

PM

Sistema de Automação para Agricultura de Precisão

PROJETO DE MESTRADO

Carlos Filipe Vicente dos Ramos

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

março | 2019

Sistema de Automação para Agricultura de Precisão

PROJETO DE MESTRADO

Carlos Filipe Vicente dos Ramos

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTADOR

Leonel Domingos Telo Nóbrega

CO-ORIENTADOR

Luís Armando de Aguiar Oliveira Gomes



Sistema de automatização para agricultura de precisão

Carlos Filipe Vicente dos Ramos

Constituição do júri de provas públicas:

Presidente do júri:

- Karolina Baras, (Professora Auxiliar da Universidade da Madeira);

Arguente

- Filipe Magno de Gouveia Quintal, (Professor Auxiliar Convidado da Universidade da Madeira);

Orientador

- Leonel Domingos Telo Nóbrega, (Professor Auxiliar da Universidade da Madeira).

Março 2019

Funchal – Portugal

Agradecimentos

Começo por agradecer aos meus orientadores por todo o apoio, pelas críticas, pelas sugestões, e, acima de tudo, pelo conhecimento por eles me passado. Agradeço-lhes ainda todo o tempo despendido e toda a dedicação mostrada em aprender sobre este tema do projeto. Agradeço também à Professora Karolina Baras pelo acompanhamento ao longo do projeto.

Agradeço ainda às diversas pessoas envolvidas neste projeto, que ajudaram, direta ou indiretamente, a validar e a melhorar todo o sistema, assim como aos meus amigos e familiares pelo auxílio nesta jornada.

Por fim, gostaria de fazer um agradecimento especial aos meus pais por me passarem o gosto pela agricultura, assim como pela cedência do espaço e pelo total financiamento do projeto.

“Escolhe um trabalho de que gostes e não terás que trabalhar nem um dia na tua vida.”

Confúcio

Resumo

A agricultura de precisão tem atualmente uma grande importância, uma vez que junta o conhecimento adquirido através das tradicionais técnicas de cultivo com a precisão e a automação tecnológica. Uma das técnicas inerentes da agricultura de precisão é a hidroponia, sendo as plantas cultivadas com recurso a soluções aquosas e sem a disponibilidade do solo.

Para apoio ao projeto foi montada uma pequena estufa com todo o equipamento necessário à hidroponia, na Ponta do Sol. Dentro desta, realizou-se todo o desenvolvimento e, conseqüentemente, a obtenção dos resultados deste projeto.

Uma das grandes desvantagens dos sistemas de automatização em hidroponia é encontrarem-se ainda num patamar de elevado investimento, tornando-se numa realidade pouco possível para uma pequena/média escala ou para regiões de minifúndio, como é o caso da Ilha da Madeira. Foi, por isso, desenvolvido um sistema com recurso a elementos de baixo custo que automatizassem todo o controlo. Foram utilizados microcontroladores com Wi-Fi, que realizam a medição dos diversos valores dos sensores (por exemplo: da temperatura interior e da exterior, da humidade do ar, da altura da água do poço, etc.) e que comunicam até ao centro de processamento, sendo este um Raspberry Pi. Neste dispositivo, os dados são tratados para depois serem enviados e guardados numa base de dados remota. Além disto, foi desenvolvido uma aplicação web para apoio ao utilizador, sendo possível verificar as condições ambientais ao longo do tempo, os gastos e a gestão das suas produções, utilizando para isso, relatórios de produção e gráficos que permitem a correlação de valores. Foi também dada grande importância à monitorização e à recuperação de erros, já que este é um sistema suscetível a falhas.

Neste trabalho, além de toda a parte do desenvolvimento arquitetural entre camadas de cliente, camada intermédia e camadas de dados, foi ainda estudada a utilização de sensores de humidade na raiz da planta. Desta forma, foi possível automatizar a recirculação de água, utilizando algoritmos que tornam possível uma elevada poupança no tempo total em que a bomba de água se encontra ligada. A poupança evidenciada rondou os 89%.

Um dos equipamentos de elevado custo nestes sistemas é o equipamento de monitorização e de calibração automática da quantidade de nutrientes, sendo também criado um equipamento que realizasse estas funções, recorrendo a bombas de dosagem de baixo custo.

Por fim, é de notar que os algoritmos de rega e todos os mecanismos de poupança presentes neste projeto tornam este sistema facilmente transformável num projeto que utilize, maioritariamente, energia fotovoltaica (em vez de ser só nos pontos de aquisição de dados, como é mais recorrente). Isto deve-se ao facto de o sistema ativar-se quando é apenas necessário e é ativado com maior frequência nos picos de produção de energia fotovoltaica.

Palavras-chave: Agricultura de precisão; Sistemas de agricultura inteligentes; IoT; Hidroponia; Monitorização remota; Sistema de controlo de crescimento de plantas.

Abstract

Nowadays, precision agriculture has a great importance, once it uses both the acquired knowledge of the traditional techniques of precision farming and the technological automation. Hydroponics is one of the inherent techniques of the precision agriculture. The plants are grown using aqueous solutions and without the availability of the soil.

To support the project, a small greenhouse with all the equipment necessary for hydroponics was set up in Ponta do Sol. Within this project, all the development was carried out and, consequently, the results of this project were obtained.

One of the major disadvantages of hydroponics automation systems is that they require high investment levels, which it makes too difficult to implement in a small/medium scale or for small-scale regions such as Madeira. Therefore, a system was developed using low-cost elements that automated all control. Wi-Fi microcontrollers were utilised, which measure the various values of the sensors (for example: indoor and outdoor temperature, air humidity, well water height, etc.) and which communicate to the processing centre, being this a Raspberry Pi. In this device, the data is processed to be sent afterwards and stored in a remote database. In addition, a web application was developed to support the user, being possible to verify the environmental conditions over time, the expenses and the management of their productions, using for this, production reports and graphs that allow the correlation of values. A great importance has also been given to monitoring and recovering errors, as this is a system susceptible to failures.

In this work, besides all the architectural development between client layers, intermediate layer and data layer, the utilisation of moisture sensors in the root of the plant was also studied. In this way, it was possible to automate the recirculation of water, using algorithms that make possible a high saving in the total time in which the water pump is on. Savings were around 89%.

One of the expensive equipment in these systems is the equipment for monitoring and the automatic calibration of the quantity of nutrients, being also created an equipment which performs these functions using low-cost dosing pumps.

Finally, it should be noted that the irrigation algorithms and all the saving mechanisms present in this project make this system easily transformable in a project that uses, mainly, photovoltaic energy (rather than just at data acquisition points, as it is most recurrent). This happens because the system is activated when it is only necessary, and it is more frequently activated at the peaks of photovoltaic energy production.

Keywords: Precision Agriculture; Intelligent farming systems; IoT; Hydroponics; Remote monitoring; Plant growth control system.

Índice

Índice de Figuras	XV
Índice de Tabelas.....	XIX
Lista de acrónimos	XXI
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Motivação	2
1.3. Objetivos.....	2
1.4. Contribuições.....	2
1.5. Metodologia seguida e estrutura da tese.....	3
2. Estado da arte	5
2.1. A agricultura e a agricultura de precisão	5
2.2. Hidroponia	6
2.2.1. Tipos de cultivo em hidroponia.....	7
2.3. Agricultura convencional vs hidroponia	10
2.4. A agricultura e os problemas com a água.....	10
2.5. Nutrientes necessários	12
2.6. Requisitos para uma boa solução aquosa	13
2.7. Aplicações existentes.....	15
2.7.1. Visitas de campo efetuadas.....	15
2.7.2. Botanium	16
2.7.3. MIT food computer	16
2.7.4. CoolFarm	18
2.7.5. FarmBot Genesis v1.4.....	19
2.7.6. A hidroponia e as experiências <i>open source</i>	20
2.7.7. Hardware utilizado nesta área	20
2.7.7.1. Monnit – sensor de temperatura wireless.....	20
2.7.7.2. Monnit – sensor de humidade wireless.....	21
2.7.7.3. Sensor de luminosidade HE863 <i>wireless</i>	22
2.7.7.4. Monitorização e calibração automática da CE e do pH	22
2.7.8. Diferença existente os diversos projetos	23
3. Implementação da estufa	25
3.1. Montagem da estufa.....	25
4. Implementação do sistema.....	29
4.1. Requisitos funcionais e não funcionais.....	29
4.2. Parâmetros de controlo	30
4.3. Cenários de qualidade	31
4.4. Atributos de qualidade do sistema.....	34
4.5. Arquitetura de <i>software</i> : desenvolvimento orientado na arquitetura	34
4.5.1. Camada de armazenamento de dados.....	35
4.5.2. Camada intermédia	39
4.5.2.1. Projeto Nabia.Data.....	40
4.5.2.2. Projeto Nabia.WebAPI	42
4.5.3. Camada do cliente.....	44
4.5.3.1. Sistema da estufa	44
4.5.3.2. Servidor local.....	49
4.5.3.3. Aplicação Web	58
4.5.3.4. Resumo da arquitetura	65
5. Experiências e resultados obtidos.....	67
5.1. Validação da estrutura de produção	67
5.2. Rega contínua vs rega intervalada.....	67

5.3. Validação do sensor de humidade da raiz	68
5.4. Validação do sistema final	70
5.4.1. Produção normal	70
5.4.2. Variação da CE	75
5.4.3. A inversão da normalidade	76
5.5. Análise dos dados armazenados	78
5.5.1. Análise e comparação das produções	78
5.5.2. Relação entre temperatura interior e temperatura exterior	79
5.5.3. Relação entre humidade e temperatura (interior e exterior)	80
5.5.4. Poupança a nível da bomba de água	81
5.6. Problemas ocorridos durante o desenvolvimento	82
5.7. Custos finais de produção	84
5.8. Problemas de generalização do sistema	88
6. Conclusões e trabalho futuro	89
6.1. Conclusões	89
6.2. Trabalho futuro	90
7. Referências	93

Índice de Figuras

Figura 1. Estimativa de crescimento da população mundial	6
Figura 2. Representação do sistema Wicks	7
Figura 3. Representação do sistema de água profunda	8
Figura 4. Representação do sistema de inundação e drenagem	8
Figura 5. Exemplo real de um sistema gota a gota	9
Figura 6. Representação do sistema NFT	9
Figura 7. Representação do sistema aeropónico	9
Figura 8. Evolução da quantidade de água doce em Portugal entre 1962 e 2014 per capita	11
Figura 9. Variação da disponibilidade dos nutrientes em diferentes níveis de pH ..	14
Figura 10. Sistema Botanium	16
Figura 11. Utilização das câmaras para observação dos traços morfológicos das plantas	17
Figura 12. Esboço do "Food Computer"	18
Figura 13. Sistema vertical da empresa CoolFarm	18
Figura 14. Plataforma de controlo disponibilizada pela empresa aos seus clientes ..	19
Figura 15. FarmBot Genesis v1.4	19
Figura 16. Plataforma web do FarmBot	20
Figura 17. Monnit- sensor de temperatura wireless	21
Figura 18. Monnit- sensor de humidade wireless	22
Figura 19. Sensor de luminosidade HE863	22
Figura 20. BlueLab Guardian Monitor	23
Figura 21. BlueLab DoseTronic	23
Figura 22. Montagem das placas na estrutura.....	25
Figura 23. Montagem completa da estufa (exterior e interior).....	25
Figura 24. Resultado dos furos nos tubos de PVC.....	26
Figura 25. Estufa com o sistema de produção montado.....	27
Figura 26. Esquema de disjuntores da estufa.	27
Figura 27. Arquitetura básica do projeto.	35
Figura 28. Componentes TICK (Telegraf, InfluxDB, Chronograff e Kapacitor).	37
Figura 29. Modelo de dados – final.	38
Figura 30. Resumo do processo de criação da base de dados com o EF.	39
Figura 31. Projetos desenvolvidos no Visual Studio.....	39
Figura 32. Esquema de interligação entre os diversos projetos.	39
Figura 33. Classes do projeto Nabia.Data.....	40
Figura 34. Classe "Sector".....	41
Figura 35. Classe principal "Item".....	41
Figura 36. Esquema geral de funcionamento de um servidor IIS	42
Figura 37. Controlador das observações.....	43
Figura 38. Exemplo do funcionamento do CORS	43
Figura 39. Diagrama de atividades do microcontrolador responsável pela rega.	46
Figura 40. Adaptação utilizada para a medição da CE.	47
Figura 41. Sensor HL-69 para leitura da humidade	47
Figura 42. Sensor HL-69 posicionando na raiz da planta.	48
Figura 43. Arquitetura do servidor local.....	50

Figura 44. Exemplo da configuração do hardware (neste caso, dos sensores).	50
Figura 45. Exemplo de um ficheiro log.	52
Figura 46. Sistema de doseamento - parte dos componentes elétricos.....	54
Figura 47. Sistema de doseamento - parte dos depósitos de nutrientes e do poço da solução aquosa.	54
Figura 48. Diagrama de atividades do algoritmo de rega.	55
Figura 49. Modelo de produtores-consumidores	57
Figura 50. Casos de uso do web site.....	58
Figura 51. Estrutura básica da aplicação web.	59
Figura 52. Resultado final da interface gráfica.....	60
Figura 53. Separador de regas efetuadas.....	60
Figura 54. Seleção do intervalo de tempo a visualizar.....	60
Figura 55. Separador da água no poço.....	61
Figura 56. Separador da temperatura interior – parte 1.	61
Figura 57. Separador da temperatura interior – parte 2.	62
Figura 58. Registo das produções.....	62
Figura 59. Criação de uma nova produção.....	62
Figura 60. Avaliação de uma produção.	63
Figura 61. Relatório de produção - parte 1.	63
Figura 62. Relatório de produção - parte 2	63
Figura 63. Opções de interação com o sistema.....	64
Figura 64. Exemplo de uma mensagem de alerta/erro.....	64
Figura 65. Arquitetura geral do sistema.....	65
Figura 66. Resultado do primeiro sistema sem automação.....	67
Figura 67. Resultados da experiência com diferentes tempos de rega.	68
Figura 68. Gráfico da variação da humidade.....	69
Figura 69. Diferentes tamanhos das alfaces com 1 semana de intervalo.....	70
Figura 70. Raiz da planta às 2 semanas de produção, em pormenor.	71
Figura 71. Resultado após 5 semanas de produção.	71
Figura 72. Falhas e consecutivas novas tentativas de ligação ao microcontrolador responsável pelo acionamento da bomba de água.	72
Figura 73. Resposta a uma falha de comunicação com a base de dados remota. ...	72
Figura 74. Existência de um problema e o não envio do sinal de heartbeat.	72
Figura 75. Timelaps semanal e resultados finais de uma produção.	73
Figura 76. Estufa com diversas produções.	74
Figura 77. Humidade das raízes antes da rega.....	74
Figura 78. Humidade das raízes depois da rega.....	75
Figura 79. Resultado de 7 semanas de produção com CE de 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$	75
Figura 80. Resultado de 6 semanas de produção com CE de 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$	76
Figura 81. Resultado após 2 semanas de produção.....	76
Figura 82. Resultado após 4 semanas de produção.....	77
Figura 83. Dimensão de uma folha de alface.	77
Figura 84. Resultado da produção com a inversão da normalidade em 6 semanas. 78	
Figura 85. Caule torto na experiência de inversão da normalidade.	78
Figura 86. Valores de temperatura interior vs temperatura exterior.....	79
Figura 87. Correlação entre a temperatura interior e a temperatura exterior	80
Figura 88. Relação entre as diferentes humidades e temperaturas.....	81

Figura 89. Ativação média da bomba de água.	81
Figura 90. Danos finais nas plantas (perda da produção).	82
Figura 91. Danos finais nas plantas (perda da produção).	83
Figura 92. Podridão e separação da raiz.	83
Figura 93. Registo das produções afetadas pelo fungo.	84
Figura 94. Parte do relatório da Produção nº19.	84
Figura 95. Consumo total energético da estufa.	87
Figura 96. Tempo necessário para a conversão de cerca de 1000 dados do tipo String para decimal por parte do servidor.	88
Figura 97. Sensor de pH testado	90
Figura 98. Electroválvulas utilizadas para testes no projeto.	91

Índice de Tabelas

Tabela 1. Estruturação do trabalho a realizar.	3
Tabela 2. Cenário 1 – Disponibilidade.	31
Tabela 3. Cenário 2 – Disponibilidade.	32
Tabela 4. Cenário 3 – Disponibilidade.	33
Tabela 5. Resumo dos microcontroladores e das suas funções (incluindo sensores utilizados).	44
Tabela 6. Rotas para o servidor HTTP local.	53
Tabela 7. Diferença entre o caudal anunciado e o caudal real das bombas do sistema de doseamento.	55
Tabela 8. Registo da humidade da planta.	69
Tabela 9. Valores comparativos de duas produções.	79
Tabela 10. Comparação da variação das temperaturas interiores e exteriores.	79
Tabela 11. Custo de todo o material utilizado na estufa (excluindo o sistema de produção e o valor da estufa).	85
Tabela 12. Comparação monetária entre o sistema desenvolvido e um sistema como pouca inteligência.	86
Tabela 13. Custo de produção por planta no sistema desenvolvido.	87

Lista de acrónimos

- ADC** – *Analog-to-Digital Converter* (Conversor Analógico-Digital)
- BD** – Base de Dados
- CE** – Condutividade Elétrica
- CORS** – *Cross-Origin Resource Sharing* (Compartilhamento de recursos entre origens)
- DDD** – *Domain Driven Design* (Design Orientado por Domínios)
- EF** – Entity Framework
- GPRS** – *General Packet Radio Service* (Serviços Gerais de Pacotes por Rádio)
- IA** – Inteligência Artificial
- IoT** – *Internet of Things* (Internet das coisas)
- IP** – *Internet Protocol* (Protocolo de Internet)
- LDR** – *Light Dependent Resistor* (foto resistência)
- OOAD** – *Object Oriented Analysis and Design* (Análise e o Design Orientados a Objetos)
- ORM** – *Object-Relational Mapping* (Mapeamento Objeto-Relacional)
- SOA** – *Service Oriented Architecture* (Arquitetura Orientada a Serviços)
- SQL** – *Structured Querying Language* (Linguagem de Consulta Estruturada)
- TCP** – *Transmission Control Protocol* (Protocolo de Controle de Transmissão)
- TI** – Tecnologias de Informação

1. Introdução

A agricultura é uma das atividades mais antigas praticadas pelo Homem, porém, só a partir de 1990 foi dada grande importância à sua medição e à sua monitorização [1]. Surgiu então a agricultura de precisão, juntando as tradicionais técnicas e estratégias com a inovação tecnológica. Desta maneira é possível reduzir os custos de produção e obter uma maior e melhor produção, salvaguardando também os recursos naturais e energéticos.

A agricultura de precisão permitiu o aparecimento de novas técnicas que são suportadas pelo desenvolvimento de tecnologia neste sector de atividade. A hidroponia é uma dessas novas técnicas, que permite o cultivo em água, onde não existe a disponibilidade do solo [2]. Esta técnica permite que sejam cultivados alimentos em zonas inférteis ou, aparentemente, de impossível produção. Esta técnica tem também a vantagem do aumento da produção, uma vez que as plantas têm todos os nutrientes disponíveis na água, não necessitando de um grande desenvolvimento radicular (criação de raiz) [3]. A hidroponia permite ainda reduzir a utilização de pesticidas (não nasce “erva”) e um uso sustentável dos nutrientes e da água, dado que, na maior parte dos sistemas, estes dois são retornados ao tanque principal e, depois de calibrados os nutrientes, a solução é novamente disponibilizada à planta.

Uma das grandes desvantagens destes sistemas é o seu avultado custo inicial, sendo necessária alguma mecanização/automação [4].

Neste capítulo será feita uma abordagem inicial ao tema, de modo a proporcionar uma melhor compreensão do âmbito do projeto. Serão também apresentadas as motivações e os objetivos iniciais do trabalho.

1.1. Contextualização

Nos últimos anos tem sido dada uma grande importância aos recursos energéticos, nomeadamente ao sol e à água. A agricultura, quando mal aplicada, pode ter consequências dramáticas na poluição e na utilização dos recursos do solo, originando muitas vezes a contaminação da pouca água potável que se encontra disponível para consumo [5]. A agricultura de precisão poderá ter um elevado papel para a preservação desses recursos.

Em Portugal, e em especial na Madeira, essencialmente devido ao fraco poder económico e à orografia, sempre foi praticada uma agricultura de minifúndio, nunca atingindo níveis de desenvolvimento equiparável, por exemplo, aos dos Estados Unidos. É uma atividade realizada de forma muito tradicional e que está fortemente dependente da mão-de-obra intensiva. Atualmente, começam a aparecer jovens com novas técnicas, muitos deles já formados em agricultura, que pretendem investir na área agrícola, gerando uma enorme procura por sistemas de automatização. Apesar de se esperar que estas novas técnicas venham a permitir um maior poder económico, atualmente ainda é reduzindo, prevalecendo a busca por sistemas de baixo custo.

O sistema desenvolvido foi implantado numa pequena estufa com todo o equipamento de hidroponia e foi sediado na Ponta do Sol. A estrutura tem uma

dimensão de aproximadamente 3,50 x 2,50 metros, sendo colocada nos terrenos dos familiares do autor deste documento. Todo o material utilizado para o projeto e para as diversas experiências foi comprado recorrendo a capitais próprios.

A ideia de desenvolver este projeto derivou do gosto por estas áreas completamente diferentes. O conhecimento agrícola advém em grande parte da experiência de campo e da sabedoria prática passada pelos meus familiares enquanto os ajudo nas atividades agrícolas. Como complemento, sempre que possível, tento fazer formações nesta área.

1.2. Motivação

Com este trabalho pretendeu-se criar um sistema de baixo custo que atue de maneira a aumentar a eficiência e a automaticidade do sistema. Pretendeu-se ainda que existisse o armazenamento dos dados, assim como uma plataforma de visualização. Foram utilizados, entre outros equipamentos, módulos NodeMCU (semelhantes aos Arduinos), utilizando uma rede local que, através de uma API criada, permite o acesso aos diversos valores. A API serviu também para o controlo dos atuadores, tais como as bombas de calibração dos nutrientes, de recirculação de água e de calibração da temperatura, que se encontram dentro de uma estufa de hidroponia. Sendo este um sistema crítico, não funciona apenas na *cloud*, sendo também composto por um pequeno servidor local responsável por toda a parte de processamento e de controlo.

1.3. Objetivos

Com o objetivo de reduzir o desperdício dos recursos necessários à atividade agrícola, a hidroponia toma grande importância. A possibilidade de criação de plantas sem solo é um enorme contributo para a sustentabilidade ambiental e populacional [6].

A criação de um sistema que possibilite uma maior monitorização e automaticidade é uma necessidade, tendo sempre como base um preço reduzido, uma vez que estes sistemas, mesmo sendo de pequena escala, são dispendiosos.

Outro motivo que origina o desenvolvimento deste projeto é a fraca interoperabilidade dos sistemas que se encontram no mercado, funcionando como sistemas isolados, não havendo um organismo central que comande os diversos equipamentos existentes. Além disso, apesar de haver automatização, os dados não são guardados para uma futura análise, perdendo-se a possibilidade de realização de uma análise pós-colheita.

1.4. Contribuições

- 1) O primeiro objetivo será a criação e a montagem da estufa, assim como a criação de todo o sistema de produção, fornecendo uma base para todo o trabalho que será desenvolvido.
- 2) O segundo objetivo, que será realizado em simultâneo com o primeiro, será o estudo e a descoberta dos sensores e dos atuadores necessários e apropriados para a utilização neste setor agrícola. Todos esses dispositivos têm como finalidade a monitorização e a atuação na produção, minimizando os gastos de

água, de nutrientes e de todos os outros componentes necessários, bem como da mão-de-obra.

- 3) Depois de toda a parte de *hardware* estar montada, o objetivo é utilizar uma rede Wi-Fi doméstica para a comunicação entre os diversos dispositivos e o servidor principal, através da criação de uma API. A utilização da rede Wi-Fi tem como finalidade a fácil movimentação dos dispositivos e a forte expansibilidade. Outro dos principais objetivos será alcançar o maior nível de automação possível tendo sempre em conta o baixo custo.
- 4) Será ainda estudado e verificado se a humidade da raiz pode ser utilizada para um sistema autónomo de hidroponia. Se sim, será desenvolvido um sistema que permita obter estes valores e atuar com base neles.
- 5) Por último, deve ser possível aceder aos dados remotamente (recorrendo a serviços *cloud*) e através de uma aplicação *web*.

Em suma, o maior objetivo é dar um contributo para a automação dos sistemas de hidroponia, construindo um sistema central de baixo custo, robusto, expansível e que se diferencie dos sistemas já existentes no mercado.

1.5. Metodologia seguida e estrutura da tese

Após estarem definidos os objetivos a serem alcançados, é necessário realizar uma planificação geral do trabalho a desenvolver. Desta maneira, são perceptíveis desde a fase inicial as diferentes partes do projeto, assim como um pouco da sua carga e da sua importância no contexto global. Na **Tabela 1** está representada a forma de organização do trabalho e algumas especificações de cada fase.

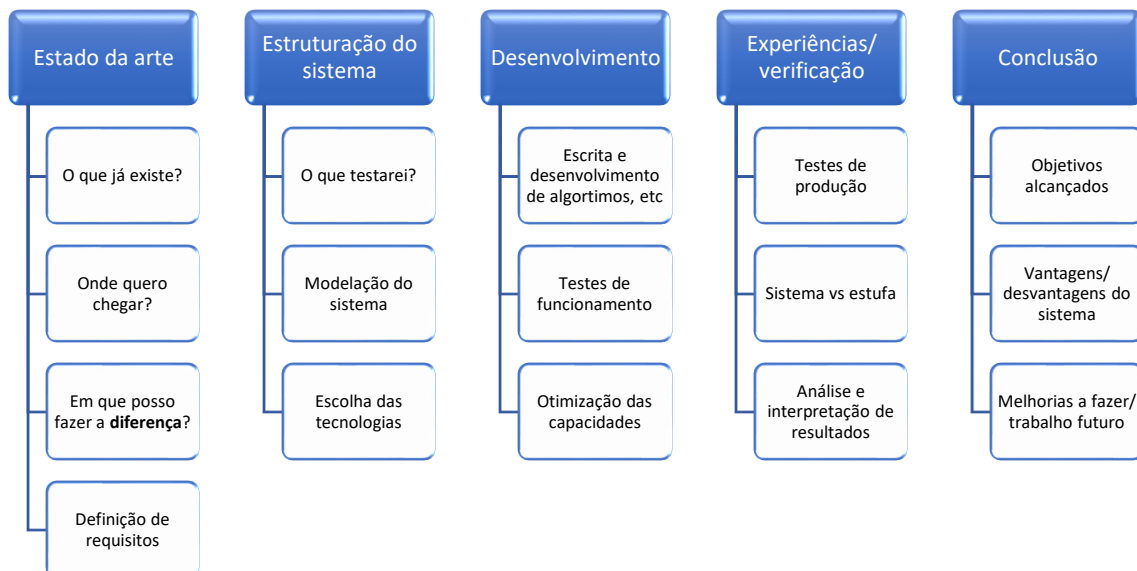


Tabela 1. Estruturação do trabalho a realizar.

A nível de estrutura da tese, esta reflete a abordagem seguida no desenvolvimento do trabalho:

- No segundo capítulo é apresentado a parte do estado de arte, demonstrando e contextualizando o meio em que o projeto se encontra inserido. São ainda indicados os projetos com bases idênticas ou com objetivos semelhantes, evidenciando também as características específicas do projeto a desenvolver;
- No terceiro capítulo são especificadas as condições onde as experiências ocorrendo, especificando os pormenores da montagem da estufa e de todo o sistema de produção;
- No quarto capítulo são descritas as especificações e justificações do trabalho realizado, dando ênfase aos aspetos inovadores.
- No quinto capítulo é demonstrado funcionamento do sistema, demonstrando as diversas experiências realizadas e os resultados que foram obtidos;
- Por fim, no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões e os trabalhos futuros, validando o trabalho realizado.

2. Estado da arte

Neste capítulo será abordada a temática base deste projeto. Será apresentada uma contextualização da agricultura e da agricultura de precisão, incluindo as vantagens desta última. Será também abordada a hidroponia e realizada uma comparação dos tipos de cultivo. Dado que a agricultura é uma atividade que necessita de uma elevada quantidade de água são também abordados os problemas associados às práticas agrícolas. Subsequentemente serão explicados os nutrientes necessários e os requisitos associados a uma boa solução nutritiva para o bom desenvolvimento das plantas em produção de hidroponia.

Quem já possuir conhecimento das temáticas previamente referidas, poderá passar para a secção **2.7** na página **15**, onde serão detalhadas as visitas de campo efetuadas e algumas das soluções de projetos semelhantes, incluindo algumas opções que se encontram atualmente no mercado.

2.1. A agricultura e a agricultura de precisão

A agricultura, que provém do latim *agricultūra*, composta por *ager* (campo, território) e *cultūra* (cultivo) [7], é uma atividade com vastos anos de existência, sendo realizada desde os primórdios da civilização. Muitas vezes é definida como a arte e a ciência das plantas em crescimento, que podem servir para a alimentação humana, para o ganho económico ou ainda para satisfazer outras necessidades [8].

Atividades como a agricultura, a pesca e a pecuária são enquadradas no setor primário, uma vez que implicam, geralmente, a transformação de produtos naturais em produtos primários [9].

Esta área tem sofrido grandes processos de mecanização e de automatização, sendo isso possível com recurso às novas tecnologias inerentes com bases na eletrónica e na informática. Apesar disso, continua a ser uma área que depende muito da mão-de-obra.

Uma das áreas mais recentes da agricultura é a agricultura de precisão. O início do seu desenvolvimento deu-se por volta de 1990, quando foi integrada a tecnologia GPS para que a rota dos tratores que exerciam funções nas culturas fosse automatizada. Esta técnica permitia que no campo não houvesse nem sobreposição nem partes em falta na trajetória das máquinas [1].

Nesta abordagem são utilizadas as TI (Tecnologias da Informação) de forma a que seja possível criar um processo de cultivo equilibrado [10], onde as culturas recebem exatamente o que necessitam, maximizando a produção, reduzindo os custos e diminuindo o tempo e o esforço de produção. Outro interesse inerente desta técnica é a menor contaminação, por exemplo, dos solos e dos lençóis de água. Esse interesse é mantido recorrendo ao funcionamento de sensores que recolhem informações dos mais variados tipos [10].

Com esta tecnologia associada é possível elaborar aplicações ou programas que permitam a monitorização remota, possibilitando a:

- 1) Detecção precoce, o diagnóstico e o controlo de doenças e plantas.

A deteção remota permite retirar conclusões que não são possíveis a olho nu, permitindo que haja intervenção em diversas áreas prevendo, precavendo e eliminando doenças [11].

2) Análise de solo, incluindo a monitorização dos nutrientes.

A deteção permite que sejam realizadas análises ao solo verificando parâmetros como a escassez de água, a temperatura externa, a deficiência de nutrientes, entre outros [11]. As condições ideais dependem do tipo de produção, garantindo um menor tempo de produção e um melhor produto.

3) Previsão e a monitorização do crescimento das culturas.

Permite determinar o rendimento das culturas assim como o acompanhamento do ciclo de crescimento e de desenvolvimento [12].

Em suma, a agricultura de precisão é a junção da tecnologia com a atividade agrícola, facilitando o controlo e a atuação do agricultor sobre as culturas.

Tem sido dada grande importância à maneira como os produtos são cultivados, mais precisamente, que compostos químicos lhes são adicionados. Outro aspeto importante é o atual crescimento da população, sendo necessário produzir o suficiente para cobrir todas as necessidades de forma eficiente. Como é possível ver na **Figura 1**, os dados apontam para um crescimento muito acentuado, significando que, em média, será necessário alimentar cerca de 72 milhões de novas pessoas todos os anos até 2025. Este número equivale à população da Alemanha [13].

