



Desenvolvimento do protótipo do produto "VIIV"

JOSÉ PEDRO ARAÚJO SILVA SANTOS

Outubro de 2016

DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO DO PRODUTO “VIIV”

José Pedro Araújo Silva Santos



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Laboratório de Sistemas Autónomos

2016

Relatório elaborado para satisfação parcial dos requisitos da Unidade Curricular de
Tese/Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Candidato: José Pedro Araújo Silva Santos, Nº 1070257, 1070257@isep.ipp.pt

Orientação científica: Luís Miguel Vieira Lima, llima@lsa.isep.ipp.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Laboratório de Sistemas Autónomos

2016

Resumo

Dá-se o nome de aquariofilia ou terrariofilia à prática de manter animais (aquáticos ou terrestres, respetivamente) em viveiros, onde para tal é necessário replicar certas características climatéricas dos seus *habitats* de origem. De modo a atingir as condições requeridas para o ambiente dentro dos viveiros, os praticantes recorrem a equipamentos eletrónicos que controlam as várias grandezas físicas como a temperatura ou a luminosidade.

A aquariofilia e a terrariofilia são atividades extremamente populares e lucrativas, representando um mercado com uma dimensão internacional, onde só nos Estados Unidos da América existem mais de 17 milhões de lares com um aquário ou terrário. A massificação do acesso à *Internet* juntamente com as inovações tecnológicas nos produtos necessários à prática, tornaram estes *hobbies* acessíveis a um grande número de pessoas. De modo a expandir este mercado e atrair mais praticantes, urge simplificar todo o processo de manutenção de animais exóticos e respetivos viveiros, tornando-o assim mais apazível.

Inserido no âmbito dum projeto de criação de uma proposta de valor através do desenvolvimento de um produto comercializável que permita explorar esta oportunidade de mercado, este trabalho descreve a construção de um protótipo de um sistema autónomo que permita a alguém que não tenha conhecimento sobre a prática da terrariofilia, adquirir e manter com sucesso animais exóticos terrestres sem que para isso tenha de despender uma grande quantidade de tempo a aprender e a implementar as características necessárias no viveiro.

Após estudar os produtos de controlo de ambiente para terrários e aquários existentes no mercado, delineararam-se as características a obter no objeto final de maneira a que o sistema tivesse uma aplicabilidade geral para a prática da terrariofilia, que respondesse com eficácia às necessidades de controlo do ambiente no viveiro e que ao mesmo tempo servisse como guia para o utilizador de modo a que este não necessite de recorrer a fontes externas de informação (muitas vezes não confiáveis).

Foram elaboradas as projeções para as diversas partes que iriam constituir o sistema, onde se selecionaram os componentes eletrónicos e bibliotecas de *software* a

utilizar na sua construção. Seguiram-se diversas fases de desenvolvimento, no qual primariamente foram testadas as várias partes que compõe o sistema. Nomeadamente, o alojamento da base de dados num cartão SD, comunicação via *Bluetooth*, controlo de temperatura e configuração dum ecrã TFT táctil onde assentará a interface gráfica. Após algumas iterações, foram construídas as PCB finais para as quais foi também desenvolvido o código de acordo com as funcionalidades projetadas. Concluído o sistema, foram verificadas as capacidades do protótipo relativamente aos objetivos propostos e documentado o seu aspeto físico e funcionalidades. No final foram feitas considerações sobre a continuação deste trabalho de maneira atingir o objetivo ulterior de construir um produto comercializável.

Palavras-Chave

Sistemas embebidos, controladores de ambiente para terrários, cartão SD, *Bluetooth*, TFT táctil, microcontrolador ARM, LPCOpen, emWin.

Abstract

Keeping animals in aquariums and terrariums are challenging hobbies that require for the practitioner to replicate inside the vivarium certain characteristics of the animal's native environment in order for it to thrive. This is usually done by using electronic devices that control various environmental aspects such as temperature or luminosity.

These hobbies are very popular and also very lucrative, making up to a worldwide market with more than 17 million households owning an aquarium or terrarium just in the U.S. alone. Internet becoming a common facility and the technological advances of the products for vivariums, made this kind of activities accessible to many. In order to expand this market and attract more practitioners to it, it's crucial to make exotic pet husbandry simpler, hence more enjoyable.

Within the framework of a project with the purpose of creating a value proposal through the development of a retail product that allows the exploration of this market opportunity, this document describes the prototyping of an autonomous system that allows for someone who doesn't have any knowledge on the practice of keeping animals in terrariums, to pick and raise exotic animals (from terrestrial environments) with success, without having to waste large amounts of time learning how to and creating the right environment for one's pet.

Firstly, there was made a research on currently available products for terrarium's and aquarium's environment control. Taking that study into account, the goal characteristics for the device to be built were listed in order for it to be suited for most terrarium pets, as well as being capable of effectively controlling vivarium's environment parameters and also serve as a guide for the users, so they don't need to resort to external sources for information that may be non-reliable.

Projections were made for the various parts that would constitute the system, as well as the selection of electronic components and software libraries being used for its construction. This was followed by several phases of development in which there were tested various parts of the system, namely: database hosting on a SD card, Bluetooth protocol, temperature control and configuration of a TFT screen and its touchscreen where the graphical user interface will be laid out. After various iterations, the final printed circuit boards were made and the code written for them according to the planned

functionalities. When the device was finished, tests were made in order to evaluate the system's capacities regarding the objectives proposed. All its functionalities and physical features were documented as well. Final considerations were then made towards further work on the project in order to attain the latter objective of creating a sellable product.

Keywords

Embedded systems, terrarium controllers, SD card, Bluetooth, touchscreen TFT, ARM microcontroller, LPCOpen, emWin.

Índice

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
ÍNDICE DE TABELAS.....	XV
ACRÓNIMOS	XVII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1.CONCEITOS	3
1.2.CONTEXTUALIZAÇÃO	6
1.3.ANÁLISE DE MERCADO E CENÁRIOS DE APLICAÇÃO	7
1.4.OBJETIVOS	10
1.5.ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO.....	12
2. ESTADO DA ARTE.....	15
2.1.CONTROLADORES DE AMBIENTES TERRESTRES	16
2.2.CONTROLADORES DE AMBIENTES AQUÁTICOS	19
2.3.CONCLUSÕES	21
3. ANÁLISE DE REQUISITOS.....	23
3.1.CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS.....	24
3.2.CONTROLO DE AMBIENTE	27
3.3.INTERFACE COM O UTILIZADOR	28
4. PROJETO	30
4.1.ARQUITETURA GERAL.....	30
4.2.ARQUITETURA FUNCIONAL	34
4.3.ARQUITETURA LÓGICA E FÍSICA	45
4.4.OPÇÕES DE <i>HARDWARE</i>	52
4.5.OPÇÕES DE <i>SOFTWARE</i>	53
4.6.SOBRE A VERSÃO DO VIIV PARA AQUÁRIOS	56
5. IMPLEMENTAÇÃO	58
5.1.PLACA DE TESTES	59

5.2.PLACA DA HMI	62
5.3.PLACA DA UNIDADE DE CONTROLO	64
5.4.PLACAS DOS MÓDULOS	66
5.5.SOFTWARE	67
5.6.GERAÇÃO E CONTROLO DO AMBIENTE	72
6. RESULTADOS.....	80
6.1.HARDWARE	80
6.2.SOFTWARE	84
6.3.TESTES	90
7. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO.....	94
REFERÊNCIAS DOCUMENTAIS	98
ANEXO A. CERTIFICADO IAPMEI.....	101
ANEXO B. TABELA DO ESTADO DA ARTE.....	104

Índice de Figuras

Figura 1 - Terrário em vidro	1
Figura 2 - <i>Apex Controller</i> - Controlador de ambiente para aquários	2
Figura 3 - Periféricos - a) Lâmpada de cerâmica emissora de calor; b) Lâmpada <i>basking spot</i> ; c) Lâmpada ultravioleta; d) <i>Lunar Simulation Modulle</i> da marca <i>Neptune Systems</i> ; e) <i>Mister Monsoon RS400</i> da marca <i>Exo Terra</i> ; f) <i>Terra Fan Set</i> da marca <i>Lucky Reptile</i>	4
Figura 4 - Camaleão Pantera no <i>Reptile Super Show</i> ; Um dos maiores eventos dedicados à terrariofilia com milhares de visitantes todos os anos	8
Figura 5 - Controlador de ambiente para terrários <i>Herpkeeper</i>	8
Figura 6 - <i>DBS-1000</i> da marca <i>Helix Control Systems</i>	16
Figura 7 - Prime1 da marca <i>Microclimate</i>	17
Figura 8 - <i>Eco500</i> da marca <i>EcoZone</i>	17
Figura 9 - <i>EVO</i> da <i>Microclimate</i>	18
Figura 10 - <i>ReefKeeper Elite</i> da marca <i>Digital Aquatics</i>	20
Figura 11 - Fluval Edge	21
Figura 12 - Vários módulos do sistema <i>Herpkeeper</i>	32
Figura 13 - Esquema da arquitetura de alto nível do VIIV	32
Figura 14 - Esquema do Módulo	34
Figura 15 - Esquema do Módulo Temperatura Geral	36
Figura 16 - 3 ciclos AC completos (360°)	36

Figura 17 - 3 ciclos AC com metade da potência	37
Figura 18 - 3 ciclos AC em condução em $\frac{3}{4}$ de fase	37
Figura 19 - Diagrama de blocos do controlador PID	37
Figura 20 - Esquema do Módulo Temperatura <i>Basking Spot</i>	39
Figura 21 - Esquema do Módulo Humidade	39
Figura 22 - Esquema do Módulo Iluminação Ultravioleta	40
Figura 23 - Esquema do Módulo Iluminação Visível	40
Figura 24 - Esquema do Módulo Ventilação	41
Figura 25 - Organização do acesso aos vários aspetos do sistema	43
Figura 26 - Esquema de composição da HMI	46
Figura 27 - Esquema de composição da Unidade de Controlo	47
Figura 28 - Esquema de composição do Módulo Temperatura Geral	48
Figura 29 - Esquema de composição do Módulo Temperatura <i>Basking Spot</i>	49
Figura 30 - Esquema de composição do Módulo Humidade	49
Figura 31 - Esquema de composição do Módulo Iluminação Ultravioleta	50
Figura 32 - Esquema de composição do Módulo Iluminação Visível	50
Figura 33 - Esquema de composição do Módulo Ventilação	51
Figura 34 - Arquitetura da <i>emWin</i>	54
Figura 35 – Esquema das placas desenvolvidas	58
Figura 36 - LPC-Link2	59
Figura 37 - Esquema da placa de testes	60

Figura 38 - Placa de teste	60
Figura 39 – Módulos de teste;	61
Figura 40 - Placa da HMI (1ª versão)	63
Figura 41 - Placa da HMI (2ª versão)	64
Figura 42 - Placa da Unidade de Controlo	65
Figura 43 - Placas dos módulos	66
Figura 44 - Esquema do <i>software</i>	68
Figura 45 - Insolação recebida ao longo de um período de 24 horas	72
Figura 46 - Variação da temperatura da superfície terrestre ao longo de 24 horas	73
Figura 47 - Gráficos das temperaturas registadas para Sacramento e Sidnei para 28, 29 e 30 de junho de 2016	74
Figura 48 - Exemplo de progressão das temperaturas a atingir com o Módulo Temperatura Geral entre as 6:00 e as 11:00	75
Figura 49 - Variação da temperatura na zona mais fria do terrário para o dia 21 de dezembro	77
Figura 50 - Variação da temperatura na zona mais fria do terrário para o dia 20 de março	77
Figura 51 - Variação temperatura na zona mais fria do terrário para o dia 21 de junho	78
Figura 52 - Unidade de Controlo	81
Figura 53 - HMI	81
Figura 54 - Módulo Temperatura Geral com respetivo sensor de temperatura e lâmpada de cerâmica	82

Figura 55 - Módulo <i>Basking Spot</i> com respetivo sensor de temperatura e lâmpada <i>basking spot</i>	82
Figura 56 - Módulo Iluminação Ultravioleta com lâmpada UV	83
Figura 57 - Montagem do sistema. 1 - HMI; 2 - Unidade de Controlo; 3 - Módulo <i>Basking Spot</i> ;	83
Figura 58 - Painel “Menu”	84
Figura 59 - Painel “Animal” com dois animais (à esquerda) e sub-painel “Informação Animal”, relativo ao segundo animal (à direita)	85
Figura 60 - Painel “Ambiente” às 5:27	85
Figura 61 - Painel “Equipamento” indicando que apenas o Módulo Temperatura <i>Basking Spot</i> está conectado	86
Figura 62 - Painel “Índice Animal” com as variantes masculina (à esquerda) e feminina (à direita) para a espécie seleccionada	87
Figura 63 - Sub-painel “Informação Adicional”	87
Figura 64 - Sub-painel “Compatibilidade” apresentando um resultado positiva relativamente à análise de compatibilidade entre o animal pretendido e o atual estado do viveiro	88
Figura 65 - Sub-painel “Compatibilidade” apresentando incompatibilidades entre a espécie pretendida e o atual estado do viveiro.	89
Figura 66 - Painel "Definições"	90
Figura 67 - Resultado do teste Módulo Temperatura Geral	91
Figura 68 - Resultado do teste do Módulo Temperatura <i>Basking Spot</i>	92
Figura 69 - Temperatura medida no <i>basking spot</i> ao longo de 18 horas	93

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características de controlo de ambiente dos produtos analisados	19
Tabela 2 - Estudo das necessidades de ambiente dos animais de terrário mais populares	24
Tabela 3 - Componentes constituintes da HMI	52
Tabela 4 - Sensores escolhidos	53

Acrónimos

AC	–	<i>Alternate current</i>
APPA	–	<i>American Pet Products Association</i>
BMP	–	<i>Bitmap</i>
DC	–	<i>Direct current</i>
GUI	–	<i>Graphial user interface</i>
HMI	–	<i>Human-machine interface</i>
IAPMEI	–	Instituto de Apoio às Pequenas e Médias Empresas e à Inovação
LED	–	<i>Light emissor diode</i>
PID	–	<i>Proportional Integral Derivative</i>
PWM	–	<i>Pulse width modulation</i>
RTC	–	<i>Real time clock</i>
SD	–	<i>Secure digital</i>
SPI	–	<i>Serial peripheral interface</i>
TFT	–	<i>Thin film transistor</i>
UART	–	<i>Universal asynchronous receiver/transmitter</i>
USB	–	<i>Universal serial bus</i>
UV	–	Ultravioleta

1. INTRODUÇÃO

A aquariofilia e a terrariofilia são desde há muitos anos, *hobbies* extremamente populares à volta de todo o mundo. Essencialmente, os praticantes dedicam-se a recriar numa caixa de vidro ou acrílico, um *habitat* onde possam ser mantidos animais e/ou plantas, tal como exemplificado na figura 1. Habitualmente tratam-se de espécies nativas de locais exóticos pelo que a criação de um meio onde estas possam viver requer um controlo cuidado dos vários parâmetros que compõe o ambiente do viveiro como por exemplo a temperatura ou a humidade.



Figura 1 - Terrário em vidro

Possuir nas suas casas um pedaço de natureza exótica constitui um fascínio para muitas pessoas, e como tal, o mercado que serve estas atividades e os seus praticantes têm-se vindo a desenvolver ao longo dos tempos.

Com as inovações tecnológicas da segunda metade do século XX que permitiram a criação e massificação de novos produtos mais eficazes na gestão do ambiente dentro dos viveiros como filtros com bomba ou termostatos, manter animais de estimação exóticos passou a estar ao alcance de qualquer pessoa com interesse e disponibilidade suficientes para aprender e cuidar desse tipo de seres vivos [1]. O século XXI trouxe consigo novos sistemas, mais sofisticados, capazes de controlar autonomamente as várias grandezas físicas que caracterizam o ambiente nos viveiros (temperatura, luminosidade, humidade, entre outros) e criar uma aproximação dos *habitats* naturais dos animais que ocupam os viveiros (como é o caso do *Apex Controller*, ilustrado na figura 2). Juntamente com a massificação da Internet, estes avanços, tornaram a aquarofilia e a terrariofilia, práticas de muito fácil acesso [2].



Figura 2 - *Apex Controller* - Controlador de ambiente para aquários

No entanto, deparamo-nos hoje com alguns problemas fundamentais que dificultam a expansão destas atividades para um maior número de pessoas, nomeadamente: A falta de tempo e/ou conhecimento relativamente à manutenção dos viveiros e dos animais; O acesso a informação errónea na *Web* [3]; A implementação errada ou deficiente do controlo das grandezas físicas necessárias para a criação dum ambiente apropriado às espécies em questão.

Com base numa análise feita aos produtos existentes no mercado na área do controlo de ambiente para aquários e terrários, esta dissertação consiste no desenvolvimento de um protótipo de um produto que vise colmatar os problemas

supramencionados para o caso da terrariofilia, de modo a atender a uma necessidade de mercado que se encontra por explorar.

1.1. CONCEITOS

Os animais normalmente mantidos em terrários são animais de sangue frio (répteis, anfíbios e insetos). Quer isto dizer que dependem da temperatura envolvente para se termorregularem. Como tal, é fundamental que a temperatura no terrário esteja sempre dentro dos valores que a espécie requer. Um aspeto chave para o sucesso na manutenção de muitas destas espécies é o de proporcionar um gradiente de temperatura no viveiro, ou seja, que em diversos pontos do terrário existam várias temperaturas diferentes de modo a que o animal se posicione de acordo com a sua necessidade térmica [4]. Na grande maioria dos casos, as espécies mantidas em cativeiro como animais de estimação requerem temperaturas acima da temperatura ambiente. Como tal, é prática comum utilizar-se um elemento que irradie calor para o viveiro (como uma lâmpada de cerâmica, ilustrada na figura 3-a), ligado a um controlador de temperatura que garanta um valor adequado no local mais frio do terrário [5]. Isto irá criar um gradiente de temperatura desde o local mais frio até ao elemento irradiador.



Figura 3 - Periféricos - a) Lâmpada de cerâmica emissora de calor; b) Lâmpada *basking spot*; c) Lâmpada ultravioleta; d) *Lunar Simulation Module* da marca *Neptune Systems*; e) *Mister Monsoon RS400* da marca *Exo Terra*; f) *Terra Fan Set* da marca *Lucky Reptile*

Por vezes existe também a necessidade de criar uma zona no terrário que seja especialmente mais quente que o resto, mas sem afetar notoriamente a temperatura geral do viveiro. A isso chama-se criar um *basking spot*, que serve por exemplo para que alguns dos animais consigam atingir temperaturas elevadas o suficiente para digerir a comida [6]. Para criar essa área é utilizada uma lâmpada incandescente própria para o efeito (ver figura 3-b), ligada a um controlador de temperatura que previna que a temperatura desejada não é excedida. A lâmpada emite um feixe de luz concentrada que cria no local onde incide uma área particularmente mais quente onde o animal se pode aquecer. Através da variação proporcional da luminosidade emitida, é também possível utilizar este tipo de lâmpadas para simular as variações da luz solar como o nascer do sol e o pôr do sol, por exemplo.

Além de calor, alguns répteis precisam também de luz ultravioleta, pois é através desta que processam a vitamina D, crucial para manterem um esqueleto saudável [7].

Na figura 3-c) é ilustrada uma lâmpada ultravioleta compacta, usada frequentemente em terrários para suplementar radiação UV aos animais.

Como complemento estético e contributo para o estímulo dos comportamentos naturais dos animais, são por vezes instalados LED ou outras fontes de luz visível nos terrários. Através destes apetrechos é possível, por exemplo, recriar as passagens entre o dia e a noite ou as fases lunares (como o caso do módulo *Lunar Simulation Module* do *Apex Controller* ilustrado na figura 3-d)), dando um aspeto mais natural ao viveiro e melhorando a qualidade de vida dos animais que nele habitam [4].

Para finalizar, convém referir outro aspeto importante para alguns dos animais de estimação de terrário que é a humidade. São necessários valores relativamente elevados de humidade para que anfíbios e outros tipos animais de climas húmidos possam viver saudavelmente. Existem várias maneiras de aumentar a humidade no terrário, uma das mais eficazes é recorrendo a um *mister* (ver figura 3-e). O objetivo deste equipamento é o de simular aguaceiros através da aspersão faseada de água dentro do terrário. Em alguns casos, para evitar a estagnação do ar no terrário, especialmente quando húmido, é necessária a utilização de uma ventoinha (ver figura 3-f) que aumente a circulação e a renovação do mesmo. A circulação forçada do ar através duma ventoinha é também utilizada de modo a baixar a temperatura no viveiro caso esta ultrapasse os limites pretendidos.

Tal como referido, de modo a gerir estas dimensões físicas são utilizados controladores que moldam o ambiente no viveiro conforme o indicado pelo utilizador. Existem vários tipos de controladores (ver capítulo 2 – Estado da Arte), que controlam os diferentes parâmetros que constituem o ambiente no terrário. Através do controlo dos 6 diferentes parâmetros de ambiente indicados (temperatura geral, temperatura no *basking spot*, humidade, iluminação ultravioleta, iluminação visível e circulação do ar) é possível responder efetivamente às necessidades da grande maioria das espécies encontradas à venda como animais de estimação para terrários.

É de salientar que a qualidade do ambiente proporcionado aos animais que ocupam o viveiro refletir-se-á sempre de forma extremamente significativa na sua saúde e conseqüentemente no seu aspeto, comportamento e longevidade.

1.2. CONTEXTUALIZAÇÃO

Em julho de 2013, um dos vencedores do concurso “Passaporte para o Empreendedorismo”, promovido pelo IAPMEI, ao abrigo do Programa Estratégico para o Empreendedorismo e Inovação, foi um projeto com uma ideia de negócio ligada à inovação tecnológica na área dos controladores de ambiente para viveiros de animais de estimação exóticos (ver anexo A).

No âmbito desse projeto realizou-se um estudo de mercado para perceber quais as necessidades dos consumidores que não estavam a ser satisfeitas pelas propostas das marcas existentes e que se pudessem traduzir em oportunidades de negócio rentáveis.

Posteriormente foi elaborada uma lista de possíveis produtos a desenvolver que fossem capazes de ir ao encontro dessas necessidades por responder, tendo a automação da manutenção dos viveiros e respetivos animais principal destaque como fator de diferenciação. Com isto pretendia-se tornar mais simples e atrativo o cuidado de animais exóticos, de modo a expandir o mercado para novos praticantes do *hobby* assim como atrair clientes das marcas já estabelecidas.

Uma das propostas era a do desenvolvimento de um sistema capaz de criar e gerir autonomamente ambientes para viveiros de animais de estimação exóticos sem necessitar para isso de configuração por parte do utilizador. Além disso, o sistema funcionaria como guia para o utilizador, dando informações sobre como proceder relativamente aos animais em questão. A este produto deu-se nome de VIIV – Viveiro Inteligente, e foi pensado para duas versões, uma para aquários e uma para terrários, esta última sobre a qual se debruça este trabalho.

O sistema foi idealizado de modo a responder aos requisitos de ambiente das espécies normalmente mantidas como animais de estimação em terrários, exercendo para isso o controlo dos parâmetros apontados no subcapítulo anterior através de actuadores e sensores. Possuiria também uma base de dados onde constaria a lista de animais compatíveis com o sistema e respetivos dados. Através desses dados o VIIV irá administrar todo o processo de gestão do ambiente e orientação do utilizador, consoante o animal escolhido.

Dadas as suas características, o processo de desenvolvimento do VIIV abrange muitos dos tópicos abordados no âmbito do Mestrado em Sistemas Autónomos. Como tal, com base nas diretrizes referidas anteriormente, e com vista na futura concretização

e comercialização deste sistema, realizou-se uma proposta de tese que consistia no desenvolvimento de um protótipo que validasse os conceitos desenvolvidos. O presente documento é o resultado do trabalho realizado no âmbito dessa tese, desenvolvida no Laboratório de Sistemas Autónomos do Instituto Superior de Engenharia do Porto.

1.3. ANÁLISE DE MERCADO E CENÁRIOS DE APLICAÇÃO

O mercado da aquariorfilia e terrariofilia é de dimensão global com um volume mais acentuada em países como a Alemanha, E.U.A., Reino Unido ou Japão.

