13](#_Toc20945569)

[2.4. Análise da Água 17](#_Toc20945570)

[2.4.1. Salinidade 17](#_Toc20945571)

[2.4.2. pH 18](#_Toc20945572)

[2.4.3. Nitratos 18](#_Toc20945573)

[2.4.4. SAR 18](#_Toc20945574)

[3. Estado de arte 20](#_Toc20945575)

[3.1. Soluções académicas 20](#_Toc20945576)

[3.1.1. Levantamento de literatura 20](#_Toc20945577)

[3.2. Sistemas comercias 24](#_Toc20945578)

[3.2.1. Arquitetura, tecnologia e funcionamento geral. 24](#_Toc20945579)

[3.2.2. Funcionalidades interessantes. 24](#_Toc20945580)

[3.2.3. Principais deficiências. 25](#_Toc20945581)

[4. Arquitetura do sistema 25](#_Toc20945582)

[4.1. Requisitos do sistema 25](#_Toc20945583)

[4.2. Hardware 26](#_Toc20945584)

[4.2.1. Sensor – Temperatura água 26](#_Toc20945585)

[4.2.2. Sensor – pH 27](#_Toc20945586)

[4.2.3. Sensor – Medição de caudal 28](#_Toc20945587)

[4.2.4. Sensor – Condutividade elétrica 29](#_Toc20945588)

[4.2.5. Sensor – Nitratos 29](#_Toc20945589)

[4.2.6. Sensor – Índice SAR 29](#_Toc20945590)

[4.2.7. Microcontrolador 29](#_Toc20945591)

[4.2.8. Comunicação – Entre nós 29](#_Toc20945592)

[4.2.9. Comunicação – Publicação de dados 29](#_Toc20945593)

[4.2.10. Alimentação – Baterias 29](#_Toc20945594)

[4.2.11. Alimentação – Painel Solar 29](#_Toc20945595)

[4.3. Software (vantagens e desvantagem de várias linguagens de programação/ justificar porque utilizar MicroPython) 29](#_Toc20945596)

[4.4. Descrição da solução adotada 29](#_Toc20945597)

[5. Desenvolvimento 31](#_Toc20945598)

[5.1. Hardware (diagramas / esquemas de ligação etc) 31](#_Toc20945599)

[5.2. Software (Código e particularidades) 31](#_Toc20945600)

[6. Implementação e testes 32](#_Toc20945601)

[7. Conclusão 33](#_Toc20945602)

[8. Referências bibliográficas 34](#_Toc20945603)

[9. Apêndices 38](#_Toc20945604)

Índice Ilustrações

Índice Tabelas

# Índice de Siglas e Acrónimos

ARBCAS – Associação de Regantes e Beneficiários de Campilhas e Alto Sado

ABMira – Associação Beneficiários do Mira

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

CE – Condutividade elétrica

DAPT – *Data Acquisition, Processing, and Transfer*

DCP *– Data Collection Platforms*

DGADR – Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural

DL – Decreto-Lei

DNP3 – *Distributed Network Protocol 3*

DO – *Dissolved Oxygen* (Oxigénio dissolvido)

DRA – Direção Regional do Ambiente, atualmente APA

DRAg – Direção Regional de Agricultura

Engage – Equipa de investigação científica portuguesa inserida no SKA

FAO *– Food and Agriculture Organization of the United Nations (*Organização das Nações Unidas

para Agricultura e Alimentação)

GSM – *Global System for Mobile communications*

IoT – *Internet of Things* (Internet das Coisas)

IPBeja – Instituto Politécnico de Beja

LTE *–*  *Long Term Evolution technology* (Tecnologia de Longo Alcance)

MIdC – Mestrado em Internet das Coisas

Modbus – S*erial Communications Protocol*

MQTT – *Message Queue Telemetry Transport*

RFID – *Radio Frequency Identification* (Identificação por Radiofrequência)

SAR – *Sodium Adsorpiton Ratio* (Relação de Adsorção de Sódio)

SCADA – *Supervisory control and data acquisition*

SDT – Sólidos Dissolvidos Totais

SKA – *Square Kilometre Array*

SST – Sólidos Suspensos Totais

TDS – *Total Dissoved Solids* (Sólidos Dissolvidos Totais)

WHO *– World Health Organization* (Organização Mundial da Saúde)

Wi-fi – Comunicações sem fios segundo o padrão IEEE 802.11

WiMax – Comunicações sem fios segundo o padrão

WoT – *Web of Things (*Web das Coisas)

WSN – *Wireless Sensor Network* – Rede de sensores sem fios

ZigBee – Comunicações sem fios segundo o padrão

# Introdução

## Enquadramento

A criação do Mestrado em Internet das Coisas (MIdC) ministrado pelo Instituto Politécnico de Beja (IPBeja), apresenta, entre outras justificações, o facto do IPBeja integrar a infraestrutura de investigação científica Engage-SKA *(Square Kilometre Array).* Neste contexto há um tema comum identificado em reuniões com membros do projeto Engage-SKA pertencentes à Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja: a água [prof Martins - EnunciadoTrabalho\_SE\_-2017-2018.pdf]**.**

A água é um bem essencial para que o suporte da vida seja possível. A sua distribuição, tal como conhecemos hoje, é resultado da evolução natural das sociedades antigas. Na atualidade, existe em geral um grande cuidado com a qualidade da água, tanto com a recolhida para consumo, como com a que provém de resíduos e é devolvida aos rios e mares. De modo a garantir a qualidade da água, são realizadas recolhas e executados testes as suas características. A água para regadio não é exceção, pelo que a monitorização da sua qualidade é essencial.

Qualquer falha na deteção antecipada de componentes nocivos ou valores que se encontrem fora dos limites legais, provoca prejuízos aos regantes e traz um risco elevado para a saúde publica contaminando as plantações e solos. O excesso de sais ou o seu desequilíbrio além de causar danos às culturas, pode acelerar processos de degradação física e química do solo e, consequentemente, diminuir a sua fertilidade. No entanto a água de rega pode veicular nutrientes necessários às culturas que, devidamente contabilizados, podem diminuir a quantidade de adubos a aplicar significando, assim, uma poupança nos custos de produção.

No campo da tecnologia, a Internet das Coisas (*IoT – Internet of Things*), tornou-se atualmente na tecnologia líder em questões de informação e comunicação em tempo real [Online measurement of water quality and reporting system using prominent rule controller based on aqua care-IOT]. Não dispondo de um modelo fixo de implementação, as suas aplicações tornam-se quase infinitas. O fator fundamental que possibilita este vasto campo de aplicação é a integração de várias tecnologias com soluções de comunicação, tais como tecnologias de identificação, localização, redes de sensores e atuadores com e sem fios, diversos protocolos de comunicação e a capacidade de dotar objetos com inteligência [Atzori, L., Iera, A. & Morbito, G. The Internet of Things: A Survey (2010), Computer Networks - [Volume 54, Issue 15](https://www.sciencedirect.com/science/journal/13891286/54/15), 28 October 2010, Pages 2787-2805, Elsevier]. Neste âmbito, a monitorização e controlo das características da água para o regadio por meio de uma rede de sensores sem fios (*Wireless Sensor Network - WSN*) em tempo real, é uma evolução natural dos sistemas antecedentes.

## Estrutura do Documento

Pretende-se com estas dissertação, repartida em 2 partes e composta por XX capítulos, desenvolver um sistema autónomo, não intrusivo e escalável para controlo da qualidade da água nos canais de rega compostos por uma geometria trapezoidal a céu aberto.