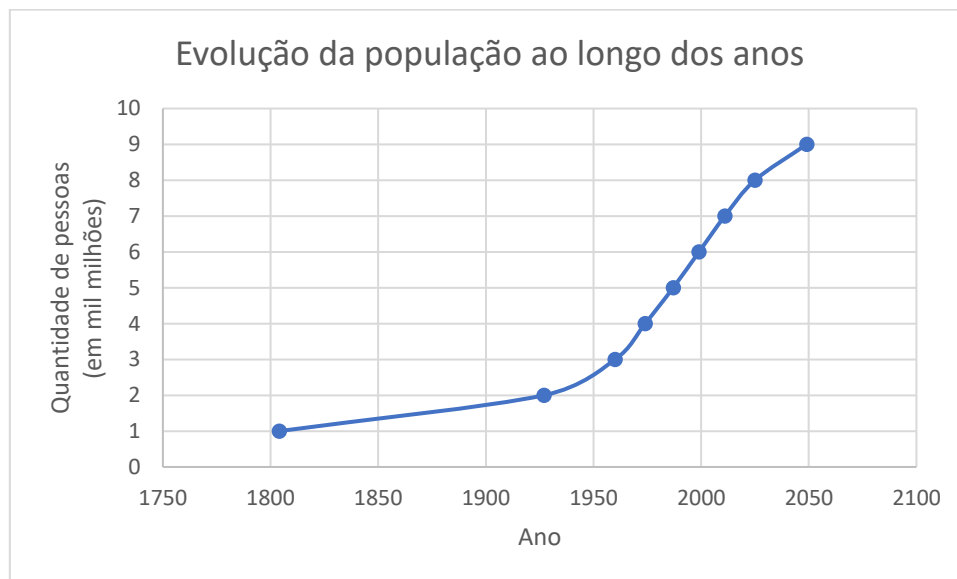


Figura 1. Estimativa de crescimento da população mundial [9].

2.2. Hidroponia

A palavra hidroponia provém do latim e tem como significado o trabalho da água, ou seja, é a possibilidade de fazer crescer plantas sem a necessidade do solo [2]. Nestes sistemas as raízes são diretamente mergulhadas em soluções aquosas contendo todos os nutrientes necessários para o ideal desenvolvimento das plantas [14][15]. As plantas conseguem obter o que necessitam de uma forma mais rápida e eficaz, porque não necessitam de desenvolver tanto os seus sistemas radiculares (ou seja, as raízes), para

adquirir o que necessitam [3]. No solo os nutrientes estão dispersos e é por esse motivo que os sistemas radiculares necessitam de se tornar maiores e mais fortes. Como as raízes são menores na hidroponia, é também possível cultivar uma maior quantidade num menor espaço de cultivo.

De uma maneira mais simples, se for fornecido a uma planta exatamente o que ela precisa, quando precisa e na quantidade que necessita, ela será tão saudável quanto possível [15]. Todo esse processo é mais fácil na hidroponia juntamente com a agricultura de precisão. A energia gasta pelas plantas no processo de desenvolvimento das raízes pode ser poupada, servindo essa energia para o seu crescimento [2]. Nestes sistemas tudo se torna mais fácil, em consequência das condições de produção serem especificamente estudadas e controladas.

2.2.1. Tipos de cultivo em hidroponia

Existem 6 tipos de cultivo na hidroponia. Todos eles têm um aspeto comum, sendo esse a utilização da água como meio de transporte de todos os nutrientes. O que mais diferencia os diferentes tipos é onde as plantas assentam e a forma como a água lhes é disponibilizada.

O grau de complexidade dos sistemas está descrito por ordem crescente, ou seja, o sistema wicks é o sistema mais simples e o sistema aeropónico o mais complexo. O nível de produção está também relacionado com a complexidade do sistema, sendo os sistemas mais complexos os que permitem obter os melhores resultados. Relacionado com a complexidade está também o seu custo associado e elevado investimento inicial para um projeto desse tipo. Existem, então, os seguintes tipos de sistemas:

- **Sistema Wicks:** É o sistema mais simples da hidroponia, não contendo mecanismos, sendo os nutrientes disponibilizados à planta através, por exemplo, de uma esponja (ver **Figura 2**). Este sistema apresenta grandes limitações, principalmente pela limitada quantidade de nutrientes que pode ser disponibilizada. Essa limitação será ainda mais sentida em plantas de grande porte, ocorrendo facilmente deficiência nutricional [16].

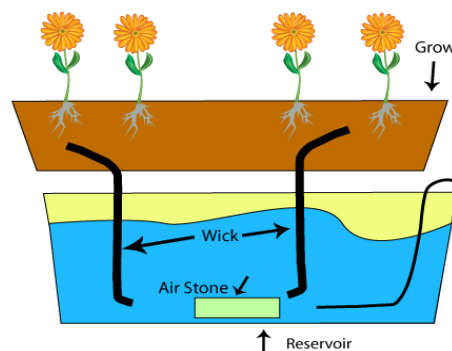


Figura 2. Representação do sistema Wicks [17].

- **Sistema em água profunda:** este sistema é também muito simples, necessitando apenas de um reservatório e de uma plataforma com capacidade de flutuar (ver **Figura 3**). As raízes à medida que crescem ficam submersas dentro de água, adquirindo o oxigênio necessário que se encontra

na solução aquosa. Esta técnica tem a vantagem de a planta adquirir o que necessita de forma rápida e eficiente. A altura do reservatório varia de planta para planta, de modo a responder às necessidades da mesma [18]. Além da alfaca, muito poucas plantas conseguem sobreviver com a raiz totalmente submersa [19].

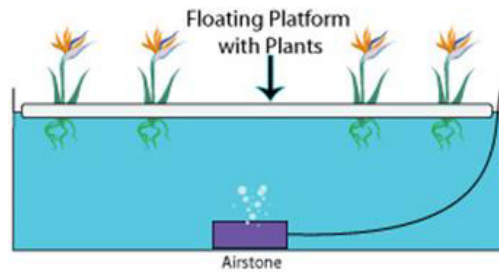


Figura 3. Representação do sistema de água profunda [20].

- **Sistema de inundação e drenagem:** Este sistema é um dos mais conhecidos e utilizados, uma vez que permite que as raízes (sistema radicular) sejam inundadas e depois passem por um tempo de drenagem. Este processo é cíclico [21]. A água é controlada normalmente através de válvulas ou de estreitamentos do canal de água de modo a que esta saia em menor quantidade do que entrou. Desta forma, a água permanece algum tempo na estação de cultivo (ver **Figura 4**).

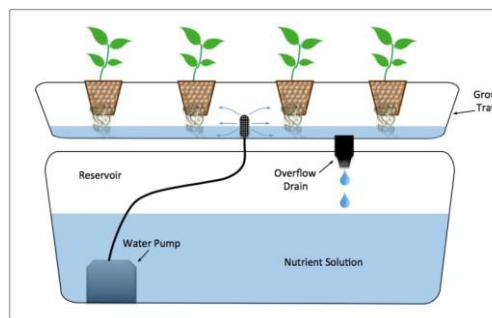


Figura 4. Representação do sistema de inundação e drenagem [22].

- **Sistema de gotas:** Neste sistema pode ocorrer duas variantes, caso ocorra a recuperação da água e dos nutrientes (sendo necessário constantes calibrações) ou estes não sejam reaproveitados (sistemas mais simples, mas que acabam por ser mais dispendiosos devido à não reutilização). A principal característica deste sistema é o facto a distribuição da água ser feita planta a planta, recorrendo a material de jardinagem para regular os bicos (e consequentemente a quantidade de água) que sai para cada planta (ver **Figura 5**) [23].



Figura 5. Exemplo real de um sistema gota a gota [24].

- **Sistema N.F.T. (Técnica de fio de nutrientes):** Neste sistema a solução nutritiva circula pelo sistema de produção através da utilização de bombas, voltando depois ao reservatório (ver **Figura 6**). As raízes encontram-se em contacto com um pequeno fluxo da solução, ficando o resto das raízes aptas para captar oxigénio [25]. Desta maneira, e ao contrário da técnica de cultivo em água profunda, é possível o cultivo de uma enorme variedade de plantas.

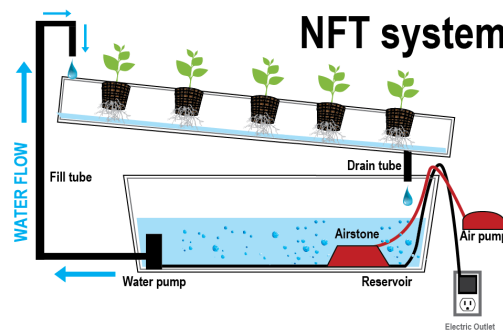


Figura 6. Representação do sistema NFT [26].

- **Sistema aeropónico:** O sistema é de todos o mais complexo e mais tecnológico. A diferença entre este sistema e o NFT é a substituição do fio de solução nutritiva a circular por uma névoa de solução, através da pressão com que a solução aquosa é libertada. Uma vez que tem muita oxigenação é um dos processos de cultivo mais eficientes em hidroponia. Como desvantagens tem-se o preço de construção e a dificuldade em regular a correta pressão a que a solução deve ser fornecida as plantas [27].

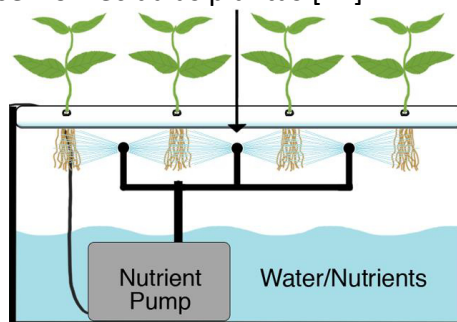


Figura 7. Representação do sistema aeropónico [28].

O método escolhido para o desenvolvimento de todos os estudos foi o sistema NFT, sendo este o método mais equilibrado a nível de resultados/investimento e sendo o que

existe uma maior oportunidade de desenvolver automatismos de baixo custo. O sistema aeropónico é um sistema demasiado complicado e complexo para inicial o processo de produção.

2.3. Agricultura convencional vs hidroponia

Comparando os dois tipos de agricultura percebe-se claramente que existem algumas vantagens inerentes à prática da hidroponia [29][4]:

- A hidroponia permite um crescimento uniforme da produção, dado que esta se encontra num ambiente controlado;
- Um melhor aproveitamento da área de produção, aumentando assim a quantidade total de plantas;
- Redução do ciclo de cultivo/produção;
- Maior mecanização, o que envolve menos despesas com mão-de-obra;
- Menos gastos com fertilizantes e com água de rega. Tudo o que é colocado em excesso na água é retornado a um tanque principal, podendo ser reaproveitado, contribuindo para que menos água e menos solução nutritiva seja perdida. Em alguns casos, encontram-se informações de redução do consumo de água em cerca de 70% [30];
- Melhores condições de trabalho uma vez que se pode nivelar a altura das estações de produção;
- Baixa (ou quase inexistente) possibilidade de crescimento de ervas, que necessitam de mão-de-obra para serem retiradas ou da utilização de pesticidas para esse efeito [31];
- Possibilidade de existir produção praticamente em qualquer sítio mesmo sem solo.

Estes sistemas têm ainda associadas algumas desvantagens [4][32]:

- É necessário um maior investimento inicial. Apesar da tecnologia ser cada vez mais acessível, é necessária uma maior mecanização, envolvendo elevados custos;
- É necessário um maior conhecimento técnico;
- Maior probabilidade de perder a produção caso surja algum problema mecânico (por exemplo falhas nas bombas de água) que não possa ser rapidamente resolvido.
- Em caso de uma praga, existe uma grande probabilidade de esta alastrar pela água;
- Um maior gasto energético (podem também ser utilizadas fontes de energia renováveis, porém, envolvem investimentos ainda mais avultados).

2.4. A agricultura e os problemas com a água

A água é muito abundante na terra, estimando-se que cubra cerca de 70 % do planeta. Porém, desse valor, apenas 1% é considerada segura e adequada para

consumo. Atualmente muitos dos problemas derivam de atividades humanas como a agricultura, a mineração e o despejo de resíduos não tratados [33].

A falta de água está bem presente em muitas regiões, sendo que aproximadamente 20% da população mundial não tem água potável [5]. É ainda especulado que cerca de 90% das doenças infecciosas nos países em desenvolvimento sejam transmitidas através de água poluída. As águas subterrâneas são contaminadas através da penetração da água que se encontra contaminada na superfície. Dados da UNESCO mostram ainda que nos EUA 40% da água doce é considerada imprópria para beber porque está contaminada com microrganismos perigosos, pesticidas e fertilizantes [5].

É estimado que a agricultura represente cerca de 70% do consumo de água (segundo a World Wide Fund for Nature – WWF, cerca de 2,500 mil milhões de litros [33]), sendo que, por exemplo, para produzir 1 quilograma de cereais são utilizados 1000 litros e para produzir 1 quilograma de carne bovina cerca de 43 mil litros de água [5]. Como se pode constatar, a utilização da água na agricultura tem de ser mais controlada e sustentável.

O aumento da poluição dos cursos de água, tanto subterrâneas como superficiais, representam uma ameaça eminente para a saúde pública e ambiental. Existem métodos e estações capazes de tratar e purificar a água, porém, todas com elevados custos monetários.

Em Portugal, os dados do The World Bank mostram claramente a drástica diminuição da quantidade de recursos renováveis de água doce, per capita (em metros cúbicos) [34]. A mesma fonte refere ainda a quantidade em Portugal, sendo possível verificar na **Figura 8** uma preocupante diminuição do total de água.

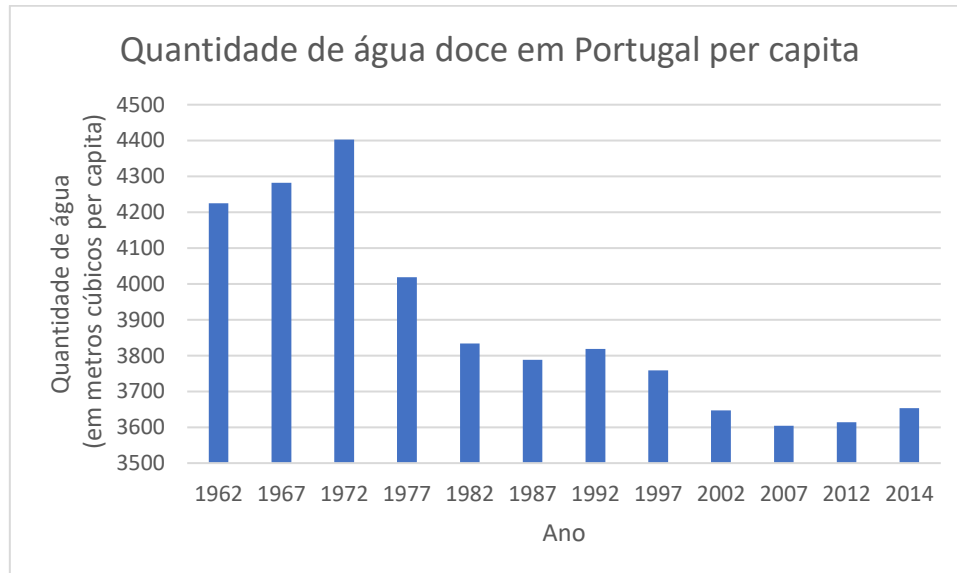


Figura 8. Evolução da quantidade de água doce em Portugal entre 1962 e 2014 per capita [34].

Em Portugal, os setores de agricultura e pecuária, em 2015, consumiram 74,7 % da água [35]. Ou seja, pode-se facilmente verificar a importância que a água tem na agricultura e a sua dependência.

Por outro lado, o Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), em Portugal, refere que em 15 de Fevereiro de 2018 cerca de 9% do território nacional estava em seca extrema, 77% em seca severa e 10% em seca moderada [36]. O boletim de

armazenamento nas albufeiras de Portugal Continental mostrava que em Janeiro de 2018 das 60 albufeiras monitorizadas apenas 8 apresentavam disponibilidades hídricas superiores a 80% e que cerca de 21 estavam com disponibilidades inferiores a 40% da sua capacidade [37].

2.5. Nutrientes necessários

Em agricultura com solo, este retém e fornece uma grande parte dos nutrientes para o desenvolvimento da planta. Uma vez que a hidroponia tem como base a água, que naturalmente não contém esses nutrientes, é necessário adicioná-los. Sem esses elementos o crescimento será retardado ou mesmo impossível. A composição dos nutrientes determina a condutividade elétrica da solução [38], sendo que cada planta tem necessidades específicas de cada nutriente.

Os nutrientes dividem-se em categorias, identicamente à alimentação humana, sendo necessária uma maior quantidade de nutrientes em relação a outros. Na agricultura existem os macro e os micronutrientes [15], que serão explicados a seguir.

Os macronutrientes são aqueles nutrientes que a planta necessita em maior quantidade, sendo necessário uma maior concentração na solução nutritiva [39]. Além disso, desempenham papéis muito importantes no desenvolvimento da planta.

- **Nitrogénio (N):** é um dos elementos que as plantas mais absorvem. Este macronutriente é importante para a criação de aminoácidos, que darão construção às proteínas (para a divisão celular e conseqüente crescimento). A sua falta está relacionada com o crescimento lento e com a falta de suporte por parte da planta. Uma das particularidades do nitrogénio é ser facilmente perdido (evaporado para o ar como gás ou lixiviado para águas subterrâneas) [40].
- **Fósforo (P):** o fósforo é um dos principais intervenientes no processo de fotossíntese, exercendo ainda a funcionalidade de transporte de nutrientes e a transferência de energia. A falta do fósforo será notada pelo crescimento atrofiado e pela falta de fruta ou de flores [41]. Uma planta que sofra de falta de fósforo numa das fases de crescimento sofre danos durante toda a produção [42].
- **Potássio (K):** o potássio é responsável pelo tamanho do fruto, assim como de todas as dimensões da planta [43]. Na deficiência deste nutriente é comum aparecer um amarelamento (ou algo como queimadas) nas extremidades da planta [44].
- **Cálcio (Ca):** o cálcio é também importante na absorção dos nutrientes e no reforço da parede celular. Além disso, tem também como função a capacidade de neutralização dos ácidos celulares. Assim como outros nutrientes, se em alguma fase do processo houver insuficiência, a planta será afetada, não sendo este processo reversível [45] [46].
- **Magnésio (Mg):** o magnésio tem como principal função a ajuda na criação de proteínas completas, aumentando a fotossíntese. A falta deste nutriente será notada pelo envelhecimento precoce das folhas mais antigas [47].

- **Enxofre (S):** o enxofre tem um papel importante na biossíntese, absorção dos aminoácidos e em vários processos de oxidação. Tem também importância na síntese de vitaminas [48].

Apesar de os micronutrientes não serem necessários em grandes quantidades para as plantas, têm uma enorme importância para a ótima função da planta. Alguns nutrientes, por vezes, dependendo das plantas, são considerados ou não micronutrientes.

- **Boro (B):** o boro é essencial para manter um equilíbrio de açúcares e ainda na polinização e na produção de sementes [49].
- **Zinco (Zn):** o zinco tem grande importância no crescimento das plantas, principalmente para plantas verdes. Tem alta importância também na reprodução e na formação de sementes [50].
- **Manganês (Mn):** o manganês, assim como o zinco tem elevada importância na reprodução e na formação de sementes. O manganês também desempenha um papel na produção de clorofila e é causador da ativação de mais de 35 enzimas [51].
- **Cobre (Cu):** o cobre tem também elevada importância no controlo de doenças e fungos e na estimulação do crescimento [52].
- **Cobalto (Co):** o cobalto é importante para a absorção de outros nutrientes. A falta deste nutriente fará com que a planta não consiga absorver o que realmente precisa dos outros nutrientes, resultando num crescimento retardado [53].
- **Molibdeno (Mo):** o molibdeno é dos micronutrientes que são menos necessários para as plantas. É utilizado por algumas enzimas para realizar alguns processos. Devido à sua pequena quantidade que cada planta necessita, é raro haver falta deste nutriente nas produções [54].

2.6. Requisitos para uma boa solução aquosa

Uma boa solução aquosa é aquela em que a planta encontra tudo o que precisa e tem forma de conseguir absorver o que precisa facilmente. Uma boa solução aquosa é caracterizada pela condutividade elétrica, pelo pH e pela temperatura da solução. Estas condições variam de planta para planta, sendo necessário ter cuidados especiais para cada tipo de produção. O pH, por exemplo, é o que possibilita a planta poder facilmente adquirir os nutrientes. Se o pH não for o correto para a planta, mesmo que os nutrientes estejam disponíveis na solução, a planta não os conseguirá absorver.

Quanto à condutividade elétrica, muitas vezes representada por CE, refere-se à capacidade que qualquer material tem para conduzir eletricidade. No caso da hidroponia, essa corrente que é passada é medida na água. É uma medição efetuada na água, sendo medida em siemens (S) [55].

A água no seu estado mais puro tem uma quase inexistente condutividade elétrica. Quanto mais sais forem adicionados, neste caso, nutrientes, maior será a condutividade elétrica. Pode-se também designar este processo de pressão osmótica. Cada planta tem uma gama de CE favorável, sendo que uma CE muito alta impede a absorção de nutrientes por parte da planta e uma CE muito baixa poderá ter resultados drásticos na saúde e no rendimento das plantas [56].

Uma das maiores desvantagens da condutividade elétrica é não permitir a medição do equilíbrio de nutrientes na solução. Ou seja, se houver falta de apenas um nutriente, o valor que será obtido não mostrará essa falta [57]. O fornecimento de micronutrientes, como já falado anteriormente, é muito pequeno em relação aos outros elementos (macronutrientes), por isso não têm um efeito significativo na CE [38]. A CE é também modificada pelas plantas, dado que estas absorvem alguns iões da água e libertam outros iões para a solução nutritiva.

Assim como a condutividade elétrica, o pH é também um aspeto muito importante na hidroponia. O pH é medido numa escala de 1-14, sendo 7 o valor neutro. Os ácidos são os inferiores a 7 e os alcalinos (ou bases) os superiores a 7. A medição é feita relacionando a concentração de iões H^+ (hidrogénio) e de iões OH^- (hidroxilo) [15] [58].

Na hidroponia, o pH está inteiramente relacionado com a capacidade das plantas conseguirem absorver os diferentes nutrientes. O pH sofre alterações não apenas pelos nutrientes, mas também em resultado dos excrementos das plantas. As plantas, através de um processo chamado de alcalinidade fisiológica libertam sais de modo a equilibrar a carga elétrica que se encontra no seu interior [38].

A absorção das plantas de cada nutriente é diferente para diferentes valores de pH. Desta maneira, é muito importante encontrar um valor que permita uma boa absorção de todos os nutrientes por parte da planta. A maior parte das plantas têm um ambiente de crescimento ótimo para valores entre os 5,5 e os 6,5, sendo possível sobreviverem na gama de 5,0 até aos 7,5 [59].

A **Figura 9** mostra as diferentes disponibilidades de diversos nutrientes consoante a variação de pH.

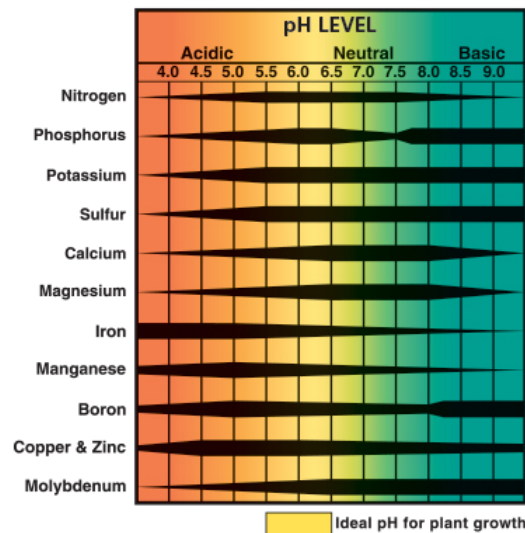


Figura 9. Variação da disponibilidade dos nutrientes em diferentes níveis de pH [60].

Existem várias formas de medir o pH, porém, é necessário ter em consideração que este altera-se para diferentes valores da temperatura. A temperatura ideal é de 25 a 30 °C. A 16 °C a taxa de crescimento diminui em cerca de 50%. A uma temperatura de 8 a 10 °C diminui em cerca de 75% e para completamente a 4 °C. Para temperaturas da água abaixo de 0 °C a planta morrerá e o mesmo acontecerá com temperaturas da água acima dos 49 °C.

2.7. Aplicações existentes

Neste subcapítulo serão apresentados os conhecimentos adquiridos e as necessidades verificadas em várias visitas de campo efetuadas tanto na Madeira como em Portugal Continental. Serão ainda abordados alguns projetos e aplicações que se enquadram no projeto que será desenvolvido.

2.7.1. Visitas de campo efetuadas

As primeiras visitas foram realizadas entre os meses de junho e dezembro de 2017, onde foram visitadas estufas de cultivo de hidroponia, tanto na Madeira, como em Portugal Continental, verificando-se um elevado nível de desenvolvimento, porém, que não cobre todos os aspetos. O mais comum é existirem válvulas de controlo remoto, que se encarregam da rega das produções. É também comum a existência de sensores de temperatura e de humidade que depois ativam os motores de abertura das janelas, ligando, se necessário, também as ventoinhas de arrefecimento. Porém, nos dois casos não existia uma maneira fácil de, por exemplo, alterar essas temperaturas, que variam dependendo da produção em curso. Outra característica em falta é o registo da atividade das bombas doseadoras. Só era possível saber a quantidade de solução nutritiva que tinha sido gasta através das faturas de compra.

A hidroponia é um sistema muito suscetível a falhas. Uma falha na distribuição da água, mesmo que seja por um período de tempo pequeno, poderá implicar a perda de toda a produção. Na maior parte dos casos, tanto em Portugal como noutros países, a prevenção dessas falhas é feita visualmente pelos funcionários, não havendo a possibilidade de realmente saber se a água passou numa determinada área de produção sem ser por observação.

Outro aspeto abordado foi o período em que as bombas se encontravam ligadas a circular a solução aquosa nos sistemas NFT. Foi referido, que, muitas vezes, e como o período em que a planta pode estar sem água é pequeno, opta-se por deixar o sistema sempre ligado ou então por intervalos de tempo muito reduzidos, maioritariamente por precaução.

Numa das visitas de campo ao Continente, foram também referidos alguns projetos que estão a ser desenvolvidos para futuramente serem postos em prática. Aí sim fala-se em sistemas completamente autónomos, mas com um nível económico não viável para empresas de pequena e média produção. Todos os sistemas de automatização, por mais simples que sejam, atingem facilmente valores consideravelmente altos, e como esse investimento necessita de ser feito logo no início, por vezes, as pequenas e médias empresas acabam por procurar um equilíbrio entre automatização e investimento. A título de exemplo, numa estufa de dimensão considerável (aproximadamente 5 mil metros quadrados) os sistemas de automação são mais caros do que toda a estrutura bruta da estufa (ferros, portas, placas, cimento, etc.).

Em suma, as empresas investem elevados valores monetários para a componente de controlo de água e no controlo da temperatura e da humidade, menosprezando todo o restante, sendo os próprios trabalhadores que fazem o restante trabalho, resultando nalguma poupança no ato do investimento.

Numa outra visita realizada em agosto de 2018 a uma nova estufa de hidroponia na Calheta foram observadas notáveis modernizações no sistema de tratamento e de adubação da água. São novos sistemas que ainda possuem alguns parâmetros de configuração manual, mas que permitem correções muito precisas do pH e da concentração de nutrientes da solução aquosa. Além disto são equipadas com máquinas que permitem a eliminação de cerca 90% dos microrganismos prejudiciais que possam haver na água. Apesar disto, a tela de sombreamento é apenas ativada em horas específicas, diminuindo a luminosidade que entra na estufa quando esta é muito forte (ou seja, é um temporizador que funciona por horas e não por condições ambientais). A rega, apesar de estar muito automatizada, é também feita em intervalos pré-programados, sendo necessário alterá-los manualmente caso esteja, por exemplo, uma temperatura muito elevada. Isto demonstra, essencialmente, a grande necessidade do desenvolvimento de automatismos nesta área e a grande e rápida resposta das empresas para aperfeiçoarem esses mecanismos, já que é uma indústria que movimenta muitos milhões de euros todos os anos. Muitas vezes o desenvolvimento só acontece porque os produtores pedem soluções e não são as empresas que possibilitam o desenvolvimento e depois apresentam ao agricultor.

2.7.2. Botanium

Enumeras empresas começam a apostar em pequenos sistemas caseiros para crescimento de plantas. Estes sistemas não têm inteligência, nem apresentam nenhum tipo de interação com o utilizador. Porém, permitem que a rega seja feita de maneira autónoma em períodos de tempo previamente selecionados. Uma das maiores vantagens é a possibilidade de ao se ausentar do local (por exemplo, para viajar), a planta continuar a ser regada conforme precise. Tem também um design atrativo, enquadrando-se no resto do local (ver **Figura 10**). O preço de venda no site oficial ronda os 70 euros [61].



Figura 10. Sistema Botanium [61].

2.7.3. MIT food computer

Existe atualmente em desenvolvimento uma iniciativa de agricultura aberta do MIT Media Lab designada por *OpenAg*, que pretende disponibilizar um sistema que possa ser implementado em casas particulares de forma a promover a sustentabilidade. Esta

iniciativa permite ainda que os alunos desenvolvam novas competências e aprendam não só sobre a área da informática e da programação como da agricultura e da área alimentar [62].

Este kit de desenvolvimento contempla ainda a visão computacional e a robótica. Através das câmaras e de algoritmos é possível a análise das medidas e da qualificação das plantas e dos traços morfológicos durante todo o processo de crescimento (ver **Figura 11**).

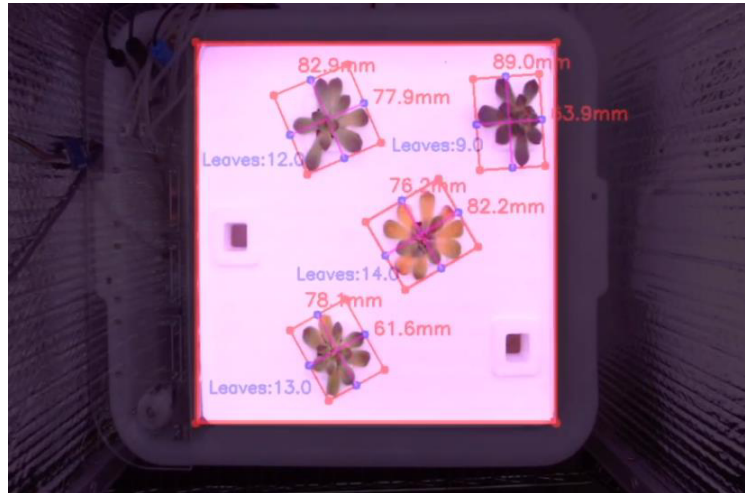


Figura 11. Utilização das câmaras para observação dos traços morfológicos das plantas [63].

Está já disponível o “Food Computer Version 2.0” com venda de kits completos (sem leds) com preços a rondar os 4000 e os 5000 dólares [64], ou seja, sensivelmente ente os 3250 e os 4050 euros. Este kit conta com uma pequena cabine totalmente isolada, com automatização de luz, ventilação e controlo da água e dos nutrientes. Este kit permite cultivar plantas em ambientes extremos, uma vez que é autónomo e isolado do meio exterior. Uma das características deste sistema é a baixa capacidade de produção, variando entre 7 e 12 plantas. Um esquema do sistema por eles desenvolvido é apresentado na **Figura 12**.

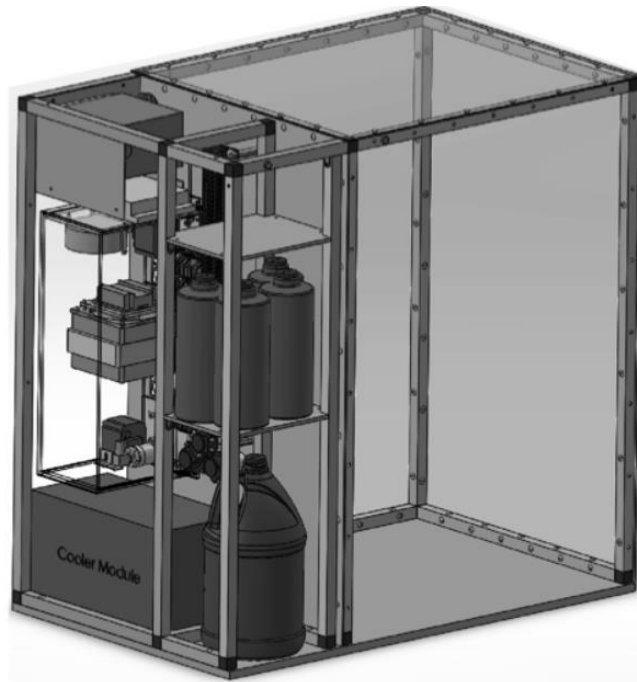


Figura 12. Esboço do "Food Computer" [65].

2.7.4. CoolFarm

A CoolFarm é uma empresa portuguesa que contempla diversas áreas como a horticultura e a engenharia. A empresa fornece aos seus clientes tecnologia pensada na eficiência da produção e no aumento da rentabilidade. Desenvolvem projetos tanto em hidroponia como em sistemas de regas mais convencionais.