De acordo com o inquérito de 2015 da *APPA National Pet Owners Survey*, cerca de 16 milhões de lares norte-americanos possuem pelo menos um aquário enquanto outros 5 milhões detêm pelo menos um terrário [8]. Estima-se que só em Inglaterra existam 7 milhões de répteis mantidos como animais de estimação, tendo ultrapassado em 2008 a população de cães de companhia no país, segundo o jornal *Daily Telegraph* [9].

Em Portugal, a vimaranense *Aquatlantis* é a maior empresa nacional no fabrico de aquários, terrários e produtos relacionados, tendo marca própria e exportando 97% daquilo que produz. A firma tem em curso um investimento de 2,7 milhões de euros para os anos de 2016 e 2017 que visa aumentar a sua estrutura e capacidade de produção [10].



Figura 4 - Camaleão Pantera no *Reptile Super Show*; Um dos maiores eventos dedicados à terrariofilia com milhares de visitantes todos os anos

De modo a detetar possíveis necessidades de mercado e consequentes oportunidades de negócio, procedeu-se a uma análise onde se estudaram os vários produtos disponibilizados pelas marcas existentes. Decidiu-se manter o foco nos equipamentos de controlo de ambiente para aquários e terrários (ver figura 5), pois este é um dos segmentos com maior potencialidade para a aplicação de tecnologia diferenciadora.



Figura 5 - Controlador de ambiente para terrários *Herpkeeper* da marca *Digital Aquatics*

Feita uma análise aos produtos existentes (ver anexo A), retiraram-se as seguintes conclusões:

- A maioria dos controladores é apenas capaz de criar ambientes “estáticos”, baseados em configurações que se mantêm constantes ao longo do tempo. Embora alguns dêem a hipótese de definir uma temperatura diurna e outra noturna, poucos são aqueles que simulam as importantes transições como o nascer do sol e pôr do sol, e ainda menos aqueles que introduzem as flutuações típicas das estações do ano. Isto é principalmente notório nos sistemas de controlo para terrários. Estas transições são importantes pois aproximam o ambiente do cativeiro àquele que seria o *habitat* natural dos animais que ocupam os viveiros, indo de encontro ao seu relógio biológico e estimulando os seus comportamentos naturais [11];
- Existe sempre a necessidade de estudar previamente os requisitos ambientais dos animais, e de saber que tipo de equipamentos são necessários para satisfazer esses mesmos requisitos. Isto faz com que o utilizador fique sujeito a recolher informação, que muitas vezes pode ser errada;
- A maior parte dos controladores não possui rotinas *default* consoante *habitat* ou animal, pelo que a responsabilidade de recriar o ambiente ideal para os animais através da programação do controlador recai sempre sobre o utilizador;
- Todos os produtos disponíveis no mercado, são alheios à fauna que habita os viveiros onde estão instalados, e como tal nunca se responsabilizam pela gestão dos mesmos, garantindo apenas o controlo de certos parâmetros. Mais uma vez, tem de ser da competência do utilizador, informar-se e gerir as necessidades da população dos viveiros em tudo o que vá para além do controlo das características dos periféricos automatizados (alimentação, compatibilidade com outros animais, mudas de água, entre outras necessidades);
- Excluindo os controladores de gama alta direccionados para a aquariofilia marinha, a esmagadora maioria dos produtos observados são apenas dotados de interfaces rudimentares compostas por displays gráficos monocromáticos e botões tácteis. E embora sirvam perfeitamente as necessidades de interação homem-máquina das unidades de funcionalidade mais básica, nos equipamentos mais complexos tornam-se um empecilho bastante óbvio, especialmente se o

objetivo for criar uma rotina que simule de forma mais ou menos fiel os ciclos naturais ao longo do dia e do ano.

Conclui-se então que, de todos os produtos analisados, não existe nenhum que não exija uma grande quantidade de conhecimento prévio por parte do utilizador, e que não o “empurre” para um processo trabalhoso e propenso a erros, do tipo tentativa/erro aquando do estudo e implementação das rotinas de simulação dum ambiente natural.

Isto advém do facto da inovação tecnológica no mercado da aquariofilia e terrariofilia, não ter como prioridade a eliminação (ou uma drástica redução) da atividade humana no processo de manutenção dos viveiros e das espécies. Tal deve-se principalmente à ideia preconcebida de que a manutenção e a pesquisa por informação são parte integral da atividade. Como tal, as marcas continuam a apostar em produtos que facilitem o trabalho de quem cuida dos viveiros, mas ignoram um público que apesar do interesse em manter um aquário ou um terrário, não possui disponibilidade ou conhecimento necessários para a prática, ou simplesmente não quer ter o trabalho de pesquisa/implementação normalmente associado a esta atividade.

A potencialidade desse público-alvo motiva a tentativa de quebra deste paradigma através da criação de um produto inovador, que vá diretamente ao encontro das necessidades destes diferentes mas potenciais consumidores. Ao transferir a maior parte da responsabilidade do dono do animal para o sistema autónomo, estar-se-á a apresentar uma mudança radical face ao mercado concorrencial. Através disso, além de atrair clientes, será possível fazer com que estes *hobbies* cheguem a muito mais gente e a uma parcela mais generalizada da população.

1.4. OBJETIVOS

Feita a análise, surge a ideia de desenvolver um produto que fosse capaz de dar resposta aos problemas mencionados anteriormente. Nomeadamente, que criasse de forma autónoma um ambiente de carácter natural e não estático adequado às espécies a ser acomodadas no viveiro, sem que para isso o utilizador tenha que programar parâmetros ou rotinas de controlo de ambiente. Além disso, o sistema comunicaria com o utilizador através de mensagens num interface cuidado e intuitivo, de modo a ajuda-lo a executar tarefas não automatizáveis necessárias e informa-lo sobre o estado e

características do seu viveiro e animais. Ou seja, um sistema que guiasse o utilizador através da sua experiência como aquarífilista/terrariófilista, ao invés de ser o utilizador a guiar o sistema, como normalmente acontece.

O objetivo global deste trabalho é o da construção de um protótipo da versão para terrários do VIIV, onde seja possível verificar os princípios de funcionamento e aspetos gerais da sua utilização. De acordo com o plano de trabalho idealizado, traçaram-se os seguintes objetivos:

- Desenvolvimento da arquitetura do sistema;
- Desenho dos esquemáticos, *design* e construção das PCB que constituirão o *hardware* do VIIV;
- Desenvolvimento e implementação do *software* desde as camadas de mais baixo nível como os *drivers* dos diversos componentes até ao nível mais alto, relativo à aplicação gráfica e interface com o utilizador;
- Encapsulamento de toda a eletrónica de forma a melhor mostrar o aspeto idealizado do produto final.

As escolhas feitas no processo de desenvolvimento irão refletir desde início o objetivo a longo prazo que será a produção em série deste produto. Como tal, haverá sempre a preocupação em procurar desde logo componentes com boa relação entre qualidade, funcionalidade e preço, além do cuidado contínuo na conceção do código de forma a racionar eficientemente tanto a memória necessária como o volume de processamento para evitar a utilização de microprocessadores de gamas mais altas, por norma mais caros.

Apesar das limitações de tempo e recursos próprias deste tipo de trabalho académico, pretende-se que o sistema produzido no âmbito desta tese possua grande parte das características do produto final idealizado. Quer-se com isto tornar claro as vantagens da utilização deste sistema e construir uma base sólida para o desenvolvimento futuro de uma versão final comercializável. Abaixo listam-se as características idealizadas para o sistema, segundo as quais se irá traçar uma análise qualitativa do resultado final:

- Tal como referido em 1.1, através do controlo dos 6 parâmetros que usualmente definem o ambiente nos viveiros (temperatura geral, temperatura no *basking spot*, humidade, iluminação ultravioleta, luz visível e circulação do ar), é

possível criar as condições necessárias à vida em cativeiro para a maioria das espécies mantidas como animais de estimação de terrário. Como tal, para que o sistema tenha uma aplicabilidade global, exige-se que este seja capaz de controlar rigorosamente os parâmetros supracitados para que consiga responder às necessidades das espécies mais populares (e consequentemente mais comuns) no mercado da terrariofilia;

- Dado que nem todos os animais necessitam obrigatoriamente do controlo de todos os 6 parâmetros supracitados, e seguindo o exemplo de alguns dos sistemas que se encontram atualmente no mercado, pretende-se criar um sistema modular que permita ao comprador adquirir apenas os módulos necessários à criação do ambiente para o seu animal, reduzindo assim o custo final da compra;
- Além de proporcionar as condições básicas necessárias à vida das espécies a manter, pretende-se também que o sistema crie um ambiente não estático no viveiro, que tenha um carácter mais natural, onde as mudanças meteorológicas se façam sentir ao longo do dia e do ano;
- De modo a anular a exigência de conhecimento por parte do utilizador relativamente à criação dum ambiente correto para o animal desejado, será necessário dotar o sistema de uma base de dados onde estarão listados os animais normalmente encontrados no *hobby* e respetivas informações (salvaguardam-se casos específicos não compatíveis com o VIIV). Estes dados também servirão (para além de instruir o sistema sobre como deverá ser o ambiente no viveiro para cada animal da lista) para fornecer ao utilizador informações essenciais sobre os seus animais de estimação, de forma a tornar as atividades não automatizáveis menos exigentes. Esta base de dados será preconcebida, e idealmente construída por profissionais da área da zoologia;
- A utilização do sistema deverá ser simples e intuitiva e permitir uma comunicação fácil entre o VIIV e o utilizador.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

Este relatório está organizado em 7 capítulos.

No capítulo 1 faz-se o enquadramento da dissertação onde são explicados os conceitos associados e é apresentada uma análise do mercado alvo. São também listados os objetivos a atingir com este projeto.

No capítulo 2 é demonstrado o estado da arte através duma análise aos controladores existentes nos mercados dos aquários e dos terrários que se relacionam com a proposta a desenvolver, expondo as características dos produtos considerados mais relevantes.

No capítulo 3 são listados os requisitos definidos para a concretização dos vários aspetos do sistema. Começa-se por analisar as necessidades ambientais dos animais mais populares no *hobby*. De acordo com as conclusões retiradas dessa análise especificaram-se as dimensões físicas a controlar nos viveiros e como serão implementadas de modo a aproximar-se da meteorologia dum ambiente natural. Para finalizar são delineadas as características para a interface com o utilizador.

No capítulo 4 são esquematizadas as várias partes que compõe o sistema através da elaboração da arquitectura geral. Foi desenvolvida a arquitectura funcional onde são delineadas as funcionalidades do sistema que estarão na base da criação do *software* e explicados alguns dos conceitos associados como o controlo de potência AC com tirístores e o controlador PID. É também apresentado em detalhe a arquitetura lógica e física da Unidade de Controlo, HMI e o conjunto dos 6 módulos do VIIV e explicado como ficará organizado fisicamente o sistema através duma descrição das várias partes constituintes. Foi abordado também o *hardware* a utilizar e descritas as bibliotecas de funções selecionadas para integrar no código. No final é descrito como será constituído o servidor *Bluetooth* e que dados serão transmitidos via *wireless*.

O capítulo 5 ilustra as várias fases do processo de desenvolvimento e construção do protótipo. Em primeiro lugar é mostrada a placa de testes elaborada com o intuito de validar os vários componentes a utilizar no projeto. Posteriormente, são expostos os processos de criação das diferentes versões das PCB da HMI, Unidade de Controlo assim como dos módulos desenvolvidos. É também ilustrado e descrito o *software* implementado das várias partes que constituem o sistema. Para terminar é explicado com mais detalhe o funcionamento da geração e controlo dos valores das grandezas físicas que caracterizam o ambiente no terrário, e a sua variação ao longo do dia e do ano, fazendo um ponto de comparação com a meteorologia de certos *habitats* naturais.

No capítulo 6 são expostos os resultados obtidos que validam o projeto. Os resultados incluem os gráficos que demonstram o rigor do controlo das temperaturas, assim como a progressão ao longo do dia e do ano das dimensões físicas controladas no viveiro. É exposto o aspecto físico das peças construídas ao longo deste trabalho que correspondem à HMI, Unidade Central e Módulos mostrando assim a aparência final do protótipo desenvolvido. É também apresentado o aspeto da interface gráfica do sistema e descritas as funcionalidades implementadas.

O Capítulo 7 refere-se às considerações finais perante os resultados obtidos, e onde são apresentadas perspectivas de trabalho futuro com vista na produção de uma versão comercializável do VIIV.

2. ESTADO DA ARTE

Os produtos com as funcionalidades que mais se assemelham àquilo a que o VIIV se propõe fazer são os controladores de ambiente para viveiros. Estes equipamentos são encarregues de controlar os periféricos tais como lâmpadas de aquecimento, lâmpadas ultravioleta ou humidificadores no caso dos terrários, e resistências de aquecimento, turbinas ou doseadores de químicos no caso dos aquários. Ao atuarem, estes sistemas variam as grandezas físicas (como a temperatura, luminosidade ou humidade) que caracterizam o ambiente dos viveiros, recriando de forma mais ou menos aproximada conforme o nível de complexidade do produto, certas características ambientais dum dado *habitat* ou evento meteorológico. O *output* dos actuadores resulta dos valores lidos pelos sensores do sistema (normalmente de temperatura e/ou humidade no caso dos terrários), assim como das definições optadas pelo utilizador relativamente ao resultado a obter.

Os controladores, tal como o mercado dos animais exóticos, dividem-se em dois grandes grupos: o da terrariofilia e o da aquariofilia. Apesar deste trabalho se debruçar essencialmente sobre o desenvolvimento da versão para terrários do VIIV, é importante olhar também para os produtos existentes no mercado da aquariofilia pois os conceitos base são semelhantes e transversais aos dois meios. Optou-se no entanto por se proceder à análise dos dois mercados separadamente, começando pelos equipamentos para

terrários. No anexo 1 encontra-se a tabela que contém a informação sintetizada relativa aos produtos analisados, a qual se aconselha uma consulta de modo a melhor entender o decurso deste capítulo.

2.1. CONTROLADORES DE AMBIENTES TERRESTRES

No geral, os equipamentos dedicados à manutenção do ambiente no interior dos terrários são ainda algo rudimentares. A maioria dos produtos são compostos apenas por termostatos, higróstatos e temporizadores que ligam ou desligam saídas de potência onde se conectam os periféricos que se pretendem controlar (aquecedores, humidificadores, iluminação, entre outros). Exemplos desses casos são a gama de termostatos digitais da *Vivarium Electronics* [12], o *DBS-1000* da *Helix Control Systems* (figura 6) [13] ou o *Digital Thermostat/Hygrostat* da *Trixie* [14].



Figura 6 - *DBS-1000* da marca *Helix Control Systems*

Ligeiramente mais desenvolvidos são os controladores *Prime* da marca inglesa *Microclimate* [15] (ver figura 7) que permitem definir até 8 temperaturas para diferentes momentos do dia. Estes sistemas possuem 2 a 3 saídas AC que além de servirem para alimentar elementos irradiadores de calor consoante os valores de temperatura a atingir, podem também ser configurados como saídas on/off para ligar ou desligar periféricos como lâmpadas ultravioleta ou *misters* em dadas alturas do dia. Além disso, é possível ligar o controlador a um computador via USB e descarregar o *log* das temperaturas registadas para observação. Através do computador pode-se também configurar e monitorizar o equipamento.



Figura 7 - Prime1 da marca Microclimate

O *Eco500 VivariumController* da marca *EcoZone* [16], ilustrado na figura 8, para além de controlar a temperatura, luminosidade (diurna/noturna) e humidade, aplica também uma variação nestas três características ao longo do dia e do ano, criando um ambiente “não-estático”, próximo daquilo que os animais experienciariam num *habitat* natural.



Figura 8 - *Eco500* da marca *EcoZone*

Este controlador vem também com 4 *setups* genéricos que ajustam automaticamente as características ambientais de modo a simular o clima do deserto, savana, floresta tropical ou floresta temperada. O controlo das temperaturas é feito de forma proporcional o que lhe atribui um maior rigor na sua manutenção. É no entanto, um produto claramente direcionado para utilizadores experientes, pois apesar dos *setups* genéricos, é necessário investir bastante tempo na programação das rotinas de modo a obter um ambiente adequado e de carácter natural. Não se pode deixar de salientar também que para criar esse ambiente é necessário o utilizador dispor de conhecimentos sobre que equipamentos são necessários obter e de que forma os aplicar num grande leque de opções que este produto permite. Além disso, para saber quais os valores das grandezas físicas a obter para cada momento do dia e do ano, o utilizador terá primeiro

de estudar as características do clima mais adequado para o animal em cativeiro e posteriormente programar o equipamento em conformidade. Tudo isto, aliado ao facto da interface ser composta apenas por um *display* de caracteres 16x2 e 4 botões tácteis, tornam este produto muito pouco apetecível para o público mais generalizado.

Com um funcionamento bastante semelhante ao *Eco500*, o *HerpKeeper Pro* da *Digital Aquatics* [17] introduz um conceito diferenciador ao apresentar um sistema modular onde o utilizador pode adquirir apenas o equipamento necessário à criação do ambiente adequado ao animal em questão. Mantém no entanto todos os problemas do produto analisado anteriormente.

Vale a pena mencionar o *EVO*, também da *Microclimate* [18], por ser o único dos controladores para terrário analisados cuja interface é composta por um ecrã táctil a cores, tornando toda a interação com o sistema mais fácil e intuitiva, tal como ilustra a figura abaixo.



Figura 9 - *EVO* da *Microclimate*

A seguinte tabela expõe a capacidade de controlo dos controladores analisados relativamente às 6 grandezas físicas através das quais normalmente é caracterizado o ambiente no terrário (ver 1.1 - Conceitos).

Tabela 1 - Características de controlo de ambiente dos produtos analisados

Nome	Temperatura geral	Temperatura <i>basking spot</i>	Humidade	Iluminação ultravioleta	Iluminação visível	Ventilação
DBS-1000	✓*	✓*	-	-	-	-
VE-300	✓*	✓*	-	-	-	-
Digital Thermostat / Hygrostat	✓*	✓*	✓	✓	-	-
Eco500	✓	✓	✓	✓	✓	-
Prime1	✓	✓	-	✓	-	-
HerpKeeper Pro	✓	✓	✓	✓	✓	-
EVO	✓*	✓*	-	✓	-	-

Os asteriscos indicam equipamentos que possuem apenas um sensor de temperatura e como tal só permitem controlar individualmente ou a temperatura geral ou a temperatura no *basking spot*.

2.2. CONTROLADORES DE AMBIENTES AQUÁTICOS

O mercado da aquariofilia é no entanto, muito diferente do caso da terrariofilia. Devido à maior popularidade deste *hobby* e às grandes quantias muitas vezes investidas na fauna do aquário, a indústria dos controladores de ambientes aquáticos é muito mais desenvolvida, tanto tecnologicamente como qualitativamente. A aquariofilia marinha, onde os aquários de recifes de coral têm principal destaque, é o principal impulsionador desta indústria. Os corais e alguns dos peixes provenientes desses *habitats*, além de caros, são bastante sensíveis a variações nas características do ambiente onde estão inseridos. Como tal, existe uma maior procura por produtos que consigam controlar eficazmente os parâmetros da água e de todo o meio envolvente, e que sejam também capazes de criar um ambiente mais aproximado daquilo que é o *habitat* das espécies em

questão. Além da exigência no controlo, existe também uma maior preocupação com funcionalidades de realismo estético pelo que muitos destes produtos simulam o nascer e o pôr do sol, tempestades, o ciclo lunar, entre outros (é o caso do *Apex Controller* [19] ou do *ReefKeeper* [20] ilustrado na figura 10). Alguns destes sistemas são até dotados de controlo via *web*, com aplicações para *smartphone* ou *tablet*, como é o caso do *Ecosmart Live* da empresa *Echotech Marine* [21].



Figura 10 - *ReefKeeper Elite* da marca *Digital Aquatics*

Determinadas marcas utilizam também sistemas modulares tal como o *ReefKeeper*, ilustrado na figura acima, de modo a tornar o produto mais *cost effective* para o comprador.

O Fishbit [22] é um controlador de ambientes aquáticos criado por uma empresta *startup* no início de 2016 com o objetivo de tornar mais simples para o utilizar montar e manter um aquário. A interface com o utilizador é um dos pontos mais fortes deste equipamento, e consiste numa aplicação para *smartphone* que informa o utilizador sobre o estado do aquário e ajuda-o a resolver eventuais problemas detetados [23].

A empresa Fishbit lançou o seu controlador com uma abordagem de simplificação face e planeia chegar ao mercado no final de 2016.

Existem também alguns produtos com os quais é possível relacionar o VIIV a nível conceptual, os chamados aquários “*plug and play*”. Estes aquários vêm providos de muitos dos equipamentos necessários para manter uma grande variedade de peixes, mas pecam por não possuírem nenhum sistema de controlo para além de termostato e de temporizadores (*BiOrb Aquarium/Air* da *Reef-One* [24], *Fluval Edge* da *Fluval Aquatics* [25], ilustrado na figura 11, ou *MAX Concept* da *Red Sea* [26]).



Figura 11 - Fluval Edge

Na generalidade, os controladores de gama mais alta possuem interfaces mais intuitivas e cuidadas do que os equivalentes na terrariofilia. No entanto, necessitam igualmente de serem convenientemente programados pelo utilizador de modo a obter o ambiente pretendido.

2.3. CONCLUSÕES

Embora extremamente funcionais, todos os produtos para terrários analisados são desenhados para que utilizador esteja sempre “obrigado” a estudar todo o processo de criação e manutenção dum ambiente adequado ao animal desejado, e posteriormente a uma implementação desse ambiente, baseada na informação a que teve acesso. Este processo é moroso e propenso a erros já que a maior parte da informação relativa a estas temáticas está dispersa e é muitas das vezes obtida em fóruns *online* onde os praticantes dos *hobbies* partilham a sua experiência sem grandes critérios de rigor científico. Apesar de alguns destes sistemas serem capazes de criar ambientes aproximados dos *habitats* naturais, a programação das rotinas de controlo fica sempre ao critério de cada utilizador, limitado pelas suas capacidades e conhecimentos sobre o assunto. Isto pode ter um efeito especialmente negativo quando resulta na criação de condições deficientes para acolher o animal. Principalmente se proporcionar ao animal uma vida de mau estar com repercussões na sua saúde. Isso irá inevitavelmente frustrar qualquer praticante

pois como é de esperar, a experiência só se torna gratificante se as espécies prosperarem. Comparando uns com os outros, nenhum dos produtos observados é capaz de reduzir significativamente o tempo necessário a investir em pesquisa por informação, estudo, experimentação e montagem do viveiro. Além disso, não há nenhum mecanismo que forneça qualquer tipo de informação que ajude e acompanhe o utilizador nas tarefas de manutenção dos viveiros e respetivos animais.

Importa também referir que comparativamente aos seus correspondentes aquáticos, os controladores de ambientes terrestres encontram-se bastante menos desenvolvidos tecnologicamente.

3. ANÁLISE DE REQUISITOS





É através da exploração das necessidades de mercado por responder referidas no capítulo anterior que o VIIV se irá distinguir da concorrência e se apresentar como uma proposta de valor. Além das funcionalidades de controlo de grandezas físicas, o VIIV terá de criar um ambiente no viveiro com as características apropriadas às espécies que o utilizador deseje manter, sem requerer para isso qualquer conhecimento por parte do utilizador. Para isso o sistema terá de se autorregular segundo informações obtidas autonomamente. Com isto pretende-se diminuir drasticamente o tempo e esforço requerido a alguém que pretenda criar e manter um viveiro de animais exóticos, tornando esta prática inegavelmente mais atrativa.





De modo a fazer uma análise mais profunda sobre aquilo que é requerido do VIIV decidiu-se dividir a tarefa em várias partes: desde os conceitos basilares que constituem um controlador de ambiente até à maneira como o sistema irá comunicar com o utilizador. No âmbito desta dissertação, os requisitos abaixo listados refletem em grande parte os objetivos deste trabalho, descritos em 1.4.