Na 1ª parte da dissertação analisa-se o estado atual dos sistemas, averigua-se o estado de arte comparando vantagens e desvantagem entre as várias soluções sejam académicas ou comerciais e elabora-se um levantamento dos custos associados a implementação do sistema protótipo desenvolvendo-se pelos capítulos:

* 1. Introdução – BREVE RESUMO
* 2. Analise do Problema – BREVE RESUMO
* 3. Estado a Arte – BREVE RESUMO
* 4. Solução Adotada – BREVE RESUMO

A 2ª parte assenta no desenvolvimento do sistema encontrado na 1ª parte e é composta pelos capítulos:

* 5. Desenvolvimento do sistema – BREVE RESUMO
* 6. Teste e implementação – BREVE RESUMO
* 7. Conclusão – BREVE RESUMO

# Analise do problema

A avaliação da qualidade da água consiste na verificação de um conjunto de características químicas, físicas e biológicas. Os parâmetros determinantes para o uso da água para rega está definida no [DL n.º 236/1998, de 1 de agosto](http://dre.pt/pdf1sdip/1998/08/176A00/36763722.pdf) e a declaração de retificação nº 22-C/1998, de 30 de novembro [X][X], onde entre os mais relevantes se encontra a salinidade (quantidade total de sais), pH e a concentração de iões conforme indicado pela Direção Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR) [<http://guiaexploracoes.dgadr.gov.pt/recursos-naturais/agua/qualidade-da-agua-de-rega>]. São também utilizadas as indicações prescritas pela FAO *(Food and Agriculture Organization of the United Nations)* publicadas no guia de campo *Water quality for agriculture* (Qualidade da água para a agricultura) de Ayers et al [1989] [<http://www.fao.org/3/T0234E/T0234E00.htm>].A análise da qualidade da água para rega deve ser realizada por laboratórios especializados e seguir determinadas normas existentes [Ver quais as normas, dl não refere] que definem os procedimentos a adotar para a colheita das amostras de água a analisar. O DL 236/98 indica, no anexo XVII, que a maioria dos parâmetros a verificar para controlo da qualidade da água de rega pode ser obtido através do método de espectrometria de adsorção atómica ou espectrometria de absorção molecular.

## *Modus operandi* Associação de Regantes e Beneficiários de Campilhas e Alto Sado

Para fins de enquadramento, explica-se o funcionamento atual da Associação de Regantes e Beneficiários de Campilhas e Alto Sado (ARBCAS) [<http://pagina-web.arbcas.pt/>]. Atualmente os regantes associados à ARBCAS devem solicitar, por meio telefónico, com antecedência de um dia o consumo de água em litros por minuto que necessitam para regadio. Um funcionário introduz no sistema que está ligado às comportas das bacias hidrográficas, o caudal total necessário para abastecimento dos regantes que solicitaram consumo de água e comunica aos cantoneiros quais as comportas a abrir para satisfazer a necessidade de abastecimento das áreas a regar. O caudal total de abastecimento, composto pelo somatório do caudal total de abastecimento necessário e o caudal de compensação estimado imposto pelas perdas associadas a fissuras dos canais de distribuição e as evaporações, é controlado nas saídas das bacias hidrográficas que estão sobre a competência da associação. A ARBCAS dispõe de um canal Parshall à saída da barragem de Campilhas, uma comporta na barragem do Monte da Rocha e uma na barragem da Fonte Serne. Os caudais são controlados pelas comportas de medição de caudal, conforme figura X, que estão ao longo dos pontos de abastecimento.

Por sua vez a análise à qualidade da água é realizada anualmente de forma manual e em vários pontos identificados como críticos, deslocando-se um técnico ao local, onde faz as recolhas de amostras para mais tarde analisar em laboratório em conformidade com o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto. Os resultados das análises são posteriormente publicados no site da ARBCAS para consulta publica.

As fragilidades deste sistema, tais como a incerteza no desperdício de água por meio de fissuras e evaporação, são colmatadas pelos anos de experiência dos funcionários da ARBCAS. O funcionamento atual também não consegue indicar os nutrientes transportados pela água em tempo real ou útil, para que possam ser utilizados como fator de equilíbrio na altura de adição de adubos as culturas. A faturação do consumo de água fornecida ao cliente final é obtida de forma empírica (tempo x dimensões da comporta abastecedora), sem confirmação real dos valores.

Após a análise do funcionamento desta associação, presume-se que o funcionamento das restantes seja similar uma vez que não se encontram sistemas de controlo comerciais que forneçam as informações necessárias. Assim, pretende-se automatizar a aquisição de informação através da implementação de uma infraestrutura de rede de sensores que obtenha, armazene e trate os valores dos principais parâmetros a analisar, tais como a temperatura da água, condutividade elétrica, pH, caudal e nitratos. Estas recolhas de informação não substituem as análises da qualidade da água realizadas em laboratório, uma vez que devem ser feitas por entidades creditadas e ainda existe a limitação da inexistência de sensores e métodos confiáveis para a analise dos parâmetros, como por exemplo os parâmetros dos Sólidos Dissolvidos Totais (SDT) ou Sólidos Suspensos Totais (SST) cujos valores são obtidos por meio de secagem e pesagem, mas servem como controlo continuo e preventivo da qualidade da água a fornecer para rega. A escalabilidade do sistema deve ser sempre assegurada de modo a garantir a adição de outros sensores e atuadores, assim como também a possibilidade de criar uma WSN, colmatando as necessidades especificas e individuais de cada associação de regantes.

## Qualidade da Água

Por definição, a qualidade é o conceito subjetivo de qualificar as necessidades e expectativas de um objeto ou individuo em relação a sua utilização [X]. A qualidade da água é assim qualificada conforme a sua adequação a um uso específico, como por exemplo, a qualidade da água para consumo satisfaz parâmetros de qualidade diferentes dos da água a utilizar para rega. Assim a qualidade da água é definida por várias características, tais como características físicas, químicas e biológicas.

Segundo Ayers et al [1989], na avaliação da água para rega, enfatiza-se as características químicas e físicas da água, considerando outros fatores de qualidade pouco importantes. Os usos específicos da água necessitam de qualidades apropriadas as suas aplicações, assim por exemplo, a água de rio de boa qualidade, pode ser usada com sucesso para rega, no entanto por causa de sua carga de sedimentos torna-se inaceitável para uso municipal sem tratamento para remover os sedimentos. O inverso 11 também é verdade, a água derretida de glaciares que possui uma excelente qualidade para uso municipal pode ser muito corrosiva para uso industrial sem tratamento para reduzir seu potencial de corrosão. A observação entre a relação do efeito de um determinado parâmetro da água com a reação observada da sua aplicação no solo ou cultura, resulta numa aceitação de qualidade e estabelece os limites ideais, assim como os limites máximos de aceitabilidade do parâmetro. Estes valores são obtidos através de vários estudos e observações, criando diretrizes de qualidade relacionadas ao seu uso. Com a evolução atual dos ensaios laboratoriais é possível criar um conjunto de diretrizes baseando-se sobre o conjunto anterior, melhorando assim os parâmetros de qualidade da água, seja para consumo ou rega.

Neste âmbito, o estado português através da publicação do [DL n.º 236/1998, de 1 de agosto](http://dre.pt/pdf1sdip/1998/08/176A00/36763722.pdf) que estabelece normas, critérios objetivos de qualidade da água para o consumo humano, água para suporte da vida aquícola, águas balneares e águas de rega com a finalidade de proteger o meio aquático e melhorar a qualidade das águas em função do seu uso.

## Parâmetros da Água

Os objetivos da normalização dos parâmetros da água para rega estão descritos no ponto 1 e 2 do artigo 58 do DL 236/98, cito:

“1 — As disposições da presente secção aplicam-se às águas de rega qualquer que seja a sua origem, abrangendo as águas destinadas à fertirrigação mineral antes da adição de fertilizante.

2 — Os critérios e normas de qualidade das águas de rega visam proteger a saúde pública, a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, as culturas que podem ser afectadas pela má qualidade das águas de rega e os solos cuja aptidão para a agricultura pode ser degradada pelo uso sistemático de águas de rega de má qualidade. “

Saber a quantidade de minerais transportados pela água destinada a rega é de extrema importância porque diminui a quantidade de fertilizantes necessários para uma dada cultura, uma vez que estes já estão presentes na água. Desta forma é possível proteger os terrenos e o meio ambiente (como por exemplo os lenções de água subterrânea) de uma saturação de fertilizantes, conforme indicado no ponto 2 do artigo 58.

A tabela 1, retirada do DL 236/98, indica quais os parâmetros a medir para garantir a qualidade da água para regadio. Designa também os valores máximos recomendados dos parâmetros a verificar, assim como o valor máximo admissível e a frequência mínima de amostragem.