A empresa disponibiliza também para venda um sistema vertical e fechado com um ambiente climatizado e limpo (ver **Figura 13**). A rega tem como base a hidroponia e possui duas colunas de produção e um elevador vertical de maneira a que os setores onde as plantas se encontram se tornem acessíveis ao operador (visto que estes sistemas podem atingir vários metros de altura) [66].

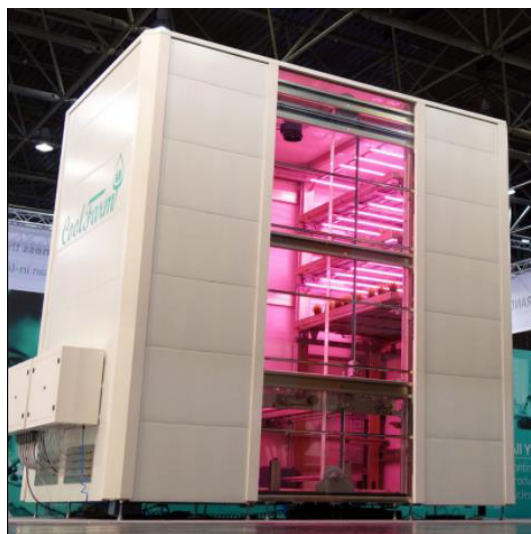


Figura 13. Sistema vertical da empresa CoolFarm [66].

Todo o processo de produção pode ser controlado através de plataformas móveis como um computador ou *tablet*. Uma das particularidades que esta empresa oferece é o painel de administração, possibilitando a visualização dos dados em tempo real, como é possível verificar na **Figura 14**.

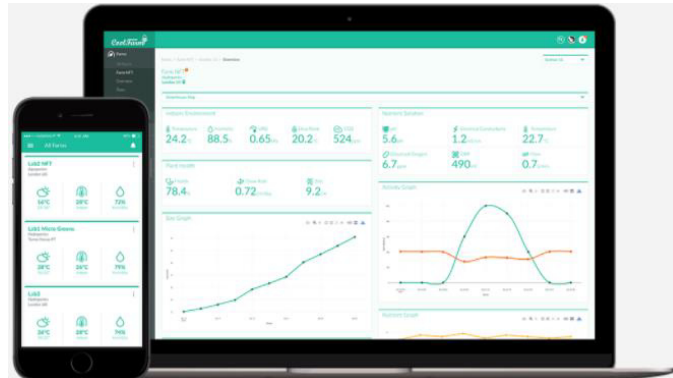


Figura 14. Plataforma de controlo disponibilizada pela empresa aos seus clientes [66].

2.7.5. FarmBot Genesis v1.4

O FarmBot é um assistente de rega que permite a deteção e a automatização da rega por setores, poupando a dispersão de água na terra (ver **Figura 15**). Tem uma abrangência de cerca de 1,5 m x 3 m e permite que as plantas cresçam até meio metro de altura. Além do dispositivo de rega, disponibiliza luzes de crescimento, um removedor de ervas daninhas e um serviço *web* para visualização e controlo das plantas que se encontram plantadas (ver **Figura 16**).



Figura 15. FarmBot Genesis v1.4 [67].



Figura 16. Plataforma web do FarmBot [68].

Para o sistema de controlo é disponibilizado um Raspberry Pi 3, servindo este também de base de dados. É também possível visualizar as produções remotamente, dado que o sistema possui uma minicâmara. O sistema é disponibilizado num kit para montagem e tem um custo associado de cerca de 2000 euros [69].

A empresa também fornece um sistema um pouco maior, com uma área útil de cerca de 3 m x 6 m que tem um preço mais elevado, cerca de 3500 euros [70].

Todas as soluções apresentadas têm a desvantagem de ter um preço de investimento/produção, muito alto, apresentando ainda muitas limitações no que diz respeito ao sistema criado.

2.7.6. A hidroponia e as experiências *open source*

A hidroponia é uma área na qual tem surgido diversas ideias interessantes em fóruns online, principalmente por pessoas que admiram a agricultura e a tecnologia. Existem diversas experiências e mecanismos destinados a esta prática realizado por amadores, que decidem partilhar o seu conhecimento e os seus resultados. Estas pessoas optam por sistemas simples e de baixo custo, utilizando, por exemplo, os Arduino e os Raspberry Pi. Muitas vezes, são dispositivos sem grande complexidade, não pensados nem codificados de uma maneira global e sem potencial de interação ou de crescimento, mas desempenham bem a tarefa para a qual foram destinados.

2.7.7. Hardware utilizado nesta área

Existem vários equipamentos que podem ser utilizados nesta área. Podem ser comprados individualmente ou integrar kits específicos. Nesta secção serão apresentados alguns desses sensores.

2.7.7.1. Monnit – sensor de temperatura wireless

Uma das várias soluções que se encontram no mercado são os sensores de temperatura *wireless* da Monnit, permitindo que não se utilizem cabos de comunicação entre os diversos elementos, nomeadamente, entre os sensores e o servidor. Esta empresa é especializada na construção de sensores para uso em ambientes específicos,

como é o caso de uma estufa. Estes sensores têm um preço anunciado entre os 49 dólares e os 149 dólares, dependendo do alcance, da transmissão e da duração da bateria. Os mais caros têm a funcionalidade de enviar avisos por SMS, além da comunicação padrão por Wi-Fi. Outra vantagem é a possível aquisição (por mais 40 dólares) de um sistema de carregamento por pequenos painéis voltaicos. Infelizmente, esta opção só se encontra disponível nos sensores mais potentes e que têm preços a partir dos 179 dólares [71].

A versão mais barata deste sensor tem uma precisão de 1% e permite medir entre os -20°C e os 60°C , contando com uma ótima distância de transmissão, sendo ela entre os 76 e os 91 metros. Quanto à bateria, se estiver com uma frequência de amostragem de hora-a-hora tem uma duração média entre 1 e 2 anos. Se a taxa de amostragem for aumentada para 6 transmissões por hora está previsto que a bateria dure entre os 2 e os 4 meses. Como é possível ver na **Figura 17**, é um sensor de pequenas dimensões, com cerca de 5 cm por 3 cm [71].

Uma das maiores vantagens deste sistema (o sistema base, sem envio de SMS) é o facto de possuir baterias próprias. Contudo, esta é também a sua maior desvantagem, sendo o tempo de vida da bateria pequeno para o caso de uma aquisição de dados muito frequente.



Figura 17. Monnit- sensor de temperatura wireless [71].

2.7.7.2. Monnit – sensor de humidade wireless

A empresa Monnit também disponibiliza sensores de humidade *wireless* (ver **Figura 18**). Os sensores com menos capacidade e menos funcionalidades têm um preço de 79 dólares com baterias e com a função de transmissão dos dados por *wireless*. Tal como no sensor de temperatura, apenas está disponível a opção de carregamento por pequenos painéis solares nas versões de gama mais elevada. Este sensor têm uma precisão na ordem dos 3% entre os 10% e os 90% de humidade. A duração da bateria, o tamanho e o alcance são semelhantes aos apresentados para o sensor de temperatura [72].



Figura 18. Monnit- sensor de humidade wireless [72].

2.7.7.3. Sensor de luminosidade HE863 wireless

Um dos sensores que tem elevada importância é o sensor de luminosidade. A quantidade de luz está diretamente relacionada com a fotossíntese, sendo importante para o cálculo das necessidades da planta.

O dispositivo HE863 (ver **Figura 19**) tem também a capacidade de obter a luminosidade e remeter o valor por *wireless* com um alcance anunciado de 50 metros. O aparelho tem pouco mais de 100 gramas e tem um preço de cerca de 15 dólares [73].



Figura 19. Sensor de luminosidade HE863 [73].

2.7.7.4. Monitorização e calibração automática da CE e do pH

A empresa bluelab oferece soluções de monitorização do estado da água. O bluelab Guardian Monitor é um equipamento com um preço de 320 dólares que permite medir em simultâneo a CE, a temperatura e o pH (ver **Figura 20**). Um dos pontos fortes deste equipamento é a elevada precisão, de ± 0.1 pH, ± 0.1 EC e $\pm 1^\circ\text{C}$ [74].



Figura 20. BlueLab Guardian Monitor [74].

Esta empresa tem também a possibilidade de integrar o sistema de controlo e de atuação num só sistema. O BlueLab Dosetronic permite a monitorização e a atuação 24h por dia, ajustando facilmente o pH e a CE para valores pré-programados (ver **Figura 21**). A desvantagem mais significativa deste equipamento é certamente o preço, que em promoção, ronda os 2500 dólares [75].



Figura 21. BlueLab Dosetronic [75].

Uma das desvantagens destes 2 últimos aparelhos é o funcionamento isolado dos restantes sistemas. Os dados e as atuações efetuadas não são de possível consulta fora do aparelho.

2.7.8. Diferença existente os diversos projetos

São inúmeras as aplicações e projetos com teor semelhante aos apresentados anteriormente, sendo possível verificar a existência de uma grande diferença nos diversos projetos de hidroponia. Por um lado, existem os sistemas muito desenvolvidos que maximizam e automatizam tudo o que é necessário, enquanto que por outro lado existem as pequenas experiências, muitas vezes feitas em casa. Estas últimas, são feitas de maneira a funcionar, sem vista a expansibilidade, à modificação e à planificação. Não existem sistemas intermediários, em que permitam investimentos com montantes razoáveis, mas que já possuam um sistema completo.

Desta forma, surgiu a oportunidade de explorar este nicho de mercado e implementar um sistema de baixo custo, mas com alta fiabilidade, que possibilitasse a criação de várias plantas em simultâneo e versatilidade necessária tanto para pequena como para grande escala.

3. Implementação da estufa

De forma a criar as condições necessárias às experiências e à validação do projeto foi utilizada uma estufa com uma área útil de cerca de 2,50m x 3m. A estrutura é de alumínio e contém placas de acrílico com proteção aos raios UV, não permitindo danos provocados pelo sol nas plantas. A estrutura contém ainda com uma porta de acesso e duas janelas. A estufa está situada na Ponta do Sol, Madeira.

3.1. Montagem da estufa

O primeiro passo consistiu na preparação do terreno e na construção de uma base em cimento que pudesse suportar a estrutura da estufa. Após isso, procedeu-se à montagem e encaixe das placas, como é mostrado na **Figura 22**.



Figura 22. Montagem das placas na estrutura.

Na **Figura 23** é mostrado o resultado final da montagem da estufa, estando ainda alguns plásticos de proteção (contra riscos na montagem) ainda por retirar.



Figura 23. Montagem completa da estufa (exterior e interior).

A estufa tem uma dimensão útil de cerca de 3m x 2,5m. Posto isto, decidiu-se dividir a estufa em 3 partes. Uma central de passagem e duas laterais para produção.

Em cada lado da estufa existem 2 zonas de produção (a diferentes alturas), a primeira montada a uma altura de 70 cm e a segunda a uma altura de 120 cm relativamente ao

chão. Esta segunda zona de produção é chamada zona de desenvolvimento, pois é onde as plantas ganham uma maior dimensão. A primeira zona é chamada de zona de berçário e é onde são colocadas as plantas enquanto possuem um porte pequeno. Quando começam a tomar uma dimensão maior são passadas para a zona inferior de crescimento. Estas alturas foram definidas de modo a facilitar a realização do trabalho com uma postura correta, diminuindo o cansaço excessivo devido à inadequada altura de trabalho. É também necessário referir que a inclinação utilizada para o escoamento de água é de 3%, sendo este valor sugerido pelos agricultores em produção.

No que diz respeito ao sistema de produção, todas as decisões (como por exemplo, o formato da colocação dos materiais e das medidas) foram baseadas em exemplos práticos de estufas que atualmente se encontram em produção. Foram avaliadas algumas possibilidades e escolhidas as que apresentavam melhores resultados a nível de custo, produção e aproveitamento do espaço para o sistema de produção em NFT.

O primeiro passo consistiu na compra de tubos de PVC para o sistema de produção. Foram necessárias duas medidas de tubo. Tubo de 50mm de diâmetro para o berçário (zona de crescimento inicial, onde as plantas são de menor dimensão) e tubo de 75mm de diâmetro para a parte de crescimento das plantas, onde estas já têm uma maior estrutura. Os dois tipos de tubo foram cortados em secções com um comprimento de 3 metros.

Seguidamente, procedeu-se ao corte das cavidades nos tubos (onde as plantas serão inseridas). Os cortes foram realizados na estrutura de berçário com um diâmetro de 45 mm e na estrutura de produção com 60 mm. O resultado final é visível na **Figura 24**.



Figura 24. Resultado dos furos nos tubos de PVC.

O segundo passo consistiu na reutilização de madeira de eucalipto para a construção dos suportes dos sistemas de produção e da construção do sistema de irrigação. A estrutura já com as calhas de produção dentro da estufa fica organizada da forma representada na **Figura 25**. É de notar que o sistema de produção está a ser utilizado em apenas a 60% (poderiam ser colocados 10 tubos de produção e foram colocados apenas 6), não sendo necessário mais linhas de produção para o presente estudo.



Figura 25. Estufa com o sistema de produção montado.

Sendo que é necessária energia elétrica na estufa e que dentro desta existe água e um elevado nível de humidade, é necessário proporcionar segurança adicional a nível elétrico. O sistema foi acoplado com um disjuntor e um disjuntor diferencial (ver **Figura 26**). Com estes dispositivos garante-se que o sistema se desligue automaticamente quando seja detetada alguma fuga de corrente anormal. Desta forma previne-se: a ocorrência de curto circuitos e de perdas de energia que aumentem o consumo, aquecimentos de equipamentos elétricos e possíveis focos de incêndio e choques elétricos prolongados [76]. Foram utilizados um disjuntor diferencial de 16A com um diferencial de corrente de 500mA e um disjuntor de 10A.

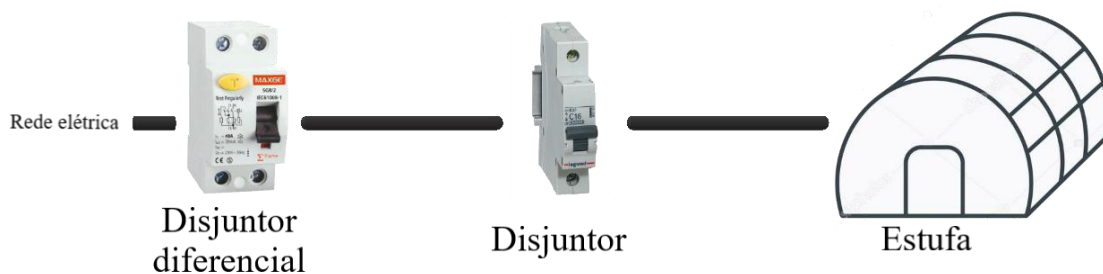


Figura 26. Esquema de disjuntores da estufa.

4. Implementação do sistema

Neste capítulo são abordados os processos de engenharia de todo o sistema, ou seja, todo o desenvolvimento correspondente à área de engenharia informática.

De modo a estruturar o sistema foi necessário obter alguns conhecimentos de arquiteturas e até mesmo de sistemas de automação em agricultura, percebendo as vantagens e desvantagens de certos sistemas, e com isso, não repetir erros passados cometidos por outros. No artigo [77] é identificado e criado um sistema de monitorização remota utilizando GPRS (vulgarmente referenciadas como a tecnologia que os telemóveis utilizam na rede), permitindo perceber claramente a vantagem do uso de arquiteturas em camadas para sistemas IoT. Desta forma possibilita-se uma separação de competências entre os diversos elementos. Através do artigo [78] é possível entender a importância e a necessidade de uma plataforma para a visualização e a análise dos dados, principalmente na área agrícola, aglomerado também a previsão meteorológica. No artigo [79] são exploradas as tecnologias via telemóvel para a previsão meteorológica, para o controlo de despesas, para as tendências de mercado e para as condições de produção, como é o caso da humidade do solo. Da análise destes artigos foi possível adquirir conhecimentos sobre a parte comercial dos produtos agrícolas, sendo estas informações importantes para a plataforma de visualização. Nos artigos [80], [81], [82] é feita uma abordagem às arquiteturas bases das tecnologias IoT e algumas especificações para casos em concreto, mencionado algumas vantagens e desvantagens. São explicados diversos tipos de arquiteturas em camadas e a conexões entre os diversos módulos. Fica claro que uma arquitetura ideal divide-se em 3 camadas principais e que a maneira de comunicação mais completa e geral será utilizando a comunicação através de TCP-IP (protocolo de comunicação entre dispositivos em rede). Para a comunicação entre os diversos dispositivos e o controlador principal é mencionado o Bluetooth, porém, só é viável para curtas distâncias entre estes. No que consta às modificações fica conclusivo a importância da utilização de uma SOA (arquitetura orientada aos serviços), recorrendo aos princípios de desenho.

4.1. Requisitos funcionais e não funcionais

De modo a estruturar o sistema começou-se por definir os requisitos funcionais e não funcionais, sendo estes essenciais no desenho e desenvolvimento do sistema. Estes requisitos encontram-se depois implementados e mais detalhados nas subseções seguintes. Seguem-se os requisitos funcionais:

RF001: O sistema deve ser autónomo na recirculação de água;

RF002: O sistema deve permitir o doseamento de nutrientes e de pH;

RF003: O sistema deve monitorizar do valor do pH e da condutividade elétrica;

RF004: O sistema deve ser capaz de detetar erros e tentar automaticamente corrigi-los/superá-los;

RF005: O sistema deve registar e armazenar os dados;

RF006: O sistema deve prever valores caso exista um erro num determinado valor adquirido;

Seguem-se agora os requisitos não funcionais:

RNF001: O sistema deve ter uma arquitetura modular, com comunicação recorrendo a REST API;

RNF002: A base de dados deve ser separada do sistema principal, prevalecendo a segurança e permitindo uma fácil adaptação a outras plataformas;

RNF003: O sistema deve funcionar sem conexão externa (por exemplo, sem conexão à base de dados);

RNF004: O tempo de resposta do sistema não deve ultrapassar 30 segundos;

RNF005: O sistema deve poder funcionar em vários sistemas operativos;

RNF006: O sistema de visualização deve ser modular e adaptar-se a vários tamanhos de ecrã (incluindo telemóveis).

RNF007: O sistema deve permitir uma forma de intervenção e de visualização dos dados, apresentando na página principal os valores mais importantes.

Como restrição do sistema tem-se a obrigatoriedade de implementar um sistema recorrendo apenas a equipamentos de baixo custo, reduzindo assim o preço total do projeto.

4.2. Parâmetros de controlo

Na hidroponia existem vários aspetos que são necessários medir e controlar. Os principais são:

- pH: essencial para definir os níveis de absorção pelas plantas;
- CE: quantidade de adubo (nutrientes) dissolvido na solução aquosa;
- Temperatura da água: permitindo que não sejam causados danos nas plantas.

Estes 3 elementos a controlar são necessários em todos os projetos, daí dizer-se que a hidroponia por si só já é uma atividade algo informatizada onde é necessário a introdução de instrumentos eletrónicos, dado que não é possível adquirir estes parâmetros nem a olho nu, nem com a aquisição de experiência de cultivo.

Além destes parâmetros básicos o sistema a desenvolver deve medir:

- Temperatura interior e exterior: essencial para a produção ideal da planta;
- Humidade interior e exterior: essencial para a produção ideal da planta;
- Quantidade de água consumida: para questões de prevenção de doenças e por questões económicas;
- Quantidades de nutrientes: por questões económicas e de gestão de stock;
- Ativação da bomba para a recirculação da solução aquosa: questões de boa produção e questões económicas (menos tempo de bomba ligada significará uma redução do custo de eletricidade).

Neste projeto estudou-se ainda o impacto que a medição da humidade da raiz traz terá tanto a nível económico (menos tempo de bomba de água ativada) como a nível de produção.

4.3. Cenários de qualidade

Nesta secção serão mencionados os 3 cenários de qualidade mais importantes para o sistema, tendo estes requisitos muita importância no desenvolvimento do projeto. A criação destes cenários específicos foi de encontro às fragilidades do sistema conseguindo a partir daí obter de uma forma estruturada as opções e medidas de resposta a essas falhas.

O primeiro cenário é deveras o mais importante e faz referência à obrigatoriedade e à necessidade constante da recirculação de água no sistema. De modo a que todo este processo ocorra sem erros são utilizadas diversas táticas, como por exemplo, o *heartbeat* e o *retry*. O cenário em concreto é descrito na **Tabela 2**.

Atributo de qualidade	Disponibilidade.	
Preocupação do atributo	Manter a água a circular no sistema.	
Cenário	Por algum motivo o microcontrolador responsável pelo controlo da bomba de água não obtém comunicação com o servidor (<i>heartbeat</i>) e então age por conta própria.	
	Estímulo	O microcontrolador deixa de obter o <i>heartbeat</i> do servidor.
	Fonte do estímulo	O microcontrolador encarregue pela bomba de água.
	Ambiente	Operação normal.
	Artefacto	Sistema de controlo.
	Resposta	O microcontrolador deixa de obter comunicação com o servidor; O microcontrolador tenta novamente fazer a comunicação com o servidor (<i>retry</i>); Caso não consiga, entra em modo degradado, ligando a bomba com intervalos de segurança previamente estabelecidos; Espera pela resposta do servidor para sair do modo degradado.
	Medida de resposta	Enquanto está em modo degradado liga a bomba 1 minuto de 7 em 7 minutos.

Tabela 2. Cenário 1 – Disponibilidade.

O segundo cenário de qualidade faz referência à aquisição dos valores da temperatura e da humidade, já que estes são essenciais para o cálculo do intervalo entre regaduras. O segundo cenário está detalhado na **Tabela 3**.

Atributo de qualidade	Disponibilidade.	
Preocupação do atributo	Prevenir e recuperar de falhas.	
Cenário	Por algum motivo o sensor de temperatura/humidade deixou de responder (impossibilidade de adquirir o valor) impossibilitando prever a necessidade de água.	
	Estímulo	Falha na aquisição de um valor do sensor.
	Fonte do estímulo	Servidor local.
	Ambiente	Operação normal.
	Artefacto	Sistema de comunicação.
	Resposta	O servidor local deixa de obter resposta do sensor; O servidor faz <i>retry</i> ; O servidor tenta prever o valor atual; Caso não seja possível prever é atribuído um valor por defeito.
	Medida de resposta	Tentar recuperar da falha.
Questões	Como diferenciar diferentes tipos de falha entre estes dois componentes?	

Tabela 3. Cenário 2 – Disponibilidade.

O terceiro cenário relaciona-se com a necessidade de funcionamento remoto, guardando todos os dados quando não existe uma conexão possível com o exterior. O cenário 3 encontra-se detalhado na **Tabela 4**.

Atributo de qualidade	Disponibilidade.	
Preocupação do atributo	Manter a base de dados remota atualizada.	
Cenário	Por algum motivo o servidor local não consegue enviar os dados para a base de dados remota.	
	Estímulo	Falta de comunicação entre o servidor e a base de dados remota.
	Fonte do estímulo	Servidor local.
	Ambiente	Operação normal.
	Artefacto	Sistema de comunicação.
	Resposta	O servidor local deixa de obter comunicação com a BD remota; O servidor local coloca os dados na BD local; Quando conseguir estabelecer ligação sincroniza os dados em falta.
	Medida de resposta	Tenta restabelecer ligação a cada 20 minutos.

Tabela 4. Cenário 3 – Disponibilidade.

4.4. Atributos de qualidade do sistema.

A nível de atributos de qualidade do sistema, a disponibilidade foi utilizada para o planeamento das falhas, definindo e caracterizando diferentes tipos de falhas. As falhas dividem-se em catastróficas (que inviabilizam o funcionamento de todo o sistema) até falhas que não tenham grande significado no funcionamento geral. Para detetar essas falhas foram utilizadas as táticas:

- *Heartbeat* – entre o servidor local e o controlador da ativação da bomba;
- Monitorização das condições – para aviso de erros ao utilizador;
- Detecção de exceções – para verificar os erros de comunicação, etc. entre os diversos dispositivos.

Para a parte de recuperação de falhas foram utilizadas as táticas:

- Redundância passiva para a ativação da bomba;
- Tratamento das exceções para perceber o que falhou;
- *Retry* – tentar de novo, por exemplo, os valores dos sensores caso dê erro;
- Funcionamento em modo degradado – quando parte do sistema encontra-se perante algum problema, mantendo apenas o mais essencial do sistema.

De modo a prevenir o acontecimento de erros foram utilizados a prevenção das exceções e o aumento das competências – fazendo um sistema que seja o mais completo e que previna a possibilidade de ocorrência de erros.

No que consta à interoperabilidade, foi utilizada uma API REST, sendo este o padrão para a comunicação entre todos os dispositivos.

Quanto à modificabilidade, todo o sistema foi desenhado com uma arquitetura em blocos com agregação e separação de competências, estando aberto a modificações que possam surgir sem interferência dos outros módulos de funcionamento.

A nível de desempenho, o sistema foi desenhado para nunca estar num modo de bloqueio, e, caso isso aconteça, será ativado o modo degradado, garantindo o funcionamento essencial, a recirculação de água.

A segurança neste projeto também não foi deixada de parte, implementando o sistema CORS (utilização de cabeçalhos adicionais no pedido HTTP que refere a origem do pedido e se este tem autorização para aceder ao recurso ou não) e aplicando autenticação.

O sistema apresenta ainda a capacidade de monitorização através do sistema de *logs* e escalabilidade para abranger sistemas de maior dimensão.

4.5. Arquitetura de *software*: desenvolvimento orientado na arquitetura

De modo a tornar o sistema versátil e adaptável é necessário partir de uma base de planificação. Definir no início do projeto todos os requisitos e a sua estrutura base possibilita que o resultado final seja conciso. Apesar de esta fase inicial de planificação levar um pouco mais de tempo e de trabalho, facilitará em muito na parte de desenvolvimento de *software*, prevenindo mudanças súbitas que resultem na perda de

trabalho já realizado. Este e muitos sistemas semelhantes a este são organizados em 3 módulos, separando as diversas componentes, sendo estas representadas na **Figura 27**, sendo em seguida discriminados.



Figura 27. Arquitetura básica do projeto.

Camada do cliente – camada mais abstrata e que normalmente sofre mais alterações. Exemplos disso são as aplicações móveis ou os *web sites*. Têm tendência para serem refinados visualmente;

Camada intermediária (processamento) – camada que normalmente necessita de uma máquina com um pouco maior nível/capacidade de processamento, dado que costuma desempenhar funções de processamento de dados e de tratamento dos pedidos feitos pelos clientes;

Camada de armazenamento de dados – camada que normalmente sofre menos alterações e onde se encontra uma máquina com uma elevada quantidade de memória. É de notar que esta camada pode ser composta igualmente por uma máquina ou então por um serviço *cloud*.

É ainda de notar que estas camadas podem funcionar perfeitamente na mesma máquina. Cada camada acima representada será especificada nos tópicos seguintes, apresentando-se por ordem contrária (ou seja, de baixo para cima), seguindo desta forma o processo real de como o projeto foi implementado. Depois desses 3 tópicos será retratado o conjunto como um todo, aglomerando todas as partes que foram especificadas.

4.5.1. Camada de armazenamento de dados

Antes de planear a base de dados foi necessário saber o que seria necessário armazenar. Para este projeto é necessário:

- Temperatura interior e exterior da estufa;
- Humidade interior e exterior da estufa;
- Condutividade elétrica da água;
- Temperatura da água;
- pH da água;

- Luminosidade;
- Quantidade de água no tanque;
- Ativação da bomba de água;
- Ativação das bombas de nutrientes;
- Diversas zonas e as quantidades possíveis de plantas na estufa;
- Tipos de plantas e valores ótimos de produção para cada planta;
- Avaliação e comentários para cada produção.

Todos os valores atrás descritos necessitam obrigatoriamente de estar associados a um evento temporal (*timestamp*).

As bases de dados relacionais utilizam para gerir as transações o SQL (*Structured Querying Language* [83]), sendo esta uma linguagem universal. Além disso proporciona propriedades ACID que garantem a validade dos dados. Por outro lado, uma das maiores dificuldades é certamente o processo de criação, uma vez que todo o processo é complexo e minucioso em caso de inconsistências. Porém, relativamente às BD não relacionais tem vantagens na elaboração de *queries* com dados agregados, dado que nas BD não relacionais quem efetua essas relações é o utilizador através de complexas *queries* [84].

Obviamente, as bases de dados não relacionais foram tidas em conta na hora da escolha. Uma das mais analisadas foi exatamente a base de dados orientada ao tempo. Esta base de dados e todos os seus componentes é recente (lançada em 2013 [85]) e está sendo largamente aceite nos projetos com arquitetura IoT. Tem a vantagem de dispor de várias ferramentas que podem ser facilmente associadas. Entre as diferentes ferramentas destacam-se as visíveis na **Figura 28**:

- **Telegraf** – responsável pela recolha dos dados e gestão dos pedidos externos;
- **Chronograf** – visualização de gráficos (muito completa e intuitiva);
- **Kapacitor** – geração de alertas e deteção de anomalias, podendo inserir a parte computacional de inteligência artificial [86].

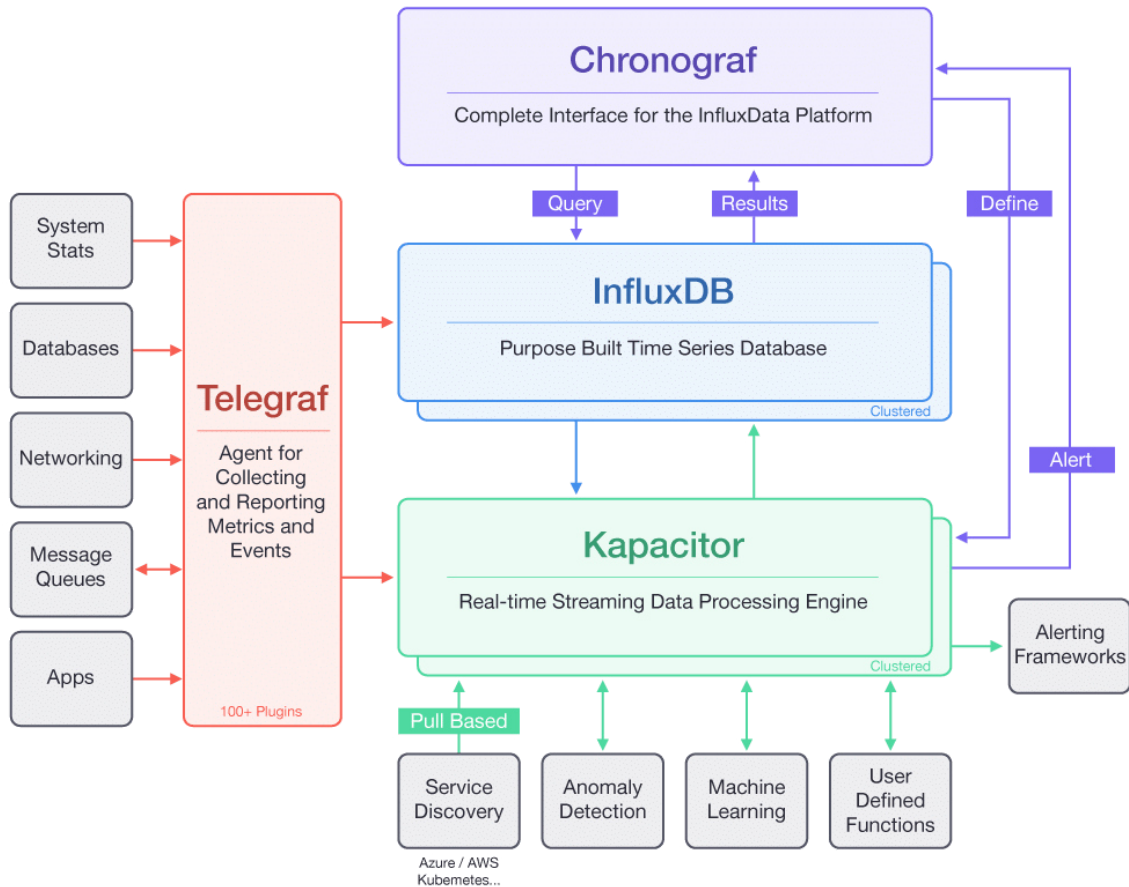


Figura 28. Componentes TICK (Telegraf, InfluxDB, Chronograf e Kapacitor)[87].

Como o nome indica, todos os dados são guardados segundo uma ordem temporal, não havendo correlação entre os diferentes dados quando estes estão a ser guardados.