3.1. CARACTERÍSTICAS FUNDAMENTAIS

Para que o pressuposto relativo à aplicabilidade global deste sistema para a generalidade das espécies normalmente mantidas em terrários se verifique, este terá que responder às necessidades requeridas na maior parte das situações onde são precisos controladores de ambiente. Começou-se então por analisar as características necessárias nos ambientes dos animais de estimação mais populares e conseqüentemente mais comuns no mercado da terrariofilia. A tabela mostrada abaixo ilustra o resultado desse mesmo estudo.

Tabela 2 - Estudo das necessidades de ambiente dos animais de terrário mais populares

Nome	Temperatura geral	Temperatura no <i>basking spot</i>	Humidade	Iluminação ultravioleta	Iluminação visível	Ventilação
Anolis verde 	Entre 18C° e 27C°	Entre 30C° e 33C°	60% a 70% de humidade relativa	8 a 12 horas por dia	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	Ventilação aconselhada para evitar a estagnação do ar húmido
Camaleão do Iémen 	Entre 22C° e 27C°	Entre 35C° e 40C°	60% a 70% de humidade relativa	10 a 12 horas por dia	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	Ventilação aconselhada para evitar a estagnação do ar húmido
Camaleão pantera 	Entre 23C° e 26C°	Entre 32C° e 36C°	60% a 80% de humidade relativa	10 a 12 horas por dia	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	Ventilação aconselhada para evitar a estagnação do ar húmido
Caranguejo eremita 	Entre 22C° e 25C°	-	70% a 85% de humidade relativa	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-

<p>Cobra do milho</p> 	Entre 22C° e 29C°	-	-	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Cobra rei da Califórnia</p> 	Entre 21C° e 30C°	Entre 29C° e 32C°	-	-	12 a 14 horas de luz e 10 a 12 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Dragão barbudo</p> 	Entre 18C° e 30C°	Entre 30C° e 40C°	-	12 a 14 horas por dia	12 a 14 horas de luz e 10 a 12 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Dragão de água chinês</p> 	Entre 23C° e 31C°	Entre 32C° e 36C°	70% a 80% de umidade relativa	8 a 12 horas por dia	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Escorpião Imperador</p> 	Entre 23C° e 29C°	-	60% a 80% de umidade relativa	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Gecko Leopardo</p> 	Entre 23C° e 32C°	-	-	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Iguana verde</p> 	Entre 23C° e 29C°	Entre 35C° e 42C°	65% a 75% de umidade relativa	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-

<p>Pítton real</p> 	Entre 25C° e 32C°	-	55% a 60% de humidade relativa	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Rã de olhos vermelhos</p> 	Entre 21C° e 29C°	-	60% a 80% de humidade relativa	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	Ventilação aconselhada para evitar a estagnação do ar húmido
<p>Rã seta venenosa</p> 	Entre 22C° e 27C°	-	75% a 90% de humidade relativa	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-
<p>Tarântula de joelho vermelho mexicana</p> 	Entre 21C° e 27C°	-	60% a 70% de humidade relativa	-	10 a 12 horas de luz e 12 a 14 horas de iluminação noturna ou escuridão	-

Como se pode deprender, as condições ambientais que satisfazem as necessidades das espécies observadas podem ser criadas a partir de combinações de 6 diferentes aspetos: Temperatura geral (controlada no local mais frio de forma a criar um gradiente de temperatura), temperatura no *basking spot*, humidade, número de horas de iluminação ultravioleta, número de horas de iluminação visível e ventilação do viveiro. A iluminação visível, apesar de não ser estritamente necessária à sobrevivência dos animais em cativeiro, permite criar um ambiente um pouco mais realista através da recriação da variação da luz solar e lunar ao longo do dia e do ano e estimular assim os comportamentos naturais das espécies.

Por uma questão de otimização de tempo e recursos, o desenvolvimento da versão aquática do VIIV não foi incluído no âmbito desta dissertação. Apesar disso, foi também realizado um pequeno estudo que permitiu concluir que os peixes mais comumente encontrados nos aquários requerem apenas, na sua maioria, iluminação visível, controlo de temperatura da água e monitorização do pH. Esta informação é relevante para o desenvolvimento da arquitetura geral do sistema e da respetiva proposta

de trabalho futuro pois permite relacionar as funcionalidades equivalentes e que estarão presentes em ambas as versões do VIIV (terrestre e aquática) de modo a que não difiram essencialmente uma da outra (ver 4.6).

Assim sendo, podemos considerar doravante que o protótipo a ser construído será relativo apenas à versão terrestre do sistema mas que este não irá diferir significativamente do seu equivalente aquático.

Conclui-se portanto que de modo a que o VIIV tenha uma aplicabilidade global (ou muito próxima disso) no espectro do *hobby*, será necessário que este seja capaz de:

- Controlar a temperatura geral do terrário através do asseguramento dum determinado valor entre 18C° e 32C° na zona mais fria do terrário;
- Criar no viveiro uma zona delimitada especialmente mais quente (*basking spot*) com um leque de valores alcançáveis compreendidos entre 29C° e 42C°;
- Controlar a humidade presente no viveiro entre 0% a 90% de humidade relativa.
- Prover iluminação ultravioleta entre 8 a 14 horas por dia;
- Através da iluminação visível, recriar as várias fases de iluminação solar/lunar ao longo do dia e noite, não só para estimular os comportamentos naturais dos animais como para tornar todo o viveiro esteticamente mais apelativo;
- Ventilar o terrário periodicamente de modo a evitar a estagnação do ar húmido ou para o caso de ser necessário baixar a temperatura.

3.2. CONTROLO DE AMBIENTE

A capacidade de criação de um *habitat* simulado num viveiro é de grande importância para este produto. Não só como fator de diferenciação que torna o VIIV numa oferta mais atrativa, mas também para promover um ambiente de carácter natural onde os animais possam viver saudavelmente. O resultado é uma melhor experiência tanto para o animal de estimação como para o seu dono.

A primeira linha de requisitos relativos ao controlo de ambiente é referente ao rigor no controlo das grandezas físicas que compõe o ambiente do terrário, sobretudo as temperaturas. Além de ser importante para os animais existir estabilidade de temperatura [27], é também essencial atingir com exatidão as temperaturas desejadas para que se possam recriar as subtis mudanças no clima ao longo do dia e do ano. De acordo com esta premissa, exige-se portanto o seguinte:

- Controlo da temperatura do *Basking Spot* com um erro máximo de +/- 0.3C°;
- Controlo de temperatura geral do viveiro com um erro máximo de +/- 0.5C°;
- Controlo da humidade com um erro máximo de +/-10% de humidade relativa.

Além de proporcionar as condições necessárias à vida das espécies a manter, o sistema deverá também ser capaz de criar um ambiente não estático, de carácter natural onde as mudanças climáticas se façam sentir ao longo do dia e do ano, tal como se observa na natureza.

Os tópicos presentes abaixo listam os requisitos exigidos relativos a esta matéria:

- Simular as diversas alturas do dia como o nascer e o pôr do sol, manhã, tarde, noite e madrugada;
- Simular a progressão do clima ao longo do ano, conforme o especificado pelas características do animal em causa;
- Aplicar as mudanças de ambiente tanto ao longo do dia como ao longo do ano de forma gradual e progressiva;
- Introduzir componentes aleatórias nalguns dos parâmetros a controlar de modo a reforçar o carácter não artificial do ambiente no viveiro;
- Para que isto se verifique é necessário que o sistema seja dotado de um relógio interno, programável pelo utilizador, o que dará ao VIIV a base temporal para produzir estas mudanças graduais no ambiente.

3.3. INTERFACE COM O UTILIZADOR

A interface é a ponte entre o utilizador e o VIIV. Mesmo que o sistema seja altamente funcional, as suas capacidades só se provarão uteis se houver uma boa comunicação com o utilizador. Acresce à importância deste ponto a função de guia e conselheiro que se pretende para este produto e a premissa deste não exigir qualquer tipo de conhecimento ao cuidador do terrário. Como tal, é imprescindível que o sistema tenha acesso constante à informação necessária que lhe permita criar e gerir autonomamente o ambiente do viveiro sem que para isso o utilizador o tenha que programar. Informação pertinente deverá ser disponibilizada no sentido de ajudar o utilizador na manutenção do viveiro e respetivos animais.

Tendo estes pressupostos em consideração, listam-se abaixo os requisitos para a *interface* com o utilizador:

- Disponibilizar informações contidas na base de dados, relativas aos animais listados (características gerais, compatibilidade com outros animais, dieta, tipo de ambiente, módulos necessários, entre outros);
- Guiar o utilizador no processo de adicionar e gerir os animais presentes no viveiro em tópicos como a compatibilidade com outros animais ou com o ambiente criado, ou ainda qual o equipamento necessário para criar as condições adequadas no viveiro;
- Mostrar quais os animais presentes no viveiro e toda a informação referente;
- Disponibilizar os valores relativos à temperatura e humidade do terrário, assim como outras informações referentes à presente fase do dia e ao *habitat* natural do animal em questão;
- Disponibilizar uma previsão dos valores a obter no ambiente para as horas seguintes;
- Possibilidade de integração de uma interface alternativa através de *smartphone* com uma aplicação criada para o efeito (a desenvolver fora do âmbito deste trabalho).

É sugerido que, no caso de um eventual desenvolvimento de uma aplicação para *smartphone* que vise criar uma maneira adicional equivalente de comunicar com o sistema, se use um *interface* com um grafismo e funcionalidades semelhantes. Não só por uma questão de compatibilidade mas também por uma questão de relação com o produto original.

4. PROJETO

Concluídos todos os estudos de preparação para a realização do protótipo do VIIV, procedeu-se à sua projeção. O projeto foi elaborado tendo em consideração as conclusões retiradas da análise ao estado da arte e de modo a ir de encontro aos objetivos fixados em 1.4, cumprindo para isso os requisitos enumerados no capítulo anterior.

4.1. ARQUITETURA GERAL

A primeira linha de requisitos a satisfazer é referente às grandezas físicas a controlar. Tal como descrito em 1.1, através da combinação dos *outputs* dos equipamentos que atuam de forma a alterarem cada uma das grandezas, é possível criar as condições necessárias à vida da maioria das espécies normalmente mantidas como animais de estimação em terrários. Como tal, decidiu-se utilizar os seguintes equipamentos que correspondem a cada uma das 6 grandezas que irão moldar as características do ambiente e que estarão na base da criação das condições necessárias à vida dos animais no viveiro:

- Através da alteração gradual do *output* de uma lâmpada de cerâmica (erradia calor sem emitir luz) será possível variar a temperatura geral do terrário e criar um gradiente de temperatura adequado;
- Através da alteração gradual do *output* de uma lâmpada incandescente de *basking spot*, será criada no viveiro uma zona delimitada especialmente mais quente; Ao mesmo tempo, a luminescência variável da lâmpada será aproveitada para simular as variações da luz solar ao longo do dia;
- Ativando ou desativando periodicamente um *mister* será possível controlar a humidade presente no viveiro;
- Ativando ou desativando uma lâmpada ultravioleta segundo um dado horário, será possível fornecer as horas de exposição aos raios UV que as espécies em questão necessitem;
- Regulando a velocidade de uma ventoinha de acordo com um dado horário e com o tamanho do terrário, evitar-se-á a estagnação do ar. Esta servirá também para baixar a temperatura no terrário caso necessário, funcionando em sintonia com os equipamentos relativos à temperatura e humidade;
- Através de iluminação LED que emita ondas visíveis de várias cores, será possível recriar as várias fases de iluminação solar e lunar ao longo do dia, da noite e dos vários meses do ano.

Fazendo um curto aparte, é importante referir que existem outros equipamentos que podem ser usados para atingir os parâmetros mencionados. A título de exemplo, no caso do *basking spot* podem ser também usadas lâmpadas de halogénio ou de vapor de mercúrio. Preferiu-se no entanto os produtos referidos por poderem ser usados de modo mais global.

Tal como explicado, o ambiente no viveiro será gerado através do controlo de 6 periféricos: lâmpada de cerâmica, lâmpada *basking spot*, *mister*, lâmpada ultravioleta, iluminação LED e ventoinha. As necessidades climatéricas de cada animal ditarão uma combinação específica destes 6 equipamentos. Torna-se claro que a criação dum sistema modular, tal como observado noutros produtos como o *HerpKeeper* da *Digital Aquatics* (ver figura 12), será vantajosa pois permite ao utilizador adquirir apenas o equipamento necessário para o seu animal de estimação, baixando por isso o preço final de aquisição do sistema. O sistema de módulos servirá também para facilitar o processo de compra e instalação dos periféricos necessários.



Figura 12 - Vários módulos do sistema *Herpkeeper*

O esquema que aqui se apresenta pretende ilustrar os vários elementos que irão constituir o VIIV:

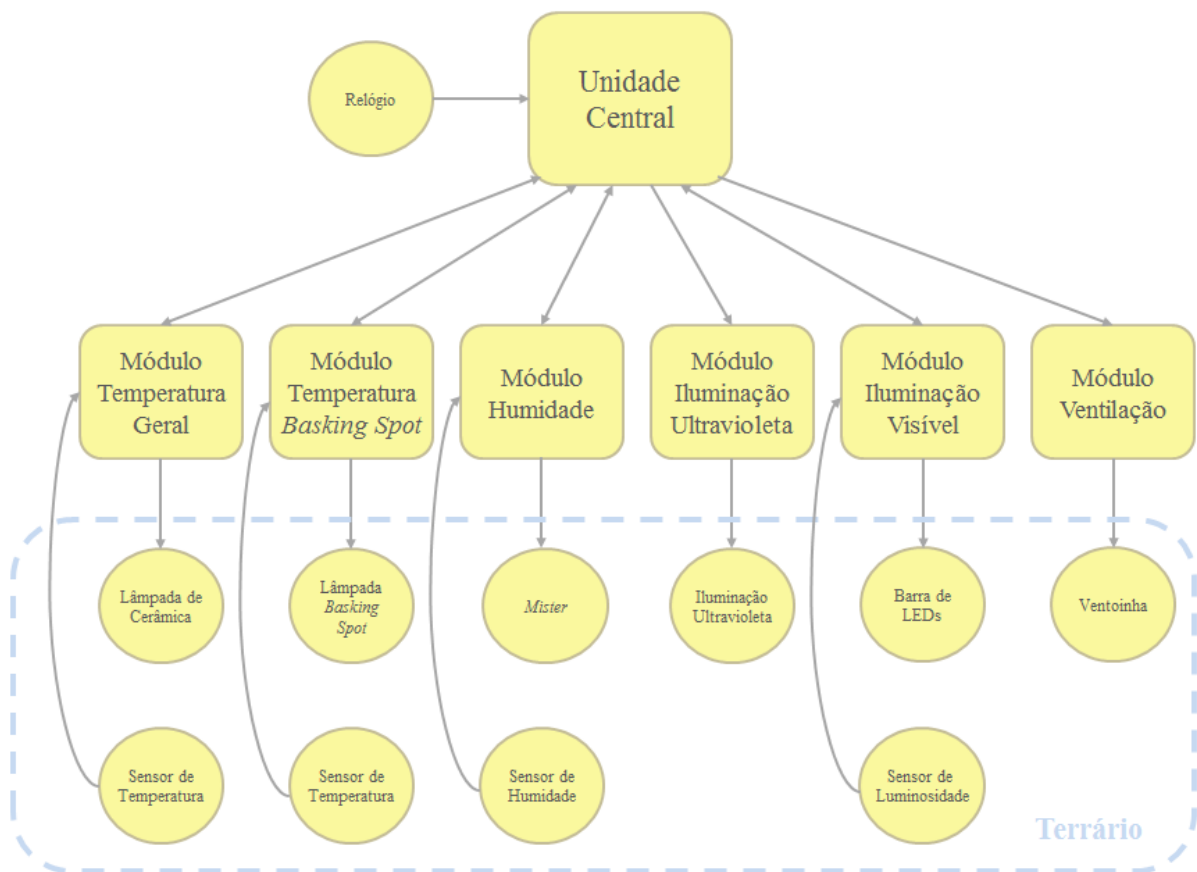


Figura 13 - Esquema da arquitetura de alto nível do VIIV

Unidade Central

Na Unidade Central ficarão alojadas as funcionalidades relativas à comunicação homem-máquina. Todo o processo de criação e gestão das variáveis que irão definir o ambiente sempre mutável do viveiro, assim como a gestão da própria fauna que ditará as características desse mesmo ambiente, estará também ao cargo da Unidade Central. O

tempo será dado por um relógio para que o sistema possa executar as tarefas relacionadas com a passagem das horas e dos dias.

Módulos

Os módulos serão a ponte entre os periféricos a controlar e a Unidade Central. Cada módulo estará associado a uma grandeza física que ao ser variada pela atuação dos equipamentos, irá mudar as características do ambiente no viveiro. É também através dos sensores que estarão presentes em alguns dos módulos que a Unidade Central irá recolher os dados necessários para a gestão do ambiente. O conjunto será composto por 6 módulos, todos diferentes e independentes uns dos outros. Abaixo apresenta-se uma descrição de cada um dos módulos que perfazem o conjunto correspondente à versão terrestre do VIIV:

1. Módulo Temperatura Geral

Será constituído por um sensor de temperatura e um casquilho onde será ligada uma lâmpada de cerâmica. A potência da lâmpada será regulada de modo a garantir um determinado valor na zona mais fria do terrário, onde o sensor deverá ser colocado. Isto criará um gradiente de temperatura no qual o animal se pode posicionar consoante as suas necessidades metabólicas.

2. Módulo Temperatura *Basking Spot*

Será constituído por um sensor de temperatura e um casquilho onde será ligada uma lâmpada *basking spot*. A potência da lâmpada é regulada de modo a criar uma área de maior concentração de luz e calor, simulando os raios de luz solar. Dado que esta lâmpada só estará ativa durante o dia, a sua luminescência será também regulada de forma a simular as variações da luz ao longo do dia, como a aurora ou o crepúsculo.

3. Módulo Humidade

Será constituído por um sensor de humidade e uma entrada AC onde será ligado um *mister*. O *mister* será ativado ou desativado de modo a obter a humidade pretendida.

4. Módulo Iluminação Ultravioleta

Será constituído por um casquilho onde será ligada uma lâmpada ultravioleta. Esta será ativada ou desativada consoante a necessidade de horas de exposição aos raios UV do animal em questão.

5. Módulo Iluminação Visível

Será constituído por uma entrada DC onde será ligada uma barra de LED (incluída no módulo) cuja função é a de simular as várias fases de iluminação solar e lunar. Para isso o sistema irá variar a intensidade luminosa e a cor dos vários LED que compõe a barra.

6. Módulo Ventilação

Será constituído por uma entrada DC onde será conectada uma ventoinha (incluída no módulo). A velocidade de rotação da ventoinha variará consoante a ventilação necessária para fazer circular o ar ou baixar a temperatura.

4.2. ARQUITETURA FUNCIONAL

Gestão técnica

Os módulos serão ligados à Unidade Central através de 3 linhas, e terão 3 linhas de ligação para o respetivo periférico e sensor, tal como ilustra a figura abaixo:

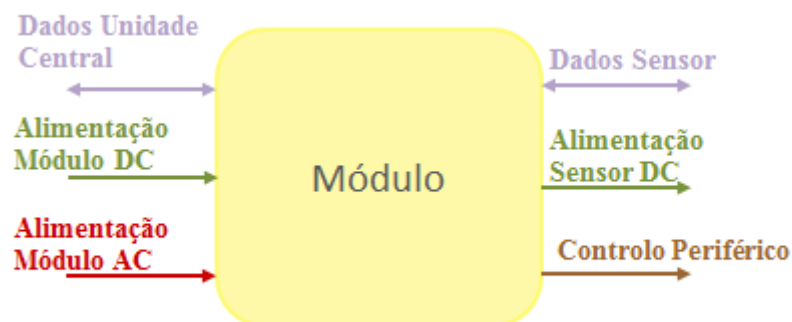


Figura 14 - Esquema do Módulo

Ligação à Unidade Central

1. Dados Unidade Central

Ligação de dados à Unidade Central através da qual serão enviados os valores recolhidos pelo sensor e recebidos dados relativos ao controlo do periférico.

2. Alimentação Módulo DC

Linha de corrente contínua proveniente da Unidade Central.

3. Alimentação Módulo AC

Linha de corrente alternada proveniente da Unidade Central

Ligação ao sensor e periférico

1. Dados Sensor

Linha de comunicação do módulo com o sensor.

2. Alimentação Sensor DC

Linha de corrente contínua proveniente do módulo.

3. Controlo Periférico

Sinal que regulará o *output* do periférico.

Cada um dos seis módulos terá um encaixe individual na Unidade Central, ao qual não será possível ligar outro módulo que não o respetivo. Através da linha de dados, a Unidade Central verificará continuamente quais dos módulos estão ou não ligados ao sistema. Após a sua inicialização, enviará os valores a obter para cada um dos módulos enquanto recolhe os valores medidos através dos seus sensores.

Gestão de controlo

O sistema será composto por 6 módulos diferentes. Cada um deles está associado a uma grandeza física a controlar através da variação do *output* dum dos 6 equipamentos mencionados em 4.1. Os dados relativos a esse mesmo controlo são enviados pela Unidade Central (à qual os módulos estarão conectados), tendo em conta o animal em questão e a altura do dia e do ano.

Módulo Temperatura Geral

A temperatura geral do terrário será controlada através deste módulo, ilustrado na seguinte figura:

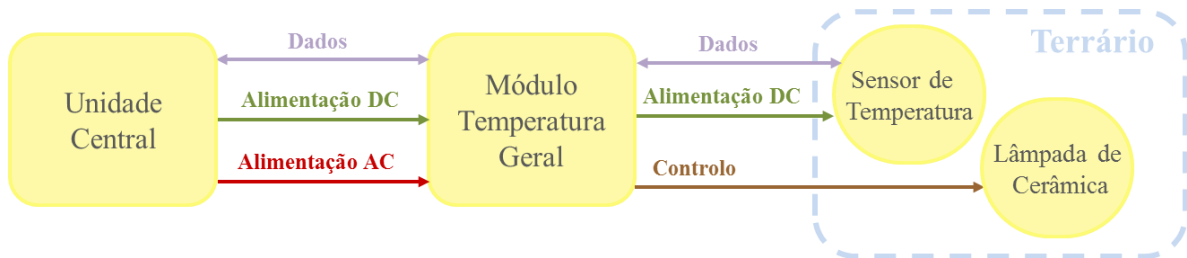


Figura 15 - Esquema do Módulo Temperatura Geral

O sensor enviará para o módulo os valores de temperatura da zona mais fria do terrário (zona mais afastada da lâmpada de cerâmica), onde deverá ser colocado. O módulo aplicará a potência na lâmpada de cerâmica consoante o valor medido e o valor a atingir indicado pelo sistema.

De maneira a variar a potência de alimentação da lâmpada de forma gradual será implementado um controlador de fase usando tirístores no módulo. Este método permite alimentar uma carga apenas em certas fases do ciclo AC, aumentando ou diminuindo assim o seu *output*. Para isso, o microcontrolador terá de variar o momento de disparo dos tirístores consoante a potência que se pretende fornecer. A figura abaixo ilustra vários ciclos AC completos que ao serem fornecidos a uma lâmpada se traduzem no seu brilho máximo.

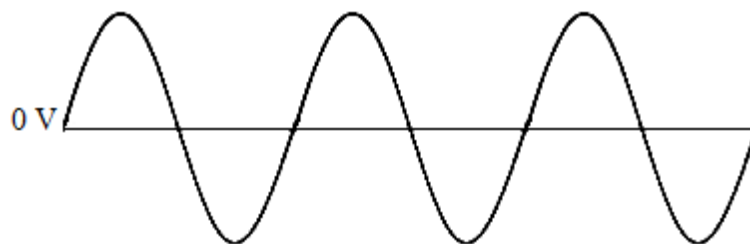


Figura 16 - 3 ciclos AC completos (360°)

Um ciclo AC completo demora na rede elétrica nacional, 10 milissegundos (100Hz), pelo que se se pretende fornecer, por exemplo, apenas metade da potência, é necessário disparar o tiristor cerca de 2.5 milissegundos após cada passagem por 0V o que irá permitir alimentar a carga apenas com metade da potência, como ilustra a figura 17.