Tabela 1 - Qualidade das águas destinadas à rega (adaptado de DL nº 236/98 - ANEXO XVI e XVII)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Parâmetro S** | **Expressão**  **dos**  **resultados** | **VMR** | **VMA** | **Observações** | **Frequência mínima de amostragem**  **(\*)** |
| Alumínio (Al) | mg/l | 5,00 | 20,00 | Risco de improdutividade em solos com pH<5,5. Em solos com pH>7 o risco de toxicidade é eliminado por precipitar o aluminião. | (2) |
| Arsénio (As) | mg/l | 0,10 | 10,00 | Toxicidade variável consoante as culturas, oscilando entre 12 mg/l para a erva-do-sudão e 0,05 mg/l para o arroz. | (2) |
| Bário (Ba) | mg/l | 1,00 |  |  | (2) |
| Berílio (Be) | mg/l | 0,50 | 1,00 |  | (2) |
| Boro (B) | mg/l | 0,30 | 3,75 | Para solos de textura fina e em curtos períodos recomenda-se como concentração máxima 2 mg/l. | (2) |
| Cádmio (Cd) | mg/l | 0,01 | 0,05 | Tóxico para o feijoeiro, beterraba e nabo em concentrações da ordem dos 0,1 mg/l em soluções nutritivas. Recomenda-se limites mais restritivos, dado este ião se acumular nas plantas e no solo, podendo prejudicar o ser humano. | (2) |
| Chumbo (Pb) | mg/l | 5,00 | 20,00 | As concentrações muito elevadas podem inibir o desenvolvimento celular das culturas. | (2) |
| Cloretos (Cl) | mg/l | 70,00 | - | Para a cultura do tabaco recomenda-se uma concentração inferior a 20 mg/l, não devendo exceder os 70 mg/l. | Semestral (3) |
| Cobalto (Co) | mg/l | 0,05 | 10,00 | Tóxico em soluções nutritivas para a cultura do tomate na ordem dos 0,1 mg/l. Tende a ser inativo em solos neutros ou alcalinos. | (2) |
| Cobre (Cu) | mg/l | 0,20 | 5,00 | Tóxico em soluções nutritivas com concentrações entre 0,1 mg/l e 1 mg/l para diversas culturas. | (2) |
| Crómio total (Cr) | mg/l | 0,10 | 20,00 | Por se desconhecer o seu efeito tóxico, recomendam-se limites mais restritivos. | (2) |
| Estanho (Sn) | mg/l | 2,00 |  |  | (2) |
| Ferro (Fe) | mg/l | 5,00 |  | Não tóxico em solos bem arejados, mas pode contribuir para a acidificação do solo, tornando indisponível o fósforo e o molibdénio. | (2) |
| Flúor (F) | mg/l | 1,00 | 15,00 | Inativado em solos neutros e alcalinos. | (2) |
| Lítio (Li) | mg/l | 2,50 | 5,80 | Tolerado pela maioria das culturas em concentrações superiores a 5 mg/l; móvel no solo. Tóxico para os citrinos a baixas concentrações (<0,075 mg/l). | (2) |
| Manganés (Mn) | mg/l | 0,20 | 10,00 | Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos. | (2) |
| Molibdénio (Mo) | mg/l | 0,005 | 0,05 | Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem, no entanto, ocasionar toxicidade nos animais. | (2) |
| Níquel (Ni) | mg/l | 0,50 | 2,00 | Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para pH neutro ou alcalino. | (2) |
| Nitratos (NO3) | mg/l | 50,00 |  | Concentrações elevadas podem afetar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega. | (2) |
| Salinidade:  CE  SDT | dS/m mg/l | 1 640 |  | Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo. | Semestral (3) |
| SAR (1) |  | 8,00 |  | Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada. (\*\*) | Semestral (3) |
| Selénio (Se) | mg/l | 0,02 | 0,05 | Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais. | (2) |
| Sólidos Suspensos Totais (SST) | mg/l | 60,00 |  | Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos. | (2) |
| Sulfatos (SO4) | mg/l | 575,00 |  |  | (2) |
| Vanádio (V) | mg/l | 0,10 | 1,00 | Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas. | (2) |
| Zinco (Zn) | mg/l | 2,00 | 10,00 | Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a pH>6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos. | (2) |
| pH | Escala de Sorensen | 6,5-8,4 | 4,5-9,0 |  | Semestral (3) |
| Coliformes fecais | /100 ml | 100,00 |  |  | (2) |
| Ovos de parasitas intestinais | N/1 |  | 1,00 |  | (2) |
| (1) – A relação de adsorção de sódio (SAR) é traduzida pela seguinte equação, onde as concentrações devem estar expressas em meq/l: SAR=Na/[(Ca+Mg)/2] 1/2. | | | | | |
| (2) – As águas doces para rega não apresentam normalmente teores elevados deste elemento, pelo que se recomenda uma análise de despistagem. Sempre que haja degradação da água de rega, devem as DRA, com base na fonte poluidora, definir a frequência de amostragem, após parecer das DRAg. | | | | | |
| (3) – Quando, em dois anos consecutivos, os resultados analíticos forem inferiores ou iguais ao valor máximo recomendado (VMR) e não se verificar nenhum fenómeno susceptível de provocar uma degradação da qualidade da água, recomenda-se como frequência mínima de amostragem uma vez por ano (durante o período de rega). No entanto, as DRA podem definir outra frequência de amostragem, após parecer da DRAg. | | | | | |
| (\*) – Quando não se verifique a conformidade da água para rega, de acordo com o disposto no n.o 2 do artigo 61.o, deve a DRAg definir o prazo para novas amostragens. | | | | | |
| (\*\*) – Concentração dos catiões expressa em meq/l. | | | | | |
| VMR — valor máximo recomendado. | |  |  |  |  |
| VMA — valor máximo admissível. | |  |  |  |  |

O DL 236/98 prevê, conforme legenda do Anexo XVII, uma flexibilidade nos parâmetros a medir permitindo uma análise mais direcionada as culturas a regar. Como exemplo, se o parâmetro do *pH* se situar nos valores máximos recomendados (6,5 – 8,4), não será necessário verificar o valor do Alumínio *(Al)*, Cobalto *(Co)* (dependendo das culturas a abastecer), Flúor, Manganés *(Mn)*, Níquel *(Ni)* e Zinco *(Zn)* uma vez que possuem reduzida toxicidade para um *pH* neutro ou alcalino. Os restantes indicadores de qualidade da água para rega são fortemente baseados nas indicações prescritas pela FAO.

Ayers et al [1989], divide em quatro os problemas fundamentais associados à rega, nomeadamente salinidade, capacidade de infiltração, toxicidade especifica de iões e outros problemas. Na tabela 2 são apresentados os valores resultantes da pesquisa elaborada por Ayers et al [1989] e observa-se que, ao contrário da legislação português, os indicadores de qualidade são mais pormenorizados apresentando três graus de restrições. Esta divisão de intervalos mais fina possibilita uma maior afinação dos fertilizantes a adicionar as culturas diminuindo os problemas associados a fertilização excessiva dos solos, tais como diminuição da rentabilidade das culturas ou contaminação das linhas de água (no caso do azoto) entre outras [<http://www.drapc.min-agricultura.pt/base/documentos/agricultura_natureza.htm>].

Tabela 2 - FAO - Orientações para interpretações de qualidade da água para regadio (Adaptado de Ayers et al, 1989)

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Problemas potenciais associados à rega** | | | **Recomendações da FAO** | | |
| **Graus de restrição no uso da água** | | |
| **Sem restrições** | **Restrições ligeiras a moderadas** | **Com restrições severas** |
| ***Salinidade*** *(Os sais, no solo ou na água, reduzem a acesso das raízes da cultura a água ao ponto de o rendimento ser afetado)* | | |  |  |  |
|  | Condutividade elétrica – CE (dS/m) | | < 0,7 | 0,7 – 3,0 | > 3,0 |
|  | Sólidos Dissolvidos Totais – TDS (mg/l) | | < 450 | 450 – 2000 | > 2000 |
| ***Infiltração*** *(Teor alto de sódio ou baixo de cálcio tanto no solo ou na água, reduz a permeabilidade do solo)* | | |  |  |  |
|  | **SAR** | |  |  |  |
|  |  | SAR = 0-3 | > 0,7 | 0,7 – 0,2 | < 0,2 |
|  |  | SAR = 3 – 6 | > 1,2 | 1,2 – 0,3 | < 0,3 |
|  |  | SAR = 6 – 12 | > 1.9 | 1,9 – 0,5 | < 0,5 |
|  |  | SAR = 12 – 20 | > 2.9 | 2,9 – 1,3 | < 1,3 |
|  |  | SAR = 20 – 40 | > 5.0 | 5,0 – 2,9 | < 2,9 |
| ***Toxicidade específica de iões*** *(concentrações altas de sódio, cloreto ou boro, causam danos as culturas e reduzem o rendimento)* | | |  |  |  |
|  | **Sódio (Na)** | |  |  |  |
|  |  | irrigação de superfície (SAR) | < 3 | 3 – 9 | > 9 |
|  |  | irrigação por aspersão (me/l) | < 3 | > 3 |  |
|  | **Cloro (Cl)** | |  |  |  |
|  |  | irrigação de superfície (me/l) | < 4 | 4 - 10 | > 10 |
|  |  | irrigação por aspersão (me/l) | < 3 | > 3 |  |
|  | **Boro (B)** (mg/l) | | < 0,7 | 0,7 – 3.0 | > 3,0 |
| ***Outros problemas*** *(Nutrientes excessivos reduzem o rendimento ou a qualidade; depósitos desagradáveis em frutas ou folhagens reduzem a comercialização; a corrosão excessiva do equipamento aumenta a manutenção)* | | |  |  |  |
|  | **Nitrogénio (NO3 – N)** (mg/l) | | < 5 | 5 - 30 | > 30 |
|  | **Bicarbonato (HCO3)** | | < 1,5 | 1,5 – 8,5 | > 8,5 |
|  | **pH** | | Valores normais: 6.5 – 8.4 | | |
|  | | | | | |