Todas estas ferramentas acima descritas foram testadas num Raspberry Pi 3, demonstrando bons resultados a nível de rapidez e simplicidade de configuração. A rapidez do sistema, mesmo em aparelhos de baixa gama e com poucos recursos (como é o caso do Raspberry) é realmente impressionante, porém, a complexidade das dependências necessárias neste projeto acabam por dificultar em muito as *queries* necessárias para obter os dados certos. Outro aspeto que deixa as plataformas ainda um pouco atrás das já existentes é a elevada agregação entre todas aquelas plataformas. Fazer algo fora deste âmbito origina alguma complexidade, sendo então a melhor opção utilizar as bases de dados relacionais em vez destas.

Sabendo quais os dados que seriam necessários armazenar e qual base de dados seria utilizada, procedeu-se à implementação do modelo de dados.

O processo de implementação do modelo de dados foi demorado, passando por diversas etapas. Como é possível visualizar na **Figura 29**, o modelo de dados foi desenhado tentando ao máximo ser generalista e com elevados níveis de abstração. Este modelo foi implementado pensando um pouco em todas as necessidades das plataformas IoT, sejam elas direcionadas à agricultura ou não, sendo facilmente adaptável a outros projetos.

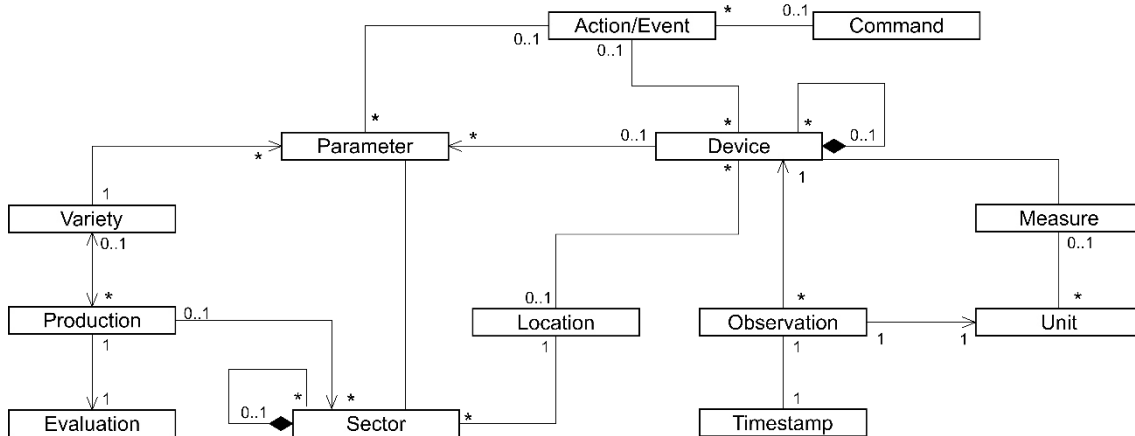


Figura 29. Modelo de dados – final.

Para melhor perceção do esquema, é necessário saber que as estufas comuns são divididas em setores, que são numeradas e têm diferentes localizações. Cada setor pode ser composto por vários subsetores, como é o exemplo de: Parte A da estufa e corredor de produção nº4 (considera-se que um corredor de produção também é um setor). Uma produção de plantas está associada a 1 ou mais setores, e sendo composto por uma variedade de plantas. Cada variedade tem parâmetros definidos, tais como: pH ideal, CE ideal, tempo médio de produção, etc. Cada produção concluída dispõe de uma avaliação, onde são atribuídas uma nota e uma descrição.

Um dispositivo está associado a uma localização, assim como também um dispositivo/artefacto pode conter outros dispositivos (por exemplo, um tanque pode conter os sensores de altura de água, de pH, etc.). Um dispositivo pode também conter diversos parâmetros, como é o caso das calibrações, etc. Ao nível da recolha dos dados, cada dispositivo pode estar associado a várias observações e cada uma destas está associada a uma unidade e a um *timestamp*, definindo o momento da recolha do valor. Um dispositivo está também interligado com as medidas (e conseqüentemente às unidades), sendo as medidas, por exemplo, a luminosidade, a temperatura, a humidade, etc.

No canto superior do diagrama encontra-se a parte dos eventos, que são sempre associados a um dispositivo através de um parâmetro, por exemplo, desligar (parâmetro) a bomba de água (dispositivo).

4.5.2. Camada intermédia

A camada intermediária é aquela que é responsável pelo mapeamento e encaminhamento entre os pedidos que provêm da camada de cliente e que se destinam à camada de dados. Desta forma, permite-se que exista uma separação e uma camada que sirva de filtro aos acessos à BD. Para a criação desta camada foram utilizadas as capacidades do Visual Studio e foram seguidos vários princípios como o DDD (Design Orientado por Domínios) e os OOAD (Análise e o Design Orientados a Objetos). Estes princípios são caracterizados pelo desenvolvimento ser orientado a objetos, originando um certo encapsulamento e um maior nível de abstração. A utilização do *Entity Framework* trás complexidade, porém tem a vantagem de permitir que primeiro sejam criadas as classes das entidades de cada domínio e que depois sejam automaticamente criadas as tabelas, chaves estrangeiras, etc. da base de dados [88], havendo uma separação do código SQL puro. Ou seja, o EF garante o mapeamento entre os objetos e a base de dados. É apresentado um quadro resumo da criação da base de dados recorrendo ao Entity Framework na **Figura 30**.



Figura 30. Resumo do processo de criação da base de dados com o EF.

Nas próximas duas secções será descrito o trabalho efetuado recorrendo à plataforma Visual Studio, utilizando o EF. Assim como mostrado na **Figura 31**, o primeiro desenvolvimento será o projeto de dados, implementando a modelação da base de dados. O segundo será a *web API*, recorrendo a um servidor *IIS*. Estas duas partes do projeto foram implementadas recorrendo à linguagem *C#*. A relação entre os dois projetos está melhor explícita na **Figura 32**

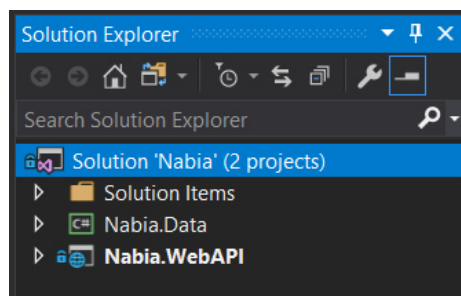


Figura 31. Projetos desenvolvidos no Visual Studio.

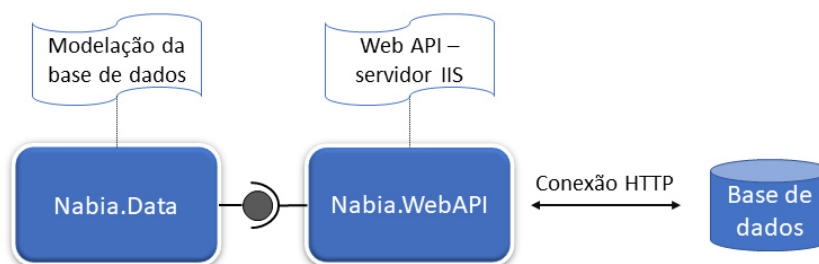


Figura 32. Esquema de interligação entre os diversos projetos.

4.5.2.1. Projeto Nabia.Data

Este projeto, assim como já foi referido anteriormente, é o projeto responsável pela modelação da base de dados, onde são criadas as classes com os modelos. A **Figura 33** mostra as classes criadas no projeto Nabia.Data. As classes vão de encontro ao modelo de dados, referenciado anteriormente na **Figura 29**.

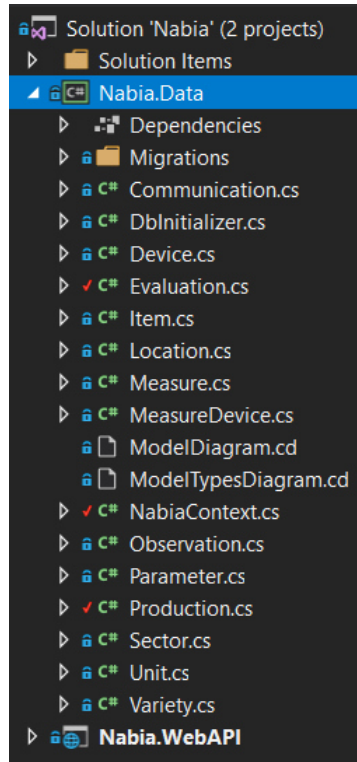


Figura 33. Classes do projeto Nabia.Data.

Cada classe contém as relações necessárias para a BD. Na **Figura 34** é mostrado um exemplo do código implementado nas várias classes. Neste código está especificado o que cada classe contém e quais os seus tipos. Por exemplo, sabe-se que a classe “Sector” é composta por um nome (linha de código n.º 9) e que também pode ser composta por uma coleção de vários parâmetros (linha de código n.º 26). Também para o primeiro exemplo, o do nome, é definido o máximo de tamanho da *String*. Caso não fosse definido, o programa assume automaticamente o máximo permitido, alocando memória sem necessidade. Outro aspeto que também foi tido em conta é a possibilidade de um valor ser nulo ou não.

```
1  using System.Collections.Generic;
2  using System.ComponentModel.DataAnnotations;
3
4  namespace Nabia.Data
5  {
6      public class Sector : Item
7      {
8          [DataType(DataType.Text), MaxLength(256)]
9          public string Name { get; set; }
10
11         // 1 Sector (or more) may have 1 Location
12         public int? LocationId { get; set; }
13         public Location Location { get; set; }
14
15         // 1 Device may have others Devices
16         public int? SectorId { get; set; }
17         public Sector OtherSector { get; set; }
18
19         public ICollection<Sector> Sectors { get; set; }
20
21         // 1 Sector (or more) have 1 Production
22         public int? ProductionId { get; set; }
23         public Production Productions { get; set; }
24
25         // 1 Sector may have many Parameters
26         public ICollection<Parameter> Parameters { get; set; }
27     }
28 }
```

Figura 34. Classe "Sector".

Ainda sobre a **Figura 34**, pode-se constatar que a classe "Sector", assim como todas as outras criadas, derivam de uma classe principal, a classe "Item". É nesta classe que são definidos os parâmetros comuns a todas as classes, sendo eles o Id (como chave primária) e o Timestamp em que o evento ocorre. A classe e os seus parâmetros encontram-se representados na **Figura 35**.

```
7  namespace Nabia.Data
8  {
9      public abstract class Item
10     {
11         [Key, DatabaseGenerated(DatabaseGeneratedOption.Identity)]
12         public int Id { get; set; }
13
14         [Timestamp]
15         public byte[] TimeStamp { get; set; }
16     }
17 }
```

Figura 35. Classe principal "Item".

4.5.2.2. Projeto Nabia.WebAPI

De modo a que seja estabelecida a comunicação entre a camada do cliente e a camada de base de dados é importante a existência de um mediador sobre a forma de uma aplicação *web* que incorpora uma API. Assim, aproveita-se também o trabalho realizado na parte da criação da base de dados para implementar o servidor com uma *web* API. Um dos principais motivos de tal escolha converge com a finalidade de este ser um projeto *Open Source*. Desta forma, é possível que outras pessoas, mesmo com um nível de computação reduzido possam desenvolver e acrescentar valor a este projeto com as suas contribuições a níveis programáticos.

Como é possível verificar através da **Figura 36**, o funcionamento interno de um servidor IIS tem como base o modelo MVC (*Model – View – Controller*), permitindo versatilidade e separação de componentes. Os modelos (“model”) referenciados na imagem são os criados e definidos no projeto “Nabia.Data”, descrito anteriormente, por exemplo, na **Figura 33**.

A camada de dados neste projeto não é a base de dados real, representando apenas uma ORM (Mapeamento Objeto Relacional – resumidamente, uma abstração da base de dados), fazendo pedidos à BD para depois os valores serem tratados e ser devolvida uma resposta ao cliente. Posto isto, é necessário um especial cuidado na realização do código deste projeto, evitando que seja necessária a transferência de um grande volume de dados. Ou seja, se for pretendido apenas um dos valores de um sensor é necessário dizer especificadamente que dados não são necessários para o pedido. Esta camada de acesso à BD é também responsável pela comunicação e autenticação com a BD original (podendo esta ser remota, como é o caso).

Toda a comunicação com o cliente é estabelecida através de pedidos e respostas em HTTP, utilizando o JSON como linguagem intermediária dos dados. Como todos os dados recebidos são em formato dos modelos já criados torna-se mais fácil trabalhar os pedidos.

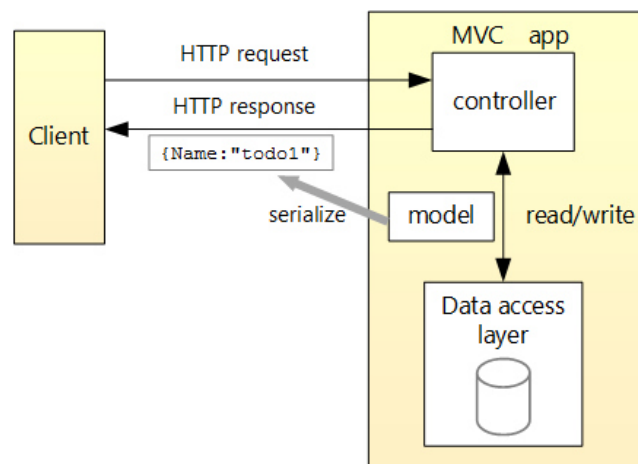


Figura 36. Esquema geral de funcionamento de um servidor IIS [89].

Na **Figura 37** é possível verificar o código de duas simples funções, sendo que a primeira retorna todas as observações de um dado sensor com o nome da variável “deviceName” (as variáveis são programadas no URL com o uso das chavetas). A segunda função é um pouco mais complexa e retorna o último valor armazenado na BD

de um determinado sensor pedido. Como é possível constatar, o código tem algumas semelhanças com o código SQL, mas torna-se mais simples, principalmente a parte do “Include”. O “Include” nesta função serve para a determinada observação conter também os dados discriminados sobre o sensor que a obteve. Se esta mesma consulta fosse realizada em código SQL seria necessária uma complexa *query* com a utilização de funções como o “join”.

```

ObservationController.cs
Nabia.WebAPI
Nabia.WebAPI.Controllers.ObservationController
GetLastValue(string deviceName)
41
42 [HttpGet("{deviceName}/all")]
43 public IEnumerable<Observation> GetDevice(string deviceName)
44 {
45     var device = Context.Devices.SingleOrDefault(d => d.Name == deviceName);
46     if (device == null) return Enumerable.Empty<Observation>();
47
48     return Context.Observations.Where(x => x.DeviceId == device.Id).OrderBy(p => p.ObservationTime);
49 }
50
51 [HttpGet("{deviceName}/last_value")]
52 public Observation GetLastValue(string deviceName)
53 {
54     int device_id = Context.Devices.Where(p => p.Name == deviceName).Single().Id;
55
56     return Context.Observations
57         .Include(o => o.Device)
58         .ThenInclude(x => x.Location)
59         .Where(o => o.DeviceId == device_id)
60         .OrderByDescending(p => p.ObservationTime)
61         .FirstOrDefault();
62 }
  
```

Figura 37. Controlador das observações.

Foi ainda implementado o sistema CORS, sendo este um mecanismo que através de cabeçalhos adicionais embebidos no pedido *http* informa a origem da execução, ou seja, o seu domínio. No lado do servidor esses dados são processados, permitindo, ou não, o acesso a esse domínio em específico. O código feito em JavaScript, devido ao uso do XMLHttpRequest, necessita de uma autorização especial para poder aceder ao servidor [90]. Com a utilização deste método possibilita-se que domínios não especificados sejam retornados com uma mensagem de erro, impossibilitando o acesso aos dados da estufa, aumentando assim a segurança. Pode ser encontrado um exemplo da sua utilização na **Figura 38**.

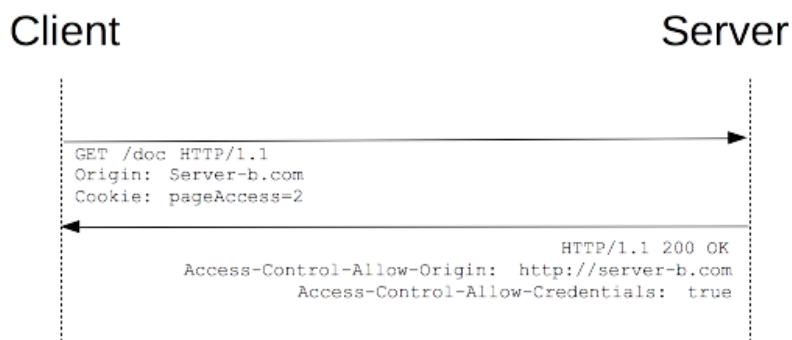


Figura 38. Exemplo do funcionamento do CORS [90].

Neste momento, o servidor está aberto a todos os domínios, podendo facilmente ser restringido.

4.5.3. Camada do cliente

A camada do cliente é aquela que pode ser considerada mais abstrata, estando disposta a alterações e a reformulações mais vezes. Sendo assim, contém elementos mais versáteis, e, normalmente, são implementados sistemas com principal foco na funcionalidade e no utilizador. Todos os sistemas fora do âmbito da base de dados e da camada intermédia são considerados sistemas pertencentes à camada do cliente.

Neste trabalho foram desenvolvidos dois módulos que serão especificados nos subcapítulos seguintes. O primeiro é referente a um servidor que se encontra na estufa e o segundo sobre uma aplicação *web*.

4.5.3.1. Sistema da estufa

O sistema desenvolvido contempla a utilização de microcontroladores de baixo custo para a aquisição e a atuação dos parâmetros necessários. Estes aparelhos têm a particularidade de serem versáteis e terem uma base programável parecida, podendo com alguma facilidade adaptar o código a outro microcontrolador sem ser aquele a que foi destinado no ato da programação.

Todos os microcontroladores respondem aos pedidos enviados pelo servidor principal (todos eles possuem uma Web API interna), sendo que apenas o microcontrolador de rega tem a capacidade de tomar decisões sozinho. Esse caso em específico será também explicado mais à frente nesta secção. Dado que existem diversos dispositivos no mercado, foram escolhidos 3 microcontroladores diferentes para explorar as suas características. Foram eles:

- 2 nodemcu ESP8266;
- 1 wemos ESP8266 oled;
- 1 nodemcu ESP32.

Obviamente, foi também testado o Arduino, porém, a gama de preços praticada, tornaram esta opção inviável para este projeto.

O resumo dos microcontroladores, incluindo os seus sensores e a sua função são especificados na **Tabela 5**, sendo descritos logo a seguir.

nodemcu ESP8266	Relé de 8 canais – controlador da bomba de água, das bombas de nutrientes e das bombas de pH
nodemcu ESP8266	DS18B20 – temperatura da água HC-SR04 – altura de água no poço Adaptação de fio elétrico – condutividade elétrica Sen0161 – Sensor de pH
wemos ESP8266 oled	DHT 11 – temperatura e humidade exterior DHT 22 – temperatura e humidade interior
nodemcu ESP32	HL-69 – 4 sensores de leitura da humidade da raiz

Tabela 5. Resumo dos microcontroladores e das suas funções (incluindo sensores utilizados).

O microcontrolador responsável pela ativação da bomba (nodemcu ESP8266) foi limitado a nível de funcionalidades não pela sua capacidade, mas sim pela sua importante função. É este equipamento que coordena e que através da ativação de relés fica responsável pela ativação tanto da bomba de água, como das bombas de nutrientes. Ao diminuir a quantidade de tarefas que um microcontrolador tem de efetuar evitam-se possíveis erros e evita-se a possibilidade de limitação de processamento (mais tarefas em simultâneo e existir apenas um fluxo de execução significa uma maior probabilidade de pode haver tarefas a ser perdidas ou em modo de espera). Para o controlo das bombas foi utilizada uma paca de relés de 5V com 8 canais.

Neste dispositivo, e seguindo a **Figura 39** para melhor perceção do seu funcionamento, existem as seguintes rotas que foram programadas:

- `/pumpSystem` – pedido POST que deve fazer ativar uma certa bomba durante um tempo especificado no corpo do pedido. O corpo do pedido tem de ser em JSON e deve seguir o seguinte formato:

```
{
  "Actuator_Name": "Water_Pump",
  "Relay_GPIO": "0",
  "Time": "60000"
}
```

Onde "Actuator_Name" é o nome do atuador, "Relay_GPIO" o número do pin a ser ativado, e por fim, o "Time" sendo o tempo de ativação da bomba em milissegundos (o **X** na **Figura 39**). Foi escolhida esta medida dado que para o doseamento a unidade "segundo" apesar de parecer pequena já é grande, originando um grande impacto na quantidade de nutrientes bombeados. Para esta operação, e como já foi referido anteriormente, é necessária uma validação de utilizador e palavra-passe como cabeçalho de autorização;

- `/serverCommunication` – pedido GET que informa o microcontrolador que está tudo operacional com o servidor (utilização da tática *heartbeat*), negando a possibilidade de este agir por conta própria. É devolvido o número de *heartbeat* falhados, sendo que a partir deste número é possível saber quanto tempo o servidor ficou sem comunicar ao microcontrolador. Se não houver um *heartbeat* por parte do servidor dentro de um tempo pré-definido (**Y** na **Figura 39**) o microcontrolador age por conta própria e começa a ativar a bomba;
- Para todas as outras rotas que não estão definidas, o pedido é retornado à sua origem.

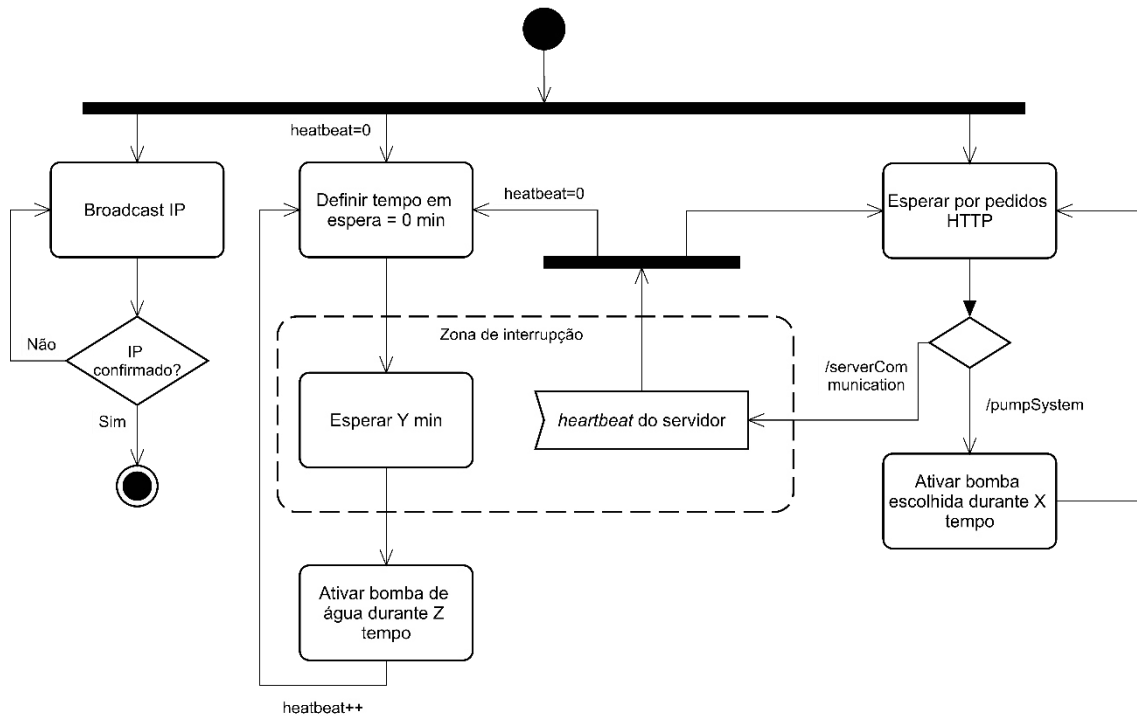


Figura 39. Diagrama de atividades do microcontrolador responsável pela rega.

O outro microcontrolador deste tipo (nodemcu ESP8266) está programado para devolver os valores da temperatura da água, da condutividade elétrica, do pH e da altura de água do poço. Para a obtenção da temperatura da água é necessário um sensor apropriado, sendo o utilizado o DS18B20. O sensor de medição da condutividade elétrica foi adaptado de um cabo elétrico (ver **Figura 40**), permitindo reduzir custos, mas perdeu-se um pouco de precisão. Contudo, essa pequena diminuição da precisão não é significativa para este projeto. O pH é medido com um sensor de pH para Arduino (Sen0161) e a altura da água é obtida através do uso do sensor de distância HC-SR04.

Neste aparelho, os valores podem ser obtidos utilizando os seguintes pedidos GET:

- `/getWaterTemperature` – valor atual da temperatura da água em °C;
- `/getEC` – valor da condutividade elétrica da solução contida no poço;
- `/getpH` – valor do pH da solução contida no poço;
- `/getDistance` – valor da altura de água que se encontra no poço;
- `/calibration` – utilizado para calibração do pH e também da condutividade elétrica.



Figura 40. Adaptação utilizada para a medição da CE.

Outro microcontrolador (wemos ESP8266 oled) foi definido como uma estação meteorológica, ficando encarregue da medição dos valores interiores e exteriores da temperatura e da humidade, assim como do nível de luminosidade. Para o interior da estufa foi utilizado o sensor DHT22 e para fora da estufa o sensor DHT11. Para a luminosidade foi utilizada uma LDR (foto resistência).

Neste dispositivo, os valores podem ser obtidos utilizando os seguintes pedidos GET:

- `/getOutsideTemperature` – valor atual da temperatura exterior da estufa, em °C;
- `/getOutsideHumidity` – valor atual da humidade exterior da estufa;
- `/getInsideTemperature` – valor atual da temperatura interior da estufa, em °C;
- `/getInsideHumidity` – valor atual da humidade interior da estufa;
- `/getLuminosity` – valor da luminosidade no interior da estufa. É dado um valor numa escala de 1-5 onde 1 significa ausência de luz e 5 muita luz.;
- Para todas as outras rotas que não estão definidas, é devolvido o pedido.

O último dos dispositivos testados (nodemcu ESP32) foi utilizado para a aquisição da humidade das raízes. Para esse efeito foi utilizado o sensor HL-69, mostrado na **Figura 41**, colocado na planta como é mostrado na **Figura 42**. É necessário um cuidado especial na utilização destes valores, podendo o sensor obter diferentes valores dependendo da área total de contacto (o sensor não deve ser retirado da raiz durante todo o crescimento da planta). Uma vez que as raízes estão em constante crescimento é necessário trabalhar com intervalos de humidade relacionando com os últimos dados, não se podendo definir um máximo e um mínimo ideais para a produção.



Figura 41. Sensor HL-69 para leitura da humidade [91].

Neste aparelho, os valores podem ser obtidos utilizando os seguintes pedidos GET:

- `/getRootMoisture{numero}` – valor atual da humidade da raiz do sensor definido pelo {numero}.

Foram utilizados 2 sensores no sistema de produção em zonas distintas, porém, o ideal seria utilizar um para cada linha de produção, obtendo uma média de humidades mais uniforme.



Figura 42. Sensor HL-69 posicionando na raiz da planta.

A nível de alimentação, o microcontrolador responsável pela rega possui um transformador individual (para minimizar possíveis falhas de corrente) e todos os outros encontram-se ligados as portas USB do Raspberry Pi. O RP encontra-se alimentado por uma fonte de alimentação original, não apresentado problemas de falta de corrente ou de excesso de temperatura.

Em todos os microcontroladores foi implementado um sistema de segurança no que diz respeito às atuações. Ou seja, para obter os valores dos dados não é necessária nenhuma autenticação, mas para realizar uma atuação na estufa essa autorização já é necessária. Por uma questão de dinamismo e modularidade, todos os dispositivos foram programados com capacidades de comunicação em *broadcast*, atualizando o servidor com o seu IP atual sempre que estes se ligam à rede e até que o servidor receba essa informação. Uma vez que estes microcontroladores só possuem um fluxo de execução, a tarefa de *broadcast* torna-se algo complexa, principalmente na parte da coordenação da receção das respostas e dos envios das mensagens. Apesar de não ser uma tática muito corrente, foram definidos os níveis de atenuação dos sinais ADC (*Analog-to-Digital Converter*) corretos, garantindo a longa durabilidade tanto destes como dos sensores.

É também de referir que todos os dispositivos têm a capacidade de se ligar à rede Wi-Fi e restabelecer esta ligação automaticamente caso ocorra algum problema (por exemplo, uma falha na rede), garantindo sempre a conectividade.

Todos os microcontroladores dispõem de muita informação online sobre o seu funcionamento e programação. O ESP32, por ser mais recente, ainda não dispõe de tanta informação como os outros dispositivos (porém, nenhum dos fabricantes disponibiliza grandes informações oficiais). O ESP32 tem a vantagem relativamente aos outros de possuir um maior número de portas que podem ser utilizadas para leituras

analógicas (16 portas em comparação com apenas 1 porta nos outros dois equipamentos). Os outros equipamentos possuem ainda a limitação no uso de portas se conectados por Wi-Fi (isto é, quando um microcontrolador está ligado a uma rede Wi-Fi perde a capacidade de certas portas). Dado isto, é constatável que o ESP32 é o microcontrolador mais completo e que dispõe de melhores características para este projeto, mesmo contendo ainda uma limitada quantidade de informação disponível. Outro dos fatores negativos destes aparelhos é de na maior parte dos casos não existirem pinos de 5V, havendo apenas pinos de 3,3V (e muitos dos sensores funcionam apenas a 5V).

Por fim, é de mencionar que a organização das funcionalidades por microcontroladores deve-se a dois fatores: o primeiro é o agrupamento de tarefas semelhantes (por exemplo, toda a capacidade de aquisição das temperaturas e humidades) e também às capacidades limitativas dos aparelhos.

4.5.3.2. Servidor local

Devido à necessidade de funcionamento permanente, mesmo sem conexão à internet, foi necessário introduzir um servidor local. Este tinha como principais requisitos os seguintes:

- Ser executado em qualquer máquina;
- Ser programado de maneira eficiente de modo a consumir o mínimo de recursos;
- Não adicionar custos elevados ao total do projeto;
- Funcionar remotamente e sem conexões externas;
- Ter capacidade de perceção e de identificação de erros;
- Funcionar em modo degradado (funcionar apenas com as funções mais importantes).

Apesar de hoje em dia a comunicação via internet não apresentar um grande número de falhas, era impensável que este sistema ficasse dependente de uma resposta remota. Uma comunicação que por algum motivo não ocorra como planeado e que demore, por exemplo, 30 min a ser novamente estabelecida pode significar uma perda total das produções, refletindo-se numa falta de compromisso com a entrega de produtos aos consumidores e perdas monetárias avultadas.

A arquitetura a ser criada para um servidor deste tipo tem obrigatoriamente de possibilitar facilmente modificações, permitindo também uma rápida adaptação a novos elementos. O resultado final da arquitetura é representado na **Figura 43**.

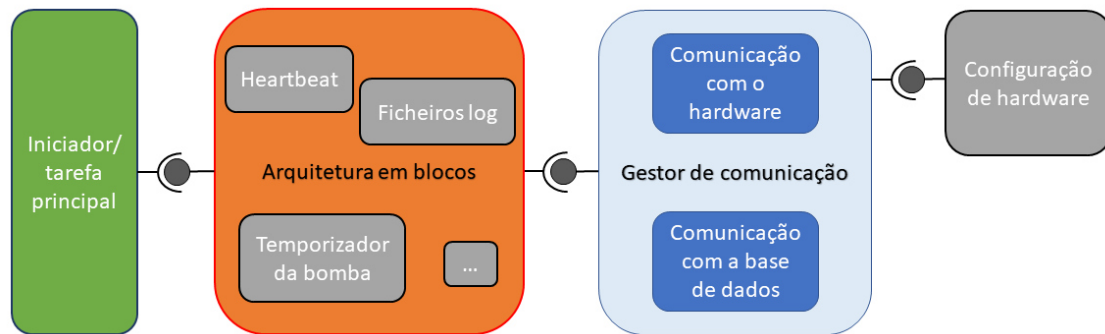


Figura 43. Arquitetura do servidor local.

A parte central desta arquitetura (parte laranja da **Figura 43**) é deveras a mais importante, sendo o seu funcionamento definido por blocos. Isto possibilita que novas funções sejam isoladas em blocos programáveis e que sejam facilmente adicionadas ou modificadas sem interferir no restante sistema. Estes sistemas são recorrentemente afetados por diversas avarias (em estufas a temperatura, a humidade e o contacto com a água é grande) sendo necessárias diversas alterações de equipamentos.