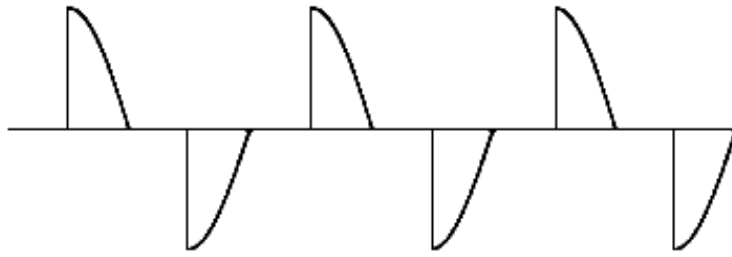


Figura 17 - 3 ciclos AC com metade da potência

Quanto mais “cedo” for disparado o tiristor, mais potência chega até à lâmpada, tal como é exemplificado na figura 18.

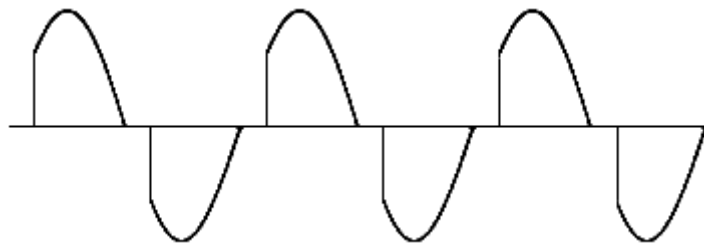


Figura 18 - 3 ciclos AC em condução em $\frac{3}{4}$ de fase

De modo a controlar mais eficazmente a temperatura, será aplicado um controlador PI. O controlador PI é uma modificação do algoritmo PID, onde a ação derivativa é suprimida do modelo de controlo. O seguinte diagrama de blocos ilustra o algoritmo do controlador com as suas três componentes.

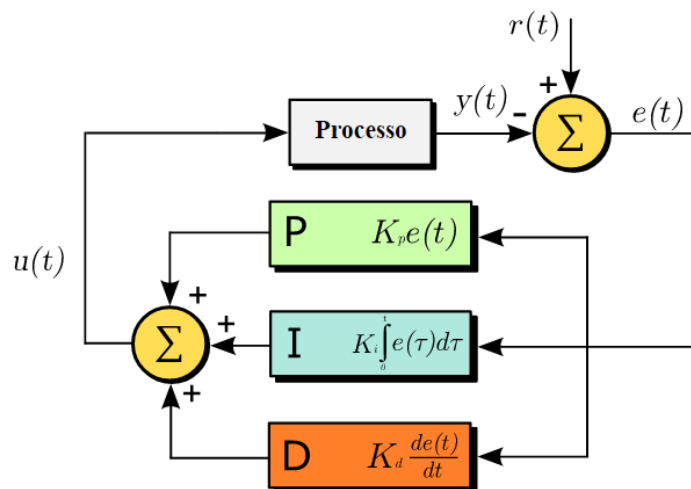


Figura 19 - Diagrama de blocos do controlador PID

Onde:

$e(t)$ é a diferença entre o valor a atingir $r(t)$ e o valor medido $y(t)$, ou seja o erro. Neste caso do controlo de temperatura, representa a diferença entre valor pretendido e o valor medido pelo sensor.

$u(t)$ é o *output* do controlador a ser aplicado no processo, neste caso, a potência aplicada na lâmpada. Este resulta da soma das três componentes que constituem o controlador PID: proporcional, integral e derivativa.

A componente proporcional P produz um valor de *output* que é proporcional ao valor do erro. A resposta proporcional depende também do valor que se decida aplicar no ganho, representado pela constante K_p .

A componente integral I produz um valor de *output* que é proporcional tanto à magnitude do erro como à duração do mesmo. Este termo corresponde à soma dos erros acumulados ao longo do tempo até ao dado momento. A esse valor é aplicado o ganho K_i consoante o tipo de resposta necessária obter do controlador.

A componente derivativa D produz um valor de *output* que resulta da previsão do erro baseada na evolução do erro até então. A esse valor é aplicado o ganho K_d , que varia o peso desta componente no resultado final do controlador.

Tudo isto é traduzido pela função:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

De modo a obter um controlador mais estável e dado que a velocidade de resposta num sistema de controlo de temperatura deste género não é elevada [30], decidiu-se suprimir o termo derivativo da fórmula, obtendo:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

O ajuste dos ganhos torna-se assim também mais fácil de equilibrar, aumentando a rapidez da implementação e afinação do controlador.

Módulo Temperatura *Basking Spot*

A temperatura no *basking spot* do terrário será controlada através deste módulo, ilustrado na seguinte figura:

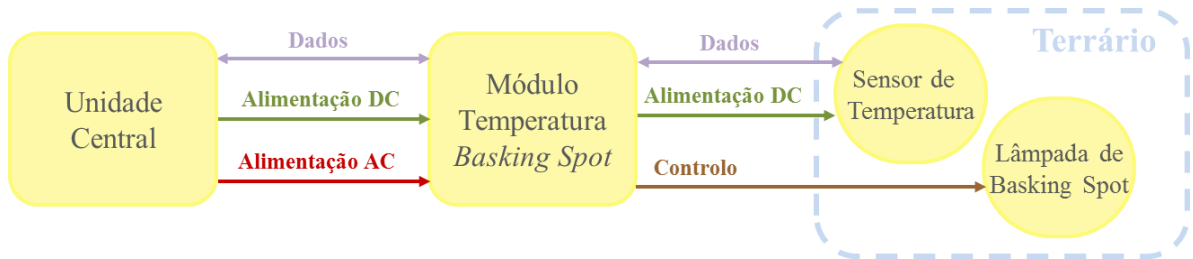


Figura 20 - Esquema do Módulo Temperatura *Basking Spot*

Este módulo é bastante semelhante ao anterior por também se tratar de um controlador de temperatura. O sensor enviará para o módulo os valores de temperatura do *basking spot*, onde deverá ser colocado. O módulo aplicará a potência na lâmpada incandescente consoante o valor medido e o valor a atingir indicado pelo sistema. Tal como no Módulo Temperatura Geral, serão implementados neste módulo um controlador de fase e um controlador PI. A luminosidade variável da lâmpada de *basking spot* será também utilizada para melhor simular o nascer e o pôr do sol, aumentando ou diminuindo o limite máximo de brilho consoante a altura do dia e do ano.

Módulo Humidade

A humidade do terrário será controlada através deste módulo, ilustrado na seguinte figura:

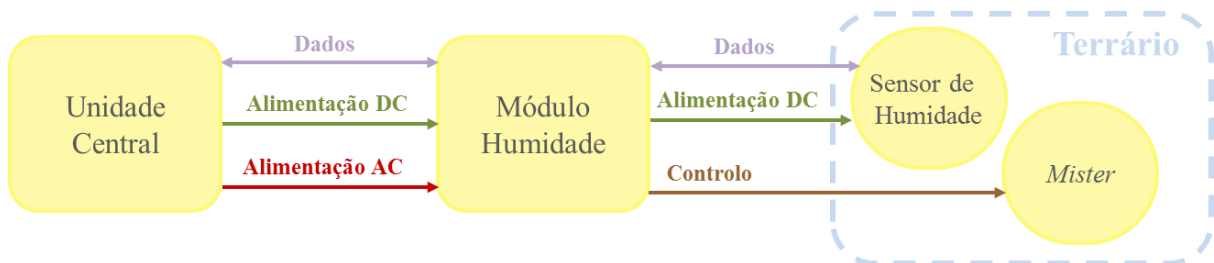


Figura 21 - Esquema do Módulo Humidade

O sensor enviará para o módulo os valores de humidade relativa do ar do terrário. O módulo irá ativar ou desativar um *mister* consoante o valor medido e o valor a atingir indicado pelo sistema.

Módulo Iluminação Ultravioleta

O número de horas de iluminação ultravioleta será controlado através deste módulo, ilustrado na seguinte figura:

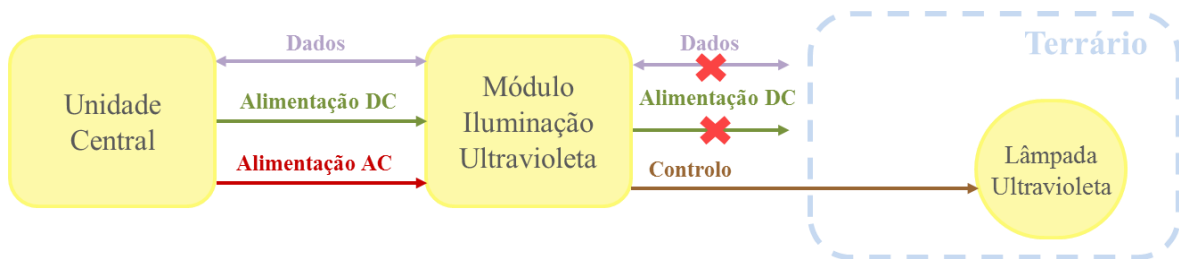


Figura 22 - Esquema do Módulo Iluminação Ultravioleta

Este é o mais simples de todos os módulos, e irá ativar ou desativar uma lâmpada ultravioleta consoante o número de horas indicado pelo sistema. Ao contrário dos módulos anteriores, o Módulo Iluminação Ultravioleta não possui nenhum sensor pelo que as respetivas linhas de comunicação e alimentação não são necessárias.

Módulo Iluminação Visível

A intensidade e a cor da iluminação visível serão controladas através deste módulo, ilustrado na seguinte figura:

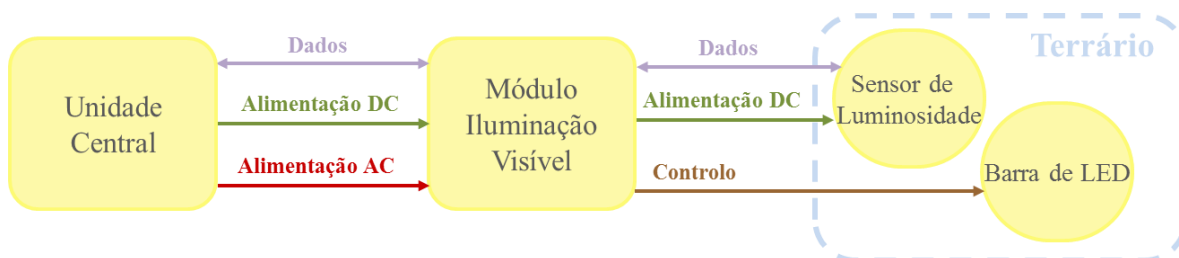


Figura 23 - Esquema do Módulo Iluminação Visível

O sensor enviará para o módulo os valores de luminosidade no terrário. O módulo irá aumentar ou diminuir o brilho duma barra de LED consoante o valor medido e o valor a atingir indicado pelo sistema.

Módulo Ventilação

A ventilação do terrário será controlada através deste módulo, ilustrado na seguinte figura:

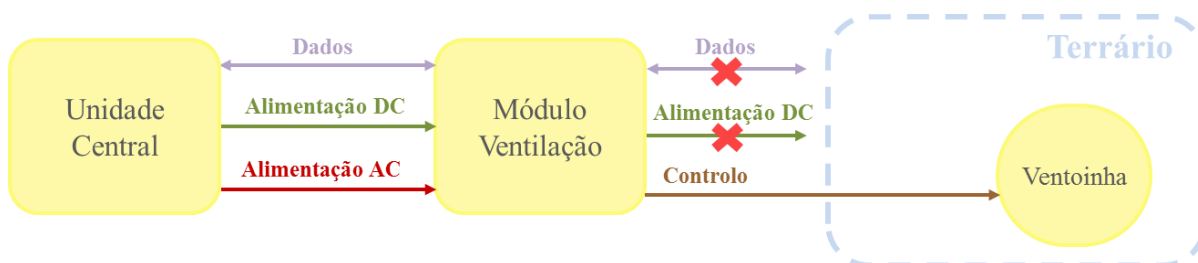


Figura 24 - Esquema do Módulo Ventilação

Este módulo irá regular a velocidade de rotação da ventoinha consoante a necessidade periódica de renovação do ar indicada pelo sistema, ou como forma de diminuir a temperatura rapidamente, também indicado pelo sistema. O Módulo Ventilação também não possui sensor, pelo que não necessita da via de comunicação com este.

Gestão do terrário

Uma das ideias chave para a diferenciação do VIIV como produto é o processo de criação do ambiente desejado no viveiro não exigir qualquer tipo de conhecimento por parte do utilizador. Isto só será realizável criando uma base de dados no próprio sistema onde estejam listados os animais normalmente encontrados no *hobby* e respetivas informações de ambiente e manutenção (salvaguardam-se casos com necessidades demasiado específicas). Com isto o utilizador terá apenas de escolher dessa lista qual dos animais pretende introduzir no viveiro, e o sistema ficará encarregue de criar as condições apropriadas a partir desses mesmos dados e informar o cuidador sobre os cuidados a ter, para que a sua manutenção se torne menos exigente.

Essa base de dados conterá um perfil para cada uma das espécies onde constarão os seguintes elementos:

- Figura ilustrativa do animal, na sua versão masculina e feminina;
- Valores relativos às grandezas físicas a controlar para os vários animais listados. Esses dados serão a base utilizada pelo sistema para criar autonomamente as condições ambientais pretendidas ao longo do dia e do ano e gerir os 6 parâmetros ambientais em conformidade;

- Informação sobre quais dos 6 módulos são necessários para cumprir com as necessidades de ambiente de cada um dos animais listados;
- Informação relativa à compatibilidade entre animais e géneros;
- Informação sobre alimentação e outros cuidados a ter;
- Informações gerais sobre o animal: Nome, tipo de *habitat*, dieta, longevidade e envergadura;

A nível de compatibilidade, os animais estarão divididos em 3 grupos:

- Animal solitário – Não tolera qualquer outro animal;
- Animal comunitário 1 – Toleram apenas animais da mesma espécie;
- Animal comunitário 2 – Toleram apenas animais da mesma espécie que sejam do sexo oposto;

O VIIV não permitirá terrários multiespécie devido às dificuldades associadas a essa prática, apenas aconselhadas a utilizadores muito experientes [5].

O rigor e a legitimidade desta base de dados são fulcrais para a concretização deste produto. Numa fase posterior e fora do âmbito deste projeto, esta base de dados será elaborada e continuamente atualizada por profissionais da área da zoologia. Essa lista poderá ser editada pelo utilizador, mas apenas de forma externa ao sistema. No âmbito desta dissertação serão utilizados valores teste para construir os perfis dos animais, sem a pretensão de gerar os ambientes perfeitos para cada espécie.

Assim, quando o utilizador seleciona um animal da lista para adicionar ao viveiro, o sistema verificará primeiro se os módulos necessários à criação do ambiente adequado à espécie estão presentes. Se o terrário estiver já habitado, o sistema irá também proceder a uma análise de compatibilidade entre os animais e certificar-se que o ambiente atual do viveiro é apropriado à espécie a introduzir. Caso todos os módulos necessários estejam presentes, e não exista nenhuma incompatibilidade, o sistema adicionará o animal selecionado ao quadro de população do terrário. Posto isto, os dados guardados na base de dados relativos ao ambiente dessa espécie, serão processados pela Unidade Central de modo a gerar os valores a atingir com os módulos ao longo do dia e do ano.

Funções de HMI

Dividiram-se as funcionalidades HMI em 5 grupos, correspondendo aos 5 principais aspetos do sistema: Animais, ambiente, equipamento, índice animal e definições. Essa lógica de organização será aplicada na interface gráfica através do menu principal que permitirá o acesso aos 5 diferentes painéis de funcionalidades do VIIV. A seguinte figura ilustra essa organização:

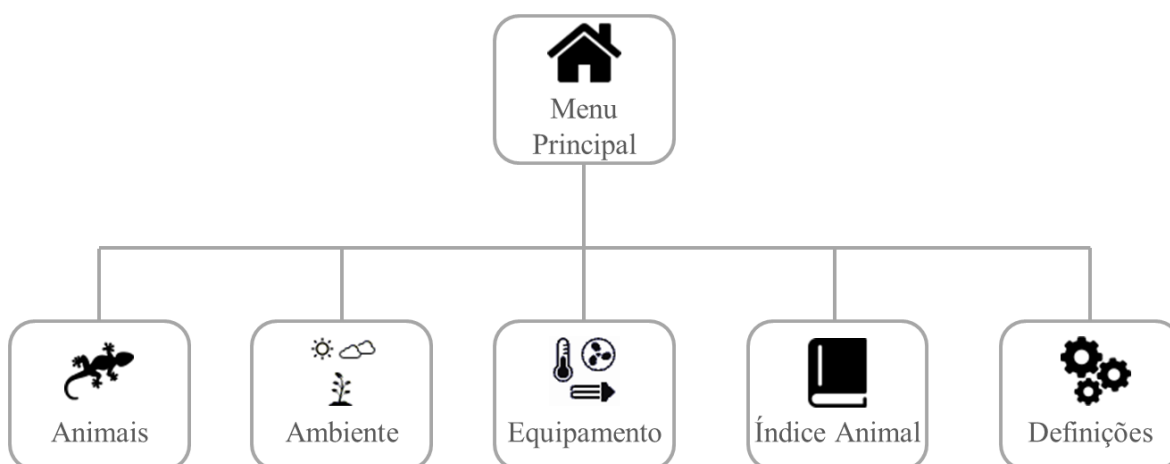


Figura 25 - Organização do acesso aos vários aspetos do sistema

Animais

Funcionalidades relativas à gestão dos animais no viveiro:

- Mostrar o quadro de animais presentes no viveiro representados com uma imagem dos mesmos. Ao tocar na figura do animal o utilizador é informado sobre características gerais da espécie, *habitat* natural, cuidados de manutenção, entre outros. Todas as informações assim como as imagens dos animais estarão alojadas na base de dados;
- Permitir ao utilizador indicar ao sistema que animal deseja introduzir ou retirar no quadro de população do viveiro.

Ambiente

Funcionalidades relativas ao estado “meteorológico” do viveiro:

- Disponibilizar informação sobre a temperatura e humidade verificadas no instante, assim como uma previsão para as horas seguintes. Isto será válido apenas se os módulos respetivos estiverem conectados ao sistema;

- Informar o utilizador sobre que fase do dia está a decorrer e que tipo de *habitat* está a ser simulado;
- Complementar os dados com duas ilustrações representativas do ambiente atual e futuro;

Equipamento

Funcionalidades relativas à gestão dos módulos e respetivos periféricos:

- Indicar quais os módulos presentes no sistema através duma representação visual dos mesmos;
- Mostrar os valores medidos pelos sensores dos módulos presentes e informar o utilizador caso algum dos sensores esteja desligado ou com problemas de funcionamento.

Índice animal

Funcionalidades relativas à gestão da base de dados dos animais, as suas características e requisitos:

- Mostrar uma lista de todos os animais da base dados. Cada entrada nessa lista terá uma imagem do animal, características da espécie, cuidados a ter na manutenção e módulos necessários;
- No caso de o utilizador pretender adicionar um novo animal, informa-lo sobre o resultado da análise de compatibilidade com outros animais já presentes e com o ambiente atual do viveiro assim como da verificação dos módulos necessários;
- Apresentar soluções ao utilizador sobre como proceder no caso de não se verificarem as condições necessárias para adicionar uma espécie desejada.

Definições

Funcionalidades relativas à gestão do próprio sistema:

- Alterar data e hora;
- Reiniciar o sistema.

4.3. ARQUITETURA LÓGICA E FÍSICA

No que toca a constituição do cerne do sistema (Unidade Central), decidiu-se dividi-lo fisicamente em 2 peças com objetivos marcadamente diferentes: A HMI, onde ficarão concentradas as funcionalidades através das quais o utilizador irá interagir com o sistema e vice-versa, assim como a base de dados. E a Unidade de Controlo, responsável por gerir a população e o ambiente do viveiro (através dos módulos a si conectados).

Esta divisão de peças consoante a sua finalidade resultará num maior foco em termos de funcionalidade. Assim, podemos desenhar a peça segundo as características que mais beneficiem o papel específico que esta irá desempenhar. Quanto mais claro for o objetivo de cada parte, mais fácil será o seu desenvolvimento e mais consistente será o resultado final.

HMI

É através da HMI que o utilizador irá interagir com o sistema e acumulará todas as funções de HMI descritas em 4.2. Dotada de um ecrã tátil, irá permitir ao utilizador gerir o ambiente do viveiro e respetivos animais, assim como receber informações sobre o estado do terrário e mensagens de ajuda ao longo da sua experiência. Tanto as ordens do utilizador enviadas para a Unidade de Controlo como os dados recebidos da mesma serão comunicados através de *Bluetooth*. Foi escolhido este protocolo de comunicação sem fios devido à sua universalidade e por facilitar um futuro desenvolvimento numa aplicação para *smartphone* que funcione como equivalente da HMI, tal como definido em 1.4. Será também na HMI que ficará alojada a base de dados que conterá a lista com os perfis dos animais disponíveis para adicionar ao terrário com as respetivas informações sobre a sua manutenção e todos os valores relativos ao ambiente a criar. Estes valores serão transmitidos à Unidade de Controlo, que os irá processar de modo a gerar as características físicas requeridas no viveiro ao longo do dia e do ano. A base de dados ficará guardada num dispositivo de memória estática.

A seguinte figura ilustra como estarão organizadas as principais peças que irão compor a HMI:

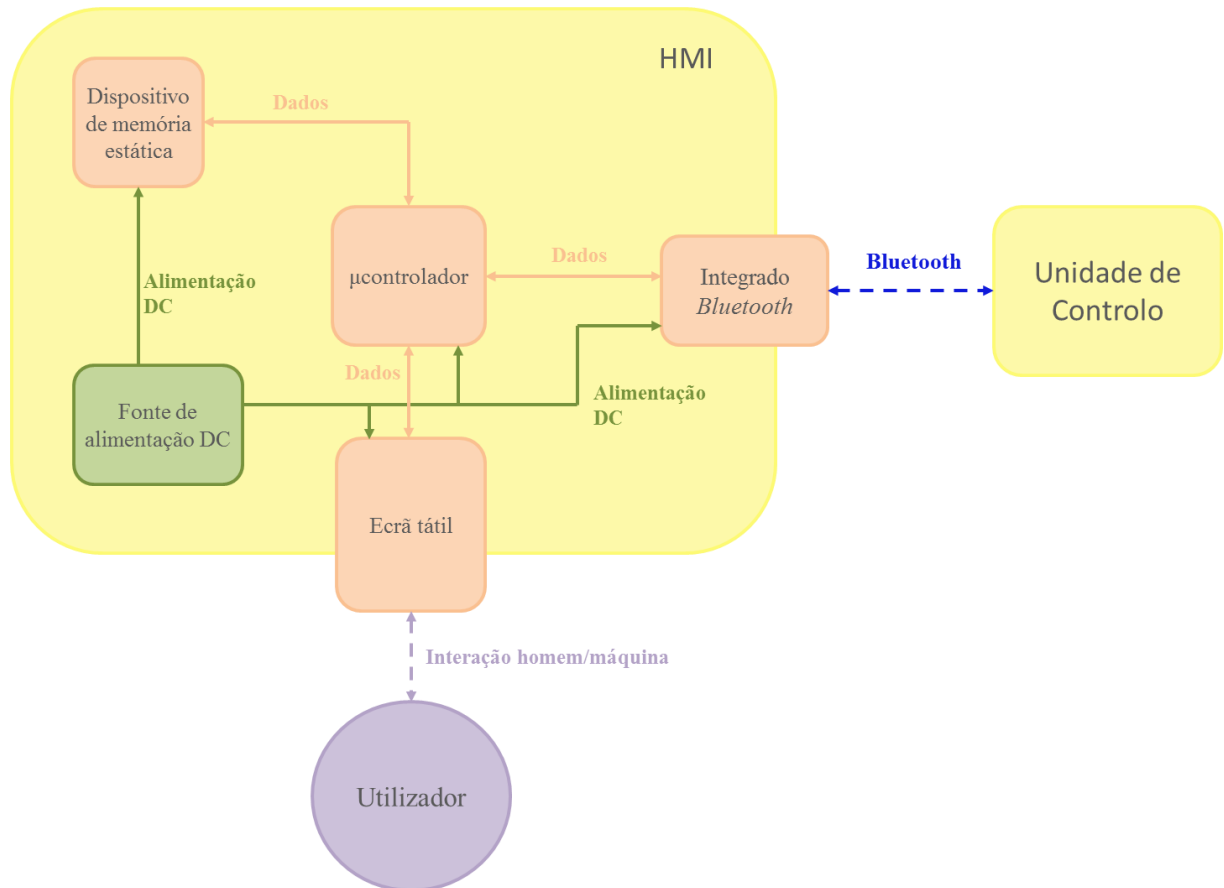


Figura 26 - Esquema de composição da HMI

Unidade de Controlo

A principal função da Unidade de Controlo é criar e gerir o ambiente no viveiro de acordo com as características necessárias à vida dos animais escolhidos pelo utilizador. Para isso, quando um novo animal é adicionado ao viveiro, a HMI transmitirá à Unidade de Controlo os dados relativos ao ambiente a implementar. Após processamento, a Unidade de Controlo gera um padrão de valores a atingir ao longo do dia e do ano através dos módulos a si conectados. Os dados recolhidos através dos sensores dos módulos e outros dados sobre o estado do viveiro são também enviados por *Bluetooth* para a HMI, de modo a que utilizador possa ter acesso a essa informação. É também na Unidade de Controlo que ficará guardado o quadro da população do terrário, gerido segundo instruções recebidas da HMI relativas à remoção ou adição de animais ao viveiro.