## Análise da Água

Como referido no ponto 2.1, a análise à qualidade da água é realizada em conformidade com o Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de agosto por um laboratório especializado com intervalo de um ano e no período de rega. As Associações de Regantes não sofre restrições aquando da contratação do laboratório para elaborar as analises a água, assim a ARBCAS recorre a um laboratório espanhol e ABMira ao laboratório de águas da Agência Portuguesa do Ambiente (APA), os relatórios de qualidade da água encontram-se no apêndice [X] e [X] respetivamente. Uma comparação direta dos relatórios mostra que existem ensaio que não são obrigatórios, como o oxigénio dissolvido (relevante para a vida aquática) [ <http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/oxigdiss.html>], o fosfato (controlo de algas) [<https://www.ecycle.com.br/2235-fosfato-fosfatos>] ou os Nitritos, mas que no enquadramento das culturas a regar torna-se importante a sua monotorização. Nos parâmetros de campo encontra-se registados os valores como temperatura da amostra em graus Celcius, oxigénio dissolvido em mg/l, o material do recipiente da amostra e a quantidade recolhida. Os parâmetros comuns aos dois relatórios são claramente a condutividade elétrica (salinidade), *pH*, Nitratos *(No3)*, Nitritos *(No2)* assim como Sódio *(Na)*, Cálcio *(Ca)* e Magnésio *(Mg)* para calculo do SAR. Os restantes parâmetros serão considerados como índices de monotorização específicos das culturas a regar.

### 2.4.1. Salinidade

O parâmetro da salinidade obtido através da condutividade elétrica (CE), com representação pelo Sistema Internacional (SI) em unidades deciSiemens por metro (dS/m) [Ref SI], representa a resistência encontrada pela eletricidade a passar pela água, indicado desta forma o grau de concentração de matéria orgânica dissolvida presente na água, destacando-se os compostos iônicos e compostos catiónicos. Os compostos iônicos (cargas negativas) são caracterizados na forma de cloretos, sulfatos, nitratos e fosfatos, por sua vez os compostos catiónicos (cargas positivas) são determinados pelas concentrações de sódio, magnésio, cálcio, ferro, alumínio e amónio [<https://www.agsolve.com.br/dicas-e-solucoes/como-e-porque-medir-a-condutividade-eletrica-com-sondas-muiltiparametros/>]. A precisão do valor da condutividade elétrica é sensível a variação da temperatura da amostra, pelo que o seu valor deve ser corrigido para uma temperatura de 25ºC [artigo Guy Fipps].

Por equivalência, a salinidade também pode ser representada através do valor de SDT expresso em miligramas por litro (mg/l). As substâncias que compõem o SDT são as mesmas obtidas através da condutividade elétrica.

### 2.4.2. pH

O pH mede, por meio de uma escala numérica adimensional, o nível de acidez ou alcalinidade de uma solução aquosa. A escala encontra o ponto neutro que representa a água pura a uma temperatura de 25ºC no valor de 7.0. Assim os valores abaixo de 7.0, indicam uma solução aquosa como ácida e os valores acima de 7.0 indicam uma solução aquosa alcalina. Esta escala também é denominada como a escala de Sorensen e tem sua base no logaritmo de base 10. Os valores habituais estão compreendidos entre 0 e 14, no entanto em casos excecionais é possível a escala assumir valores inferiores a 0 e superiores a 14 quando as soluções aquosas são muito fortes, como o caso do ácido forte HCl (ácido clorídrico) que apresenta um pH de -1.0 [<https://pt.wikipedia.org/wiki/PH>].

O intervalo admissível de pH para água de rega esta, conforme DL 236/98, entre 6,5-8,4 na escala de Sorensen. Um desequilíbrio no pH provoca uma incapacidade de absorção de nutrientes nas culturas a regar que por sua vez irão apresentar sinais de excesso ou carência de nutrientes (Ayers, 1989).

### 2.4.3. Nitratos

O azoto, seja na sua forma gasosa, orgânica ou mineral é um elemento imprescindível ao desenvolvimento das plantas e animais. As formas azotadas são bioquimicamente interconvertíveis por via do ciclo biogeoquímico, denominado de ciclo do azoto [<http://www.asae.gov.pt/seguranca-alimentar/riscos-quimicos/nitratos.aspx>]. Na água de rega o azoto encontrado é maioritariamente mineral sob a forma de nitratos, nitritos e amónio. No entanto nas linhas de água superficiais pode ocorrer uma contaminação orgânica por meio de cadáveres animais. O uso intensivo na agricultura de fertilizantes azotados para promover um crescimento mais rápido e volumoso das culturas aliado a uma utilização pouco racional, produz um aumento excessivo do teor de nitratos seja nas plantas ou nos solos e contamina as linhas de água superficiais e lençóis freáticos [Santos et al, 2003].

O DL 236/98 recomenda que no plano de fertilização das culturas a regar, seja contabilizado o azoto veiculado pela água de rega de modo a reduzir o risco de contaminação dos solos e plantas.

### 2.4.4. SAR

A Relação de Adsorção de Sódio (SAR) mede a capacidade de infiltração da água no solo, através da concentração de iões de sódio [<https://www.lenntech.com.pt/aplicacoes/irrigacao/sar-agua-de-irrigacao.htm>]. Altos índices de iões de sódio na água de rega afetam a capacidade de infiltração no solo, originando stress aquífero nas culturas. Ayers et al (1989), considera uma taxa de infiltração relativamente baixa aos 3 mm / hora e alta sempre que seja superior aos 12mm / hora atendendo a qualidade da água e características físicas dos solos a regar. A capacidade de infiltração da água no solo aumenta quando o parâmetro da salinidade cresce e diminui quando o parâmetro da salinidade decresce pelo que os dois parâmetros devem ser considerados como complementares para uma avaliação adequada do efeito final na taxa de infiltração de água. Outros problemas causados pelo excesso de sódio presente na água de rega são, entre outros, a formação de crostas nos solos, uma saturação superficial provisoria do solo, um pH elevado e desequilíbrios nas culturas por incapacidade de absorção de nutrientes e oxigénio.

Conforme descrito na legenda do anexo XVI do DL 236/98, o parâmetro SAR é obtido pela equação 1:

Legenda Equação 1:

SAR = Razão de Adsorção de Sódio

Na = Sódio

Ca = Cálcio

Mg = Magnésio

Assim, a título de exemplo, utilizando os valores disponíveis no relatório de ensaio da qualidade da água disponibilizados pela ARBCAS para a Barragem de Campilhas, onde os valores de sódio são 2.84 mEq/l, cálcio é 1.00 mEq/l e magnésio é 1.34 mEq/l, optemos um valor de SAR dado pela equação 1. É importante salientar que as unidades de concentração apresentadas no relatório disponibilizado pela ARBCAS esta em miliEquivalente por litro (mEq/l) e as apresentadas no DL 236/98 são em miligrama por litro (mg/l). Aplicando a conversão para os vários elementos, ver apêndice [X], entre mEq/l para mg/l, obtemos:

⬄ ⬄ *= 15.32*

Comparando com o valor máximo admissível de SAR indicado no DL 236/98 (SAR = 8), o valor calculado de 15.32 está muito elevado, no entanto no relatório é apresentado um valor corrigido de 1.98 sem indicar o método de correção utilizado. FAZER MAIS INVESTIGAÇÃO?