Como existem diversos blocos com funções especializadas é necessária uma tarefa responsável pela inicialização das tarefas a realizar, sendo esta representada pela cor verde na **Figura 43**. Continuando ainda a analisar esta figura, isola-se a comunicação do resto da arquitetura (parte azul), visto poder ser composta por código generalista que depois as funções chamam com os parâmetros necessários. Por exemplo, a comunicação com os atuadores tem um padrão, assim como toda a comunicação com os sensores de aquisição de valores. Na parte mais externa e distanciada da arquitetura central (parte cinzenta da **Figura 43**) são configurados os equipamentos, designando o URL específico, o nome, entre outros (ver **Figura 44**). Esses ficheiros de configuração têm também a finalidade de facilitar a um utilizador comum alterar certos parâmetros sem ser necessário conhecer todo o sistema ou ter de entrar em detalhes. A organização da programação dos sensores é seguida segundo a ordem especificada na primeira linha (um comentário) da imagem.

```
# sensor Name - IP address - route - DeviceId - UnitID
remoteSensorsInfo = dict(pH_Sensor=[mcuAddress['MCU1'], 'getPH', 2, 5],

    Water_Distance_Sensor=[mcuAddress['MCU2'], 'getDistance', 3, 6],
    EC_Sensor=[mcuAddress['MCU2'], 'getEC', 4, 4],
    Water_Temperature_Sensor=[mcuAddress['MCU2'], 'getWaterTemperature', 5, 3],

    Root_Moisture_1_Sensor=[mcuAddress['MCU3'], 'getRootMoisture1', 6, 2],
    Root_Moisture_2_Sensor=[mcuAddress['MCU3'], 'getRootMoisture2', 7, 2],

    Inside_Temperature_Sensor=[mcuAddress['MCU4'], 'getInsideTemperature', 8, 3],
    Inside_Humidity_Sensor=[mcuAddress['MCU4'], 'getInsideHumidity', 9, 2],
    Outside_Temperature_Sensor=[mcuAddress['MCU4'], 'getOutsideTemperature', 10, 3],
    Outside_Humidity_Sensor=[mcuAddress['MCU4'], 'getOutsideHumidity', 11, 2],
    Luminosity_Sensor=[mcuAddress['MCU4'], 'getLuminosity', 12, 1]
)
```

Figura 44. Exemplo da configuração do hardware (neste caso, dos sensores).

Num sistema de grande dimensão, em que são tomadas decisões em tempo real, é fácil perder-se o controlo do que está a ser processado, impossibilitando a perceção da sequência de acontecimentos que desencadeou uma determinada resposta. É nesta medida que é necessário criar de um sistema que registe de maneira básica todas as

ações que se considerem relevantes. O sistema de *log* escreve em ficheiros .txt, que podem ser abertos por um simples editor. Dado que é um sistema que apenas escreve texto em ficheiros neste formato, a ocupação do espaço em disco resultante desta ação é mínima.

Neste projeto a escrita dos *logs* foram divididos em 3 diferentes ficheiros. Esta medida deve-se à separação de componentes, sobressaindo as mais importantes:

- “general_logger” – o ficheiro log mais generalista, onde são escritas praticamente todas as ações. Escreve a resposta dos sensores, os pedidos efetuados, o estado da base de dados, etc.;
- “heartbeat_logger” – ficheiro log onde são descritos os eventos associados com a monitorização dos equipamentos e com o *software*, como é o caso de alguma falha nalguma tarefa;
- “pump_logger” – neste ficheiro log é registada toda a atividade relacionada com a atuação das bombas e todos os seus sensores necessários, como é o caso dos valores da humidade das raízes, a resposta do atuador da bomba, o tempo e a forma como foi calculado o tempo entre regaduras, etc.

Além de diferenciar entre diferentes ficheiros segundo a sua função, foi importante depois classificar cada linha pela sua importância. São então, definidos 5 níveis, sendo eles:

- “Debug” – nível mais básico e de menor importância. Tem como finalidade o teste de funções ou a apresentação de informações complementares;
- “Info” – informações do estado do sistema e das decisões tomadas num estado normal do sistema;
- “Warn” – avisos e possíveis falhas;
- “Error” – erros que ocorreram e que podem comprometer o funcionamento do sistema. Caso o sistema não consiga recuperar do erro o sistema passa para o estado seguinte;
- “Critical” – ações sem recuperação aparente, comprometendo todo o sistema.

Com esta organização dividida em responsabilidades e em níveis de importância torna-se mais fácil a perceção de um erro, assim como o que foi feito para a sua recuperação. Caso toda a informação fosse contida num ficheiro só, esta análise seria uma tarefa mais complicada e demorada, dado que cada um destes ficheiros facilmente atinge a ordem das milhares de linhas escritas (em média, por cada ficheiro são escritas entre 1500 e 2500 novas linhas a cada dia).

Na **Figura 45** é mostrado um pequeno exemplo de um ficheiro *log*, neste caso, do ficheiro “general_logger”. Na imagem, é possível verificar que a primeira coluna são os números das linhas (em cerca de 4 meses e meio), seguido da data e da hora, sendo estas divisões temporais muito importantes. Logo a seguir, na quarta coluna tem-se o tipo de informação (neste caso verifica-se que ocorreu um erro na aquisição dos valores da temperatura interior e na luminosidade), e por fim, a mensagem que melhor define o que aconteceu. Caso seja realizada uma operação com um pedido remoto é também descrito o URL utilizado.

```
262287 2018-09-23 10:18:32,886 DEBUG observation {"UnitID": 7, "Description": 1, "ObservationTime": "2018-09-23
262288 2018-09-23 10:18:42,691 ERROR url:http://192.168.1.204/getInsideTemperature - error:<urlopen error time
262289 2018-09-23 10:18:45,880 ERROR url:http://192.168.1.204/getLuminosity - error:<urlopen error [Errno 113]
262290 2018-09-23 10:24:01,214 INFO url:http://192.168.1.203/getRootMoisture1 - message:{"Root_Moisture_1":70}
262291 2018-09-23 10:24:01,298 INFO url:http://192.168.1.203/getRootMoisture2 - message:{"Root_Moisture_2":72}
```

Figura 45. Exemplo de um ficheiro log.

O *heartbeat* é uma tática de deteção de falhas em que periodicamente um componente envia uma predeterminada mensagem para outro componente. Neste trabalho, o *heartbeat* é enviado do servidor para o microcontrolador responsável pela ativação da bomba de água. Caso o microcontrolador não receba o sinal em intervalos de 7 minutos, este passa a funcionar em modo degradado, ativando a bomba de água por conta própria (sem receber indicação do servidor para o fazer).

Este módulo é também responsável pela monitorização dos processos ativos. Caso um processo (ou seja, uma tarefa) termine inesperadamente e/ou não tenha recuperação possível é dada a indicação para o sistema (Raspberry Pi) reiniciar. O programa está definido para iniciar sempre que o Raspberry Pi inicia, isto é, o programa inicia automaticamente. Caso haja a possibilidade de uma tarefa recuperar é feito um compasso de espera para verificar se realmente recupera. Se a tarefa em questão for a responsável pela ativação da bomba o *heartbeat* deixa de ser enviado ao microcontrolador.

No que diz respeito à recuperação de falhas, todos os pedidos efetuados e que devolvam uma resposta de erro, seja ele um erro de ligação ou um erro do pedido, são novamente reenviados, até um máximo de 3 vezes, fazendo assim com que seja possível minimizar erros que possam acontecer.

Para poder existir a capacidade do servidor local receber ordens externas foi implementado um pequeno servidor HTTP. Desta forma, é possível alterar os valores e opções do servidor remotamente e em tempo real, sendo a comunicação realizada bidireccionalmente. As rotas possíveis são explicadas na **Tabela 6**.

Método	URL	Ação
Get	<code>/getSystemState</code>	Obter o estado do sistema;
	<code>/getDosingSystemState</code>	Obter o estado do sistema de doseamento;
	<code>/getEC</code>	Obter a condutividade elétrica;
	<code>/getTempHumInterval</code>	Obter o intervalo de aquisição das temperaturas e das humidades;
	<code>/getECInterval</code>	Obter o intervalo de aquisição da condutividade elétrica;
	<code>/getRootMoistureInterval</code>	Obter o intervalo de aquisição da humidade das raízes;
	<code>/getPumpTime</code>	Obter o intervalo mínimo de ligação da bomba de água;
Post	<code>/setSystemState</code>	Define o estado geral do sistema como ligado ou desligado;
	<code>/setDosingSystemState</code>	Define o estado do sistema de doseamento como ligado ou desligado;
	<code>/setTemHumInterval</code>	Define o intervalo de tempo de aquisição dos valores das temperaturas e das humidades;
	<code>/setECInterval</code>	Define o intervalo de tempo de aquisição dos valores da condutividade elétrica;
	<code>/setRootMoistureInterval</code>	Define o intervalo de tempo de aquisição dos valores das humidades das raízes;
	<code>/setPumpTime</code>	Define o tempo mínimo de ligação de bomba;
	<code>/setEC</code>	Define o EC a ser mantido.

Tabela 6. Rotas para o servidor HTTP local.

O servidor local tem a competência de receber e interpretar as mensagens em *broadcast* que são enviadas na rede. Os microcontroladores quando são iniciados adquirem um IP dinâmico e, enviam o seu novo IP por mensagem *broadcast*. O servidor recebe essa mensagem, atualiza o IP do microcontrolador e responde em *unicast* (resposta única ao fornecedor da primeira mensagem).

O sistema de doseamento é um dos contributos de baixo custo para este projeto. É composto por 3 pequenas bombas que atuam e fazem calibrar o CE para o valor ideal da produção (ver **Figura 46** e **Figura 47**).

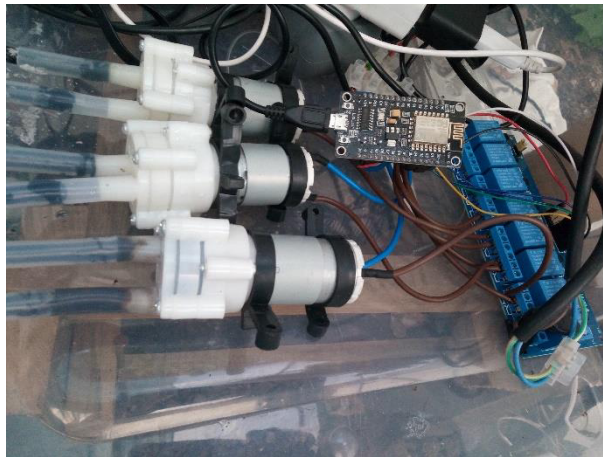


Figura 46. Sistema de doseamento - parte dos componentes elétricos.



Figura 47. Sistema de doseamento - parte dos depósitos de nutrientes e do poço da solução aquosa.

Assim como em todas as funcionalidades desenvolvidas, esta está complementada com a capacidade de recuperação e de deteção de erros.

O sistema está preparado para calibrar a CE segundo um valor dado pelo utilizador ou então é capaz de identificar o valor ótimo do valor da CE de todas as plantas no sistema de produção e escolher um valor que não afete nenhuma planta. No caso das CE serem muito diferentes, será mantido o valor mais baixo, de modo a que as plantas com menor necessidade nutricional não cresçam defeituosas. Infelizmente, para isso não acontecer, as plantas de maior necessidade crescerão de forma mais lenta.

Uma das maiores dificuldades na montagem deste sistema foi a utilização de material barato. As bombas utilizadas têm todas o mesmo caudal anunciado (bombas iguais e compradas ao mesmo fornecedor), mas, na realidade, isso não se verifica. As 3 bombas apresentam tempos completamente diferentes para bombearem uma determinada quantidade de líquido. Além da divergência no caudal, elas passaram por um processo inicial de descalibração muito recorrente, estabilizando, depois de várias utilizações, nos valores descritos na **Tabela 7**.

Bomba	Caudal anunciado	Caudal real
Bomba nº 1	1000ml/min	1800ml/min
Bomba nº 2	1000ml/min	450ml/min
Bomba nº 3	1000ml/min	1385ml/min

Tabela 7. Diferença entre o caudal anunciado e o caudal real das bombas do sistema de doseamento.

O sistema de bomba de água é responsável por toda a parte de processamento e de ativação da bomba de rega. É também neste bloco de desenvolvimento que se encontra uma das partes mais importantes e indispensáveis do projeto, o algoritmo de rega. A sua base de funcionamento está especificada na **Figura 48**. É de notar que alguns pormenores foram ocultados.

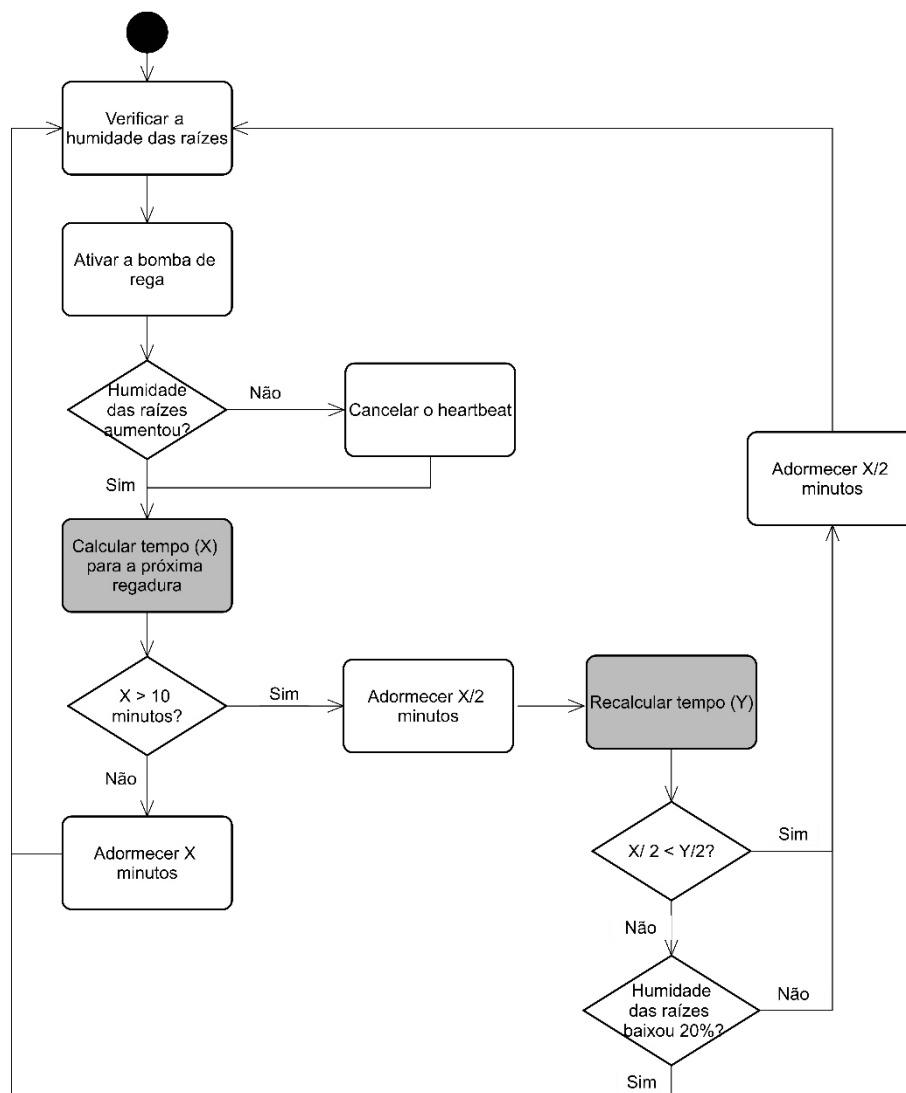


Figura 48. Diagrama de atividades do algoritmo de rega.

A primeira coisa que o sistema faz antes de regar é registar a humidade das raízes. Esta aquisição é necessária para que os valores possam ser comparados depois da rega. Se nenhum dos sensores registar um aumento na humidade significa que, em princípio, existe um problema na bomba (não foi ativada, não havendo recirculação de água). Se

for detetada esta falha, o sistema entra em modo degradado, cancelando a comunicação com o microcontrolador responsável pela ativação da bomba de água. Se tudo correr bem, é necessário calcular o tempo para a próxima atuação. Se o tempo calculado para a próxima rega for superior a 10 min, existe uma verificação a meio do tempo. Esta decisão é justificada pela necessidade de reação às mudanças de clima repentinas (por exemplo: estar nublado e passar para um sol escaldante). Passado esse meio tempo, é calculado novamente o tempo para a próxima atuação com os dados atuais. Se esse valor for maior que o inicial significa que a necessidade de água diminuiu (por exemplo, pode estar a ficar mais frio), podendo continuar o restante tempo de espera. Se o tempo for menor que o inicial significa que a necessidade de rega aumentou. Neste caso, e caso a humidade já tenha decrescido 20%, é ativada a bomba, acabando o tempo de espera para a próxima atuação. A escolha destes valores é descrita na secção 5.3. Validação do sensor de humidade da raiz.

O cálculo do tempo para a próxima rega é também um processo um pouco complexo, exigindo a aquisição de vários valores ambientais. Então, para o cálculo do tempo para a próxima circulação de água é necessário:

- Adquirir o valor da temperatura;
 - Caso não esteja disponível a temperatura atual é realizado um pedido à base de dados remota de modo a verificar a média dos últimos 7 dias a essa hora. Desta maneira, é possível prever uma temperatura média com um certo grau de fiabilidade;
 - Caso não exista conexão à BD é utilizado um valor de temperatura por defeito.
- A partir deste valor de temperatura é utilizada uma regressão linear (calculada a partir da análise das temperaturas registadas) estimando o tempo para a próxima regadura;
 - $Y = -135X + 4500$, onde X é a temperatura interior em °C e Y o tempo para a próxima regadura em segundos;
- Por questões de segurança, e para não haver acumulação de toxinas nas raízes das plantas, é definido um valor máximo de 30 minutos entre regaduras (em condições normais);
- É também definido um valor mínimo entre atuações de 2 minutos;
- Se a hora está entre as 20h e as 6h o tempo é multiplicado por 4. Isto deve-se ao facto de à noite não existir muita atividade da planta, ocorrendo a rega apenas para refrescar e limpar as toxinas das raízes das plantas.
- Nas outras horas, e caso a luminosidade seja baixa (o que origina uma baixa fotossíntese) o tempo é multiplicado por 1.5;
- A temperatura é uma das coisas mais importantes em sistemas em estufas. A água quando circula tem a capacidade de absorver a temperatura do meio (dos canos, das plantas, etc.), contribuindo para a diminuição da temperatura ambiente. Quando a média da temperatura dos últimos 30 minutos está a decrescer, o sistema aumenta em 10% o intervalo entre regaduras (este valor é uma estimativa, sendo possível de ser alterado). Desta forma, contribui-se positivamente para manter a temperatura da estufa.

O servidor local tem grande importância, principalmente pela capacidade de funcionamento em modo isolado, não necessitando de conexão externa. Porém, dado que a BD pode estar remota é necessário enviar os dados para essa localização. De modo a que não se percam dados o servidor guarda-os e vai tentando restabelecer a ligação. Quando isso é conseguido os dados são sincronizados.

De modo a sincronizar e prevenir múltiplas entradas de escrita simultâneas, originando incoerências de dados, foi necessário readaptar o clássico problema dos produtores-consumidores. Esta tática utiliza trincos e semáforos, controlando as entradas e as leituras das filas. Desta forma, previne-se e assegura-se a integridade dos dados. Assim, como mostrado na **Figura 49**, o acesso tanto dos produtores (aquisição de valores) como dos consumidores (enviar os dados para a BD) fica assegurada.

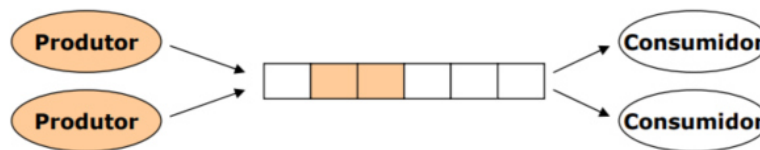


Figura 49. Modelo de produtores-consumidores [92].

Quando a fila está cheia o sistema não pode simplesmente parar, sendo necessário intervir. Foi então desenvolvido um sistema de prioridades, sendo que esta funcionalidade é chamada quando a fila está cheia. Os dados têm determinadas prioridades segundo a sua importância. Quando a fila está cheia o comportamento é primeiro eliminar os valores dos sensores (os mais antigos primeiro), pois têm menos importância do que os valores dos atuadores. Após todos os valores serem de atuadores os valores começam a ser eliminados por ordem cronológica (os mais antigos primeiro).

De modo a ser possível detetar os erros foram testadas várias técnicas. Uma delas envolvia a verificação repetitiva dos valores inseridos na BD. Esta técnica era demasiado complexa (era necessário saber o intervalo de todos os dados adquiridos para verificar se realmente tinham sido enviados). Outro problema encontrado nesta solução foi a recuperação de erros. O sistema da estufa está preparado para a recuperação de erros e a deteção dessa recuperação era algo que envolvia muitos recursos e muitos ciclos de verificação.

A solução encontrada foi optar pela utilização dos valores *null*. Uma vez que o servidor é quem gere toda a aquisição de dados é possível ser ele a mediar os erros. Desta forma, caso exista algum erro na aquisição de um dos valores é enviado o parâmetro com o valor a *null*. Quando é detetado o valor *null* é despoletado o alerta e pelo contrário, quando é recebido um valor sem erro o sistema percebe que o erro foi corrigido. Assim, diminui-se significativamente o poder de processamento necessário.

Assim, como definido nos requisitos, era necessário que o servidor fosse genérico a nível de execução, podendo correr em praticamente qualquer tipo de plataforma ou máquina (por exemplo, Windows ou Linux). O Python é uma linguagem que permite uma execução em qualquer destes sistemas operativos sem muita complexidade, facilitando ainda a parte de utilização de BD locais (o que não é o caso). Esta linguagem tem ainda a vantagem de ter controladores específicos para correr em sistemas com pouco processamento e pouca memória, como é o caso de um Raspberry Pi. Esta linguagem também tem a vantagem da fácil comunicação com os microcontroladores.

O Raspberry Pi, um pequeno computador tem exatamente o que é preciso, dispensando periféricos desnecessários para este trabalho tais como o teclado, o rato e o ecrã. É também uma máquina relativamente barata para o seu poder de processamento, tendo então a escolha recaído para este equipamento. Ainda mais, este dispositivo adapta-se e funciona muito bem com interpretadores de Python.

4.5.3.3. Aplicação Web

Apesar de não ser o foco deste projeto, era importante desenvolver uma componente de visualização e de interação com o utilizador. Foi por isso desenvolvida uma aplicação *web*.

Para melhor perceção do funcionamento e das funcionalidades que a aplicação *web* deveria incluir, criaram-se os casos de uso, disponíveis na **Figura 50**.

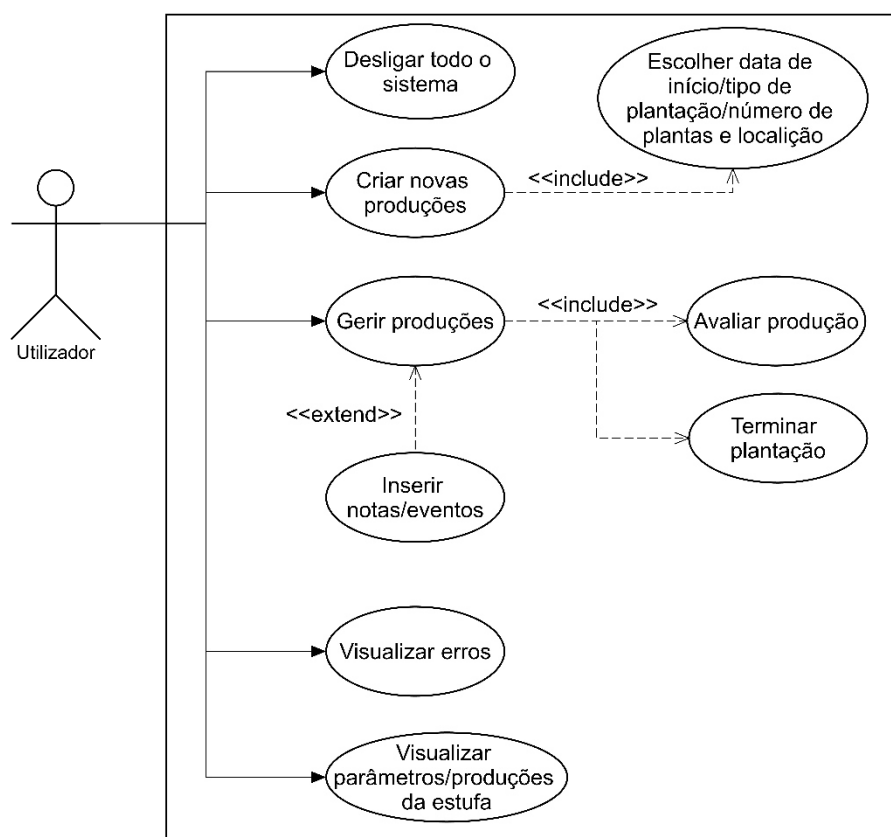


Figura 50. Casos de uso do web site.

A aplicação *web* foi desenvolvida utilizando a plataforma Laravel e todo o site foi implementado de raiz, não recorrendo a modelos pré feitos.

Após o desenvolvimento dos requisitos necessários que o *site* deveria conter foram realizados esboços de baixa fidelidade do seu funcionamento. Na página inicial foram colocados os dados necessários a uma utilização normal. Ou seja, um utilizador deve ficar esclarecido das condições atuais da estufa utilizando apenas a página inicial. Outra coisa deveras importante, e que teve obrigatoriamente de ser inserida na página inicial, eram os erros. Para complementar toda esta informação foi adicionada uma parte de previsão meteorológica. A estrutura básica da página inicial é mostrada na **Figura 51**.

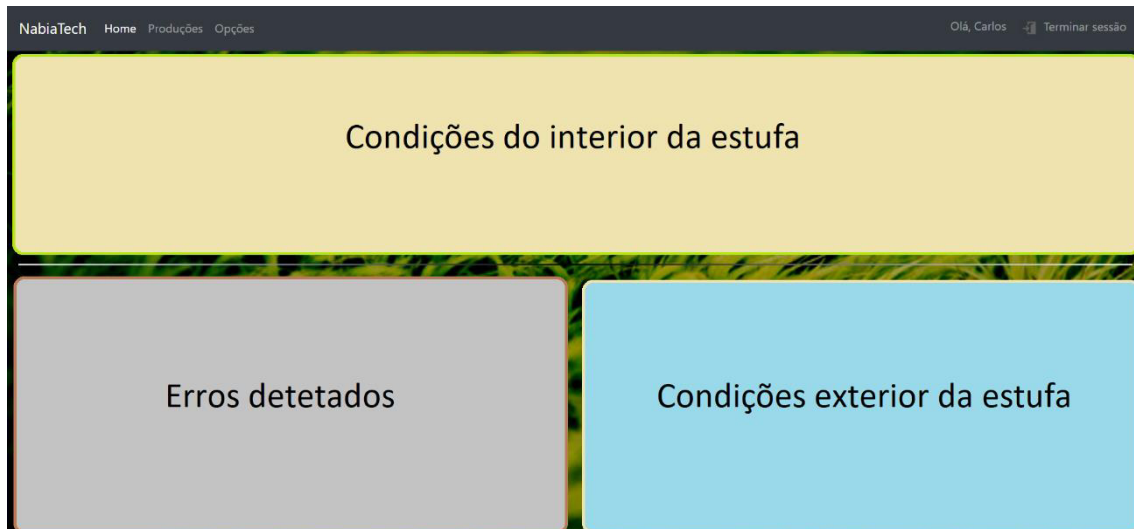


Figura 51. Estrutura básica da aplicação web.

Depois de desenhados os ícones e toda a parte gráfica, a página inicial apresenta o aspeto que é possível verificar na **Figura 52**. Todos os ícones são interativos e mudam consoante o seu grau de gravidade, como é exemplo do segundo ícone que está a vermelho porque não foi possível obter o valor da altura de água. Todos os indicadores de temperatura são gráficos da plataforma Google, disponíveis em [93], sendo os ponteiros interativos consoante a temperatura. No mesmo gráfico foi personalizado a tonalidade do fundo:

- verde para a temperatura ideal de produção;
- amarelo para temperatura um pouco acima, mas que não deve causar problemas de produção;
- vermelho para a possibilidade de haver danos nas plantas causados pela elevada temperatura.

Os ícones destinados aos valores exteriores da estufa são de menor dimensão, devido à sua menor importância.

De modo a complementar a informação para o utilizador, o que para quem tem estufas é muito importante, foi adicionado um *widget* de tempo, sendo atualizado constantemente, apresentando os valores referentes ao local onde se encontra a estufa.

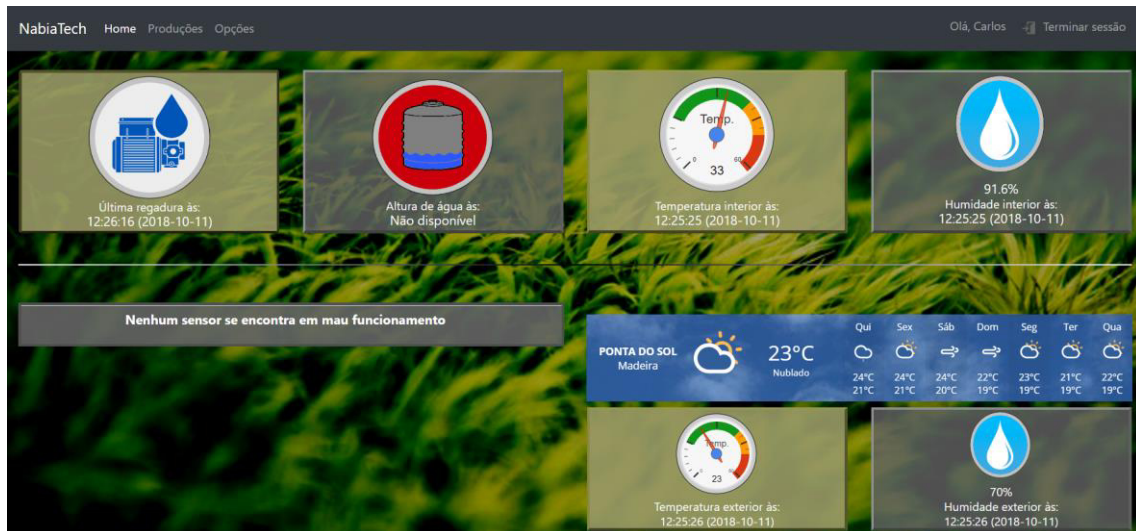


Figura 52. Resultado final da interface gráfica.

Ao clicar no primeiro ícone (Última regadura) é aberto outro separador com informações sobre as regaduras efetuadas, nomeadamente a hora (informando se houve algum erro ou não), o número de atuações efetuadas no período de tempo selecionado e ainda o tempo e percentagem total que a bomba se manteve ligada/desligada. Esta interface gráfica está representada na **Figura 53**. A partir da imagem é possível verificar que naturalmente, durante o dia, devido à temperatura e à exposição solar, a bomba será ativada com maior frequência).

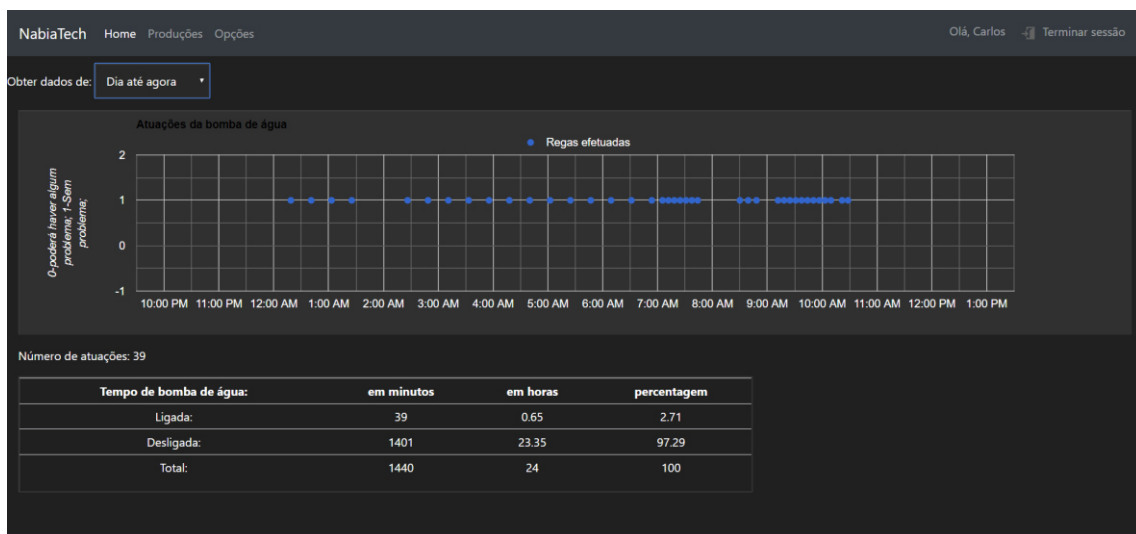


Figura 53. Separador de regas efetuadas.