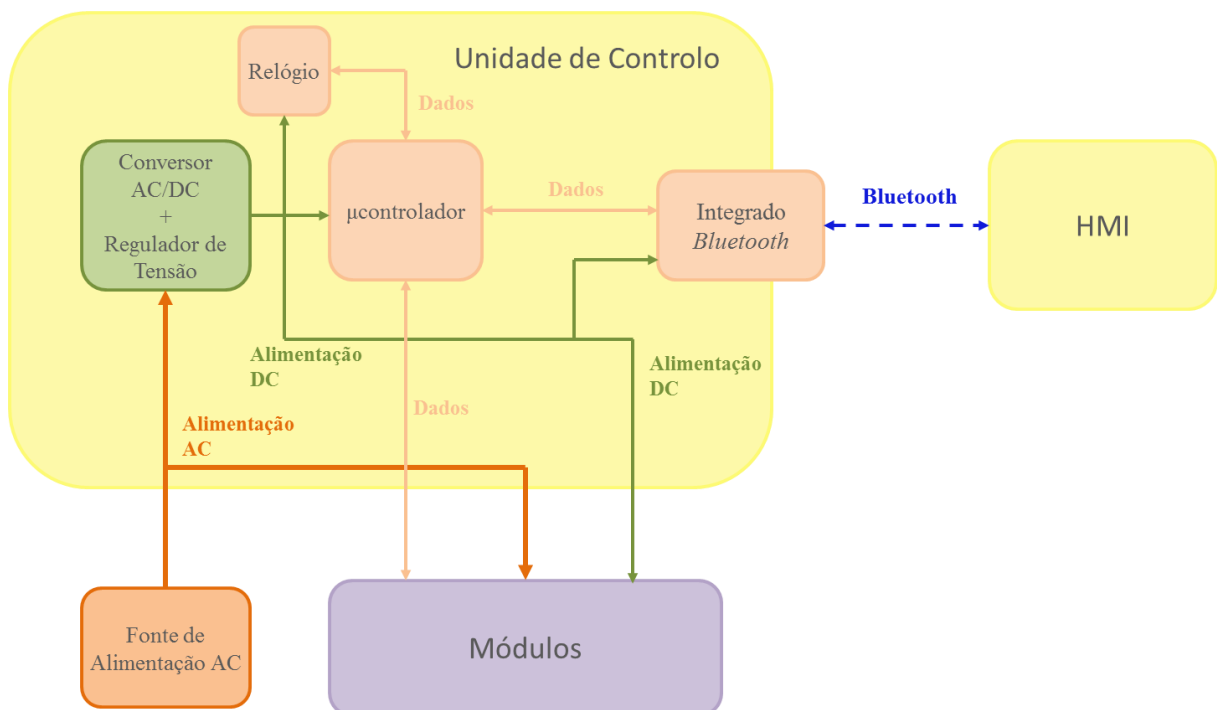


Figura 27 - Esquema de composição da Unidade de Controlo

Módulos

Dado que o funcionamento individual de cada módulo requer pouco processamento e de modo a tornar a produção do sistema mais barata e eficaz optou-se por, ao invés de cada módulo ter um processador próprio, ser o microcontrolador da Unidade de Controlo encarregue por ler diretamente os sensores dos módulos e gerir os

outputs dos periféricos conectados aos módulos de maneira a atingir os valores das grandezas físicas anteriormente calculados. Como tal, os canais de ligação aos sensores e circuitos de controlo dos equipamentos estarão diretamente ligados à Unidade de Controlo tal como mostram os esquemas dos vários módulos que de seguida se apresentam. De igual forma, o circuito detetor da passagem da corrente alternada por zero (optocoplador), necessário para implementar os controladores de fase AC, como é comum aos dois módulos de controlo de temperatura (Temperatura Geral e Temperatura *Basking Spot*) ficará alojado na Unidade de Controlo. Esta alteração gera a necessidade de criar uma linha de dados adicional para o caso dos módulos com sensores. Isto porque um canal ficará reservado à comunicação com o sensor enquanto o outro servirá para enviar o sinal que ditará o *output* do periférico.

Módulo Temperatura Geral

Será composto por um sensor de temperatura e um circuito de controlo de fase. Isto é, com a ativação e desativação dos tirístores através do sinal de corte enviado pelo microcontrolador da Unidade de Controlo, será possível variar a potência aplicada à lâmpada de cerâmica. A Unidade de Controlo lê continuamente os valores de temperatura medidos pelo sensor que serão alimentados ao controlador PI para que estes regule de forma proporcional a temperatura da zona fria do terrário segundo os valores calculados anteriormente. O esquema abaixo ilustra a composição deste módulo:

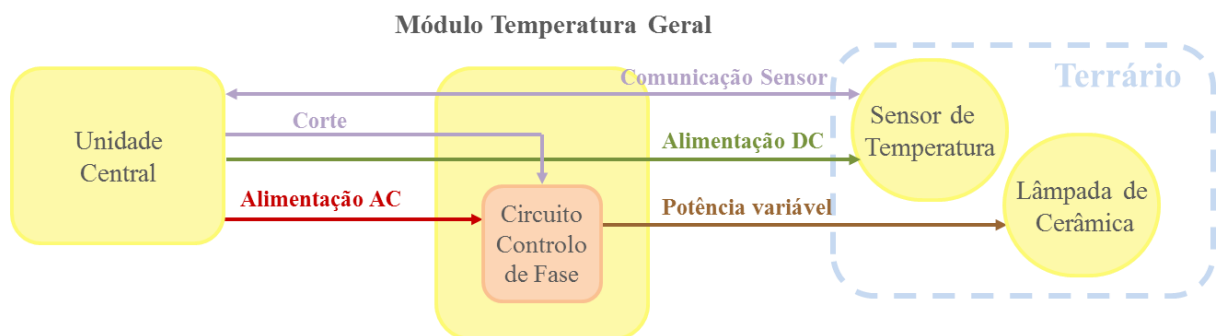


Figura 28 - Esquema de composição do Módulo Temperatura Geral

Módulo Temperatura *Basking Spot*

Este módulo terá a sua composição física igual à do módulo anterior. Embora as rotinas de controlo da Unidade de Central e o periférico a ser controlado sejam diferentes, a nível de *hardware* os dois módulos são indistintos. Isto permitirá reduzir o custo futuro de produção e acelerar o processo de desenvolvimento do protótipo. O esquema seguinte ilustra a composição deste módulo:

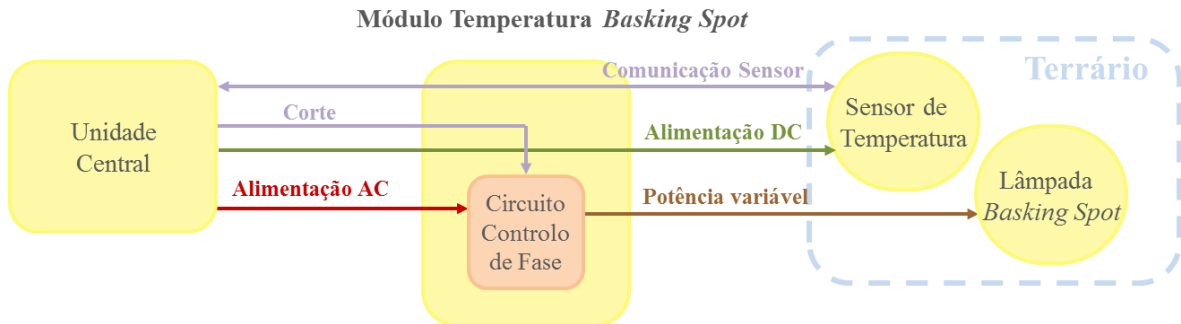


Figura 29 - Esquema de composição do Módulo Temperatura *Basking Spot*

Módulo Humidade

Será composto por um sensor de humidade relativa e um circuito que funcionará como interruptor para a ativação ou desativação do *mister*, conforme o sinal recebido da Unidade de Controlo. O esquema abaixo ilustra a composição deste módulo:

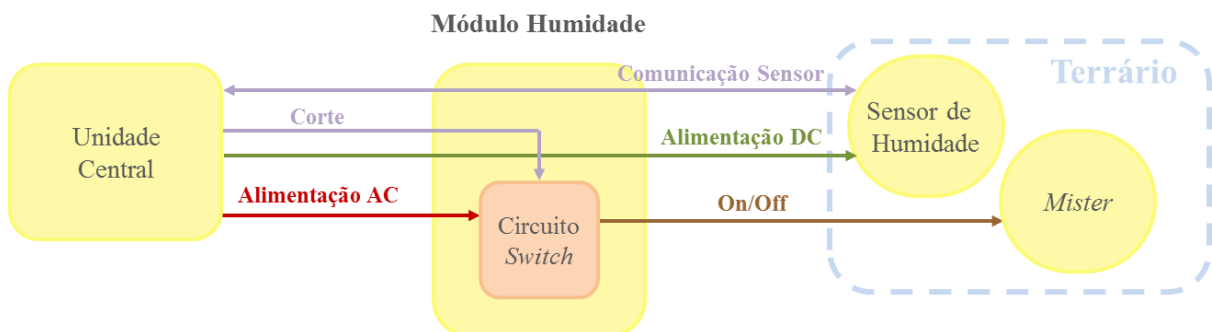


Figura 30 - Esquema de composição do Módulo Humidade

Módulo Iluminação Ultravioleta

Será composto apenas por um circuito interruptor que irá ligar ou desligar a lâmpada ultravioleta ligada ao módulo, consoante o sinal recebido da Unidade de Controlo. O esquema abaixo ilustra a composição deste módulo:

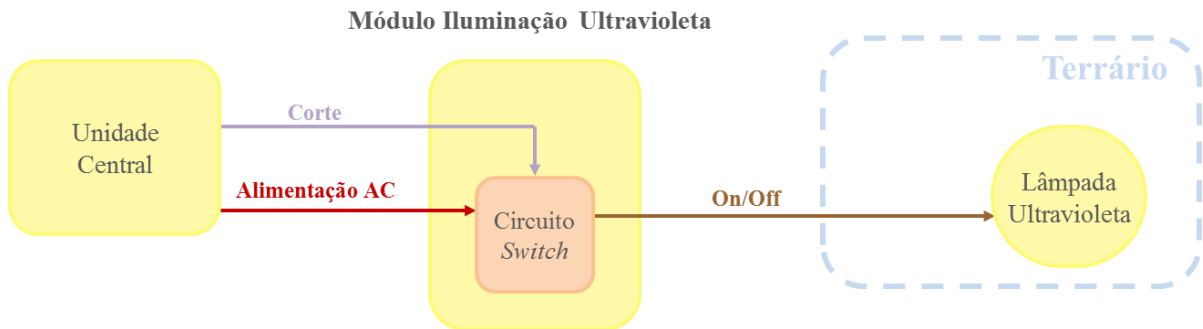


Figura 31 - Esquema de composição do Módulo Iluminação Ultravioleta

Módulo Iluminação Visível

Contém um circuito composto por MOSFET que através de sinais PWM recebidos da Unidade de Controlo, vão controlar os vários grupos de LED que constituem a barra de LED conectada ao módulo. A Unidade de Controlo lê continuamente o sensor de luminosidade de modo a assegurar os valores desejados. O esquema abaixo ilustra a composição deste módulo:

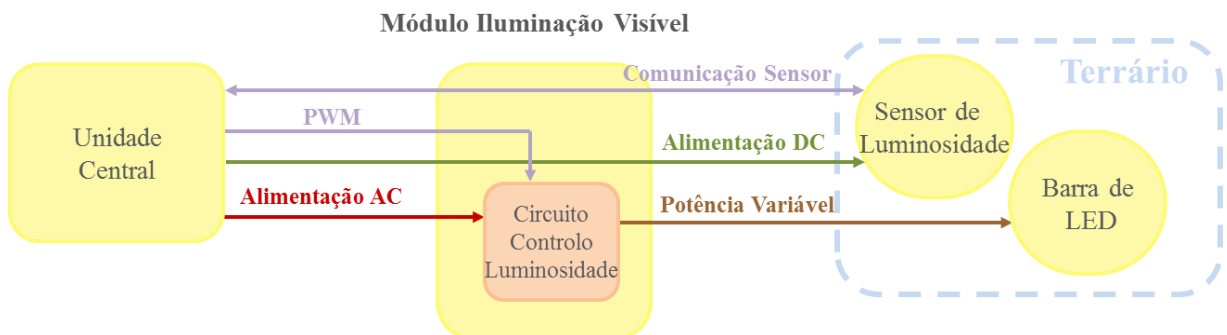


Figura 32 - Esquema de composição do Módulo Iluminação Visível

Módulo Ventilação

É constituído por um MOSFET que recebe um sinal PWM da Unidade de Controlo que irá traduzir a velocidade a que roda a ventoinha. O esquema abaixo ilustra a composição deste módulo:

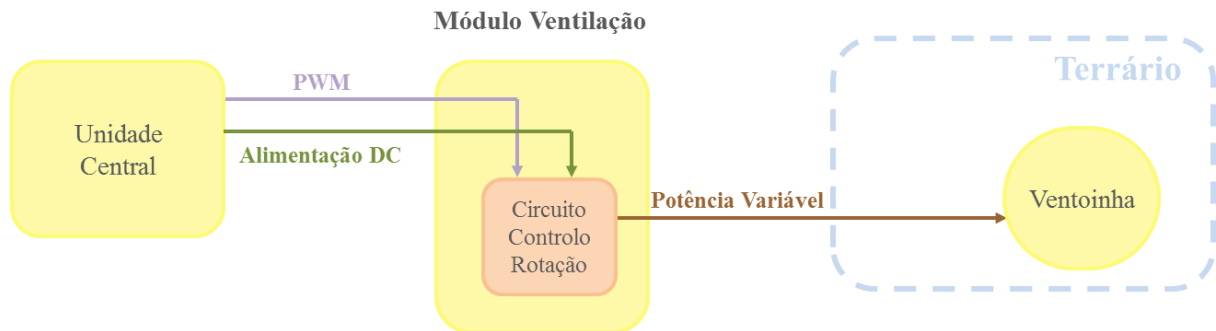


Figura 33 - Esquema de composição do Módulo Ventilação

4.4. OPÇÕES DE *HARDWARE*

A tabela apresentada lista os principais componentes eletrônicos escolhidos para o desenvolvimento da Unidade Central (HMI e Unidade de Controlo) e respetivas características. Para simplificar a implementação e aumentar a rentabilidade na futura compra de componentes para produção, decidiu-se utilizar o mesmo microcontrolador e integrado *Bluetooth* em ambas as peças que constituem o cerne do VIIV. Dado que o microcontrolador a ser usado possui RTC integrado, deixa de existir a necessidade de ter um relógio externo no circuito da Unidade de Controlo.

Tabela 3 - Componentes constituintes da HMI

Componente	Nome	Marca	Tensão de alimentação	Características	Protocolo de comunicação utilizado
μcontrolador	LPC1754	<i>NXP</i>	3.3V	Processador ARM Cortex-M3; Frequência de processamento até 100MHz; 128 kB memória flash; 32 kB SRAM; RTC integrado.	SSP; I2C; UART; SWD
<i>Display</i> TFT	DT024CTFT	<i>Displaytech</i>	3.3V	Ecrã TFT a cores com <i>touchscreen</i> de 2.4". Resolução de 320x240 RGB. Driver ILI9341 embutido.	SPI
Integrado <i>Bluetooth</i>	RN4020	<i>Microchip</i>	3.3V	Bluetooth Versão 4.1 Low-Energy; Antena embutida com um alcance de mais de 100 metros.	UART

O dispositivo de memória estática onde ficará guardada a base de dados será um cartão SD. Este será alimentado a 3.3V e comunicará com o microcontrolador através do protocolo SPI. Desta forma será também possível aceder à base de dados externamente através dum PC.

Decidiu-se que relativamente à alimentação do circuito, a HMI será alimentada por uma bateria de lítio de 3.3V. Esta será carregada através dum circuito de gestão de carga alimentado a 12V por um transformador AC/DC externo.

A Unidade de Controlo será ligada diretamente à corrente elétrica. Um transformador AC/DC e um regulador de tensão transformarão os 230VAC nos 3.3V

que alimentarão tanto o circuito da Unidade de Controlo como os módulos a ela ligados (ver figura 27).

A tabela abaixo lista os sensores que integrarão os módulos do protótipo do VIIV:

Tabela 4 - Sensores escolhidos

Grandeza física	Nome	Marca	Tensão de alimentação	Protocolo de comunicação utilizado	Módulos
Temperatura	DS18B20	<i>Maxim</i>	3.3V	1-Wire Communication	Temperatura Geral; Temperatura <i>Basking Spot</i>
Humidade relativa	Si7020	<i>Displaytech</i>	3.3V	I2C	Humidade
Luminosidade	TSL2561	<i>TAOS</i>	3.3V	I2C	Iluminação Visível

4.5. OPÇÕES DE SOFTWARE

De modo a facilitar o desenvolvimento do programa, decidiu-se utilizar bibliotecas de funções relativas aos componentes acima descritos. Esse código *opensource* servirá como base para o desenvolvimento das funcionalidades que se pretende implementar o sistema.

Para a programação do LPC1754 decidiu usar-se o conjunto de bibliotecas próprias da marca: a *LPCOpen*.

A *LPCOpen* é um conjunto de bibliotecas grátis que contém *core drivers* para os *chips* da marca, *middleware* e programas exemplo que permitem desenvolver mais facilmente programas para os microcontroladores *NXP* [28].

A *NXP* oferece também uma versão gratuita da biblioteca gráfica *emWin* (da *Segger*), que foi então escolhida para controlar o *display* e construir toda a interface gráfica. Esta é passível de aplicar em vários LCD e controladores gráficos, sendo para isso necessário modificar apenas a camada dos *drivers* relativos ao LCD [29]. A *emWin* também inclui um conjunto de funções de desenvolvimento gráfico (GUI) que permitem entre outras coisas, imprimir BMP diretamente de unidades de armazenamento estático como cartões SD. Além disso, esta biblioteca disponibiliza um gestor de janelas semelhante ao sistema operativo *Windows* com funções prontas a usar para criar

widgets, isto é: botões, *scroll bars*, *radio buttons*, entre outras ferramentas de utilização comum. Outro aspeto que convém mencionar é o facto de juntamente com as funcionalidades gráficas, a *emWin* também permitir associar ao LCD um *pointer input device* como um *touchscreen*, que possibilita uma integração muito rápida com as ferramentas do gestor de janelas como botões ou *check boxes* (*widgets*). A figura abaixo ilustra a arquitetura desta biblioteca:

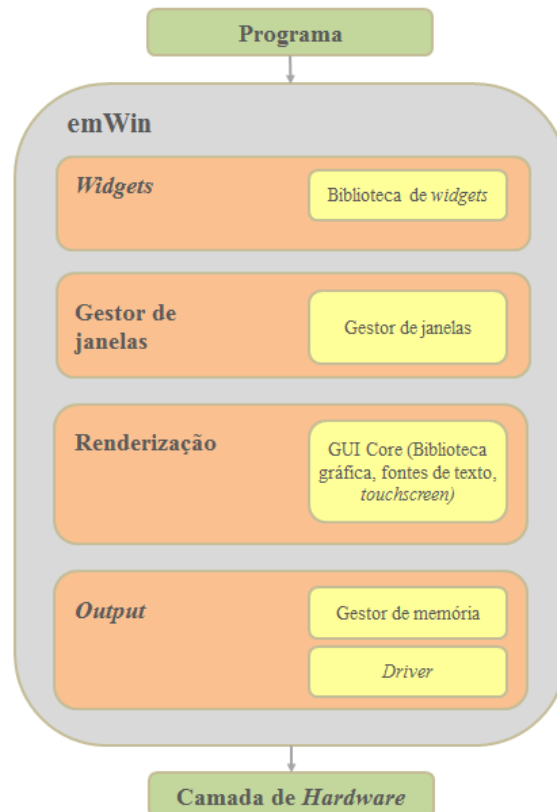


Figura 34 - Arquitetura da *emWin*

De modo a comunicar com o cartão SD e a trabalhar com os ficheiros lá guardados, optou-se por utilizar a biblioteca *FATFs*. Esta biblioteca oferece uma versão própria para pequenos sistemas embebidos de funções que permitem operar unidades de armazenamento de ficheiros do tipo FAT ou FAT32. Para isso será apenas necessário adaptar as funções de mais baixo nível de modo a operarem com o cartão SD.

A biblioteca relativa ao integrado *Bluetooth* RN4020 foi escrita de raiz no decorrer da implementação.

Servidor *Bluetooth Low Energy*

Será na Unidade de Controlo que o servidor *Bluetooth Low Energy* ficará alojado. Este protocolo, além da vantagem da universalidade já referida, possui também outras características que o tornam bastante útil para o caso, nomeadamente:

- Baixo consumo
- Facilidade de utilização
- Transversal a vários equipamentos de comunicação (*smartphones, tablets, PCs*)

Importa referir que a maneira como os servidores *Bluetooth Low Energy* funcionam é bastante vantajosa para o VIIV. Um dos atributos deste protocolo são os *Generic Attribute Profiles* que estão na base da interoperabilidade entre equipamentos diferentes. Através destes perfis é possível guardar na memória do servidor uma série de *buffers* (chamados características) que contêm informação acessível para leitura e/ou escrita por parte dos equipamentos clientes conectados. Cada perfil é identificado por um código padrão conforme o tipo de função desempenhada pelo equipamento que é o servidor [31]. Existe um grande número destes perfis *default* para os vários tipos de situações onde normalmente é usado *Bluetooth*: Indicador de bateria, *kit* mãos-livres, transferência áudio, medidor de batimentos cardíacos, entre outros.

Neste caso, irá ser usado um dos aspetos que o integrado *Bluetooth* escolhido (RN4020) oferece que são os perfis privados. Estes podem ser programados de modo a criar características personalizadas (*buffers* de dados guardados na memória do RN4020). Cada perfil pode ter até dez características e cada característica pode conter até dez *bytes* de dados.

Abaixo listam-se as características que irão guardar os dados a trocar via *Bluetooth* entre a Unidade de Controlo e a HMI, segundo as funcionalidades a implementar referidas anteriormente neste capítulo:

Características 1 e 2 – Animais

Usadas para receber e transmitir dados relativos aos animais. A HMI poderá indicar uma alteração ao quadro da população do viveiro (adição ou remoção dum animal) ou fazer um pedido de envio de informações dos animais registados na Unidade de Controlo. Recebido um dos pedidos, dar-se-á início ao processo de transferência de dados entre as duas partes do sistema.

Característica 3 – Transferência de dados de ambiente

Usada para transmitir os dados guardados na base de dados da HMI que vão permitir à Unidade de Controlo criar o ambiente necessário sempre que uma nova espécie é introduzida no sistema.

Característica 4 – Relógio e calendário

Aqui é onde a Unidade de Controlo disponibiliza as informações relativas ao tempo. É também através desta característica que a HMI pode requisitar uma atualização da hora e da data no caso de alteração por parte do utilizador.