# Estado de arte

## Soluções académicas

Existe uma grande quantidade de artigos científicos na comunidade académica que se ocupam com a monitorização e controlo da qualidade da água, seja para consumo humano aliado as *Smart Cities*, monitorização dos níveis freáticos, barragens ou regadio. Pretende-se averiguar os sistemas académicos e os seus componentes que mais se adequam a monitorização da qualidade da água transportada através de um canal aberto com geometria trapezoidal. Para que um artigo se torne relevante para esta dissertação, deve incluir algumas das seguintes palavras chave no *Abstract* e/ou conclusão: microcontroladores, comunicação sem fios, sensores qualidade de água, analise de dados qualidade da água e sistema de monotorização de rega. Esta seleção de palavras chave não é rígida, apenas é para criar alguma objetividade entre a vasta publicação de artigos. Observou-se que o objetivo da maioria dos artigos estudados, é transversal: identificar antecipadamente qualquer anomalia na qualidade da água.

### 3.1.1. Levantamento de literatura

Parameswari et al (2018) [5] idealiza uma rede de nós conectados por ligações sem fios (WSN) aliada ao software do Arduino Uno [6] para analisar, armazenar e filtrar os dados obtidos nos nós. Defende no artigo que os avanços tecnológicos de sistemas similares para monotorização da qualidade da água se encontram desatualizados, em termos de tecnologia, e desajustados da realidade económica (2017). Este desalinhamento é provocado por uma atualização constante dos componentes que compõem o sistema, tais como unidades de processamento, sensores e sistemas de comunicações mais eficientes, e da diminuição do custo de produção dos componentes. O sistema é constituído por três unidades principais, conforme demonstrado na figura 1. Sendo a primeira de medição, montada *In Situ* e composta por vários nós com capacidade para medir temperatura, pH, turbidez e condutividade. A segunda unidade é a de monitorização, tratando das comunicações entre os respetivos nós e a central de processamento. A última unidade que compõe o sistema é a que trata do processamento dos dados. Para a comunicação entre os nós de medição, é usado a tecnologia Wi-Fi (Padrão IEEE 802.11) [7]. A transmissão de dados para a unidade de processamento (*Raspberry Pi*) [8] é efetuada por tecnologia LTE (*Long Term Evolution tecnology*) [9].



Figura 1 - Sistema básico de serviço (adaptado de Parameswari et al 2018)

Pranata et al (2017) [10] propõe a monitorização da qualidade da água em tempo real por meio de uma arquitetura de publicação/subscrição sem intermediário *(brokerless pub / sub architecture).* Elabora uma vasta comparação entre o sistema proposto e o sistema mais usado no campo da IoT, que é a comunicação MQTT (*Message Queue Telemetry Transport*) [11] usando uma plataforma Arduino e o sistema de comunicação ZigBee [12]. Comprova a relação entre temperatura, pH e oxigénio dissolvido que tem vindo a ser investigada principalmente no campo da físico-química e hidrologia.

Wong et al (2016) [13] elabora um levantamento das plataformas existentes para armazenamento e monitorização de dados obtidos pelos sensores, comparando as várias funcionalidades tais como o tipo de ficheiros suportados, capacidade de notificações e o tipo de protocolo usado para a comunicação, entre outros. Propões uma solução em tempo real das leituras, denominado algoritmo de amostragem adaptativo.

Chen et al (2018) [14] descreve um sistema de monitorização da qualidade da água aplicado numa *Smart City* (Bristol Floating Harbour, Inglaterra). Efetua um levantamento comparativo das várias tecnologias de comunicação possíveis de aplicar no caso de estudo enumerando distancia de cobertura, taxas de transmissão de dados e consumos de energia, conforme indicado na tabela 3. Constrói, para prova de hipótese, uma rede WNS dotada de três nós, em que cada nó é composto por uma sonda Aqua Troll 600 de multi-parâmetro para controlo da qualidade da água e uma câmara Hikvison IP Network Camera DS-2CD2042WD-I para controlo da superfície da água. Os dados são armazenados em cartão de memoria a cada 15min e só são transmitidos por solicitação. O sistema de transmissão de dados é efetuado através da rede Wi-Fi existente na cidade.

Tabela 3 - Resumo dos protocolos de comunicação mais relevantes para IoT (adaptado de Chen et al 2018)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Protocolo** | **Cobertura** | **Taxas de Transmissão** | **Consumos de Energia** |
| **ZigBee** | Curta (10–20 m) | Baixa (20 Kbps–250 Kbps) | Baixo |
| **Z-Wave** | Curta (30 m) | Baixa (40 Kbps–100 Kbps) | Muito baixo |
| **INSTEON** | Curta (50 m) | Muito baixa (38.4 Kbps) | Baixo |
| **Wavenis** | Longa (1 km) | baixa (4.8 Kbps–100 Kbps) | Baixo |
| **Wi-Fi** | Média (30–100 m) | Muito alta (100Mbps - 7 Gbps) | Alto |
| **6LowPAN** | Curta (10m) | Baixa (250 Kbps) | Baixo |
| **LoRaWAN** | Muito Longa (15 km) | Muito Baixa (0.3 Kbps–50 Kbps) | Baixo |
| **NB-IoT** | Muito Longa (10–15 km) | Média (2 Mbps) | Muito baixo |

Howell et al (2018) [15] propõe uma semântica universal para a Web das Coisa (Web of Things –WoT) no campo da monitorização e controlo da água. Segundo o autor do artigo, a falta de interoperabilidade no tratamento de dados provoca um custo adicional de 40% em qualquer sistema de monitorização da qualidade da água. É apresentada uma plataforma baseada em conhecimento de dados incluindo um exemplo de uma ferramenta par suporte à decisão.

Rekhis et al (2012) [16] afirma que muitos sistemas de monitorização da qualidade da água são extremamente caros e complexos, são imprecisos na deteção de poluentes e falham na capacidade de recuperar de erros provocados por características a monitorizar. Propõe uma plataforma que combina redes de sensores sem fios (WNS) munidos com Tags de radiofrequência (RFID). O sistema visa um baixo custo de implementação, baixo consumo energético, escalabilidade, monitorização do desempenho do sistema e tolerância a erros e perda de dados. Segundo o artigo, são instalados Tags RFID em ambas as margens do canal de forma que se obtenha um espaçamento constante entre eles, conforme ilustra a figura 2. A montante do sentido de escoamento do canal, são libertados sensores moveis (WNS) com a capacidade de leitura dos valores de pH, temperatura, oxigénio dissolvido e turbidez, e voltam a ser recolhidos a jusante. Cada nó flutuante possui um leitor RFID com alcance de 15m. Na figura 3, Rekhis et al demonstra a relação entre a largura do canal (W) com o raio de alcance do sensor RFID, onde deve ser garantida a distância se sobreposição minima (d). A grande vantagem deste sistema, segundo o autor, é que permite a monitorização continua da água mesmo que algum nó WNS fique obstruído ou se extravie.



Figura 2 - Arquitetura do sistema (adaptado de Rekhis et al 2012)



Figura 3 - Figure 3: Arquitetura do sistema (adaptado de Rekhis et al 2012)

Adu-Manu et al (2017) [17] elaborou um estudo exaustivo comparando a evolução dos sistemas para a monitorização da qualidade da água, desde a abordagem tradicional (recolha *In Situ* e analise em laboratório), passando pela monitorização remota até a evolução atual do sistema onde o controlo da qualidade da água é feito por redes de WNS em tempo real. O autor demonstra também uma comparação pormenorizada dos vários componentes integrantes do sistema, como sensores, tecnologia de comunicação e unidade de computação, assim como os valores padrão para a água de consumo humano e animal emitidos pela *World Health Organization* (WHO) [18]. O autor divide o sistema em três partes distintas, nomeadamente em aquisição de dados, processamento de dados e por último a transferência de dados (*Data Acquisition, Processing, and Transfer* – DAPT). Na prática implementa mais um processo que é o tratamento de dados, através de análise, armazenamento e relatório. Fornece indicações das tecnologias mais adequadas para transmissão de dados, como para a comunicação entre nós onde recomenda ZigBee, Wi-Fi e Wi-Fi Direct e para a comunicação entre o nó final e a estação de tratamento de dados remota é aconselhado as tecnologias de GSM, LTE e WiMax. Mostra também uma preocupação com o consumo energético e recomenda o uso de bateria com carregamento por painel solar.