No início da página tem-se a opção para selecionar o intervalo de dados que se pretende visualizar (ver **Figura 54**). Esta funcionalidade é comum a toda a aplicação web.

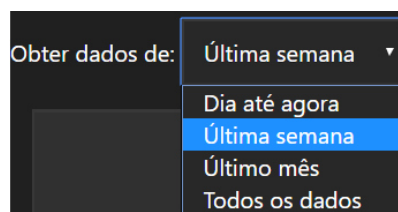


Figura 54. Seleção do intervalo de tempo a visualizar.

Se não for selecionada nenhuma opção é apresentada a opção “Dia até agora”. Depois de selecionada, por exemplo, os dados da “Última semana” são apresentadas as informações desse intervalo de tempo.

Ao clicar no segundo ícone, o utilizador é redirecionado para uma página que dispõe de todos os registos dos nutrientes adicionados (incluindo quantidades) e ainda dos depósitos de água. Na **Figura 55**, verifica-se que nessa semana só foi adicionada água uma vez e que houve diversos depósitos de nutrientes feitos pelas bombas de nutrientes.

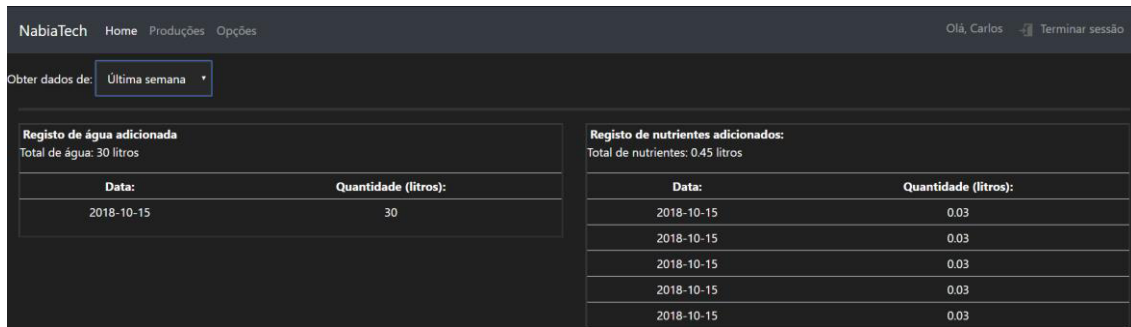


Figura 55. Separador da água no poço.

No que diz respeito às temperaturas e humidades interiores e exteriores o formato de apresentação é semelhante. Na primeira parte é mostrado o gráfico com a informação da temperatura e, seguidamente, um quadro resumo com informações, neste caso, das temperaturas interiores máximas, mínimas, médias assim como também médias diurnas e noturnas (ver **Figura 56**). Se forem necessários mais pormenores sobre um determinado ponto no gráfico basta sobrepor o cursor, sendo aberta uma pequena caixa de texto com as especificações.

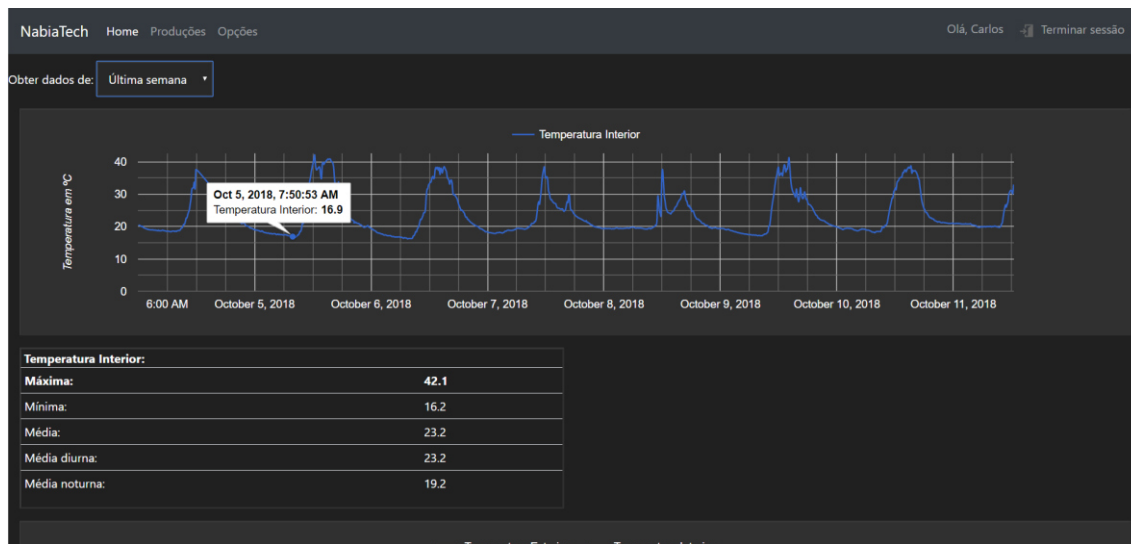


Figura 56. Separador da temperatura interior – parte 1.

Depois desta tabela com o resumo são ainda apresentados gráficos de temperaturas interiores vs humidades interiores e ainda outro onde são comparados os valores da temperatura e da humidade interiores e exteriores, como é visível na **Figura 57**. É de notar que todos os gráficos implementados seguem padrões de generalização para a

receção dos valores em JSON. Desta forma, tem-se gráficos de 1, 2 ou 4 linhas totalmente gerais e disponíveis para reutilização noutros trabalhos.

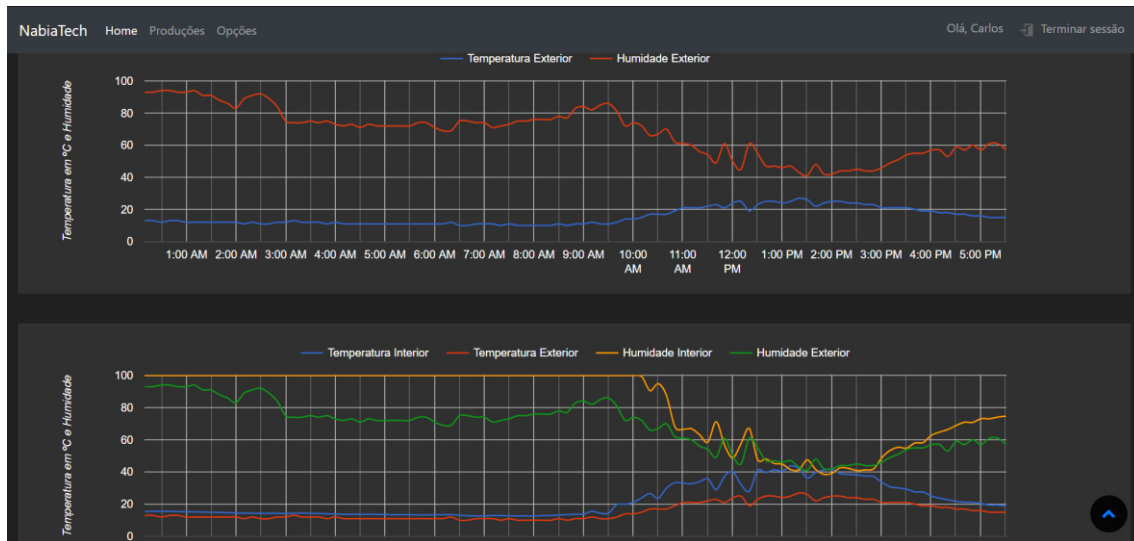
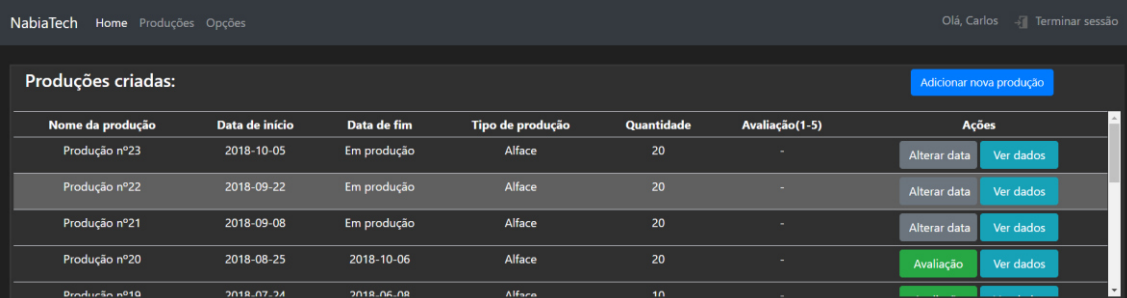


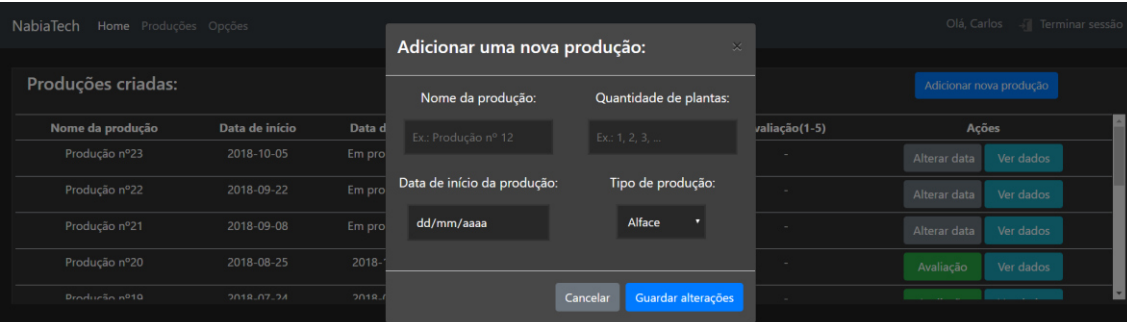
Figura 57. Separador da temperatura interior – parte 2.

Um objetivo da plataforma *web* era a gestão e organização das produções realizadas na estufa. Desta forma é possível adicionar e configurar novas produções, especificando todos os parâmetros necessários. O registo das produções é mostrado na **Figura 58** e o processo de adicionar uma nova produção é mostrado na **Figura 59**.



Nome da produção	Data de início	Data de fim	Tipo de produção	Quantidade	Avaliação(1-5)	Ações
Produção nº23	2018-10-05	Em produção	Alface	20	-	Alterar data Ver dados
Produção nº22	2018-09-22	Em produção	Alface	20	-	Alterar data Ver dados
Produção nº21	2018-09-08	Em produção	Alface	20	-	Alterar data Ver dados
Produção nº20	2018-08-25	2018-10-06	Alface	20	-	Avaliação Ver dados
Produção nº19	2018-07-24	2018-06-08	Alface	10	-	Avaliação Ver dados

Figura 58. Registo das produções.



Adicionar uma nova produção:

Nome da produção:

Quantidade de plantas:

Data de início da produção:

Tipo de produção:

Figura 59. Criação de uma nova produção.

Findo todo o processo de produção é possível adicionar uma avaliação (ver **Figura 60**), atribuindo uma classificação de 1 a 5 e/ou uma descrição mais pormenorizada ou uma informação que seja necessário reter acerca da produção.

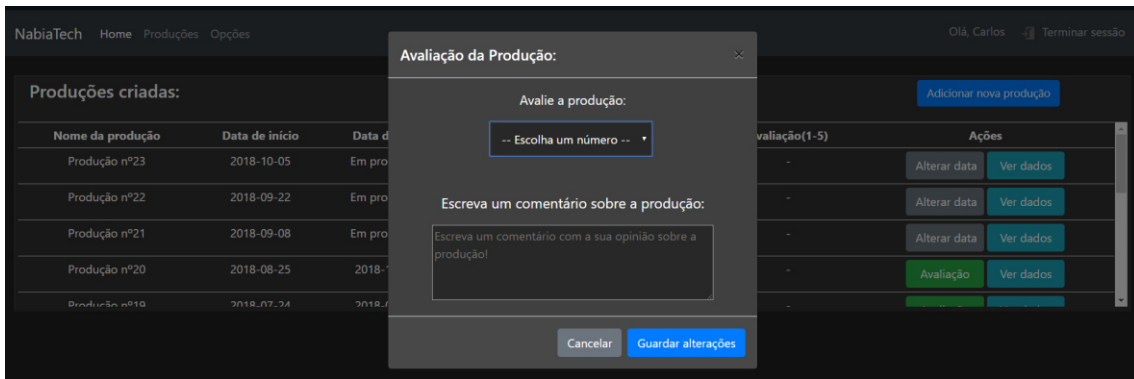


Figura 60. Avaliação de uma produção.

Neste separador é também possível clicar em “Ver dados” e aí é gerado um relatório de produção, contendo informações como a quantidade de água gasta durante o período de produção e o total de nutrientes (ver Figura 61). São também apresentadas tabelas resumo das temperaturas e das humidades. Por fim, é mostrado um gráfico de comparação entre as temperaturas e humidades interiores e exteriores (ver Figura 62).



Figura 61. Relatório de produção - parte 1.

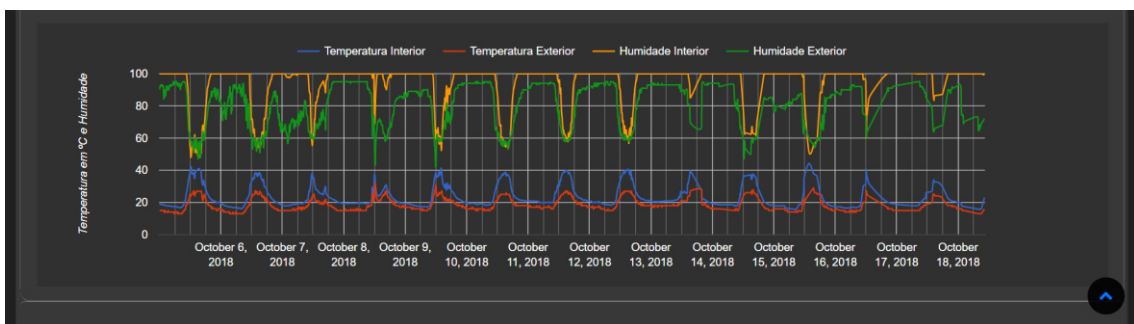


Figura 62. Relatório de produção - parte 2

Além da visualização dos dados, a atualização do sistema a partir de localizações remotas era também essencial, servindo esta parte para alterar os parâmetros do sistema. Assim como é mostrado na Figura 63, é possível ligar/desligar todo o sistema e

/ou o sistema de doseamento, alterar o valor da condutividade elétrica e ainda alterar os tempos de aquisição dos diversos sensores.

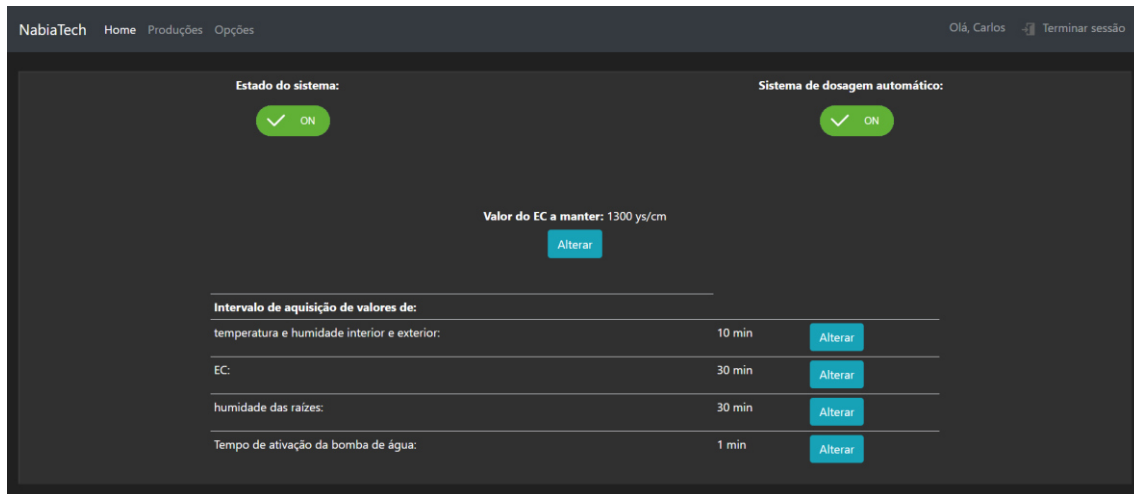


Figura 63. Opções de interação com o sistema.

Toda a aplicação *web* foi construída seguindo padrões de adaptação do conteúdo a diferentes tipos e formatos de ecrãs. Desta forma, o site encontra-se apto a uma visualização em ecrãs de pequena e de grande dimensão. Foi também tida em conta a parte da segurança do utilizador contando com um sistema de iniciar e fechar sessão (automático depois de um certo tempo ou manual em caso de clique no botão).

Para facilitar a visualização por parte do utilizador recorreu-se à linguagem JavaScript, sendo os pedidos necessários realizados de forma assíncrona. É também através esta linguagem que os valores são atualizados periodicamente, evitando o recarregamento manual da página. Desta maneira, sempre que o utilizador visualizar a página esta conterá os valores mais recentemente adquiridos.

Foi também dada grande importância à parte de prevenção de erros, sendo, sempre que possível, retribuídas mensagens com instruções ao utilizador. Na **Figura 64**, é mostrado um exemplo da criação de uma nova produção em que o utilizador por lapso não refere o início da produção e, então, é retribuída uma mensagem de alerta.

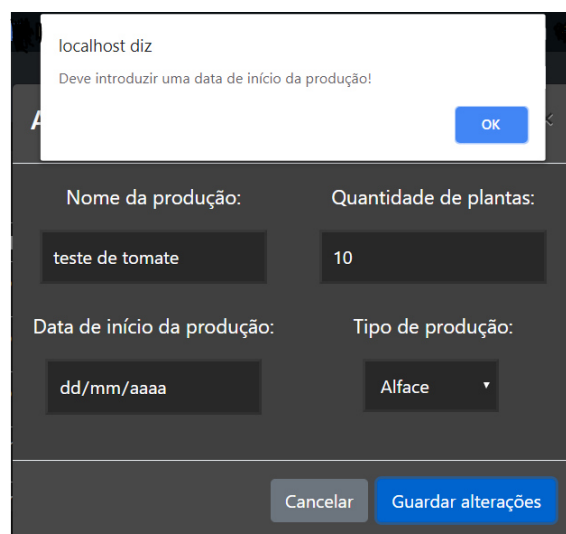


Figura 64. Exemplo de uma mensagem de alerta/erro.

4.5.3.4. Resumo da arquitetura

Tendo em conta tudo o que foi descrito nas secções anteriores, a arquitetura que engloba todas as camadas (de dados, intermédia e do cliente) é resumida na **Figura 64**.

Toda a parte desenvolvida a nível da camada intermediária e da camada de dados foram implementadas e pensadas de forma geral, sendo possível adaptar toda essa parte do trabalho a muitos projetos que sejam da área da IoT. Desta forma, quem quiser pode utilizar esta base e desenvolver e aprofundar o seu trabalho numa parte específica, reutilizando esta parte, que é genérica para todos os trabalhos. De modo a facilitar foram também seguidas as boas práticas, estando o projeto e a API implementada devidamente documentados.

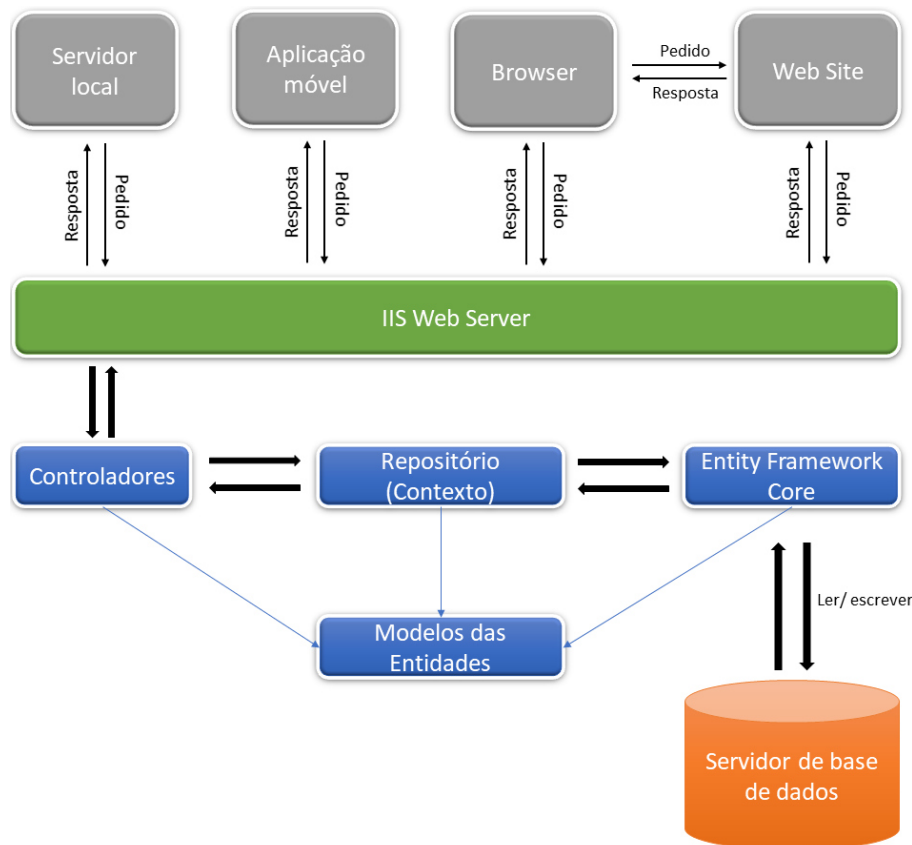


Figura 65. Arquitetura geral do sistema.

Além da estrutura base, e como já foi referido, foi desenvolvida uma aplicação *web* para a visualização de dados e também um sistema de controlo local que gere toda a estufa. Uma das maiores qualidades deste servidor local é a atuação, a recuperação de falhas e a previsão de valores. Este tem também a capacidade de funcionar remotamente e quando houver possibilidade conectar-se ao servidor *IIS* através da API desenvolvida e realizar a sincronização dos dados.

5. Experiências e resultados obtidos

Nesta secção serão descritas as diversas experiências realizadas para a validação do projeto, assim como serão mostrados os seus resultados finais. Numa primeira fase serão descritos os resultados de um sistema sem inteligência, passando depois à validação do uso do sensor de humidade na raiz, revelando não ser necessária a rega contínua. Posteriormente serão relatadas as diversas experiências realizadas com o sistema finalizado, analisando os resultados e obtendo algumas relações entre diversos fatores. Por fim, serão mencionados os custos de produção e o nível de poupança ao utilizar uma rega intervalada em comparação com uma rega contínua.

5.1. Validação da estrutura de produção

A primeira experiência foi realizada da forma mais simples possível, não incluindo nenhum tipo de monitorização nem automação. Esta primeira experiência teve como objetivo a validação do projeto assim como a parte de produção de culturas em hidroponia. Uma vez que não havia automatização nenhuma, a bomba permanecia sempre ligada, como acontece em muitos destes sistemas, mesmo os de dimensão média-grande.

A nível de produção, apesar de muito básico, este é um processo em que é possível obter bons resultados, originando um bom produto final, como é possível verificar na **Figura 66**.



Figura 66. Resultado do primeiro sistema sem automação.

5.2. Rega contínua vs rega intervalada

Esta experiência foi montada para verificar se existiam diferenças entre as produções com rega contínua e as produções com intervalos de passagem de água, utilizando para o efeito 2 bombas de água. Como é possível verificar na **Figura 67**, existem 2 canos de produção, o A e o B. No A, a rega é contínua enquanto que no B a rega é intermitente.

Para diminuir ainda mais a possibilidade de haver fatores externos a influenciar seguiram-se as seguintes orientações:

- Utilização do mesmo número de plantas em cada cano (10 plantas), totalizando 20 plantas;
- Serem todas as plantas do mesmo lote (dia de plantação e de germinação igual);
- As plantas não apresentavam diferenças significativas de tamanho nem de número de folhas aquando inseridas no sistema;
- Utilização da mesma solução nutritiva para as duas produções (foi utilizado o mesmo poço de água), portanto, a água era partilhada pelas duas linhas de produção;
- As linhas utilizadas eram próximas para minimizar diferenças de luminosidade, temperatura, etc.

Depois de 5 semanas o resultado obtido foi equivalente nos dois tipos de produção, não sendo relevantes as diferenças entre os dois tipos de cultivo (ver **Figura 67**). Portanto, estava provado que num sistema NFT não era necessário ter continuamente solução nutritiva a circular.

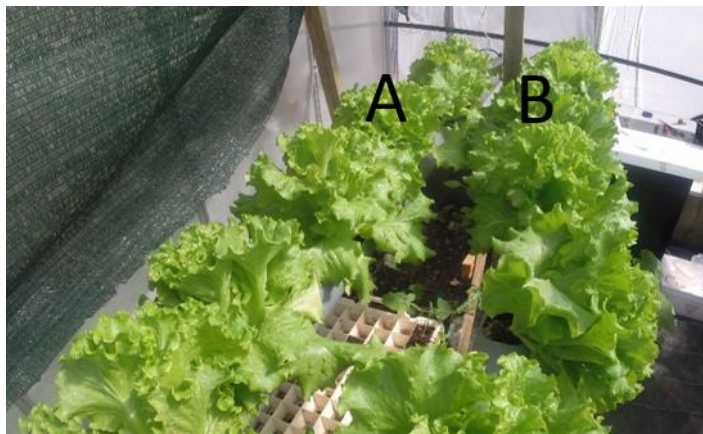


Figura 67. Resultados da experiência com diferentes tempos de rega.

A única desvantagem encontrada é que no sistema de rega intermitente, por vezes, os 15 minutos utilizados como intervalo fixo pareciam ser muito tempo de espaçamento, verificando-se um ligeiro *stress* por parte da planta, mas, no final esse fator não influenciou a produção.

Foi a partir desta experiência que grande parte do algoritmo de rega foi desenvolvido. Foi também a partir desta experiência que houve a necessidade de monitorização da humidade da raiz, proporcionando boas condições de crescimento para as plantas.

5.3. Validação do sensor de humidade da raiz

Depois de se saber que seria necessário utilizar os medidores de humidade foi altura de monitorizar a variação da humidade da raiz logo após a rega.

Foi então medida, durante 20 minutos, com intervalos de 2 minutos, a humidade após a rega (ver a **Tabela 8** e a **Figura 68**. Gráfico da variação da humidade.). É de notar que nesta experiência o essencial seria verificar essa variação, não sendo a principal

preocupação os possíveis danos na planta. A temperatura dentro da estufa rondava os 31°C.

Hora	Humidade (%)
14:05	74
14:07	73
14:09	65
14:11	61
14:13	57
14:15	48
14:17	41
14:19	35
14:21	32
14:23	29

Tabela 8. Registo da humidade da planta.

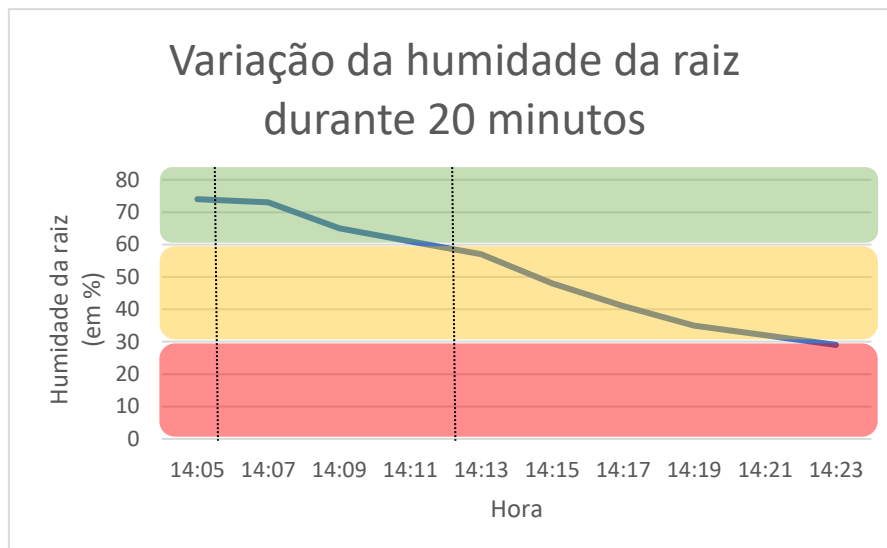


Figura 68. Gráfico da variação da humidade.

Analisando o gráfico e a tabela é possível verificar que depois da rega (às 14:04) existe um período de cerca de 4 minutos em que as humidades se mantêm. Este fenómeno deve-se ao facto da raiz estar ainda mergulhada numa pequena “poça” que é formada pela própria raiz. A partir das 14:19 o decréscimo é também menos acentuado e isso deve-se a humidade própria da raiz. Para efeitos de produção, uma humidade de 30% é inaceitável e a baixo dos 50 – 60% não será recomendado. Além disso, é a partir desta experiência que se obtém o tempo para a próxima verificação no algoritmo de rega (10 min – tempo desde o início até ao meio da parte amarela do gráfico) e do decréscimo de 20% da humidade das raízes.

Após várias experiências como esta foi possível confirmar que os sensores utilizados eram apropriados para o efeito. Um dos cuidados a ter, e que foi tido em conta no projeto, é que só é possível trabalhar com variações (intervalos) de valores e não com valores fixos. A posição do sensor influencia muito a aquisição da humidade da raiz, sendo necessário trabalhar sempre com essa gama de variação. Quer isto dizer, que a raiz pode ter uma humidade boa, mas basta o sensor estar ligeiramente mal colocado

(o que por vezes acaba por acontecer com o crescimento normal da planta), que pode originar falsas leituras. Ou seja, é necessário sempre analisar do ponto de vista da percentagem de humidade que aumentou/diminuiu. O sensor é colocado na raiz da planta conforme a **Figura 42**.

5.4. Validação do sistema final

Nesta secção serão apresentados os resultados de algumas produções, validando o sistema criado e mostrando algumas vantagens da sua utilização.

5.4.1. Produção normal

O sistema esteve sempre a produzir enquanto o projeto era desenvolvido, de modo a que este fosse posto à prova e fosse possível ir testando as funcionalidades. Depois de todo o sistema estar desenvolvido foram realizadas diversas produções para confirmar a capacidade do sistema na resposta a todos os problemas e situações. Na **Figura 69**, é apresentado o processo de crescimento de plantas com um espaçamento de 1 semana e com uma condutividade elétrica média de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (microsiemens/centímetro). Ou seja, a planta representada pela letra **A** corresponde a 1 semana no sistema; a imagem **B** corresponde a 2 semanas; a imagem **C** a 3 semanas; a imagem **D** a 4 semanas; e por fim, a imagem **E** que corresponde a 5 semanas no sistema. Pode-se observar que até à segunda semana existe um enorme crescimento a nível radicular e que depois desse tempo o crescimento das raízes é aligeirado, dando ênfase ao enorme crescimento da parte vegetativa. Ao lado das plantas está um garrafão de 6 litros de água para a perceção do tamanho das plantas. O peso médio de uma alface com 6 semanas ronda as 350 gramas.



Figura 69. Diferentes tamanhos das alfaces com 1 semana de intervalo.

Quando as alfaces se encontravam na segunda semana de produção apresentavam a sua raiz como mostrado na **Figura 70**. A raiz apresentava-se branquinha e sem queimaduras apresentando um elevado grau de sanidade, mostrando uma boa higiene e uma planta saudável. O resultado, visto de outra perspetiva, é mostrado na **Figura 71**.



Figura 70. Raiz da planta às 2 semanas de produção, em pormenor.



Figura 71. Resultado após 5 semanas de produção.

Durante as diversas produções realizadas foram surgindo diversos erros, especialmente erros de rede devido ao uso de uma ligação PowerLine para ligação da rede da estufa à internet. A PowerLine utilizada, a TP-LINK AV500 [94], apesar de ser um bom investimento e propagar a capacidade de se ter internet em lugares mais distantes, peca um pouco pelas falhas de dados associadas. O sistema desenvolvido implementa capacidades para a sua recuperação, estando neste momento há cerca de 2 meses e meio sem desligar/reiniciar nem receber atualizações. Além destes erros normais e imprevisíveis foram manualmente inseridos erros, desligando microcontroladores, desligando a ligação com a base de dados remota, etc. A todos os erros o sistema foi capaz de recuperar e intervir positivamente. Na **Figura 72** verifica-se um sinal de *heartbeat* falhado com o microcontrolador responsável pelo acionamento da bomba de água. É possível observar a existências de falhas (respostas fora de tempo) e as

consecutivas tentativas (*retry*) para tentar enviar o sinal, até obter uma resposta positiva.

```
2018-09-02 17:51:01,827 CRITICAL url:http://192.168.1.104/serverCommunication - error:timed out
```

```
2018-09-02 17:53:01,929 CRITICAL url:http://192.168.1.104/serverCommunication - error:timed out
```

```
2018-09-02 17:54:06,739 DEBUG url:http://192.168.1.104/serverCommunication -
message:{"DegradedMode":0}
```

Figura 72. Falhas e consecutivas novas tentativas de ligação ao microcontrolador responsável pelo acionamento da bomba de água.