Característica 5 – Módulos

Esta característica contém os valores recolhidos pelos sensores. Contém também a informação sobre quais dos 6 módulos se encontram ligados à Unidade de Controlo.

Características 6 e 7 – Meteorologia

Aqui são disponibilizados pela Unidade de Controlo os dados referentes ao estado do “tempo” atual do viveiro como temperatura média, humidade média ou fase corrente do dia, assim como a previsão para os instantes seguintes. Esta informação será lida periodicamente pela HMI.

Excluindo os casos das transferências diretas de dados (características 1-3), este protocolo oferece uma vantagem significativa ao funcionamento geral do sistema pois permite o acesso da HMI à informação do servidor sem que para isso o funcionamento da Unidade de Controlo (onde o servidor se encontra alojado) tenha de ser interrompido para prestar esses dados.

4.6. SOBRE A VERSÃO DO VIIV PARA AQUÁRIOS

Embora a versão para aquários esteja fora do âmbito deste trabalho, importa referir que é possível estabelecer uma relação de equivalência entre as funcionalidades necessárias aos animais de ambos os meios. Pode dizer-se que, de maneira geral, a diferença entre versões encontrar-se-á exclusivamente ao nível dos sensores e atuadores

sendo que os princípios de funcionamento centrais serão transversais às duas versões projetadas para o VIIV (aquática e terrestre). Como tal, procurou-se encontrar um paralelo entre os módulos a projetar para ambas as versões, reduzindo assim a quantidade de trabalho necessária aplicar no desenvolvimento continuado da ideia, assim como uma futura produção mais eficaz, barata e concisa.

Abaixo listam-se o conjunto de 6 módulos pensados para animais do meio aquático:

1. Módulo Temperatura

Controla a temperatura da água através de um sensor e de uma resistência de aquecimento. Conecta-se no mesmo *socket* que o Módulo Temperatura Geral.

2. Módulo pH

Monitoriza o pH da água através de um sensor para o efeito. Conecta-se no mesmo *socket* que o Módulo Temperatura *Basking Spot*.

3. Módulo CO2

Injeta dióxido de carbono na água para estimular o crescimento das plantas. Conecta-se no mesmo *socket* que o Módulo Humidade.

4. Módulo Iluminação Fluorescente

Ativa ou desativa uma lâmpada fluorescente para iluminar o aquário. Conecta-se no mesmo *socket* que o Módulo Iluminação Ultravioleta.

5. Módulo Iluminação visível

Controla uma barra de LED de modo a simular a iluminação solar e lunar. Conecta-se no mesmo *socket* que o Módulo Iluminação Visível.

6. Módulo Fluxo Aquático

Controla a potência de uma bomba de água que regula o movimento do fluxo no aquário. Conecta-se no mesmo *socket* que o Módulo Ventilação.

5. IMPLEMENTAÇÃO

A construção deste protótipo decorreu ao longo de várias fases. Começou-se por criar uma placa onde se testaram os componentes que vieram depois a constituir as versões posteriormente realizadas das PCB da Unidade de Controlo, HMI e 3 dos 6 módulos (Temperatura Geral, Temperatura *Basking Spot* e Iluminação Ultravioleta), tal como ilustra a figura abaixo.

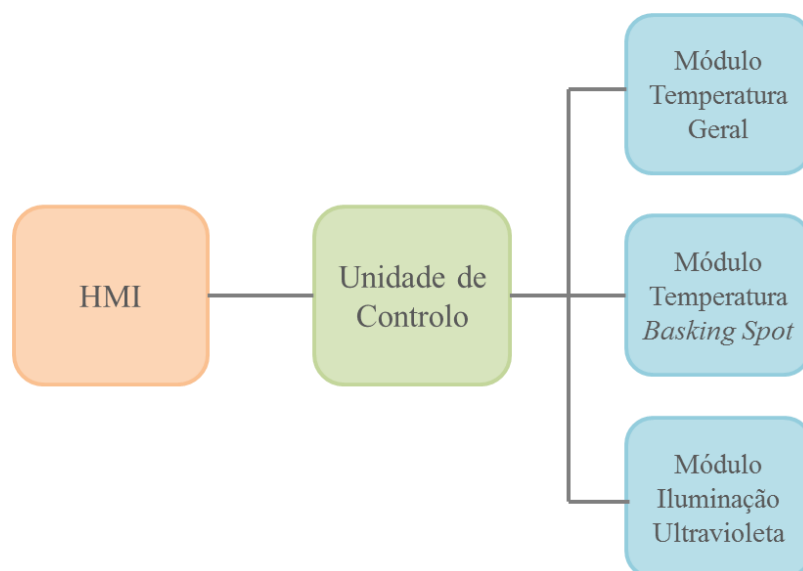


Figura 35 – Esquema das placas desenvolvidas

Ao longo do desenvolvimento foram feitas algumas alterações e melhorias ao projeto de modo a criar um modelo o mais aproximadamente possível da versão final comercializável. Para desenvolver e compilar o código, foi utilizada a ferramenta de *software* da marca, o LPCXpresso. Para programar e comunicar com o microcontrolador usou-se a placa LPC-Link2, também da *NXP*, ilustrada na figura abaixo.



Figura 36 - LPC-Link2

5.1. PLACA DE TESTES

De modo a testar a funcionalidade dos componentes escolhidos e alguns princípios básicos de funcionamento do sistema de forma simples, optou-se por construir em primeiro lugar uma placa provisória, onde se poderiam conectar e desconectar através de fichas, as diferentes peças que iriam integrar as versões posteriores do sistema. A PCB foi desenhada de modo a que fosse possível encaixar qualquer microcontrolador da gama LPC175x através duma *breakout board*. Além disso, a placa possui vários encaixes onde é possível aceder aos barramentos SPI, UART e SWD do microcontrolador e onde serão conectados os componentes a testar. Existe também a possibilidade de alimentar parte do circuito a 9V (necessários para a alimentação da iluminação do *display* TFT). O esquema da placa desenvolvido encontra-se na figura 37.

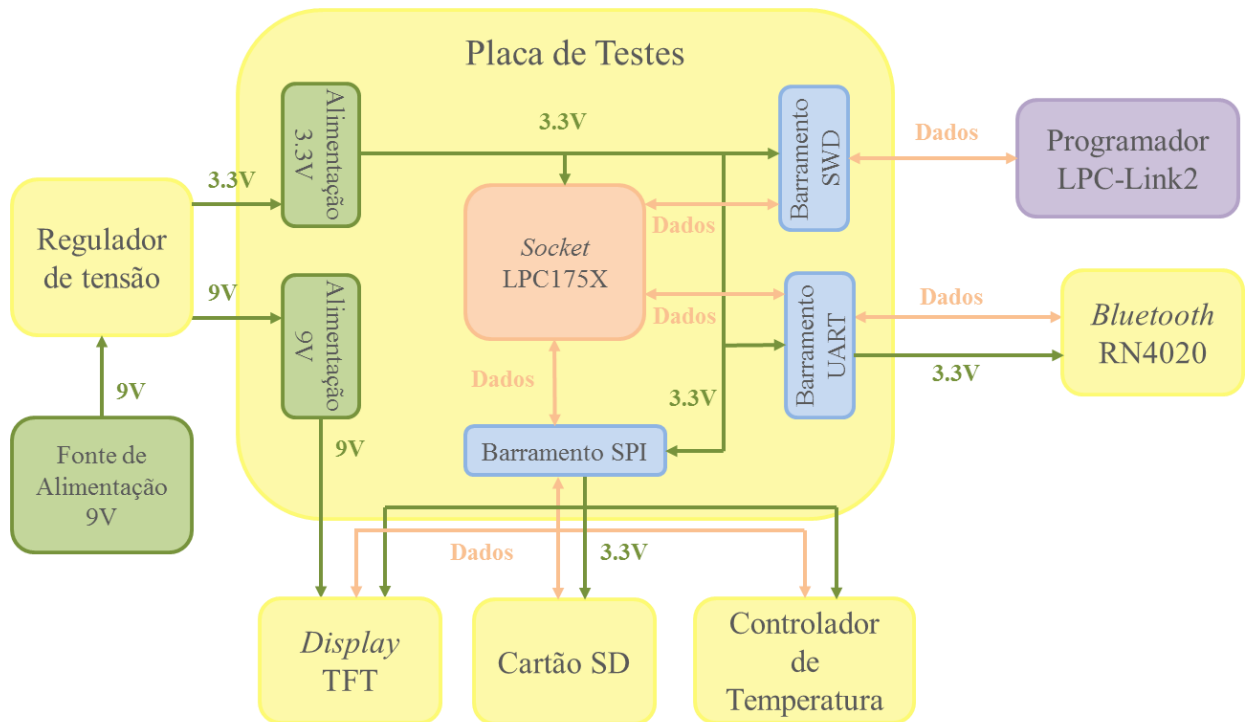


Figura 37 - Esquema da placa de testes

Foi também dotada de botões tácteis e LED de maneira a facilitar os processos de *debug* necessários que tornam o desenvolvimento mais rápido. A figura abaixo mostra a PCB resultante com um microcontrolador LPC1754 (figura 38-1) encaixado no *socket*.

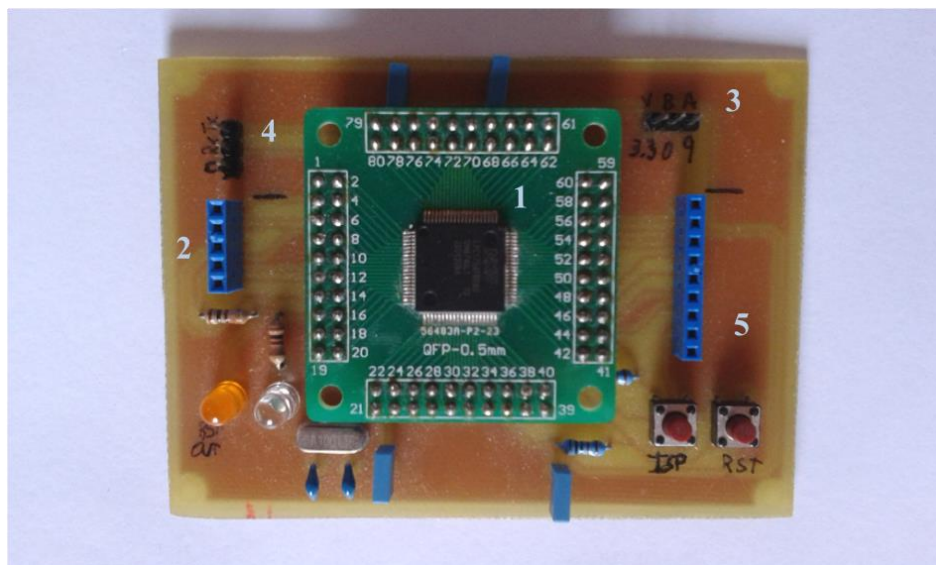


Figura 38 - Placa de teste. 1-LPC1754; 2-Barramento SWD; 3-Alimentação 3.3V e 9V; 4-Barramento UART; 5-Barramento SPI e outras ligações para o *display*;

Foram também criadas várias placas com o intuito de testar os diferentes componentes que iriam constituir o sistema, nomeadamente: Display TFT 2.4'' que irá encaixar no conector SPI indicado na figura 38-5, integrado *Bluetooth* (conector UART – figura 38-4), interface para cartões SD (conector SPI – figura 38-5), regulador de tensão 3.3V/9V (figura 38-3) e controlador de temperatura onde foram usados os pins do conector SPI para o ligar ao microcontrolador (figura 38-5). Estas placas são mostradas na figura 39.

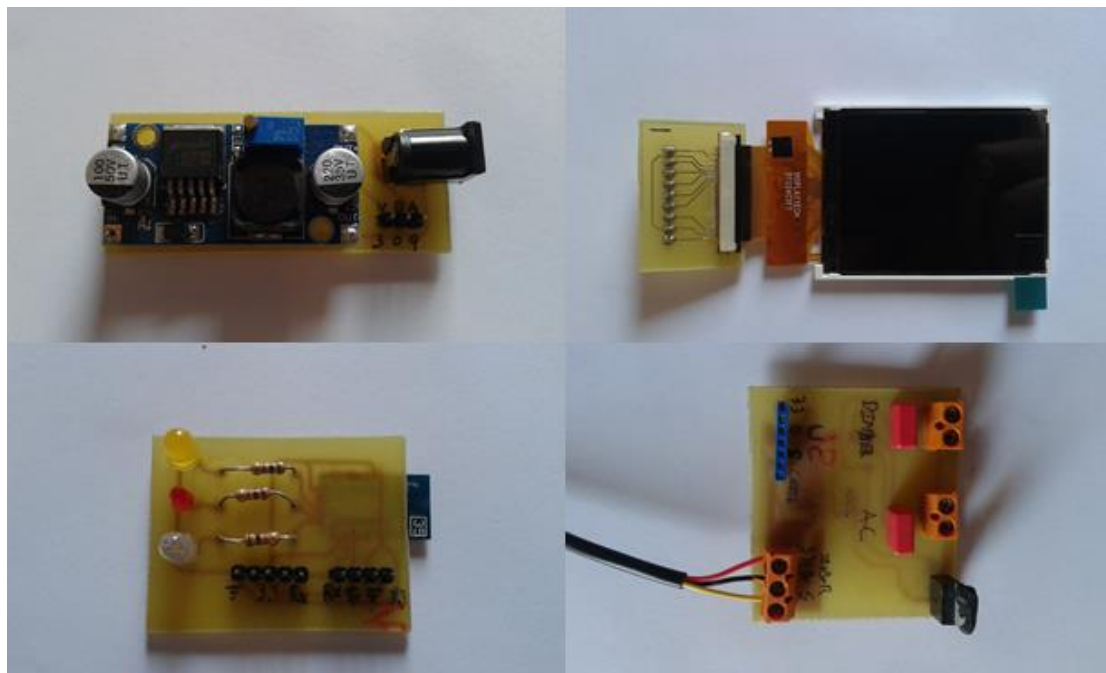


Figura 39 – Módulos de teste; Da esquerda para a direita: regulador de tensão 3.3V/9V, display TFT, *Bluetooth* e controlador de temperatura

Como descrito acima, o LPC1754 foi o microcontrolador inicialmente escolhido para o projeto (figura 38-1), e como tal, foi acoplado à placa de testes juntamente com o programador LPC-Link2 que através do barramento SWD estabelece a conexão entre o microcontrolador e o PC.

Posto isto, realizaram-se os procedimentos experimentais necessários ao teste de cada um dos componentes.

Para ajudar na construção do programa utilizaram-se bibliotecas de *software* (ver 4.5) onde foi necessário proceder a ajustes e acréscimos de código de maneira a torná-las operacionais para o sistema em desenvolvimento.

Terminados os testes de funcionamento dos vários constituintes deste primeiro sistema concluiu-se que, com a exceção do *display* TFT, todas as peças cumpriam eficazmente o seu propósito. Devido ao seu tamanho reduzido, o *display* revelou-se desapropriado para servir como suporte a uma interface gráfica que fosse visualmente apelativa e que correspondesse às necessidades de comunicação homem-máquina previstas para este produto.

5.2. PLACA DA HMI

Primeira versão

Verificada a funcionalidade dos componentes seleccionados, partiu-se para o desenho de uma primeira versão do circuito da HMI. Tal como mencionado anteriormente, o microcontrolador escolhido foi o LPC1754 (figura 40-1). Colocou-se também na placa um suporte para cartões SD (figura 40-5), onde ficará o cartão com a base de dados. De forma a dotar o sistema de *Bluetooth* foi aplicado o integrado RN4020 (figura 40-6).

Decidiu-se trocar o *display* por um maior, de 2.8'', completo com um ecrã táctil do tipo resistivo, a ser conectado na ficha ZIF ilustrada na figura 40-4. Procurou-se manter o mesmo *driver* gráfico usado no *display* da placa de testes de modo a haver compatibilidade com o *software* entretanto desenvolvido. A escolha foi o DT028ATFT, também da *Displaytech* que utiliza o mesmo driver ILI9341. Com isto poupou-se bastante tempo de desenvolvimento, pois não foi necessário proceder a grandes alterações na biblioteca *emWin* para conseguir comunicar com o novo ecrã TFT. Como a iluminação deste novo *display* requer uma tensão de 3.3V, o circuito ficou simplificado, sendo que deixou de existir a necessidade de fornecer os 9V ao TFT.

A placa resultante pode ser observada na figura seguinte:

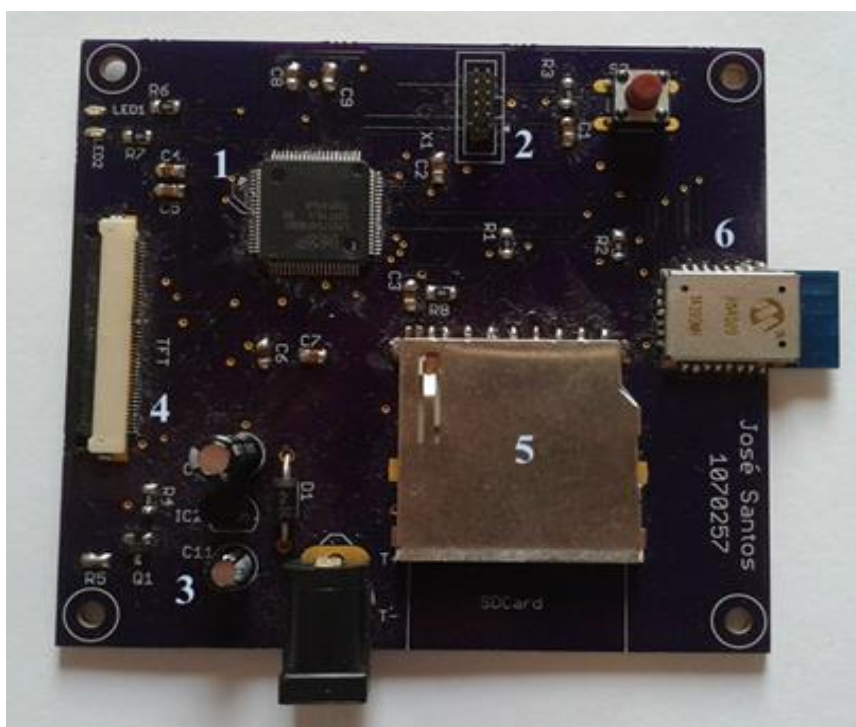


Figura 40 - Placa da HMI (1ª versão). 1-LPC1754; 2- Ligação ao LPC-Link2; 3- Alimentação3.3V; 4-Ficha ZIF para o *display*; 5-Suporte para cartão SD; 6-RN4020

Neste protótipo foi desenvolvido todo o código de baixo nível correspondente ao controlo do *hardware* que compõe a HMI. Começou-se também a implementar algumas das funcionalidades previstas para a HMI assim como parte da sua interface gráfica. Apesar do esforço feito no sentido de uma boa gestão da memória disponível, o grafismo necessário à construção da interface e a complexidade de funcionamento desta peça requereu mais memória *flash* e RAM do que o previsto. Concluiu-se portanto que seria necessário encontrar um microcontrolador que possuísse mais capacidade de memória tanto para guardar o programa, como para executar as rotinas gráficas necessárias.

Segunda versão

Tal como mencionado acima, os 128kB de memória *flash* e os 32kB de RAM do LPC1754 não se mostraram suficientes para o programa a desenvolver. Decidiu-se portanto, aplicar um microcontrolador com maior capacidade de memória numa nova versão da placa HMI. Deu-se preferência a um componente da mesma série

(LPC17XX), para que fosse facilmente adaptável o código já escrito para a placa anterior.

Optou-se então pelo LPC1769 que tem o dobro da memória *flash* (256kB) e RAM (64kB) do LPC1754, usado na versão anterior do circuito (ver figura 41-1). Além do *upgrade* do microcontrolador, foi também acrescentado ao sistema uma bateria de lítio de 3.7V, com uma capacidade de 1900 mA/h, e respetivo circuito de alimentação e gestão de carga (MCP73832) tornando assim a HMI numa peça livre de fios (ver figura 41-3). Tal como se pode verificar na figura 41, o resto do circuito manteve-se praticamente inalterado, à parte de pequenos melhoramentos e correção de alguns erros presentes na versão anterior da placa.

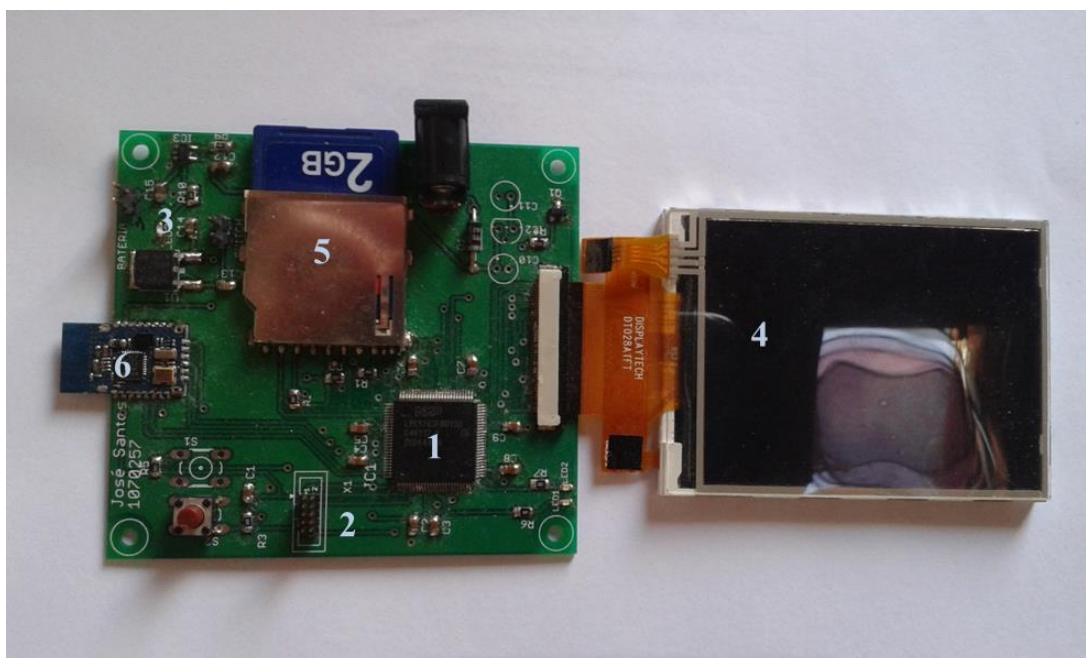


Figura 41 - Placa da HMI (2ª versão). 1-LPC1754; 2-Ligação ao LPC-Link2; 3-Gestor de carga; 4-DT028ATFT; 5-Cartão SD; 6-RN4020

5.3. PLACA DA UNIDADE DE CONTROLO

Em simultâneo com o desenvolvimento da segunda versão da HMI, procedeu-se ao desenho da placa da Unidade de Controlo, ilustrada na figura 42.



Figura 42 - Placa da Unidade de Controlo. 1-LPC1754; 2-Ligação ao LPC-Link2; 3-Alimentação 9V DC; 4-Alimentação 230V AC; 5-Pilha 3V para o RTC; 6-RN4020; 7-Alimentação 230V AC para os módulos.

Ao contrário da HMI, a Unidade de Controlo é constituída por uma parte AC e uma parte DC. Os 240V de corrente alternada irão alimentar os módulos e um transformador AC/DC (externo à PCB), que irá fornecer a voltagem necessária ao funcionamento da parte DC do circuito. Além disso, o optoacoplador FOD814, irá também estar ligado à corrente alternada de modo a enviar um sinal ao microcontrolador cada vez que a tensão passe nos 0V.

Quanto ao microcontrolador, utilizou-se o já estudado LPC1754 (figura 42-1) com a adição de um cristal de 1.768 Hz e uma pilha de 3V (figura 42-5) para, conforme indicado no *datasheet* fornecido pela marca, ativar o RTC incluído no próprio integrado.

De maneira a dotar este sistema de comunicação *Bluetooth*, tal como o descrito no capítulo anterior, foi utilizado o mesmo componente que na HMI, o RN4020 (figura 42-6).