Jiang et al (2009) [19] O autor baseia-se na mesma metodologia de estruturação do sistema em três componentes. Os parâmetros que se propões a monitorizar no artigo como prova de conceito são a temperatura e o pH. A maior diferença para os outros artigos é a utilização de um microcontrolador de muito baixo consumo energético da Texas Intruments (MSP430F1611). Como tecnologia de comunicação entre nós é utilizado o ZigBee e para a comunicação com a unidade de processamento de dados remota é utilizado GPRS. É demonstrado detalhadamente o funcionamento do sistema e comprovado o sucesso da sua implantação.

Postolache et al (2014) [20] Desenvolveu um sistema WSN para implementar em Portugal. O objetivo é a monitorização da qualidade da água em lagos, rios e depósitos de água para consumo utilizando sensores e componentes de compra (*off-the-shelf*) de baixo custo. Como parâmetros a medir selecionou a temperatura, condutividade e turbidez. A tecnologia de comunicação escolhida foi o ZigBee.

## Sistemas comercias

De entre as várias empresas a elaborar neste segmento de mercado, como a In Situ [21], Mettler Toledo [22] ou Campbell Sientific [23], selecionou-se a empresa Campbell Sientific. Existem também duas empresas nacionais que são uma vez que apresenta uma solução eficiente para a monitorização da água, nomeadamente o CanalMaster185. A estação é composta por painel solar, quadro de controlo (*Datalogger*) com bateria e uma sonda com os sensores de altura de água, caudal, temperatura e pressão. Segundo informação do fabricante no seu site, é possível adicionar outros sensores como por exemplo o sensor de turbidez.

### 3.2.1. Arquitetura, tecnologia e funcionamento geral.

O funcionamento do sistema parte pela recolha de dados da sonda, a qual transmite os valores para o *Datalogger*. A transmissão de dados é assegurada por comunicação de satélite (*Data Collection Platforms* - DCP) [8], radio frequência (RF), Sistema global para comunicações moveis (*Global System for Mobile communications* – GSM) ou telefonema com voz sintetizada. Os protocolos suportados pelo sistema são SCADA *(Supervisory control and data acquisition*), DNP3 (*Distributed Network Protocol 3*) e Modbus (*serial communications protocol*)[24][25][26].

### 3.2.2. Funcionalidades interessantes.

O sistema permite monitorizar a o caudal e qualidade de água e simultaneamente possibilita a abertura de comportas, acionamento de bombas e outros dispositivos. As interações com os equipamentos podem ocorrer em tempo real ou com base na hora do dia, condições climatéricas ou parâmetros da medidos.

### 3.2.3. Principais deficiências.

A principal desvantagem é que o sistema é proprietário da Campbell Sientific, que por sua vez exige uma fidelização constante dos seus clientes. Também não possibilita o acoplamento de sensores que nãos sejam fornecidos pela própria empresa.

Não foi possível apurar o custo total do sistema, uma vez que requer um estudo pormenorizado das necessidades do dono de obra e do local onde o sistema deve ser implementado. Segundo indicações da ARBCAS, que solicitou vários orçamentos para implantação de um medidor de caudal (instantâneo e acumulado), o custo medio de um sistema composto por medidor de caudal e *datalogger* é de 2.359,00€ (dois mil trezentos e cinquenta e nove euros). Por motivos legais, não facultou as empresas e não autorizou copias aos orçamentos.

# Arquitetura do sistema

## Requisitos do sistema

Com base nos dados apurados nos capítulos 2 e 3, o sistema deve conter sensores para medição de temperatura da água, *pH,* medição de caudal, condutividade elétrica, nitratos e índice SAR. Os sensores serão controlados por um Microcontrolador (MCU) com capacidade de comunicação entre nós e pelo menos um nó deve possuir capacidade de ligação a internet para publicação dos dados. A alimentação será feita por meio de baterias que por sua vez serão carregadas através de painéis solares. Não se prevê, nesta fase, a implementação de um *datalogger* a montar *In Situ* dotado de LCD para indicação de valores medidos e acumulados.

## Hardware

Explicar o que se pretende nestas comparações e porque se selecionou apenas 3-4 exemplares. Indicar que todas as datasheet estão em anexos. Indicar que as colunas modelo, fabricante voltagem de funcionamento, preço e fornecedor são comuns a todas as tabelas.

### 4.2.1. Sensor – Temperatura água

O valor da temperatura da água é necessário para corrigir os parâmetros do *pH* e condutividade elétrica, uma vez que ambos os parâmetros utilizam valores de referência medidos a uma temperatura de 25ºC. Na tabela 4 elabora-se a comparação entre alguns dos modelos de sensores de temperatura estanques a água, disponíveis no mercado nacional, destacando-se a voltagem de funcionamento, amplitude de medição e a precisão. Considera-se o sensor DS18B20 fabricado pela *Maxim Integrated* o mais adequado, uma vez que é o que apresenta a maior precisão e o menor custo.

Tabela 4 - Comparativo de sensores de temperatura para água

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Modelo | Fabricante | Voltagem de funcionamento | Amplitude de medição | Precisão | A prova de água | Preço | Fornecedor |
| DS18B20 [X] | Maxim integrated | 3,2 ~ 5,25 VDC | -55 ~ 110 ºC | ±0.5 ºC @  -10 ~ 80 ºC | sim | 14,28 € | mauser.pt |
| Danfoss MBT 153 [X] | DANFOSS | 3,6 VDC | -50 ~ 200 ºC | +/- 1ºC | sim | 30,91 € | electricautomation  network.com |
| ALTA MNS2-9-IN-TS-WT-L03 [X] | MONNIT | 2,0 ~ 3,6 VDC | -40°C ~ 100 ºC | +/- 1ºC | sim | 193,00 € | monnit.com |