Na **Figura 73** foi testado o envio dos dados à base de dados remota. Uma vez que a base de dados se encontrava inacessível era devolvida uma mensagem de erro de conexão, sendo os dados mantidos até ser possível enviá-los. Quanto os dados são enviados estes são eliminados da pilha de observações a serem enviadas.

```
2018-09-02 23:12:44,426 ERROR Error sending:{"Description": 22, "DeviceId": 8, "UnitID": 3,
"ObservationTime": "2018-08-30 22:37:23"} - error:HTTPConnectionPool(host='192.168.1.93', port=6994)
```

...

```
2018-09-02 23:22:46,533 ERROR Error sending:{"Description": 22, "DeviceId": 8, "UnitID": 3,
"ObservationTime": "2018-08-30 22:37:23"} - error:HTTPConnectionPool(host='192.168.1.93', port=6994)
```

```
2018-09-02 23:27:47,599 DEBUG observation {"Description": 22, "DeviceId": 8, "UnitID": 3, "ObservationTime":
"2018-08-30 22:37:23"} sent
```

...

```
2018-09-02 23:27:47,611 DEBUG observation {"Description": 22, "DeviceId": 8, "UnitID": 3, "ObservationTime":
"2018-08-30 22:37:23"} removed from observationsStack
```

Figura 73. Resposta a uma falha de comunicação com a base de dados remota.

Na **Figura 74** é possível constatar o não envio do sinal de *heartbeat* devido a um problema, passando assim o controlador da ativação da bomba de água a agir por conta própria. É possível ainda ver que 3 minutos depois o problema foi resolvido e dessa forma, já foi possível enviar o *heartbeat*, evidenciando que está tudo bem com todos os mecanismos.

```
2018-08-02 17:23:22,009 CRITICAL Some Problem in pumpSystem. Wont be send the heartbeat
```

...

```
2018-08-02 17:28:25,315 DEBUG url:http://192.168.1.104/serverCommunication -
message:{"DegradedMode":0}
```

Figura 74. Existência de um problema e o não envio do sinal de *heartbeat*.

Na **Figura 75** é mostrado o processo de crescimento de uma produção sem o sistema desligar/reiniciar nem receber atualizações. Da letra **A** à letra **F** é mostrada a diferença entre 1 semana e 6 semanas de produção, respetivamente. Na **G** é mostrada a raiz (e a sua boa qualidade e sanidade) e na **H** e na **I** são apresentadas outras vistas da produção.

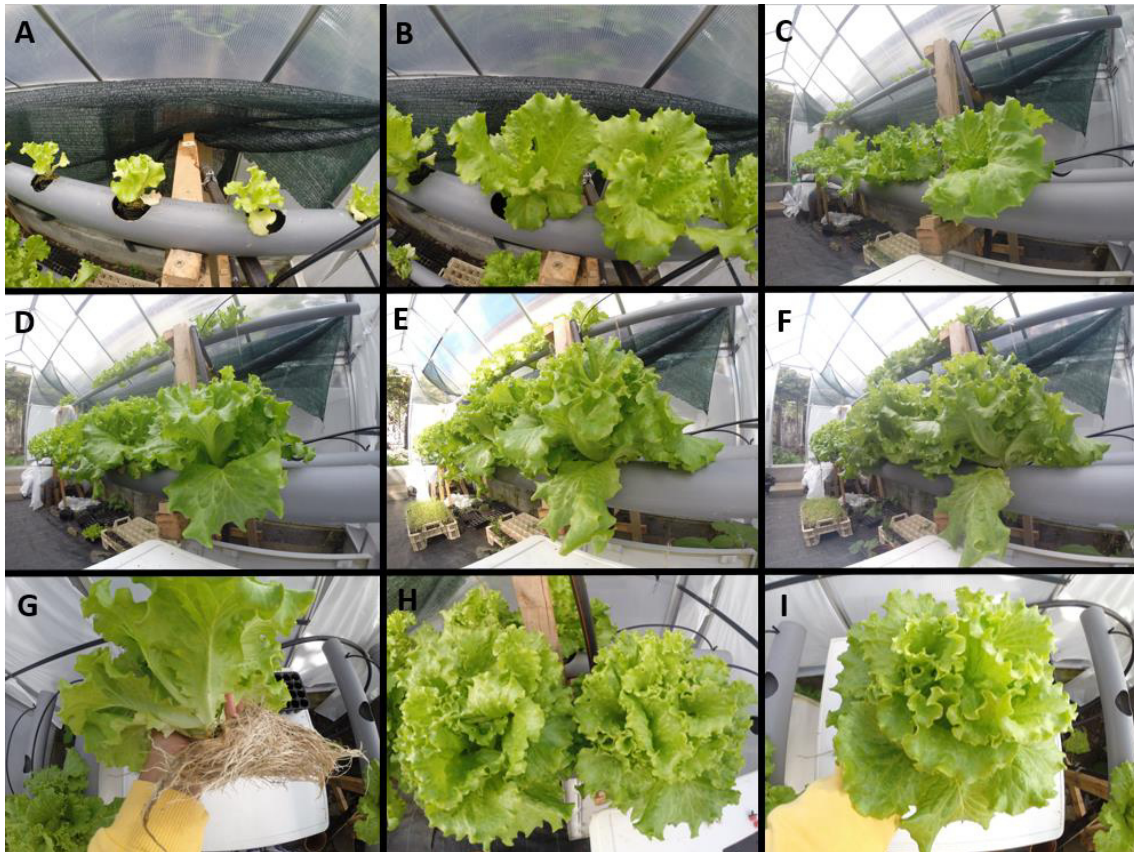


Figura 75. Timelaps semanal e resultados finais de uma produção.

Na **Figura 76**, e para dar uma perspetiva mais geral da estufa, verifica-se que esta inclui diversas produções em diversas fases, apresentando plantas com diferentes tamanhos.



Figura 76. Estufa com diversas produções.

Pode-se também verificar as humidades das raízes aquando as regas. No dia 27/12 às 8:58 foi feita uma rega, alterando consequentemente a humidade das raízes. Na **Figura 77** é possível verificar que a humidade antes da regadura no sensor 1 era 0%, significando que este se encontrava em mau contacto com a raiz da planta, e o sensor 2 com valor de humidade de 59%. Depois da rega efetuada, pode-se constatar (ver **Figura 78**) que a humidade do sensor 1 passou a ser de 7% e a do sensor 2 de 62%.

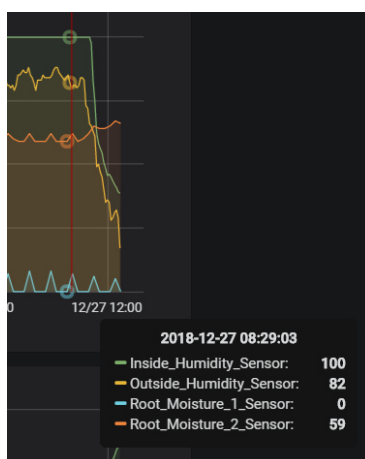


Figura 77. Humidade das raízes antes da rega.

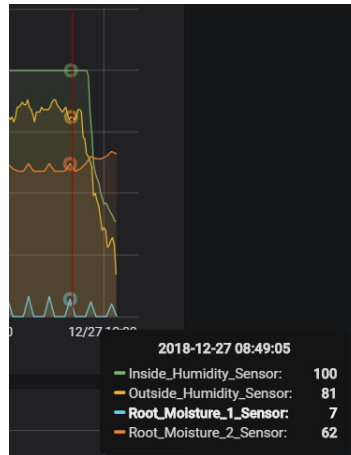


Figura 78. Humidade das raízes depois da rega.

5.4.2. Variação da CE

Uma vez que o sistema está preparado para aceitar que o utilizador varie facilmente o valor da CE, ou seja, da quantidade de nutrientes, é possível obter diferentes resultados finais. Com esta vantagem é possível que seja disponibilizada à planta a quantidade exata de nutrientes, sendo possível acelerar ou atrasar o seu crescimento. Este processo traz inúmeras vantagens, principalmente para produtores de média e larga escala, dado que assim conseguem escoar o seu produto em épocas em que o mercado não esteja saturado, ou então, esperar por uma semana em que o preço esteja mais elevado.

Na **Figura 79** e na **Figura 80** pode-se observar resultados semelhantes para diferentes tempos de produção. Na primeira figura a CE média utilizada foi de 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o resultado foi obtido em 7 semanas enquanto que na segunda figura a CE utilizada foi de 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e foram necessárias apenas 6 semanas.



Figura 79. Resultado de 7 semanas de produção com CE de 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 80. Resultado de 6 semanas de produção com CE de 1300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

5.4.3. A inversão da normalidade

O normal na produção em hidroponia para alfaces será nas duas primeiras semanas utilizar uma CE de cerca de 1100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e depois, na fase de crescimento, a CE variar entre os 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os 1350 $\mu\text{S}/\text{cm}$, dependendo da variedade da planta. A título de experiência, foi mantida a CE nas duas primeiras semanas a 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o resto do processo de crescimento a cerca de 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Ao fim de duas semanas o resultado final não era o mais apetecível em termos de produção. Como é possível visualizar na **Figura 81**, a alface apresentava umas folhas muito longas e dispersas umas das outras, não mantendo a consistência de uma alface normal.



Figura 81. Resultado após 2 semanas de produção.

Mesmo apresentando um crescimento inicial anormal, o processo de crescimento não foi interrompido de modo a observar o seu resultado final. Após 1 mês de produção

estas apresentavam-se como na **Figura 82**, estando as folhas ainda mais dispersas e muito compridas.



Figura 82. Resultado após 4 semanas de produção.

Estranhamente, o produto final foi melhor do que o esperado, resultando em plantas muito maiores do que o normal, apresentando também uma grande foliação (ver **Figura 83**). Claro que nem tudo são vantagens, pois esta seria uma alface difícil de vender em superfícies comerciais, devido à sua dimensão (ver **Figura 84**). Porém, seria ideal para vender diretamente, por exemplo, a restaurantes, onde é necessário um grande volume de alimentos. Também como resultado do rápido crescimento inicial, o caule da alface apresenta alguma curvatura, como é possível observar na **Figura 85**.

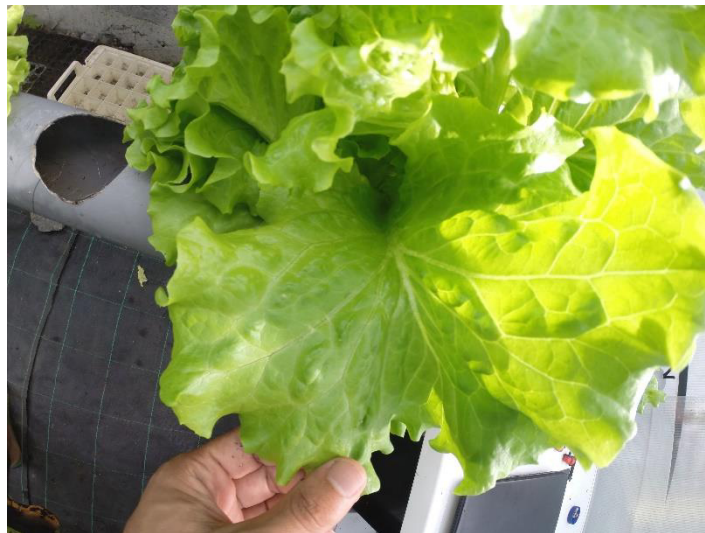


Figura 83. Dimensão de uma folha de alface.



Figura 84. Resultado da produção com a inversão da normalidade em 6 semanas.



Figura 85. Caule torto na experiência de inversão da normalidade.

5.5. Análise dos dados armazenados

Nesta secção serão mencionados os resultados da análise dos dados das produções, apresentando as comparações e as deduções que daí derivaram.

5.5.1. Análise e comparação das produções

De seguida serão analisados os resultados obtidos a partir de duas produções completas. Uma das produções é a n.º 20 e a outra é a n.º 21. Neste caso pode-se verificar diferenças de cerca de 1 °C na temperatura média, refletindo-se em diferenças significativas na quantidade de água e de nutrientes. A variação de nutrientes é de cerca de 12% e a variação da água é de cerca de 16% a mais na produção com uma temperatura mais elevada. Este valor poderá ter resultado de um maior processo de

fotossíntese (originando um maior crescimento e uma maior necessidade de água e de nutrientes) e também de uma maior evapotranspiração. A evapotranspiração é o processo resultante da transpiração da planta e da evaporação do solo, sendo que neste caso, o solo é substituído pelos canos de produção. A diferença de valores é sumarizada na **Tabela 9**.

		Produção n.º 20	Produção n.º 21
Temperatura (°C)	Máxima	44,7	44,2
	Mínima	16,4	15,6
	Média	24,6	23,5
	Média diurna	25,8	24,6
	Media noturna	20	19,6
Humidade (%)	Máxima	99,9	99,9
	Mínima	29,7	35,1
	Média	87,3	91,4
	Média diurna	84,7	89,5
	Media noturna	98,1	99,2
Total de água (l)		75	63,33
Total de nutrientes (l)		1,26	1,11

Tabela 9. Valores comparativos de duas produções.

A nível de resultados no crescimento registou-se um ligeiro aumento do tamanho na produção n.º 21, mas nada que seja possível considerar como totalmente conclusivo.

5.5.2. Relação entre temperatura interior e temperatura exterior

A nível da estufa, as condições tanto de temperatura como de humidade podem ser algo distantes dos valores exteriores. É também possível verificar um aumento mais ou menos relacional da temperatura interior da estufa em relação à temperatura exterior. Seguindo a **Figura 86** obteve-se a **Tabela 10** com as diferenças entre as temperaturas interiores e exteriores.

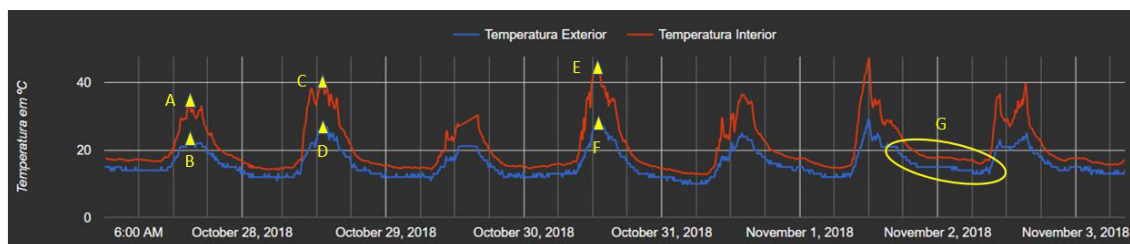


Figura 86. Valores de temperatura interior vs temperatura exterior.

Temperatura exterior	Temperatura interior	Diferença de temperatura
A = 32 °C	B = 22 °C	Aumento de 10 °C
C = 40 °C	D = 26 °C	Aumento de 14 °C
E = 45 °C	F = 28 °C	Aumento de 17 °C

Tabela 10. Comparação da variação das temperaturas interiores e exteriores.

Segundo ainda a **Figura 86** e, por exemplo, observando a área delimitada pela letra “G”, pode-se ainda verificar através da correlação que as temperaturas dentro da estufa sofrem menos oscilações tendo em conta a variação exterior.

No gráfico representado na **Figura 87** é possível verificar a correlação entre a temperatura interior e a temperatura exterior. Os valores de “R²” mostram-nos que existe uma correlação moderada-forte entre as duas variáveis (quanto mais perto do valor 1 ou do valor -1, maior é a correlação). Foi também possível observar que para uma taxa de amostragem maior a correlação tende a subir, mesmo que seja em valores residuais. Para a obtenção de melhores valores de “R²” o ideal seria fazer um estudo da hora do dia mais provável da temperatura começar a decrescer e a partir daí estimar duas retas de correlação, uma de aumento e outra de redução da temperatura. Dessa forma é possível com uma maior precisão conseguir estimar uma das temperaturas a partir da outra.

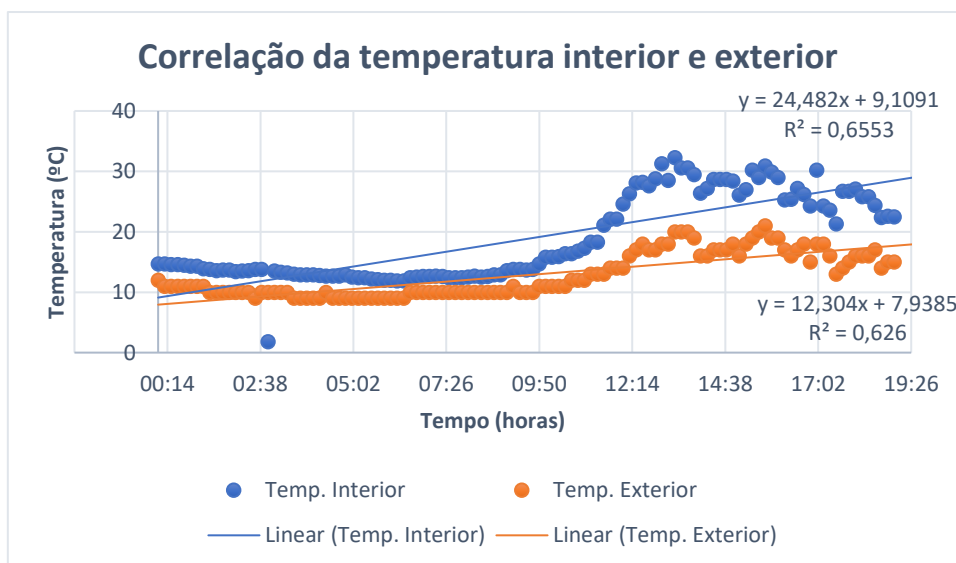


Figura 87. Correlação entre a temperatura interior e a temperatura exterior

5.5.3. Relação entre humidade e temperatura (interior e exterior)

Depois de se ter comprovado que havia uma boa relação entre a temperatura exterior e a temperatura interior decidiu-se verificar se existia mais alguma relação entre as diferentes temperaturas e as diferentes humidades (ver **Figura 88**). Foi ainda considerado que as humidades interiores tendem a ser as mesmas durante a noite, independentemente da temperatura exterior ou da temperatura do dia (como podemos verificar no gráfico). Não foi possível encontrar uma tal relação (tendo em conta uma relação com elevada fiabilidade), uma vez que para os mesmos valores de temperatura interiores existe de uma grande gama de valores de humidade muito diferentes entre eles. Demonstra-se isto, por exemplo, para a temperatura interior de 41 °C em que existem valores de humidade na ordem dos 63% e, por vezes, na ordem dos 49%, originando um elevado grau de erro.

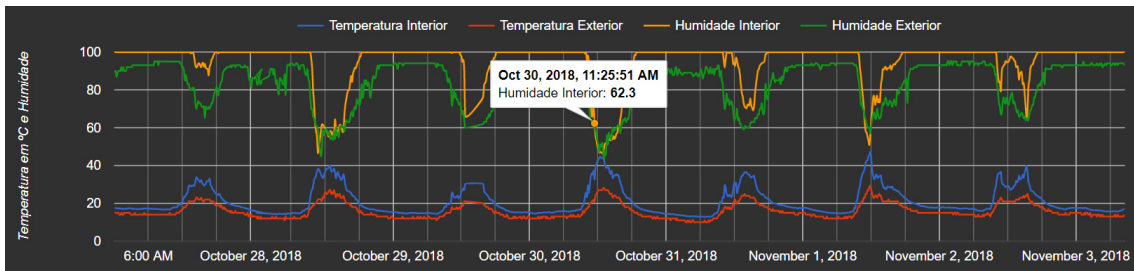


Figura 88. Relação entre as diferentes humidades e temperaturas.

Porém, apesar de não ser possível encontrar uma relação entre as diferentes temperaturas e humidades, é possível perceber que o aumento da temperatura origina uma diminuição da humidade. Então, caso o sistema tenha só um equipamento de controlo de temperatura (está preparado para esse efeito) e não for equipado com um sistema de controlo de humidade sabe-se à partida que será possível, indiretamente, manipular a humidade.

5.5.4. Poupança a nível da bomba de água

Dado que este sistema só é ativado quando é necessário, origina uma poupança enorme a nível do número de horas em que a bomba de água se encontra ligada. Seguindo a Figura 89, pode-se verificar no gráfico os registos de atuação desde 17 de outubro até 17 de novembro. Também é possível verificar alguns pontos de execução no valor “0”, significando que houve algum erro que depois o sistema teve de tratar e recuperar. Seguidamente, é possível ver o número de atuações e o quadro resumo das execuções. Verifica-se que a bomba esteve ligada 2377 minuto, resultando em quase 40 horas. Dado que um mês possui 720 horas, é também possível verificar que o tempo em que esteve ligada corresponde apenas a 5.5% do tempo total. Ou seja, em comparação com um sistema que esteja sempre ligado, este projeto origina uma poupança de 94.5%. É também de notar que estes valores de utilização poderão variar ligeiramente com o tipo de clima (maior temperatura levará a uma maior utilização da bomba). Estes 30 dias de análise considera-se como uma amostra média, onde nem todos os dias foram de temperaturas de verão e também nem todos os dias foram de temperaturas de inverno, sendo um bom exemplo para valores médios.

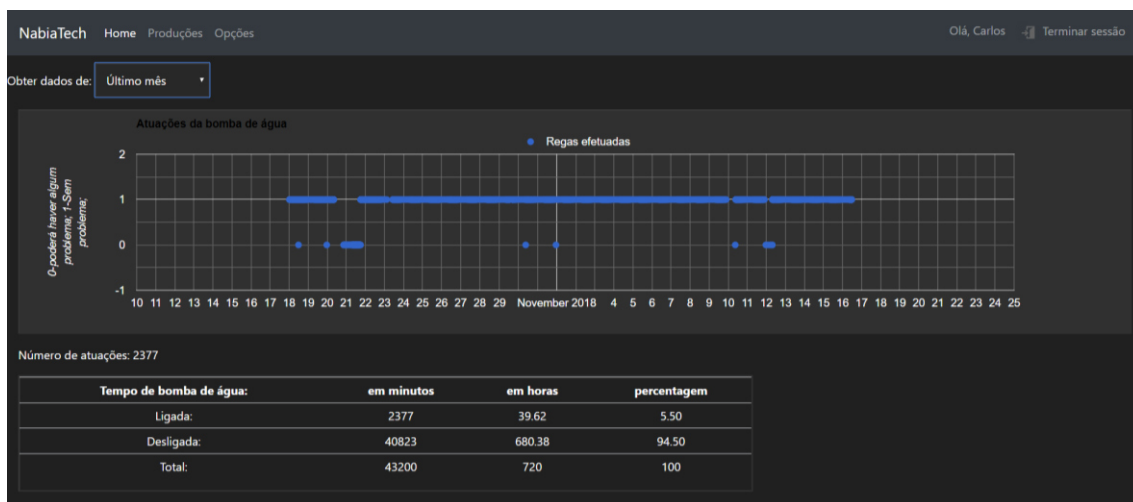


Figura 89. Ativação média da bomba de água.

Se for considerado um sistema sem automação em que tenha a bomba de água ligadas das 8h até as 20h isto equivale a 12h por dia, ou seja, 360h em 30 dias. Neste caso, e comparando com o sistema autónomo, a percentagem de utilização neste último passaria para cerca de 11%, originando uma poupança que ronda os 89%.

Este projeto seria também muito interessante se fosse aplicado a um sistema que funcionasse por gravidade. As aberturas das válvulas seriam apenas realizadas quando a humidade assim o indicasse, tornando o sistema em hidroponia muito mais eficaz, sendo a água retornada ao poço principal (o mais elevado) apenas ocasionalmente, originando elevadas poupanças energéticas.

5.6. Problemas ocorridos durante o desenvolvimento

Durante o processo de desenvolvimento do *software* e de adequação do material à produção decorreram várias produções seguindo o nível de automatismo desenvolvido até à data. Dessa forma, foi possível ir testando o sistema desenvolvido e também, adquirir mais conhecimentos a nível de produção em hidroponia, método que difere em certos aspetos da agricultura convencional.

A parte da prevenção de erros era uma parte que realmente tinha grande importância na estruturação dos requisitos do projeto, mas, esses requisitos tornaram-se ainda mais evidentes e importantes quando houve uma perda de toda a produção devido à falta de ativação da bomba de água. O problema ocorrido derivou de uma falha de rede e o sistema, nessa fase inicial do projeto, não estava ainda preparado para a sua recuperação. O resultado desta “pequena” falha é possível observar na **Figura 90**. Esta situação é algo impensável, ainda para mais em sistemas que podem facilmente escalar para um grande nível de produção, resultando em perdas significativas a nível monetário.



Figura 90. Danos finais nas plantas (perda da produção).

Dado que a alface é uma hortaliça constituída maioritariamente por água, existia a possibilidade de ocorrer recuperação, porém, as plantas demonstravam elevadas mazelas que depois vieram a amarelar e a secar completamente (ver **Figura 91**). Todas as medidas tomadas, como é o caso da possibilidade do microcontrolador responsável pelo controlo da bomba de água poder atuar sozinho, preveniram que estas situações se voltassem a repetir.

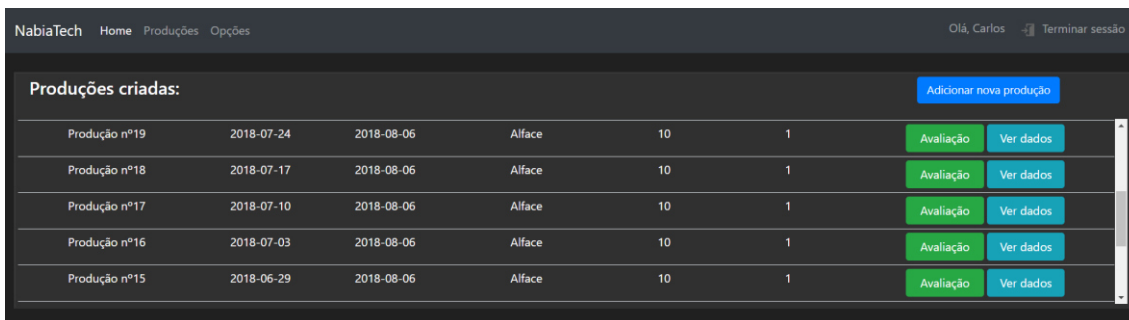


Figura 91. Danos finais nas plantas (perda da produção).

A meio do projeto houve ainda uma contaminação por um fungo. Esse fungo atacava a raiz, causando a podridão da mesma. Na **Figura 92**, é possível observar a falta de sanidade da raiz e a separação da raiz do resto da planta. Logo que esse fungo atacou, os resultados começaram a aparecer com a diminuição drástica da quantidade de água consumida pelo sistema. Além da diminuição do consumo de água as alfaces não se desenvolviam, mantendo sempre o mesmo tamanho. Dado que este é um sistema em que a água circula constantemente e que acaba por passar por todas as plantas, houve uma contaminação geral, tendo todas as plantas de ser retiradas do sistema, originando uma perda total. Para combater o problema, todo o sistema foi desinfetado. Os registos das produções inutilizadas são visíveis na **Figura 93** e pode-se ainda ver que a sua avaliação é negativa. Na **Figura 94** é possível observar uma parte do relatório gerado, onde é possível verificar os quadros resumos dessas datas e o inexistente consumo de água e de nutrientes. O sistema não permite identificar o fungo diretamente, mas o baixo consumo de água repentino anunciava já que algo de errado se passava, sendo um bom indício para a necessidade de intervenção por parte do produtor.



Figura 92. Podridão e separação da raiz.



The screenshot shows a table titled 'Produções criadas:' with a button 'Adicionar nova produção' in the top right. The table lists five production records, each with a 'Ver dados' button and an 'Avaliação' button.

Produção nº	Data de início	Data de fim	Tipo de produção	Quantidade de plantas	Avaliação	Ações
Produção nº19	2018-07-24	2018-08-06	Alface	10	1	Avaliação, Ver dados
Produção nº18	2018-07-17	2018-08-06	Alface	10	1	Avaliação, Ver dados
Produção nº17	2018-07-10	2018-08-06	Alface	10	1	Avaliação, Ver dados
Produção nº16	2018-07-03	2018-08-06	Alface	10	1	Avaliação, Ver dados
Produção nº15	2018-06-29	2018-08-06	Alface	10	1	Avaliação, Ver dados

Figura 93. Registo das produções afetadas pelo fungo.



The screenshot shows a 'Relatório de produção:' for 'Produção nº19'. It includes details about the production type, dates, quantity, and evaluation. Below this, there are two summary tables for indoor temperature and humidity.

Relatório de produção:

Nome da produção: Produção nº19 Data de início: 2018-07-24
 Tipo de produção: Alface Data de fim: 2018-08-06
 Quantidade de plantas: 10 Avaliação: 1
 Descrição da avaliação: Fungo na raiz

Total de água adicionada: 0 litros
 Total de nutrientes adicionados: 0 litros

Resumo da Temperatura Interior (em °C):		Resumo da Humidade Interior:	
Máxima:	44.5	Máxima:	99.9
Mínima:	17.2	Mínima:	30.1
Média:	25.8	Média:	81.7
Média diurna:	27.1	Média diurna:	78.3
Média noturna:	20.5	Média noturna:	97.0

Figura 94. Parte do relatório da Produção nº19.

5.7. Custos finais de produção

Os custos de todos os sistemas de automatização estão descritos na **Tabela 11**. É de notar que esse valor inclui todo o equipamento elétrico incluído, ficando de fora o preço da estufa e da estrutura de produção que é variável dependendo dos objetivos e do que se está disposto a investir. É também de notar que esse preço inclui diversos equipamentos que foram substituídos porque se danificaram (como o sensor de pH) e também equipamentos utilizados para experiências que depois não serviram para o projeto (como as válvulas de abertura).

Item	Quantidade	Preço total (euros)
Medidor pH	3	115,47
Válvula 12V normalmente fechada	1	7,59
Válvula 12V normalmente aberta	1	15,29
Relé 8 canais	1	6,8
Bombas doseadoras	4	25,95
Sensor de humidade da raiz	5	7,22
Node MCU	2	13,46
Node MCU com ecrã	1	7,89
ESP32	1	7,29
Pack Raspberry Pi 3 + fonte de alimentação + cartão 8GB + caixa	1	65,00
Sensor de temperatura e de humidade	2	10,00
Sensor de luminosidade	1	1,99
Sensor de distância	2	10,38
PowerLine	1	55,90
Pequenos consumíveis (fios, junções, disjuntores, tomadas, etc.)	-	60,00
Nutrientes	2	11,58
Bomba água 30W	1	29,90
Total:		451,71€

Tabela 11. Custo de todo o material utilizado na estufa (excluindo o sistema de produção e o valor da estufa).

Na **Tabela 12** está a comparação entre o preço real da implementação de um novo projeto com um equipamento igual ao que me se está a utilizar em comparação com um sistema com recurso a material externo. A diferença a nível monetário é muito elevada, sendo que este projeto custou cerca de 308,12 € e um sistema com pouca inteligência custaria 2291,22 €. O sistema com recurso a material externo apenas conta com um temporizador para a ativação da bomba e um doseador de pH e nutrientes. Não é possível obter dados nem inferências, assim como é impossível aceder aos equipamentos sem se dirigir diretamente aos mesmos. Portanto, é um sistema até muito básico.

Sistema desenvolvido		Utilizando material externo	
Produto	Preço (euros)	Produto	Preço (euros)
Bomba água 30W	29,90	Bomba água 30W	29,90
Nutrientes	11,58	Nutrientes	11,58
Pequenos consumíveis	60,00	Pequenos consumíveis	20,00
Relé 8 canais	6,80	Temporizador elétrico	14,74
Bombas doseadoras	25,95	BlueLab Dosetronic (medição e calibração da CE e do pH)	2200,00
Sensor de humidade da raiz	7,22	Mostrador digital de temperatura e humidade	15,00
Node MCU	13,46		
Node MCU com ecrã	7,89		
ESP32	7,29		
Pack Raspberry Pi 3 + fonte de alimentação + cartão 8GB + caixa	65,00		
Sensor de temperatura e de humidade	10,00		
Sensor de luminosidade	1,99		
Sensor de distância	5,14		
PowerLine	55,90		
Total:	308,12€	Total:	2291,22€

Tabela 12. Comparação monetária entre o sistema desenvolvido e um sistema como pouca inteligência.