5.4. PLACAS DOS MÓDULOS

Após a Unidade de Controlo estar terminada e testada, foram desenvolvidas as placas do Módulo Temperatura Geral, Módulo Temperatura *Basking Spot* e Módulo Iluminação Ultravioleta, que podem ser observadas na figura abaixo:

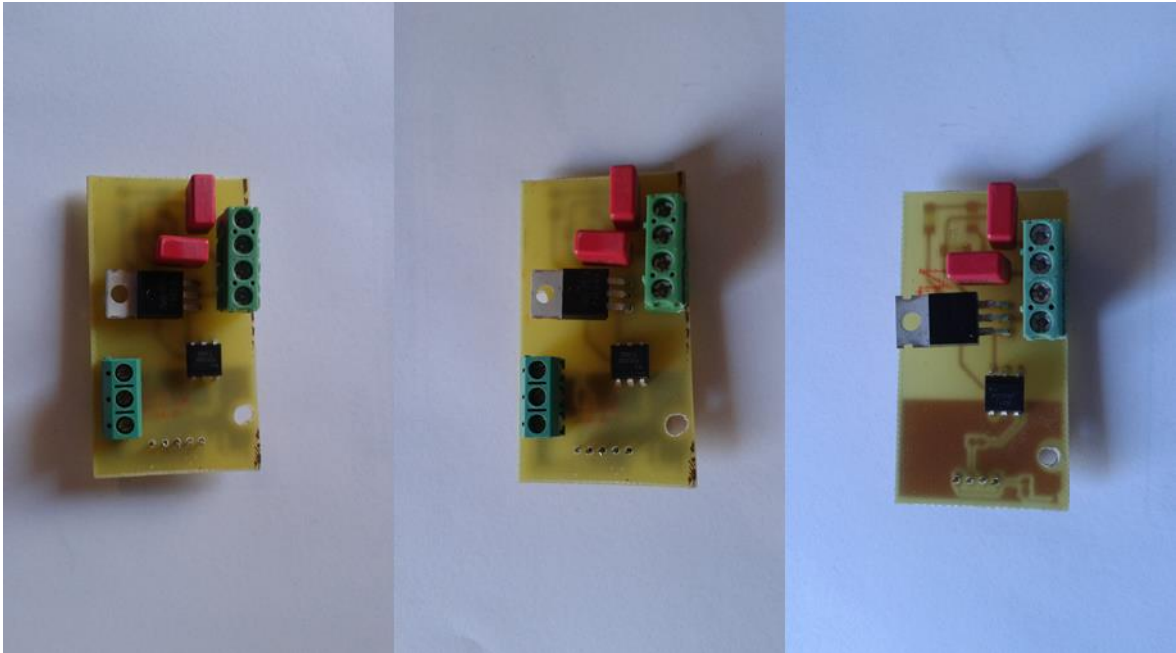


Figura 43 - Placas dos módulos - Da esquerda para a direita: Módulo Temperatura Geral; Módulo Temperatura *Basking Spot*; Módulo Iluminação Ultravioleta.

Como indicado em 5.1, foi construída anteriormente uma placa onde se testou o sensor de temperatura escolhido assim como o circuito de corte de potência. Como tal, as placas relativas ao controlo de temperatura (Módulo Temperatura *Basking Spot* e Módulo Temperatura Geral) foram rapidamente feitas com base nesse circuito já testado com sucesso. A placa do Módulo de Iluminação Ultravioleta foi também facilmente produzida. No entanto, devido ao constrangimento de tempo, não foi possível desenvolver os outros 3 módulos.

5.5. SOFTWARE

Dado que os microcontroladores utilizados tanto no comando como na Unidade de Controlo são da *NXP*, decidiu-se recorrer ao *LPCXpresso*, programa baseado em *Eclipse*, que permite compilar, programar e fazer *debug* em tempo real a código escrito para qualquer um dos microcontroladores da marca.

Todo o *software* foi desenvolvido tendo por base a biblioteca *LPCOpen*, também disponibilizada gratuitamente pela *NXP*. Esta biblioteca cria uma camada de abstração para uso e configuração do *hardware* dos microcontroladores da *NXP*. A estes ficheiros foram juntadas (e modificadas para o efeito) as bibliotecas *emWin* e *FATFs*. Em ambos os casos foi necessário desenvolver novas funções de comunicação entre os componentes (controlador TFT e cartão SD) e o microcontrolador. O protocolo de comunicação SPI foi o usado na construção dos *drivers* dos dois componentes. Houve ainda a necessidade de desenvolver um programa que efetuasse a leitura dos valores (analógicos) enviados pelo *touchscreen*, e os convertesse em coordenadas que são “alimentadas” à GUI da *emWin* onde a interação com o utilizador e respetiva resposta da *interface* é processada.

Através deste conjunto de funções foi construído o nível mais baixo do programa da HMI onde se encontra o código relativo ao funcionamento do microcontrolador e dos componentes a ele ligados. O restante código, correspondente ao funcionamento da interface gráfica, foi progressivamente desenvolvido segundo as projeções feitas no capítulo 4.

Na Unidade de Controlo aplicou-se o mesmo método: Começou-se por se escrever todo o código de baixo nível relativo ao *hardware* da Unidade de Controlo, tendo por base o programa já feito para a HMI. A partir daí construiu-se de raiz todas as funções que permitissem dotar o sistema das funcionalidades propostas e alcançar assim os objetivos assumidos para este projeto.

A figura 44 ilustra as várias funções que compõe o código do sistema e como estas estão organizadas:

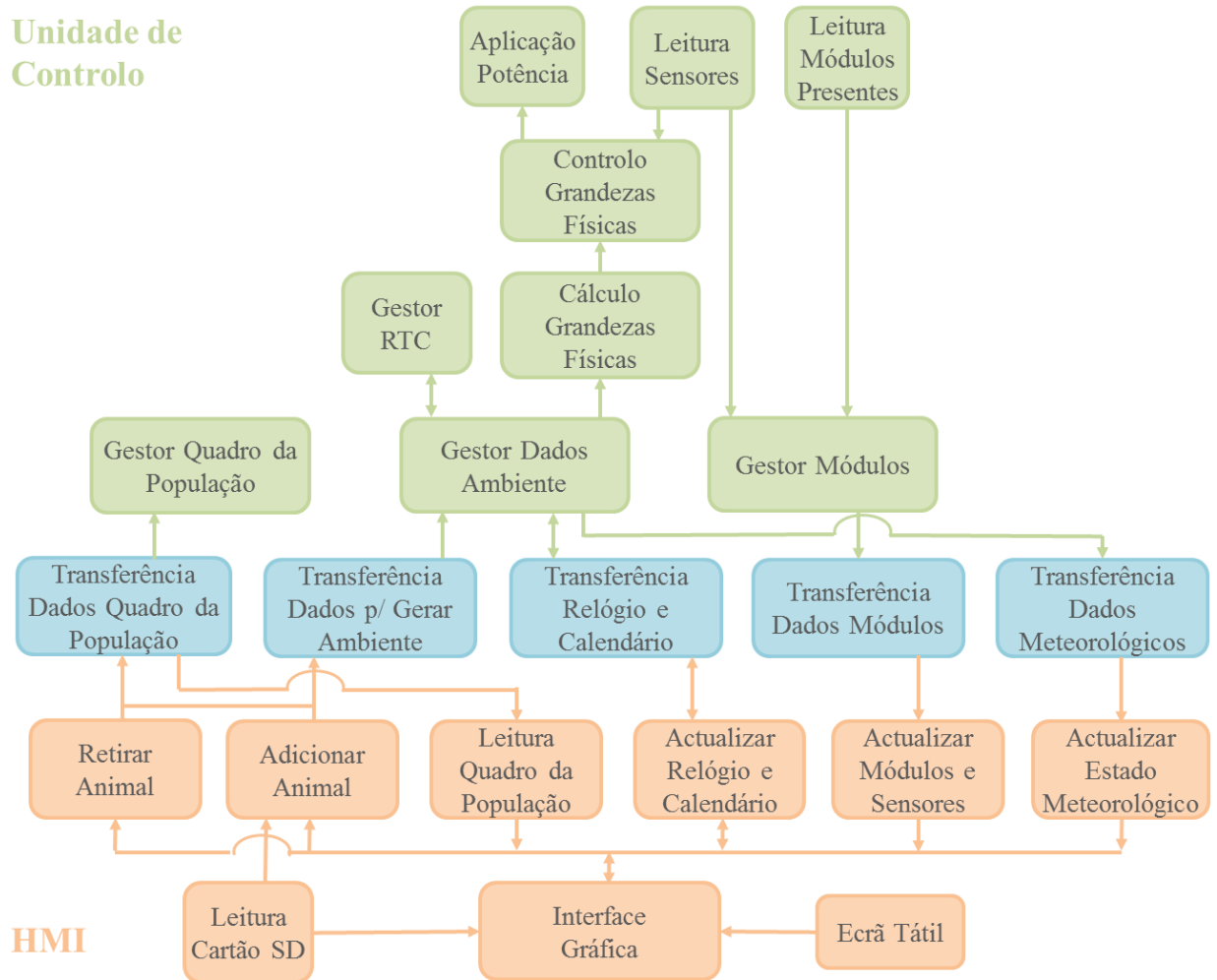


Figura 44 - Esquema do *software*

Interface Gráfica

Conjunto de funcionalidades que permitem ao utilizador interagir com o sistema. Estas recebem dados de outras partes do programa, que permitem mostrar ao utilizador o estado atual e futuro do viveiro relativamente às grandezas físicas que caracterizam o seu ambiente, animais que constituem o quadro da população assim como os valores recolhidos pelos sensores dos módulos presentes. Juntamente com os dados recolhidos pelo ecrã tátil relativamente à posição pressionada, estas funções permitem também ao utilizador comunicar ordens como a de adicionar ou retirar um animal do quadro de população ou atualizar a data e hora.

Ecrã Tátil

Leitura dos valores de resistência resultantes do toque numa certa área do ecrã resistivo, e transformação desses valores em coordenadas que são posteriormente enviadas para as funções de Interface Gráfica.

Leitura Cartão SD

Disponibilizam os dados contidos no cartão SD para que, através das funções da Interface Gráfica, o utilizador tenha acesso à lista de informações relativas aos animais compatíveis com o VIIV. Estas funções servem também para transmitir da HMI para a Unidade de Controlo, os dados relativos aos animais seleccionados e os valores necessários à construção dum ambiente apropriado para os mesmos. É também através destas funções que são lidas do cartão algumas das imagens que constituem o grafismo da interface.

Retirar animal

Inicia e gere na HMI o processo de eliminação de um dos animais presentes no quadro da população do viveiro.

Adicionar animal

Inicia e gere na HMI o processo de adição de um novo animal ao viveiro seleccionado a partir da lista de espécies. Antes de aceitar essa adição, o sistema faz uma análise que determina se as condições necessárias para o animal a introduzir se verificam. Nomeadamente compatibilidade do animal a adicionar relativamente a outros animais já presentes, características do ambiente em vigor no terrário e módulos necessários.

Leitura Quadro da População

Funções que gerem o pedido e a receção na HMI dos dados relativos ao quadro da população do viveiro guardado na Unidade de Controlo.

Atualizar Relógio e Calendário

Funções que gerem a atualização do relógio e do calendário na HMI. Contém também funcionalidades que transmitem para a Unidade de Controlo (onde se encontra

o RTC) uma mensagem com a ordem e dados de alteração da hora ou data por parte do utilizador.

Atualizar Módulos e Sensores

Funções que gerem o processo da receção periódica via *Bluetooth* dos dados provenientes da Unidade de Controlo relativos à presença dos módulos e os valores recolhidos pelos respetivos sensores. Estes dados são posteriormente processados e enviados para a Interface Gráfica que os mostrará ao utilizador caso seja pedido.

Atualizar Estado Meteorológico

Funções que gerem o processo da receção periódica via *Bluetooth* dos dados provenientes da Unidade de Controlo relativos ao estado atual da meteorologia a implementar. Estes dados são posteriormente processados e enviados para a Interface Gráfica que os mostrará ao utilizador caso seja pedido.

Transferência Dados Quadro da População

Funções que gerem o processo de transferência via *Bluetooth* de dados relativos ao quadro da população entre o HMI e a Unidade de Controlo.

Transferência Dados p/ Gerar Ambiente

Funções que gerem o processo de transferência via *Bluetooth* dos valores necessários para gerar as rotinas que vão definir o ambiente no viveiro.

Transferência Relógio e Calendário

Funções que gerem o processo de transferência via *Bluetooth* dos valores referentes à hora e data definidos no sistema, assim como possíveis pedidos de alteração feitos pelo utilizador.

Transferência Dados Módulos

Funções que gerem o processo de transferência via *Bluetooth* de dados relativos à presença dos módulos no sistema e aos valores recolhidos pelos respetivos sensores.

Transferência Dados Meteorológicos

Funções que gerem o processo de transferência via *Bluetooth* de dados relativos ao estado meteorológico do viveiro.

Gestor Quadro da População

Funções que gerem, processam e armazenam os dados relativos aos animais presentes no viveiro e possíveis pedidos de alterações ao quadro da população recebidos da HMI

Gestor Dados Ambiente

Funções que gerem, processam e armazenam os dados relativos ao ambiente a gerar segundo os valores recebidos da HMI referentes aos animais adicionados.

Gestor Módulos

Funções que gerem, processam e armazenam os dados relativos aos módulos, nomeadamente os valores lidos pelos sensores e a sua conexão ao sistema.

Gestor RTC

Funções que processam e transmitem informações sobre a data e hora registadas no RTC. Procedem também à alteração da data e hora em caso de receção dessa ordem.

Cálculo Grandezas Físicas

Calcula as grandezas físicas a atingir para cada minuto de cada dia consoante os valores registados no Gestor de Dados do Ambiente e a hora e a data indicadas pelo RTC.

Controlo Grandezas Físicas

Funções que calculam a potência a aplicar nos periféricos dos módulos consoante os valores a atingir nas várias grandezas físicas calculadas previamente e, no caso de existirem, os valores obtidos pelos sensores.

Aplicação Potência

Controlo do ângulo de disparo para o caso dos módulos com circuito de controlo de fase (Temperatura Geral e Temperatura *Basking Spot*) e sinal On/Off para o Módulo Iluminação Ultravioleta.

Leitura Sensores

Leitura dos sensores de temperatura do Módulo Temperatura Geral e Módulo *Basking Spot*, no caso destes se encontrarem conectados ao sistema.

Leitura Módulos Presentes

Verificação da conexão dos módulos ao sistema.

5.6. GERAÇÃO E CONTROLO DO AMBIENTE

Um dos aspetos do programa que merece ser explicado em mais detalhe é o da geração dos valores a obter nas várias grandezas físicas que caracterizam o ambiente, e a sua variação ao longo do dia e do ano. Começou-se por estudar o ciclo solar diário, ao qual correspondem os resultados a obter relativamente à temperatura e luminosidade no viveiro. Observe-se o seguinte gráfico que mostra a insolação ao longo de um dia num local típico em terra com a latitude de 45°, para o equinócio e os solstícios:

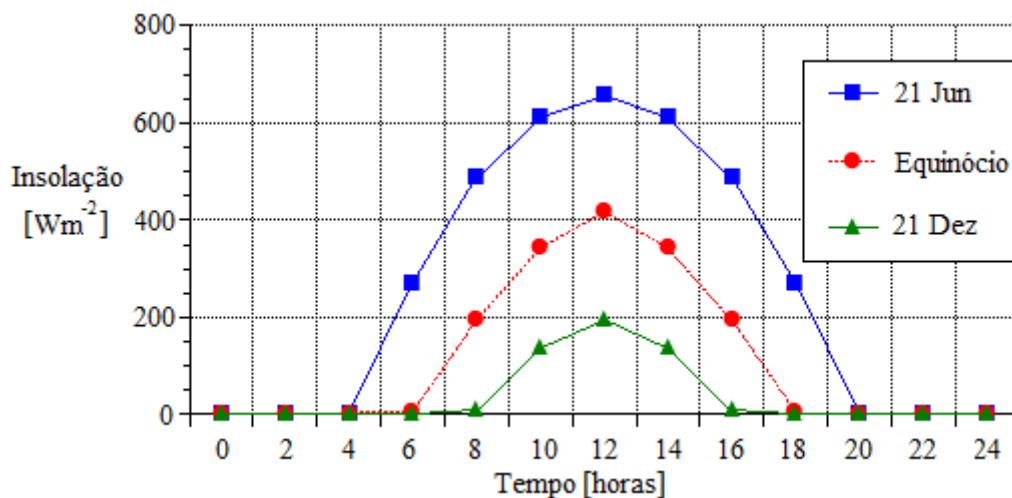


Figura 45 - Insolação recebida ao longo de um período de 24 horas

Pode-se facilmente perceber que o pico de insolação ocorre para todas as datas ao meio dia, quando o sol atinge a sua maior altura no horizonte. No entanto, ao observar o próximo gráfico conclui-se que a variação da temperatura ao longo do dia não segue a mesma tendência:

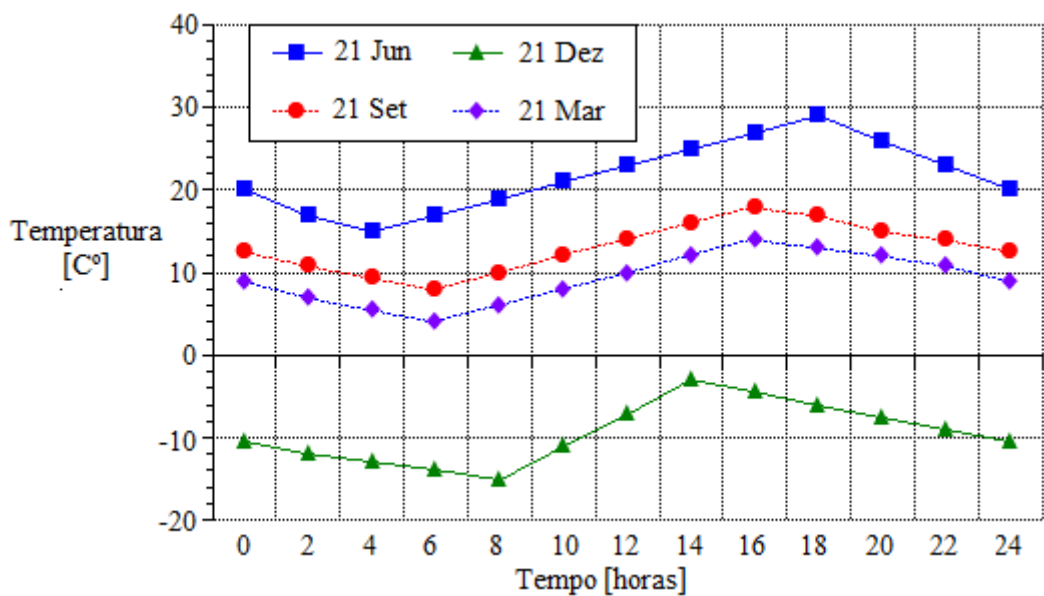


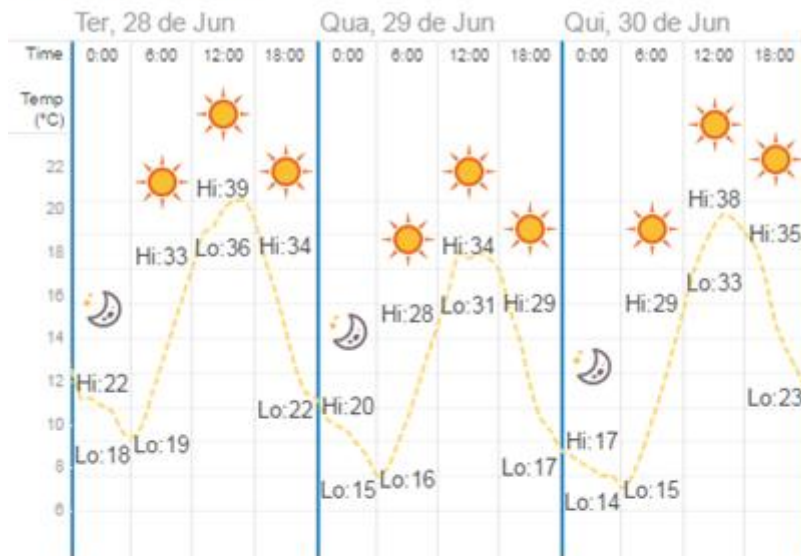
Figura 46 - Variação da temperatura da superfície terrestre ao longo de 24 horas

Este fenómeno deve-se ao tempo que demora para a superfície absorver a energia emitida sob a forma de calor. Esta só atinge a maior temperatura depois da hora de maior valor de insolação [32]. Este aspeto também se aplica às horas que sucedem o pôr do sol, sendo que não se verifica uma queda instantânea na temperatura assim que o sol se põe, mas sim um declínio progressivo da mesma à medida que a energia acumulada pela terra vai sendo libertada para a atmosfera [33].

Apesar das variações de temperatura ao longo do dia alterarem consoante a data e o ponto no globo, o padrão repete-se numa forma muito semelhante aos exemplos apresentados acima [32].

De seguida expõem-se os gráficos das temperaturas registadas ao longo de vários dias em dois pontos em hemisférios diferentes, Sacramento na Califórnia e Sidnei na Austrália, de onde são naturais dois dos répteis de estimação mais populares no mercado da terrariofilia: a Cobra Real da Califórnia e o Dragão Barbudo.

Sacramento



Sidnei

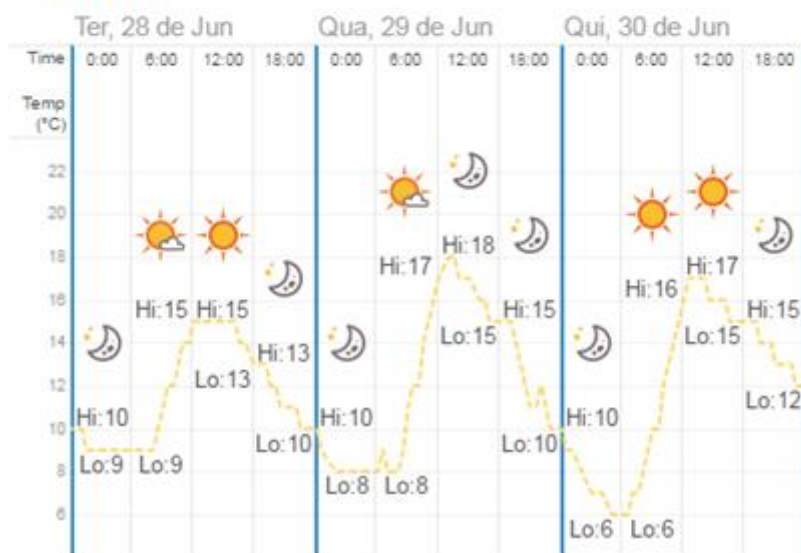


Figura 47 - Gráficos das temperaturas registadas para Sacramento e Sidnei para 28, 29 e 30 de junho de 2016 (retirado de www.timeanddate.com)

Relacionando os gráficos da figura 47, com o gráfico da figura 46, é possível deprender o padrão da variação da temperatura ao longo do dia.

Pontos-chave

Tendo por base esse padrão e com vista a replica-lo, definiram-se 6 pontos-chave do decorrer do dia: início e fim do nascer-do-sol, início e fim do pôr do sol, ponto médio do dia (geralmente o pico da temperatura) e ponto médio da noite. A estes

pontos-chave foram associados o horário a que ocorrem, a luminosidade, e as respectivas temperaturas a atingir. Através destes valores o sistema gera a simulação do ciclo diário solar. Para isso, são calculados os valores de temperatura e luminosidade, para cada minuto do dia, tendo por base o tempo entre cada ponto (que irá condicionar a velocidade de progressão) e os respectivos valores a atingir nos horários definidos pelos mesmos. A título de exemplo, construiu-se o seguinte gráfico que mostra uma progressão da temperatura a atingir com o Módulo Temperatura Geral durante o nascer-do-sol. Os valores atribuídos ao ponto-chave do início do nascer do sol foram de 18C° para a temperatura e 6:00 para o horário. Ao final do nascer-do-sol foram atribuídos os valores de 25C° e 7:00. O gráfico mostra também parte da progressão para o ponto-chave seguinte (ponto médio do dia) definido para as 13:00, com a temperatura a atingir de 30 C°.