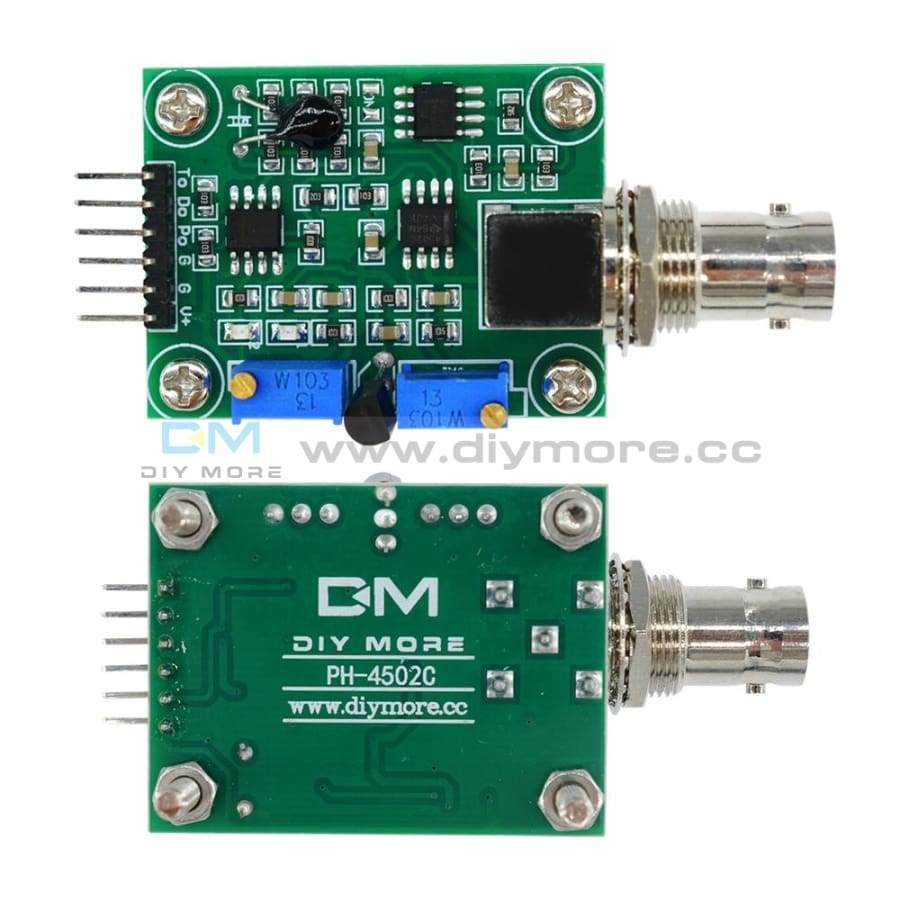
### 4.2.2. Sensor – pH

O sensor *pH* é composto por dois elétrodos, um de medição e um de referência. Como existem variações no processo de produção dos sensores de *pH* entre os vários fabricantes, estes devem ser calibrados. O elétrodo de medição, composto por um vidro sensível ao *pH*, sofre contaminação na forma de resíduos (microrganismos) veiculados pela água em alargados períodos de exposição. No entanto existem no mercado sensores, de nível industrial, com períodos de manutenção de até um ano, conforme indicado na tabela 5. Estes sensores industriais tornam-se indicados para aplicações de monitorização continua. Pereira et al (2016) [X] define o ponto de equilíbrio do sensor (ponto de calibração) quando a corrente do sensor (0 mV) corresponder ao valor de *pH* 7 a uma temperatura ambiente de 25 ºC. Para uma calibração mais precisa recomenda uma calibração inicial em três pontos com a seguinte ordem e soluções; ponto de calibração médio (solução *pH* 7), ponto de calibração baixo (solução *pH* 4) e por fim o ponto de calibração alto (solução *pH* 10).

Tabela 5 - Comparativo de sensores de pH

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Modelo | Fabricante | Voltagem de funcionamento | Temperatura de funcionamento | Precisão | Tempo de submersão | Preço | Fornecedor |
| PH-4502C com sonda E-201 | DYI MORE | 4,8 ~ 5.2 V | 0 ~ 60 ºC | ± 0,2 pH | N/D | 8,77 € | diymore.cc |
| Pico pH DD01 [X] | DrDAQ | 3,2 ~ 5,25 VDC | 0 ~ 60 ºC | ± 0,02 pH | Até 1 ano | 49,00 € | pt.farnell.com |
| pH Meter Pro [X] | Haoshi | 3,3 ~ 5,5 VDC | 0 ~ 60 ºC | ± 0,1 pH | Até 1 ano | 49,78 € | dfrobot.com |
| ufire pH ISE probe[X] | ufire | 3,3 ~ 5,5 VDC | 0 ~ 60 ºC | ± 0,1 pH | Até 1 ano | 90,00 € | ufire.co/shop |
| pH probe – industrial kit [x] | Atlas Scientific | 9 ~ 36 VDC | 1 ~ 99 ºC | ± 0,002 pH | Até 1 ano | 381,00 $ | atlas-scientific.com |

A escolha do sensor de pH para fins de protótipo, por questões de verba orçamental, recai sobre o PH-4502C com uma sonda E-201 do fabricante *DYI MORE* [<https://www.diymore.cc/products/diymore-liquid-ph-value-detection-detect-sensor-module-monitoring-control-for-arduino-m>]. A placa PH-4502Cincorpora um sensor para compensação da temperatura. Questiona-se a relevância do sensor de temperatura, indicado na figura 5, uma vez que este mede a temperatura ambiente e não a temperatura do líquido. Ir-se-á inutilizar a leitura da temperatura obtida através do pino T0 da placa PH-4502C e utilizar-se-á o valor da temperatura da água medida pelo sensor DS18B20. Segundo indicações do fabricante a voltagem de funcionamento é de 5V e o ponto de equilíbrio (*pH* 7)é obtido aos 2.5 V, o extremo inferior (*pH* 0) aos 0 V e o extremo superior (*pH* 14) aos 5 V respetivamente [Anexo datasheet]. O tempo maximo de submersão da sonda E-201 sem necessidade de calibração não é conhecido, mas presume-se que seja de apenas alguns dias uma vez que é de qualidade inferior.



Sensor para compensação de temperatura

Figura 4 - Sensor pH composto por modulo PH-4502C e sonda (imagem de Manuel Lameira)

### 4.2.3. Sensor – Medição de caudal

Importância, como será montado, com será obtido o valor, Sensor hall para medição de rpm e ultrassom distancia a água (obter volume), efeito de arrastamento na água

### 4.2.4. Sensor – Condutividade elétrica / TDS

Importância, como será montado

### 4.2.5. Sensor – Nitratos

Conforme indicado no anexo XVII do DL 236/98 o valor maximo recomendado para o parâmetro de nitratos (*NO3*) é de 50 mg/l, assim o sensor a considerar deve possuir capacidade mínima de leitura situada entre 0mg/l e 100 mg/l. Derivado a escassez de oferta de medidores de nitratos para aplicações de IdC, comparam-se apenas dois sensores, conforme indicado na tabela 6. O primeiro, utiliza um elétrodo com gel não recarregável com membrana de PVC. Este sensor produzido pela Vernier com identificação de modelo NO3-BTA [<https://www.vernier.com/products/sensors/ion-selective-electrodes/labquest-ise/no3-bta/>], não é o mais adequado para um utilização em sistemas de monotorização continuas porque necessita de calibração em cada leitura. Conforme descrito no manual de utilização [ANEXO X], a membrana presente na sonda mede a concentração de iões *NO3* presentes numa solução aquosa emitindo uma voltagem. Essa voltagem é comparada com o elétrodo de referência interno e devolve a quantidade de iões em mg/l. O segundo sensor, produzido pela *Hach* sob o modelo *Nitaxtax Plus SC*, é indicado para monitorizações continuas de concentrações de nitratos em estações de tratamento de água e efluentes. Segundo os dados técnicos, não utiliza reagentes e possui um sistema de autolimpeza, vem calibrado de fábrica e necessita de um controlador específico, à semelhança do modelo anterior, para a conversão da voltagem. O princípio de medição baseia-se na tecnologia patenteada pela *Hach* na absorção de luz Ultravioleta (*UV*) emitida por dois LED’s. A desvantagem deste sensor é que necessita de muita energia para funcionar (12V) o que condiciona a sua alimentação através de painéis solares. Outra das desvantagens é o circuito proprietário da Hach, que pode condicionar a incorporação do sensor em sistemas considerados concorrentes.

Tabela 6 - Comparativo de sensores de Nitratos (NO3)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Modelo | Fabricante | Voltagem de funcionamento | Temperatura de funcionamento | Precisão | Tempo de submersão | Preço | Fornecedor |
| Arduino Interface Shield com sonda NO3-BTA | Vernier | 5 V | 0 ~ 50 ºC | ± 10 % de 100 mg/l | N/D | 294,00 € | vernier.com |
| Nitrax sc | Hach | 12 V | 2 ~ 40 ºC | ± 3 % de 100 mg/l | 6 meses | Sob consulta | pt.hach.com |

### 4.2.6. Sensor – Índice SAR

### 4.2.7. Microcontrolador

### 4.2.8. Comunicação – Entre nós

### 4.2.9. Comunicação – Publicação de dados

### 4.2.10. Alimentação – Baterias

### 4.2.11. Alimentação – Painel Solar

## Software (vantagens e desvantagem de várias linguagens de programação/ justificar porque utilizar MicroPython)

## Descrição da solução adotada

Assentando nos dados recolhido nos pontos anteriores, idealiza-se um sistema semelhante ao implementado por Parameswari et al (2018), adotando-se o

Justificar a escolha de sensores económicos

# Desenvolvimento

## Hardware (diagramas / esquemas de ligação etc)

## Software (Código e particularidades)

# Implementação e testes

# Conclusão

# Referências bibliográficas

[1] Online measurement of water quality and reporting system using prominent rule controller based on aqua care-IOT

[2] Atzori, L., Iera, A. & Morbito, G. The Internet of Things: A Survey (2010), Computer Networks - Volume 54, Issue 15, 28 October 2010, Pages 2787-2805, Elsevier

[3] https://dre.pt/home/-/dre/114315242/details/maximized, 09 de novembro de 2018 as 14.23h

[4] https://dre.pt/home/-/dre/74605301/details/maximized, 09 de novembro de 2018 as 14.45h

[5] Parameswari, M. & Moses, M.B. Des Autom Embed Syst (2018) 22: 25. <https://doi.org/10.1007/s10617-017-9187-7>

[6] https://www.arduino.cc, 10 de novembro de 2018 as 9.30h

[7] "IEEE 802.11, The Working Group Setting the Standards for Wireless LANs". 1 July 2017. Retrieved Mai 10, 2018.