Para uma produção é necessária a compra das plantas, custando um pack de 20 alfaces cerca de 1€. Sabe-se também que a nível de eletricidade são gastos entre os 8 e os 9 kWh por mês (ver **Figura 95**). Sabe-se ainda que em simultâneo estão a ser produzidas 3 produções, sendo necessário dividir por 3 o valor total de cada mês. O valor de 1 kWh ronda os 16 cêntimos.

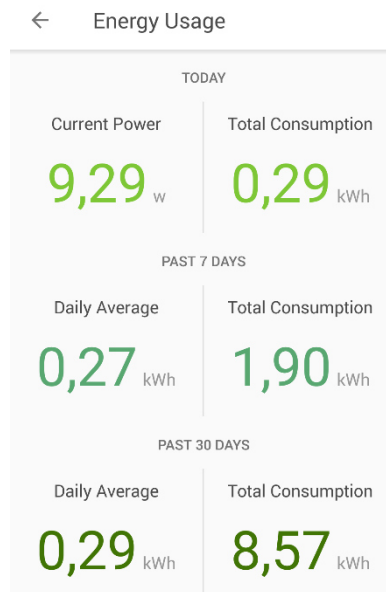


Figura 95. Consumo total energético da estufa.

Na **Tabela 13** são descritos e apresentados os custos para a produção de 20 plantas e o preço final de produção por alface. Esses custos seriam diminuídos caso a estufa estivesse toda a ser aproveitada para a produção (relembrando que se está a utilizar apenas 75% do sistema de produção). Se estivesse todo o sistema a ser aproveitado, o valor da eletricidade seria dividido por mais plantas. É também de notar que o preço do pack de 20 alfaces é variável, sendo este um preço médio (podendo ser muito mais reduzido caso seja feita a plantação de sementes em casa). É também de notar que foi utilizado 3 casas decimais, dado que os valores são pequenos e as pequenas alterações causam grande impacto (como é também o caso da gasolina).

Necessário à produção n. 23	Preço
20 alfaces	1,000€
6 semanas de eletricidade (considerando uma média de 9kWh/mês e que existem 3 produções ao mesmo tempo): $(9 + 4,5) / 3 = 4,5$ kWh	$4,5 \text{ kWh} * 0,16\text{€/kWh} = 0,720\text{€}$
65 litros de água	$65\text{l} * 0,25\text{€/m}^3 = 0,016\text{€}$
1,15 litros de nutrientes	$1,15\text{l} * 0,40\text{€/l} = 0,406\text{€}$
Total (20 alfaces):	2,196€
Total (1 alface):	0,110€

Tabela 13. Custo de produção por planta no sistema desenvolvido.

Segundo a **Tabela 13** é possível verificar que o preço de produção de uma alface ronda os 11 cêntimos, sendo que os pesos médios dessas plantas rondam os 350 gramas. O preço de produção ao kg ronda os 32 cêntimos. Como os algoritmos de rega é possível poupar cerca de 40% do valor da eletricidade, diminuindo o custo total de produção de uma alface em cerca de 12,72%.

O *payback* deste sistema depende muito das produções a instalar. Existem produções mais rentáveis do que a produção de alface (neste caso foi escolhida esta planta por ser de rápida produção e ser possível fazer várias iterações num curto espaço de tempo).

5.8. Problemas de generalização do sistema

Ter uma arquitetura demasiado geral, por vezes, traz problemas associados. Neste caso, o valor das observações na base de dados foi definido como sendo do tipo *String* para que fosse possível armazenar texto e numerais. O problema dá-se quando num pedido se tenta converter os números armazenados na forma de *String* para o formato decimal. A linguagem C# é conhecida por ter um problema de conversão, sendo uma operação demorada, principalmente se for para um elevado número de dados. Se for, por exemplo, feito um pedido de resumo das condições ambientais da última semana (temperatura máxima, média, etc.) o servidor demora cerca de 9 minutos a processar a resposta. Este pedido envolveu apenas cerca de 1000 valores e já se torna um tempo impensável. Para a conversão deste conjunto de dados pode-se ver o funcionamento do servidor (percentagem de uso do servidor, memória utilizada, eventos criados, etc.) na **Figura 96**.

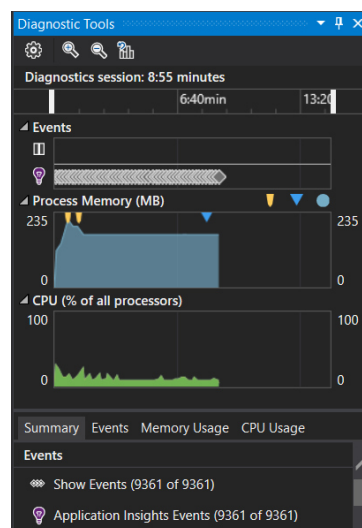


Figura 96. Tempo necessário para a conversão de cerca de 1000 dados do tipo *String* para decimal por parte do servidor.

A solução encontrada para este problema foi enviar todos os dados e os mesmos serem tratados na parte de visualização (em JavaScript). Desta forma não se prejudica o desempenho nem o tempo de resposta, já que desta forma todo o processo é realizado em meros milissegundos.

6. Conclusões e trabalho futuro

Nesta secção serão apresentadas as conclusões, resumindo um pouco o trabalho elaborado, mencionando os pontos fortes do projeto e quais os contributos e objetivos que foram atingidos. Serão também abordadas as maiores dificuldades e as possíveis propostas para trabalho futuro.

6.1. Conclusões

Com este trabalho estudou-se a utilização de sistemas de baixo custo para a automatização em agricultura de precisão, mais propriamente em sistemas de hidroponia.

Além da componente específica para este projeto foi desenvolvido um sistema genérico para vários projetos na área da IoT. Essa parte do projeto consistiu no desenvolvimento de todo um sistema de modelo de dados e ainda de um intermediário, sendo este responsável pela separação das componentes e pelo processamento de toda a informação que entra/sai da BD. Desta forma, foi possível obter uma base sólida e genérica que poderá ser utilizada por parte de outros, passando a ser necessário apenas focar-se no desenvolvimento da parte específica de cada projeto.

A nível específico deste trabalho foi desenvolvido um sistema de baixo custo com recurso a microcontroladores. Toda a parte de automação de nutrientes e de regas no sistema hidropónico encontra-se protegida por diversas medidas para a ocorrência e recuperação de erros, impossibilitando que ocorram erros que devastem toda a produção. Foi ainda estudada a utilização de sensores para monitorização da humidade da raiz, resultando num sistema que permite automatizar a rega conforme as necessidades da planta. Desta maneira, consegue-se uma otimização e diminuição da quantidade de eletricidade gasta, reduzindo também a utilização da bomba em cerca de 89% em comparação com sistemas que se encontram ligados 12h por dia. A nível de eletricidade regista-se uma poupança de 40%, diminuindo o preço total de produção em 12.71%.

As maiores dificuldades sentidas neste projeto ocorrem na fase de teste do sistema. É difícil ter produções com condições, por exemplo, de temperatura e de humidade iguais para se poder facilmente tirar conclusões. Outra dificuldade relaciona-se com o tempo de teste, já que uma nova funcionalidade poderá levar meses para testar, em virtude do próprio ritmo de crescimento das plantas.

Por fim, é de notar que os algoritmos de rega e todos os mecanismos de poupança presentes neste projeto tornam este sistema facilmente transformável num projeto que utilize maioritariamente energia fotovoltaica. Isto deve-se ao facto do sistema ativar-se apenas quando é necessário, sendo ativado mais frequentemente nos picos de produção de energia fotovoltaica.

6.2. Trabalho futuro

Foram encontrados diversos problemas e diversas foram também as soluções testadas. Um dos mecanismos que será futuramente testado e implementado será a aquisição do valor do pH. Um sensor de pH de gama média tem um custo aproximado de 55 euros [95], e para este trabalho foram utilizados 2 destes sensores (ver **Figura 97**).

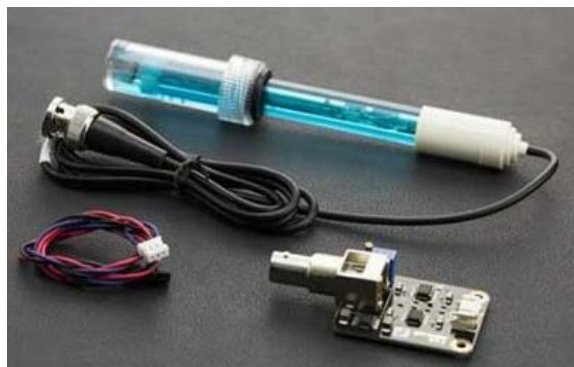


Figura 97. Sensor de pH testado [95].

O maior problema é estes sensores serem recomendados apenas para utilizações esporádicas, levando a que facilmente acabem por queimar ou que acabem por realizar leituras aleatórias. O primeiro sensor executava aquisições várias vezes ao dia, acabando por, em menos de uma semana, deixar de funcionar. De modo a tentar contornar este problema, foi aumentado o intervalo de aquisição de valores deste sensor, passando a só realizar leituras uma vez por dia. Mesmo assim, em cerca de uma semana e meia deixou de funcionar corretamente. A melhor solução, e a que parece durar mais é colocar o sensor manualmente na água antes de fazer a leitura, sendo depois necessário fazer a correta lavagem e embebê-lo num líquido que veio junto com o kit. Esta foi a maneira de o sensor continuar em funcionamento durante mais tempo, porém é uma forma nada automática. Um futuro investimento será desenvolver algum sistema que o coloque no poço e depois realize a limpeza do sensor, ou então, investir num sensor de valor superior para testar o seu comportamento.

Algo que seria interessante desenvolver na estufa seria a incorporação de motores nas janelas para a abertura e fecho automático. No caso desta estufa, seria necessário modificar a estrutura das janelas. Seria uma boa medida, proporcionando um maior controlo da temperatura interior, podendo resultar em ainda melhores resultados a nível de produção. É de notar que o sistema está preparado para receber estas alterações, sendo muito fácil fazer a integração no sistema.

A plataforma *web* de visualização dos dados, apesar de não ser o foco deste projeto, poderia ser melhorada, adicionando novas funcionalidades e controlos, assim como também a sua aparência, ou seja, a mudança para uma interface mais apelativa e bonita para o utilizador.

Outra característica a analisar no futuro será também a utilização de bases de dados orientadas ao tempo. O Influx (falado anteriormente na secção 4.5.1), apesar de ainda ser difícil de utilizar em plataformas diferentes das que eles recomendam, traz inúmeras vantagens à área da IoT. É espetável que em breve desenvolvam mais a parte de

integração de outras plataformas fora das convencionais, podendo vir a ser uma ótima base de desenvolvimento para projetos como este.

Numa fase inicial foram utilizadas electroválvulas (ver **Figura 98**), porém, as que foram testadas (de baixo custo – abaixo dos 15 euros) fecham segundo um impulso constante elétrico e só abrem com uma pressão mínima de água. No sistema, a água não atingia essa pressão, tornando impossível a utilização destes equipamentos. Estes mecanismos serviriam para controlar a entrada e saída de água de todas as linhas de produção, podendo facilmente e remotamente cancelar/ativar uma dessas linhas.



Figura 98. *Electroválvulas utilizadas para testes no projeto.*

Numa experiência futura (e de preferência, sem limitação de preço) seria interessante utilizar estes mecanismos, mas com aberturas e fechos segundo impulsos elétricos e nunca necessitando de uma pressão mínima para o seu funcionamento. Estas electroválvulas mais complexas têm um custo acima dos 30 euros cada. Além disso, seria uma boa opção inserir um gerador com arranque automático, não havendo possibilidade de o sistema falhar nem quando houvesse falta de eletricidade da rede, sendo também os alertas dados por via SMS.

Neste trabalho foram já inseridas as funcionalidades de previsão, principalmente de temperaturas segundo a análise do histórico de temperaturas. Seria aliciante aumentar a capacidade de inteligência artificial na previsão do tamanho ótimo de um produto, inserindo câmaras com capacidade de análise de imagem ou então através de modelos de previsão que utilizam os valores das temperaturas, CE, etc. Obviamente, para este último modelo seriam necessárias muitas experiências com resultados semelhantes ao mostrados anteriormente na **Tabela 9**.

7. Referências

- [1] «What is precision agriculture? - Definition from WhatIs.com», *WhatIs.com*. [Online]. Disponível em: <http://whatis.techtarget.com/definition/precision-agriculture-precision-farming>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [2] «Simply Hydroponics - What is Hydroponics?» [Online]. Disponível em: <http://www.simplyhydro.com/whatis.htm>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [3] «What is hydroponics? - A simple introduction», *Explain that Stuff*. [Online]. Disponível em: <http://www.explainthatstuff.com/hydroponics.html>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [4] «Diferença entre hidroponia e cultivo convencional». [Online]. Disponível em: <http://www.odiferente.com/diferenca-entre-hidroponia-e-cultivo-convencional/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [5] D. Pimentel *et al.*, «Water Resources: Agricultural and Environmental Issues», *BioScience*, vol. 54, n. 10, pp. 909–918, Out. 2004 [Online]. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/54/10/909/230205>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [6] «Escassez de água, desafio à sustentabilidade - Revista Hidroponia». [Online]. Disponível em: <http://www.revistahidroponia.com.br/sustentabilidade/29260/Escassez-de-agua,-desafio-a-sustentabilidade>. [Acedido: 19-Mar-2019]
- [7] «What is Agriculture?» [Online]. Disponível em: <http://www.agriinfo.in/default.aspx?page=topic&superid=1&topicid=298>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [8] «What is Agriculture: Definition and Concept», *CropsReview.Com*. [Online]. Disponível em: <http://www.cropsreview.com/what-is-agriculture.html>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [9] «Setor primário», *Wikipédia, a enciclopédia livre*. 25-Out-2017 [Online]. Disponível em: https://pt.wikipedia.org/w/index.php?title=Setor_prim%C3%A1rio&oldid=50253770
- [10] «What is Precision Agriculture and How is Technology Enabling it?» [Online]. Disponível em: <https://agfundernews.com/what-is-precision-agriculture.html>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [11] «Application of remote sensing in agriculture», *Gamaya*, 20-Jun-2015. [Online]. Disponível em: <https://gamaya.com/remote-sensing-in-precision-farming/>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [12] «Hawaii Cattle - Hawaii Grazing Lands Coalition», *Hawaii Cattle*. [Online]. Disponível em: <https://www.hicattle.org/hawaii-grazing-lands-coalition>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [13] S. Bernstein's, *Aquaponic gardening*. New society publishers.
- [14] «What is Hydroponic growing?», *Growth Technology*. [Online]. Disponível em: <http://www.growthtechnology.com/growtorial/what-is-hydroponic-growing/>. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [15] T. Asao, Ed., *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. InTech, 2012 [Online]. Disponível em:

- <http://www.intechopen.com/books/hydroponics-a-standard-methodology-for-plant-biological-researches>. [Acedido: 27-Out-2018]
- [16] «Hydroponic Wick Systems». [Online]. Disponível em: http://www.homehydrosystems.com/hydroponic-systems/wick-system_systems.html. [Acedido: 20-Fev-2018]
- [17] «wicks system - Pesquisa Google». [Online]. Disponível em: https://www.google.pt/search?q=wicks+system&source=Inms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwjUnbWc8PneAhWEjqQKHS5KDFoQ_AUIDigB&biw=1536&bih=723&dpr=1.25#imgrc=tbQ7sGP-lsF6OM. [Acedido: 29-Nov-2018]
- [18] «Water Culture Hydroponic Systems». [Online]. Disponível em: http://www.homehydrosystems.com/hydroponic-systems/water-culture_systems.html. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [19] «What is Hydroponic growing?», *Growth Technology*. [Online]. Disponível em: <http://www.growthtechnology.com/growtorial/what-is-hydroponic-growing/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [20] «Presentation Name», *emaze presentations*. [Online]. Disponível em: <https://www.emaze.com/@ACZFWLZO>. [Acedido: 29-Nov-2018]
- [21] «Ebb & Flow (Flood and Drain) Systems Review». [Online]. Disponível em: <https://www.thespruce.com/hydroponic-gardens-ebb-and-flow-systems-1939219>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [22] «What Are The Types Of Hydroponics Systems? - Smart Garden Guide». [Online]. Disponível em: <https://smartgardenguide.com/types-of-hydroponics-systems/>. [Acedido: 29-Nov-2018]
- [23] «Types of Hydroponics Systems.», *Soilless*, 01-Jun-2016. [Online]. Disponível em: <http://www.soilless.org/hydroponics/types-hydroponics-systems/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [24] «414W9+snGPL.jpg (350×235)». [Online]. Disponível em: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/414W9%2BsnGPL.jpg>. [Acedido: 29-Nov-2018]
- [25] «What are the fundamentals of setting up an NFT system?», *Hydroponics*. 01-Out-2014 [Online]. Disponível em: <https://www.hydroponics.com.au/what-are-the-fundamentals-of-setting-up-an-nft-system/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [26] «Nutrient Film Technique - Indoor Organic Growing System For The Home». [Online]. Disponível em: <http://www.hydroponics.name/hydroponics-systems/nutrient-film-technique/>. [Acedido: 29-Nov-2018]
- [27] «Aeroponics – Grow Systems». [Online]. Disponível em: <http://howtogrowmarijuana.com/aeroponics/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [28] «Genesis Technologies». [Online]. Disponível em: <http://www.genesisindia.net.in/aero.html>. [Acedido: 29-Nov-2018]
- [29] «Hydroponics vs. Soil: 7 Reasons Hydroponics Wins | Epic Gardening». [Online]. Disponível em: <https://www.epicgardening.com/hydroponics-vs-soil/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [30] «Hydroponics vs Soil: 7 Reasons Hydroponics Wins», *Epic Gardening*, 14-Jan-2012. [Online]. Disponível em: <https://www.epicgardening.com/hydroponics-vs-soil/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [31] «Hydroponics vs Soil: Reasons why Hydroponics Is Better Than Soil Farming». [Online]. Disponível em:

- <http://www.farmhydroponics.com/hydroponics/hydroponics-vs-soil>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [32] bigadmin, «Hydroponics: Advantages and Disadvantages», *Dyna-Gro*. [Online]. Disponível em: <http://dyna-gro.com/hydroponics-advantages-and-disadvantages/>. [Acedido: 21-Fev-2018]
- [33] «Agricultural Water Problems and Solutions – What You Need To Know | Wake Up World». [Online]. Disponível em: <https://wake-up-world.com/2015/08/27/agricultural-water-problems-and-solutions-what-you-need-to-know/>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [34] «Renewable internal freshwater resources per capita (cubic meters) | Data». [Online]. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/ER.H2O.INTR.PC?contextual=default&end=2014&locations=PT&start=1962&view=chart>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [35] «Setores da agricultura e pecuária consomem 74,7% da água em Portugal | Portal Agronegócios.eu». [Online]. Disponível em: <http://www.agronegocios.eu/noticias/setores-da-agricultura-e-pecuaria-consomem-74-7-da-agua-em-portugal/>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [36] «Expresso | Quase 10% de Portugal está em seca extrema», *Jornal Expresso*. [Online]. Disponível em: <http://expresso.sapo.pt/revista-de-imprensa/2018-02-21-Quase-10-de-Portugal-esta-em-seca-extrema>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [37] «SNIRH > Dados Sintetizados». [Online]. Disponível em: <http://snirh.apambiente.pt/index.php?idMain=1&idItem=1.3>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [38] T. Asao, *HYDROPONICS – A STANDARD METHODOLOGY FOR PLANT BIOLOGICAL RESEARCHES*. Croatia: InTech, 2012.
- [39] «Understanding Hydroponic Nutrition - Garden & Greenhouse». [Online]. Disponível em: <http://www.gardenandgreenhouse.net/articles/may-2014/understanding-hydroponic-nutrition/>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [40] «Nitrogen | Agriculture Solutions». [Online]. Disponível em: <http://www.agriculturesolutions.ca/nitrogen-overview>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [41] «Phosphorus Fertilizer Products | Agriculture Solutions». [Online]. Disponível em: <http://www.agriculturesolutions.ca/phosphorus-overview>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [42] «Why phosphorous is important», 2017. [Online]. Disponível em: <https://www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/soils/improvement/phosphorous>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [43] «Potassium Fertilizer | Agriculture Solutions». [Online]. Disponível em: <http://www.agriculturesolutions.ca/potassium-overview>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [44] «Potassium for crop production : : Nutrient management: University of Minnesota Extension». [Online]. Disponível em: <https://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/potassium/potassium-for-crop-production/>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [45] R. G. W. Jones e O. R. Lunt, «The function of calcium in plants», *Bot. Rev.*, vol. 33, n. 4, pp. 407–426, Out. 1967 [Online]. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF02858743>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [46] «Calcium Fertilizers | Agriculture Solutions». [Online]. Disponível em: <http://www.agriculturesolutions.ca/calcium-overview>. [Acedido: 22-Fev-2018]

- [47] «Magnesium for crop production: Secondary Macronutrients : University of Minnesota Extension». [Online]. Disponível em: <https://www.extension.umn.edu/agriculture/nutrient-management/secondary-macronutrients/magnesium-for-crop-production-in-minnesota/>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [48] A. R. Lucheta e M. R. Lambais, «Sulfur in agriculture», *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, vol. 36, n. 5, pp. 1369–1379, Nov. 2012 [Online]. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0100-06832012000500001&lng=en&nrm=iso&tIng=en. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [49] «Uses of Boron in Agriculture», *Etimine USA*, 05-Mar-2014. [Online]. Disponível em: <http://www.etimineusa.com/en/applications-uses-boron-agriculture>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [50] F. H. Nielsen, «History of Zinc in Agriculture12», *Adv. Nutr.*, vol. 3, n. 6, pp. 783–789, Nov. 2012 [Online]. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3648702/>
- [51] S. R. Mousavi, M. Shahsavari, e M. Rezaei, «A General Overview On Manganese (Mn) Importance For Crops Production», *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 5, pp. 1799–1803, Set. 2011.
- [52] «Applications: Copper Compounds - Copper Sulphate’s Role in Agriculture». [Online]. Disponível em: https://www.copper.org/resources/properties/compounds/copper_sulfate02.html. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [53] «Cobalt for Soil and Animal Health», *The Weston A. Price Foundation*. [Online]. Disponível em: <https://www.westonaprice.org/health-topics/farm-ranch/cobalt-for-soil-and-animal-health/>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [54] B. N. KAISER, K. L. GRIDLEY, J. NGAIRE BRADY, T. PHILLIPS, e S. D. TYERMAN, «The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production», *Ann. Bot.*, vol. 96, n. 5, pp. 745–754, Out. 2005 [Online]. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4247040/>
- [55] «What is EC? Electrical conductivity in hydroponics | CANNA UK». [Online]. Disponível em: <http://www.canna-uk.com/electrical-conductivity>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [56] T. Asao, *HYDROPONICS – A STANDARD METHODOLOGY FOR PLANT BIOLOGICAL RESEARCHES*. Croatia: InTech, 2012.
- [57] «How do I manage EC (electrical conductivity)?», *Hydroponics*. 01-Nov-2013 [Online]. Disponível em: <https://www.hydroponics.com.au/how-do-i-manage-ec-electrical-conductivity/>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [58] S. Bernstein, *Aquaponic gardening: a step-by-step guide to raising vegetables and fish together*. Gabriola Island, BC: New Society Publ, 2011.
- [59] «Simply Hydroponics - pH». [Online]. Disponível em: <http://www.simplyhydro.com/ph.htm>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [60] «How pH and Plant Nutrition are Linked», *1000Bulbs.com Blog*. [Online]. Disponível em: <https://blog.1000bulbs.com/home/how-ph-and-plant-nutrition-are-linked>. [Acedido: 22-Fev-2018]
- [61] «Botanium - Plant, forget, harvest.», *Botanium*. [Online]. Disponível em: <https://botanium.se/>. [Acedido: 26-Mar-2018]

- [62] «Group Overview < Open Agriculture (OpenAg)», *MIT Media Lab*. [Online]. Disponível em: <https://www.media.mit.edu/groups/open-agriculture-openag/overview/>. [Acedido: 26-Fev-2018]
- [63] «Project Overview < Computer Vision and Machine Learning», *MIT Media Lab*. [Online]. Disponível em: <https://www.media.mit.edu/projects/food-computer-project-open-agriculture-initiative/overview/>. [Acedido: 26-Fev-2018]
- [64] «Home - Open Agriculture Supply», *Home - Open Agriculture Supply*. [Online]. Disponível em: <https://www.openagriculturesupply.com>. [Acedido: 26-Fev-2018]
- [65] «openag:food_computer_2.0:pfc_v2_rendering_grayscale.png [OpenAg]». [Online]. Disponível em: https://wiki.openag.media.mit.edu/_detail/openag/food_computer_2.0/pfc_v2_rendering_grayscale.png?id=personal_food_computers. [Acedido: 26-Mar-2018]
- [66] C. S.A, «CoolFarm». [Online]. Disponível em: <http://cool-farm.com>. [Acedido: 26-Mar-2018]
- [67] «FarmBot», *Wikipedia*. 11-Nov-2018 [Online]. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=FarmBot&oldid=868249928>. [Acedido: 27-Nov-2018]
- [68] «High Level Overview». [Online]. Disponível em: <https://software.farm.bot/docs>. [Acedido: 27-Nov-2018]
- [69] «FarmBot Genesis v1.4», *FarmBot*. [Online]. Disponível em: <https://farm.bot/products/farmbot-genesis-v1-4>. [Acedido: 19-Nov-2018]
- [70] «FarmBot Genesis XL v1.4», *FarmBot*. [Online]. Disponível em: <https://farm.bot/products/farmbot-genesis-xl-v1-4>. [Acedido: 19-Nov-2018]
- [71] «Monnit Wireless Temperature Sensor - Commercial Coin Cell Powered | MNS-9-W1-TS-ST». [Online]. Disponível em: <https://www.monnit.com/Product/MNS-9-W1-TS-ST>. [Acedido: 01-Jun-2018]
- [72] «Monnit Wireless Humidity Sensor - Commercial Coin Cell Powered | MNS-9-W1-HU-RH». [Online]. Disponível em: <https://www.monnit.com/Products/Wireless-Sensors/Coin-Cell/Wireless-Humidity-Sensors>. [Acedido: 01-Jun-2018]
- [73] «Home Easy HE863 Wireless twilight sensor Max. range (open field) 50 m from Conrad Electronic UK». [Online]. Disponível em: <https://www.conrad-electronic.co.uk/ce/en/product/640287/Home-Easy-HE863-Wireless-twilight-sensor--Max-range-open-field-50-m>. [Acedido: 02-Jun-2018]
- [74] «Bluelab® Guardian Monitor», *GARDEN SUPPLY GUYS | Discount Hydroponics & Gardening Marketplace*. [Online]. Disponível em: <https://www.gardensupplyguys.com/products/bluelab-guardian-monitor>. [Acedido: 02-Jun-2018]
- [75] «Bluelab DoseTronic® Peridoser Kit | Special Order Only», *GARDEN SUPPLY GUYS | Discount Hydroponics & Gardening Marketplace*. [Online]. Disponível em: <https://www.gardensupplyguys.com/products/bluelab-dosetronic-peridoser-kit-so-only>. [Acedido: 07-Jun-2018]
- [76] «Disjuntor Diferencial Residual - DR», *ENGESAN ENGENHARIA*. [Online]. Disponível em: <http://engesanengenharia.com.br/ddr---dr.html>. [Acedido: 10-Set-2018]
- [77] Y. Wang, Y. Wang, X. Qi, e L. Xu, «OPAIMS: open architecture precision agriculture information monitoring system», em *Proceedings of the 2009 international conference on Compilers, architecture, and synthesis for embedded systems - CASES '09*, Grenoble, France, 2009, p. 233 [Online]. Disponível em:

- <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1629395.1629428>. [Acedido: 27-Out-2018]
- [78] L. F. Osborne e B. C. Hahn, «Development of an interactive weather analysis and display system to support agricultural planning», em *Proceedings of the 1994 ACM symposium on Applied computing - SAC '94*, Phoenix, Arizona, United States, 1994, pp. 346–350 [Online]. Disponível em: <http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=326619.326773>. [Acedido: 27-Out-2018]
- [79] S. Veldanda, «Revival of farming community with m-agriculture», em *Proceedings of the 6th International Conference on Theory and Practice of Electronic Governance - ICEGOV '12*, Albany, New York, 2012, p. 506 [Online]. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=2463728.2463838>. [Acedido: 27-Out-2018]
- [80] J. Lloret, J. Tomas, A. Canovas, e L. Parra, «An Integrated IoT Architecture for Smart Metering», *IEEE Commun. Mag.*, vol. 54, n. 12, pp. 50–57, Dez. 2016 [Online]. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7786110/>. [Acedido: 27-Out-2018]
- [81] C. Garrido, V. Lopez, T. Olivares, e M. C. Ruiz, «Poster Abstract: Architecture Proposal for Heterogeneous, BLE-Based Sensor and Actuator Networks for Easy Management of Smart Homes», em *2016 15th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, Vienna, Austria, 2016, pp. 1–2 [Online]. Disponível em: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7460697/>. [Acedido: 27-Out-2018]
- [82] B. Vogel e D. Gkouskos, «An open architecture approach: towards common design principles for an IoT architecture», em *Proceedings of the 11th European Conference on Software Architecture Companion Proceedings - ECSA '17*, Canterbury, United Kingdom, 2017, pp. 85–88 [Online]. Disponível em: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=3129790.3129793>. [Acedido: 27-Out-2018]
- [83] «What is Structured Query Language (SQL)? - Definition from Techopedia», *Techopedia.com*. [Online]. Disponível em: <https://www.techopedia.com/definition/1245/structured-query-language-sql>. [Acedido: 15-Set-2018]
- [84] «Relational vs. non-relational databases: Which one is right for you?» [Online]. Disponível em: <https://www.pluralsight.com/blog/software-development/relational-non-relational-databases>. [Acedido: 15-Set-2018]
- [85] «Modern IoT Data Platform | Delivering Time to Value for IoT Projects», *InfluxData*. [Online]. Disponível em: <https://www.influxdata.com/customers/iot-data-platform/>. [Acedido: 15-Set-2018]
- [86] «How To Monitor System Metrics with the TICK Stack on Ubuntu 16.04», *DigitalOcean*. [Online]. Disponível em: <https://www.digitalocean.com/community/tutorials/how-to-monitor-system-metrics-with-the-tick-stack-on-ubuntu-16-04>. [Acedido: 15-Set-2018]
- [87] «TICK Stack Built Within Open Source Platform», *InfluxData*. [Online]. Disponível em: <https://www.influxdata.com/time-series-platform/>. [Acedido: 18-Set-2018]
- [88] «What is Code-First?» [Online]. Disponível em: <http://www.entityframeworktutorial.net/code-first/what-is-code-first.aspx>. [Acedido: 21-Set-2018]

- [89] Rick-Anderson, «Create a Web API with ASP.NET Core and Visual Studio». [Online]. Disponível em: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/tutorials/first-web-api>. [Acedido: 24-Set-2018]
- [90] «Cross-Origin Resource Sharing (CORS)», *MDN Web Docs*. [Online]. Disponível em: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/HTTP/CORS>. [Acedido: 24-Set-2018]
- [91] «HL-69 arduino - Pesquisa Google». [Online]. Disponível em: https://www.google.pt/search?q=HL-69+arduino&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ved=0ahUKEwi9uuDx2fTeAhUGdxoKHV5ZDzUQ_AUIDigB&biw=1536&bih=723#imgrc=vNHgWsfIUUVHLPm: [Acedido: 27-Nov-2018]
- [92] «c2832e3c2a63556e7bf7a2ac3f5ee1da.pdf». [Online]. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779571246356/04-Sincroniza%E7%E3o.pdf>. [Acedido: 11-Out-2018]
- [93] «Using Google Charts | Charts», *Google Developers*. [Online]. Disponível em: <https://developers.google.com/chart/interactive/docs/>. [Acedido: 18-Out-2018]
- [94] «Powerlines», *Worten.pt*. [Online]. Disponível em: <https://catalogpt-app.prd.worten.net/componentes-de-pc-e-redes/redes/powerlines>. [Acedido: 20-Nov-2018]
- [95] «Kit Medição de pH da água para Arduino», *Electrofun*. [Online]. Disponível em: <https://www.electrofun.pt/sensores-arduino/kit-medicao-ph-agua-para-arduino>. [Acedido: 27-Out-2018]