[8] Saffran J. et al. (2017) A Low-Cost Energy-Efficient Raspberry Pi Cluster for Data Mining Algorithms. In: Desprez F. et al. (eds) Euro-Par 2016: Parallel Processing Workshops. Euro-Par 2016. Lecture Notes in Computer Science, vol 10104. Springer, Cham

[9] Karandikar A., Akhtar N., Mehta M. (2017) Mobility Management in LTE Networks. In: Mobility Management in LTE Heterogeneous Networks. Springer, Singapore

[10] Alif Akbar Pranata, Jae Min Lee, Dong Seong Kim, Towards an loT-based water quality monitoring system with brokerless pub/sub architecture, 2017 IEEE International Symposium on Local and Metropolitan Area Networks (LANMAN), 2017

[11] Hwang, H.C., Park, J. & Shon, J.G. Wireless Pers Commun (2016) 91: 1765. <https://doi.org/10.1007/s11277-016-3398-2>

[12] Krauße M., Konrad R. (2014) ZigBee. In: Drahtlose ZigBee-Netzwerke. Springer Vieweg, Wiesbaden

[13] Wong, B. P. & Kerkez, B., Environmental Modelling & Software (2016), Environmental Modelling & Software - Volume 84, October 2016, Pages 505-517, Elsevier

[14] Chen, Y. & Han, D.,Water quality monitoring in smart city: A pilot project (2018), Automation in Constuction - Volume 89, May 2018, Pages 307-316, Elsevier

[15] Howell, S., Rezgui, Y. & Beach, T., Water utility decision support through the semantic web of things (2018), Environmental Modelling & Software – Volume 102, April 2018, Pages 94-114, Elsevier

[16] Slim Rekhis, Nourhene Ellouze, and Noureddine Boudriga. 2012. A wireless sensor network based water monitoring system. In Proceedings of the 8h ACM symposium on QoS and security for wireless and mobile networks (Q2SWinet ’12). ACM, NewYork, NY, USA, 33-40. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/2387218.2387225>

[17] Kofi Sarpong Adu-Manu, Cristiano Tapparello, Wendi Heinzelman, Ferdinand Apietu Katsriku, and Jamal- Deen Abdulai. 2017. Water quality monitoring using wireless sensor networks: Current trends and future research directions. ACM Trans. Sen. Netw. 13, 1, Article 4 (January 2017), 41 pages. DOI: <http://dx.doi.org/10.1145/3005719>

[18] WHO Ed. 2011. Guidelines for Drinking-Water Quality 4th ed. WHO Press, Geneva,

Switzerland.http://www.who.int, 2 de novembro de 2018 as 18.41h

[19] Jiang, P., Xia, H., He, Z. & Wang, Z. 2009. Design of a Water Environment Monitoring

System Based on Wireless Sensor Networks. Sensors 2009, 9, 6411-

6434.

[20] O. Postolache, J. D. Pereira, and P. S. Gir˜ao. 2014.Wireless sensor network-based solution for environmental monitoring: Water quality assessment case study. IET Science, Measurement, and Technology 8, 6, 610 – 616.

[20] https://in-situ.com/products, 09 de novembro de 2018 as 15.03h

[21] https://www.mt.com/int/pt/home/products, 09 de novembro de 2018 as 15.27h

[22] https://www.campbellsci.com/canal-control, 09 de novembro de 2018 as 15.41h

[23] https://en.wikipedia.org/wiki/Meteosat, 09 de novembro de 2018 as 16.40h

[24] https://en.wikipedia.org/wiki/SCADA, 09 de novembro de 2018 as 16.45h

[25] https://en.wikipedia.org/wiki/DNP3, 09 de novembro de 2018 as 16.52h

[26] https://en.wikipedia.org/wiki/Modbus, 09 de novembro de 2018 as 16.59h

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

[1] - EnunciadoTrabalho\_SE\_-2017-2018.pdf

[2] - <http://www.ecodepur.pt/pt/4/produtos>

[3] - <http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/PARSHALL.html>

[4] - Sensor Temperatura:

<https://www.ebay.com/itm/DS18B20-Waterproof-Digital-Temperature-Sensor-With-Adapter-Module-for-Arduino-HM/201639236501?hash=item2ef2a29395:g:ziYAAOSwCfdXpFMi>

<http://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/water-temperature-sensor-161988.html>

<https://www.monnit.com/Product/MNS2-9-IN-TS-WT-L03>

[5] - Sensor de distância:

<https://www.ebay.com/itm/1pcs-Ultrasonic-Module-HC-SR04-Distance-Measuring-Transducer-Sensor-for-Arduino/400985326881?epid=1638465117&hash=item5d5c968521:g:kLQAAOxyNyFS-xFw>

<https://www.ebay.com/itm/Arduino-Ultrasonic-Ranging-Measuring-Transducer-Sensor-Waterproof-JSN-SR04T/272266517229?hash=item3f64595aed:g:VvcAAOSwtJZXVnh8>

<http://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/ultrasonic-sensor-hc-sr04/>

<https://www.pepperl-fuchs.com/global/en/classid_53.htm?view=productdetails&prodid=34337>

[6] - Sensor de partículas em suspensão

<https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Turbidity_sensor_SKU:_SEN0189>

<https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-turbidez-arduino-para-monitoramento-da-agua-4539.html>

[7] - Sensor de contacto

<https://www.boxelectronica.com/pt/varios-sensores/838-conjunto-de-switch-magnetico-para-portas.html>

[8] - Microcontroladores:

<http://processors.wiki.ti.com/index.php/MSP430F5529_LaunchPad>

<http://www.ti.com/tool/MSP-EXP430F5529LP>

<http://www.ti.com/tool/MSP-EXP430G2>

<http://www.ti.com/product/msp430fr2422>

<http://www.ti.com/tool/MSP-EXP430FR5969>

<http://www.ti.com/product/MSP430FR6989>

[9] - Fornecimento de energia

<https://www.ebay.com/itm/Battery-Holder-Pro-KIT-15pcs-Power-Supplies-for-Arduino-Solar-4AA-3AA-2AA-DC-EU/222242451205?hash=item33beaeaf05:g:gQgAAOSw-0xYOwYo>

[10] - Comunicação e transmissão de dados:

<https://www.ebay.com/itm/433Mhz-HC-12-SI4463-Wireless-Serial-Port-Module-1000m-Replace-Bluetooth-TOP/401051275954?epid=26007567495&hash=item5d6084d2b2:g:JawAAOSwMHdXS9OD>

<https://www.ebay.com/itm/Wireless-Radio-Transceiver-Module-Communication-Control-for-Arduino-DIY/322668815062?_trkparms=aid%3D555018%26algo%3DPL.SIM%26ao%3D2%26asc%3D44040%26meid%3Dbf00b29db36c45de9590955d7d66ce48%26pid%3D100005%26rk%3D1%26rkt%3D6%26sd%3D262966959176%26itm%3D322668815062&_trksid=p2047675.c100005.m1851>

<https://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo>

<https://www.cooking-hacks.com/blog/send-data-at-extreme-long-range-using-lora-with-arduino-raspberry-pi-and-intel-galileo/>

<https://www.cooking-hacks.com/blog/send-data-at-extreme-long-range-using-lora-with-arduino-raspberry-pi-and-intel-galileo/>

[11] - Sistema de georreferenciação

<https://www.ebay.com/itm/SIM900-Module-Quad-Band-Development-Board-GSM-GPRS-for-Arduino-Raspberry-Pi-E7G2/253162539156?epid=2248191795&hash=item3af1a9c894:g:HhUAAOSwFuxZwP7n>

[12] – <http://www.ti.com/tools-software/ccs.html>

[13] – <https://www.mongodb.com/?_ga=2.110403590.208858189.1520880704-1686614365.1516833254>

[13] – <https://www.ebay.com/itm/SIM900-850-900-1800-1900-MHz-GPRS-GSM-Development-Board-Module-Kit-For-Arduino/263106376867?hash=item3d425cb4a3%3Ag%3AwJMAAOSwzXBZhuns&_sacat=0&_nkw=sim900&_from=R40&rt=nc&_trksid=p2050601.m570.l1313.TR8.TRC1.A0.H0.Xsim900.TRS0>

[14] – <https://putty.org/>

# Apêndices