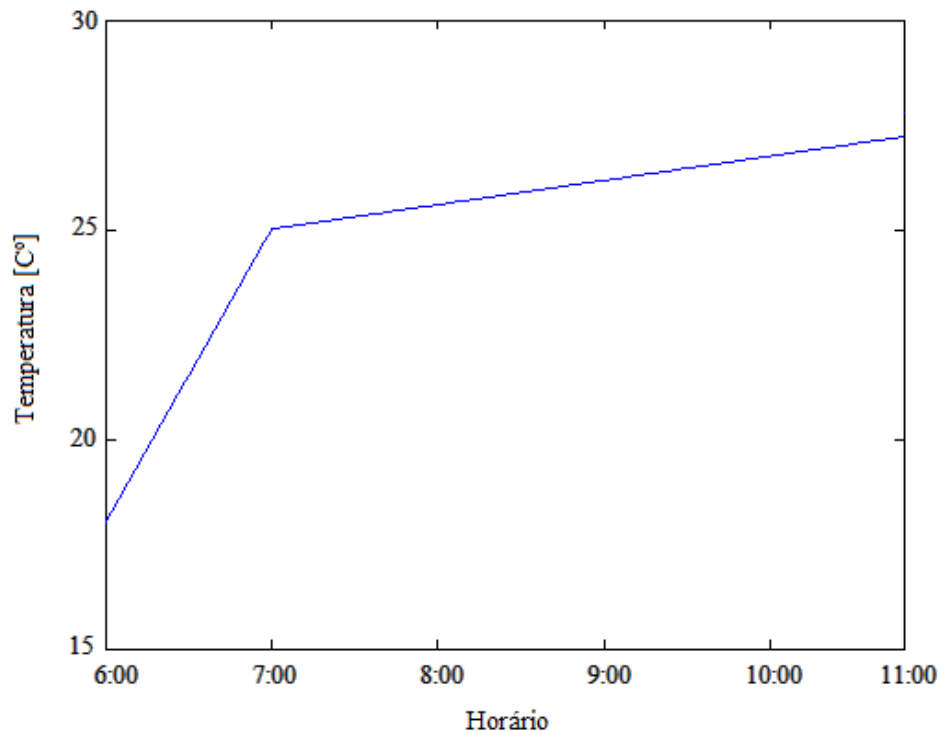


Figura 48 - Exemplo de progressão das temperaturas a atingir com o Módulo Temperatura Geral entre as 6:00 e as 11:00

O brilho da lâmpada de *basking spot* também acompanha o nascer-do-sol, aumentando gradualmente desde o ponto-chave definido como início do nascer-do-sol, até atingir o brilho máximo (caso não exceda a temperatura requerida) no final do

mesmo. No pôr do sol dá-se o inverso, sendo que a luminosidade vai diminuindo gradualmente até apagar a lâmpada por completo. O Módulo Iluminação Ultravioleta segue também este horário, ligando a lâmpada ultravioleta assim que termina o período do nascer-do-sol, e desligando-a assim que começa o pôr-do-sol.

Variação anual

Além das variações ao longo do dia, os valores associados aos pontos-chave (horário, temperaturas, luminosidade) também variam de dia para dia, simulando assim a passagem das estações do ano. Importa referir desde já que, tal como no caso da relação da insolação com a temperatura, também existe um atraso relativo aos dias com mais horas de sol em relação aos dias mais quentes, pelo mesmo motivo. Apesar de nos meses com dias mais longos haver maior insolação, a acumulação de energia na superfície da terra e a consequente libertação, faz com que a temperatura da atmosfera atinja geralmente o seu valor mais elevado cerca de um a dois meses após o solstício de verão. A mesma lógica se aplica para o solstício de inverno, onde se verifica a temperatura mais baixa um a dois meses após o dia mais curto do ano [33].

Cada animal tem um perfil próprio (guardado no cartão SD) que contém os dados a partir dos quais são gerados os valores relativos aos pontos-chave. Num ficheiro de texto está armazenado o horário dos 6 pontos-chave para o dia mais longo e mais curto do ano e as temperaturas para o dia mais quente e mais frio do ano. A partir destes valores são calculados diariamente o horário, luminosidade e temperaturas a aplicar, tendo em conta a progressão linear entre os dois pontos extremos no calendário.

Apesar da variação da temperatura ao longo do ano nem sempre corresponder a uma progressão linear, e com a consciência de que existem outros fatores a ter em conta numa modelação meteorológica, dado o constrangimento de tempo neste projeto decidiu-se implementar este algoritmo mais simples mas que ainda assim demonstrar satisfatoriamente as capacidades do sistema.

No entanto, para que a simulação se aproxime um pouco mais da realidade, o sistema gera uma variável aleatória com um máximo de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, que é somada aos valores a atingir nos pontos-chave de cada dia.

Exemplos

Os seguintes gráficos mostram a evolução da temperatura pretendida na zona mais fria do terrário (Módulo Temperatura Geral) para 3 dias diferentes do ano. O

resultado é gerado através dos valores atribuídos aos 6 pontos-chave para o solstício de inverno, solstício de verão e equinócio. É de salvaguardar que os valores das temperaturas foram usados apenas a título de exemplo, não refletindo qualquer relação com a meteorologia dum *habitat* específico.

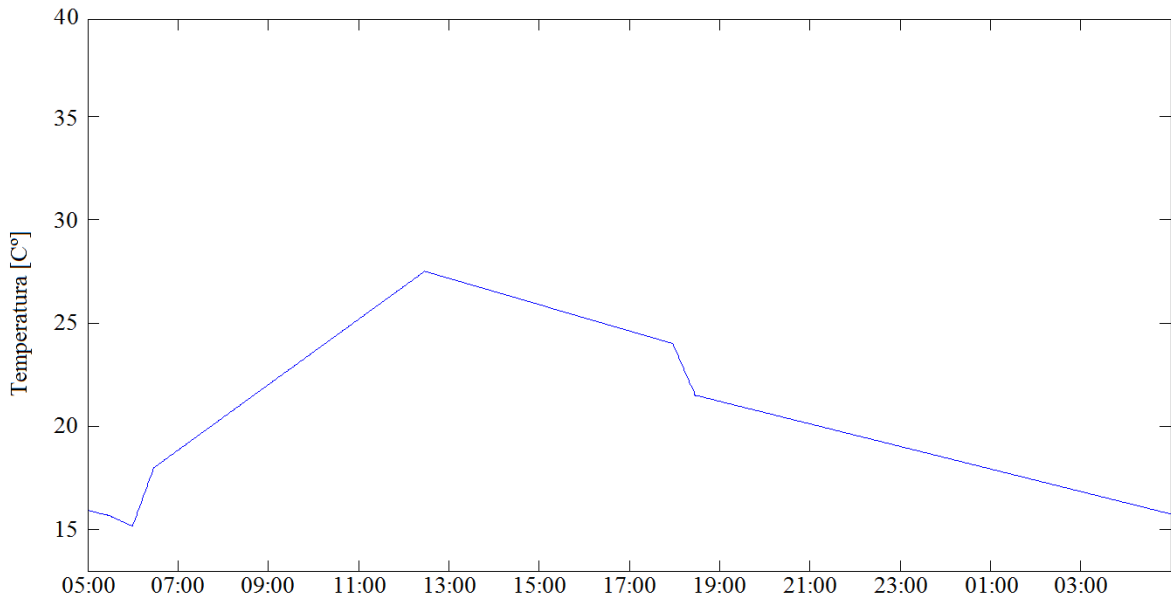


Figura 49 - Variação da temperatura na zona mais fria do terrário para o dia 21 de dezembro

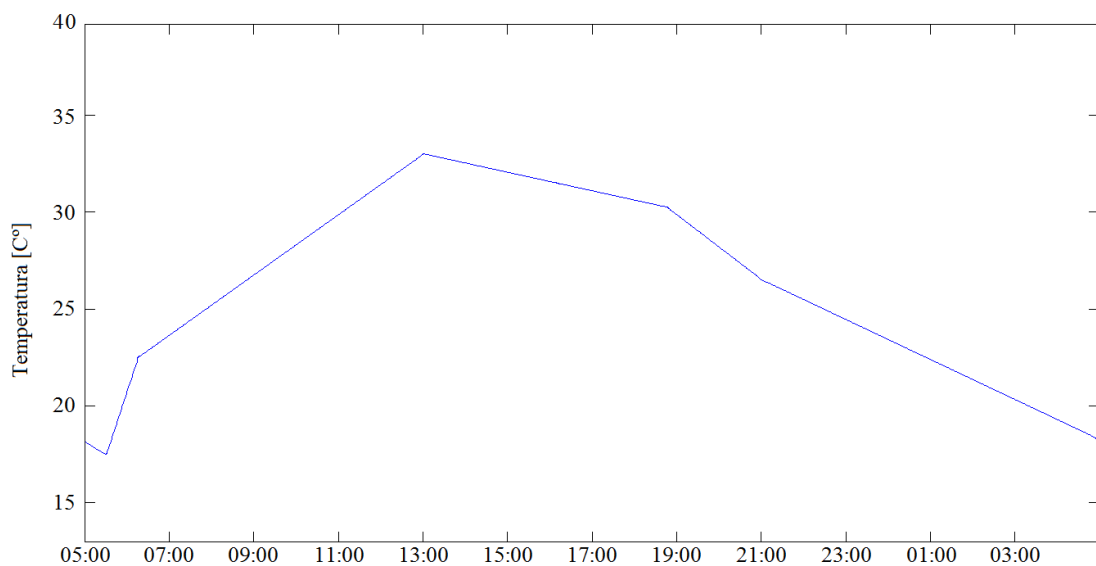


Figura 50 - Variação da temperatura na zona mais fria do terrário para o dia 20 de março

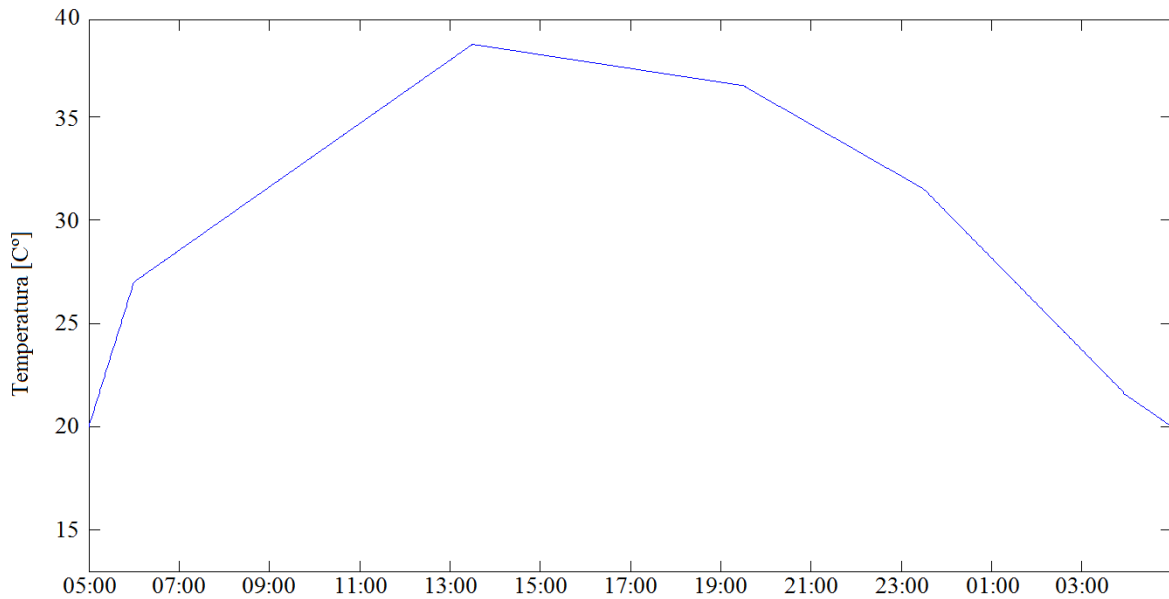


Figura 51 - Variação temperatura na zona mais fria do terrário para o dia 21 de junho

Comparando os três gráficos, pode-se observar a mudança nos horários dos pontos-chave e o aumento gradual das temperaturas ao longo do ano. Atribuindo diferentes valores aos pontos-chave, é possível criar vários padrões de temperatura. Esses valores irão constituir a base de dados com os perfis dos animais suportados pelo VIIV.

Controlo

De modo a obter os valores das grandezas físicas gerados pelo sistema, implementaram-se rotinas de controlo para os 3 módulos construídos (Temperatura Geral, Temperatura *Basking Spot* e Iluminação Ultravioleta). No caso dos módulos de controlo de temperatura, foi aplicado um controlador PI tal como descrito em 4.2. Posteriormente, procedeu-se ao afinamento e melhoramento desse mesmo controlador. Através dum processo empírico de tentativa-erro, foram encontrados os valores de K_p e K_i que produziam um controlo com um erro máximo de $\pm 0.4C^\circ$ no Módulo Temperatura Geral e $\pm 0.1C^\circ$ no Módulo Temperatura *Basking Spot*, indo de encontro aos requisitos listados em 3.2. De modo a impedir que após uma mudança mais acentuada no valor da temperatura a obter (como por exemplo na inicialização do sistema), a componente integral (I) acumulasse demasiado erro e produzisse um valor demasiado elevado, foi colocado um teto máximo para este termo. Isto impede um

comportamento chamado *integral windup* em que a componente integral acumula demasiado erro e ultrapassa o valor máximo de *output* final do controlador, fazendo com que o sistema entre em *overshoot*, até que seja contrabalançado pelo excesso de erro no sentido inverso [30].

Conclusões

Durante o processo de desenvolvimento deste *software* deparou-se com diversos problemas, o primeiro dos quais a escassez de documentação adequada aquando da adaptação das bibliotecas encontradas ao sistema a ser desenvolvido. Isto tornou a validação de componentes num processo mais demorado que o esperado.

Percebeu-se também que o integrado *Bluetooth* RN4020 é uma peça que apresenta alguns problemas de funcionamento, nomeadamente quando assume a função de cliente no protocolo de comunicação. Este problema só foi detetado quando o desenvolvimento ia já numa fase avançada e, começou a haver um tráfico de dados mais volumoso entre a Unidade de Controlo e a HMI. Tal levou à necessidade de acréscimo de rotinas que aumentassem a robustez da comunicação entre as duas componentes principais do sistema.

Apesar de funcional, a biblioteca *emWin* fornece apenas um conjunto de funções, que pela sua simplicidade se mostraram pouco práticas, não permitindo um desenvolvimento rápido do *design* da *interface*. Foi usada a ferramenta *GUIBuilder*, que permitiu criar mais facilmente novas janelas para adicionar à *interface*. Apesar disso, esta mostrou-se bastante limitada, obrigando a que a larga maioria dos elementos gráficos tivessem de ser descritos manualmente através de código. A juntar-se a isso, a grande quantidade de memória requerida pelo grafismo comparativamente à capacidade máxima do microcontrolador, obrigou a um esforço adicional na gestão da mesma. Os factores elencados anteriormente, contribuiram significativamente para que grande parte do tempo dedicado à construção do protótipo tenha sido despendido no desenho da interface gráfica.

6. RESULTADOS

Concluído o desenvolvimento de todo o *hardware* e *software*, e após encapsular as diferentes partes do sistema de forma a melhor representarem o aspeto idealizado da versão comercializável, procedeu-se ao registo do que foi produzido na sequência deste trabalho e à realização de testes de apreciação geral do equipamento. Neste capítulo apresentam-se os resultados finais relativos à construção do protótipo do VIIV e às suas capacidades enquanto produto.

6.1. *HARDWARE*

Nas seguintes fotografias apresenta-se o aspeto final do protótipo do VIIV, constituído por Unidade de Controlo, HMI, Módulo Temperatura Geral, Módulo Temperatura *Basking Spot*, Módulo Iluminação Ultravioleta e respetivos conectores:



Figura 52 - Unidade de Controlo

Como se pode perceber na figura acima, cada módulo possui um encaixe correspondente na Unidade de Controlo, à qual podem ser ligados através dos seus conectores. Posto isto, basta colocar os sensores e as lâmpadas nos sítios indicados e o sistema estará pronto a funcionar.



Figura 53 - HMI

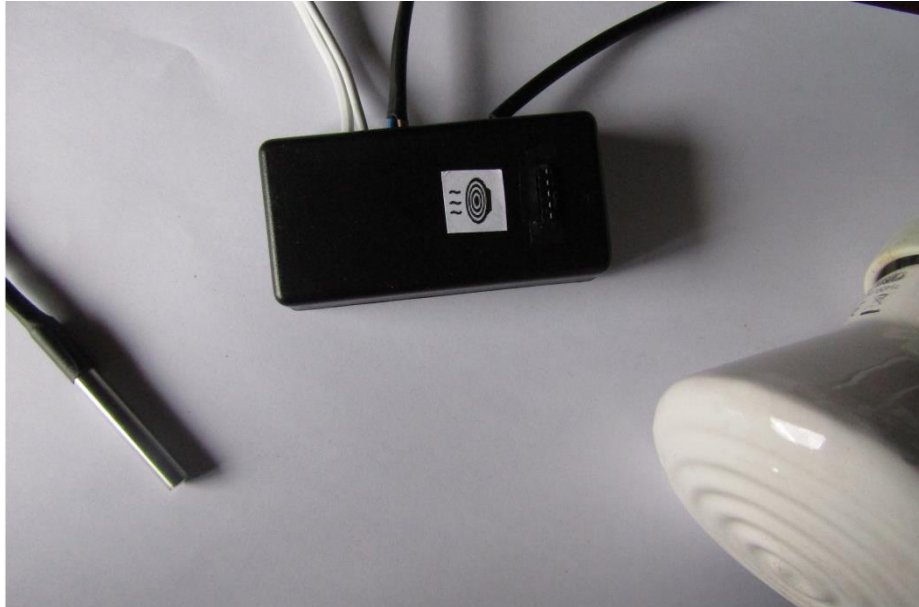


Figura 54 - Módulo Temperatura Geral com respectivo sensor de temperatura e lâmpada de cerâmica



Figura 55 - Módulo *Basking Spot* com respectivo sensor de temperatura e lâmpada *basking spot*



Figura 56 - Módulo Iluminação Ultravioleta com lâmpada UV

A seguinte figura mostra uma possível montagem do VIIV para um terrário onde habite um animal que apenas necessite do Módulo *Basking Spot*:



Figura 57 - Montagem do sistema. 1 - HMI; 2 - Unidade de Controle; 3 - Módulo *Basking Spot*; 4 - Lâmpada *basking spot*; 5 - Sensor de temperatura do módulo

Apesar de terem sido construídos apenas 3 dos 6 módulos, é possível aplicar o sistema para muitas das espécies provenientes de *habitats* pouco húmidos como desertos ou florestas temperadas, demonstrando assim algumas das capacidades do VIIV.

6.2. SOFTWARE

Neste subcapítulo será mostrada a *interface* construída enquanto simultaneamente são descritas as funcionalidades implementadas a que esta permite aceder.

Painel Menu

Nesta secção o utilizador pode aceder aos vários grupos de funcionalidades que o VIIV dispõe. Para isso basta tocar nos ícones respetivos, ilustrados na figura abaixo.



Figura 58 - Painel “Menu”

Painel Animal

Aqui será apresentado o quadro da população do viveiro, tal como demonstra a figura 59. Ao tocar em cada um dos quadrados ocupados o utilizador acede a um painel com informações mais detalhadas sobre o animal como os cuidados a ter ou a sua longevidade (ver figura 59). Através do ícone “+” acede-se ao Índice Animal onde é possível selecionar da lista um animal para adicionar ao viveiro. Este processo é explicado em mais detalhe adiante.

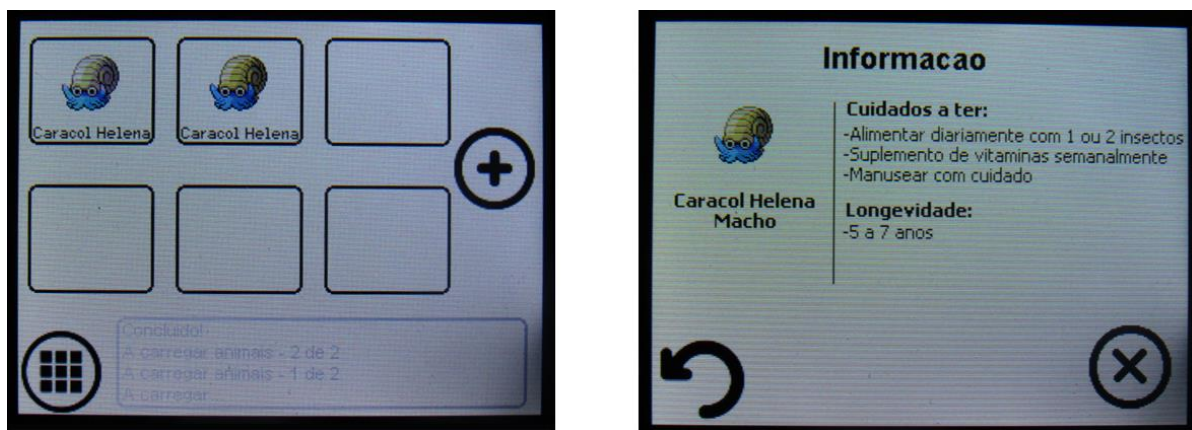


Figura 59 - Painel “Animal” com dois animais (à esquerda) e sub-painel “Informação Animal”, relativo ao segundo animal (à direita)

Painel Ambiente

Este painel contém informações relativas ao ambiente no interior do viveiro. Através de ilustrações que complementam os valores apresentados, o sistema mostra ao utilizador o estado da “meteorologia” atual e uma previsão para a seguinte fase do dia, tal como exemplificado na figura 60. A caixa de texto fornece informações suplementares ao utilizador sobre o tipo de *habitat* simulado, e dados relativos ao ambiente atual.



Figura 60 - Painel “Ambiente” às 5:27

Painel Equipamento

O painel Equipamento é dedicado à gestão dos módulos do sistema. Aqui é apresentada uma ilustração dos vários módulos existentes. A sua conexão ao sistema e operacionalidade é indicada através da mudança de cor do caixilho para verde. Tal como se pode ver na figura 61, são também mostrados os valores registados pelos sensores dos módulos respetivos.

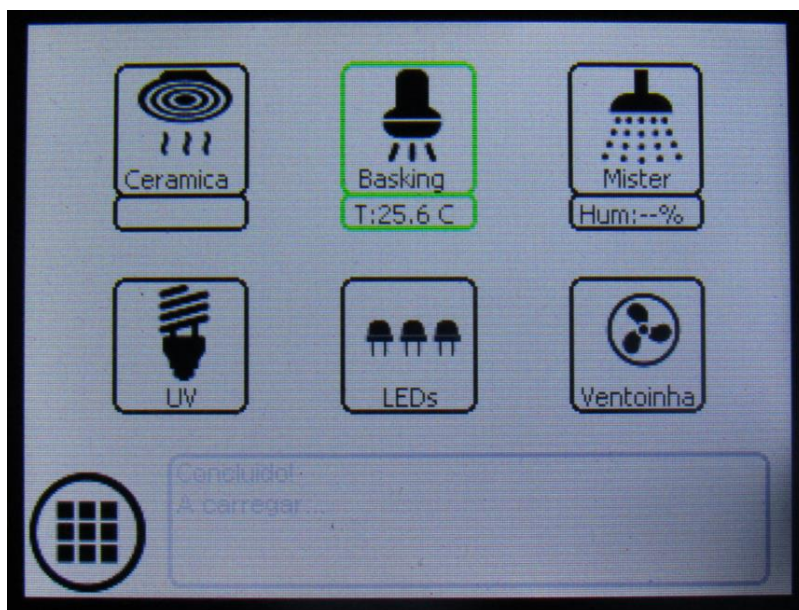


Figura 61 - Painel “Equipamento” indicando que apenas o Módulo Temperatura *Basking Spot* está conectado

Painel Índice Animal

O Índice Animal consiste numa listagem de todos os animais possíveis de adicionar ao VIIV. É mostrada uma ilustração e algumas características para cada animal em ambos os géneros, tal como se pode ver na figura 62:

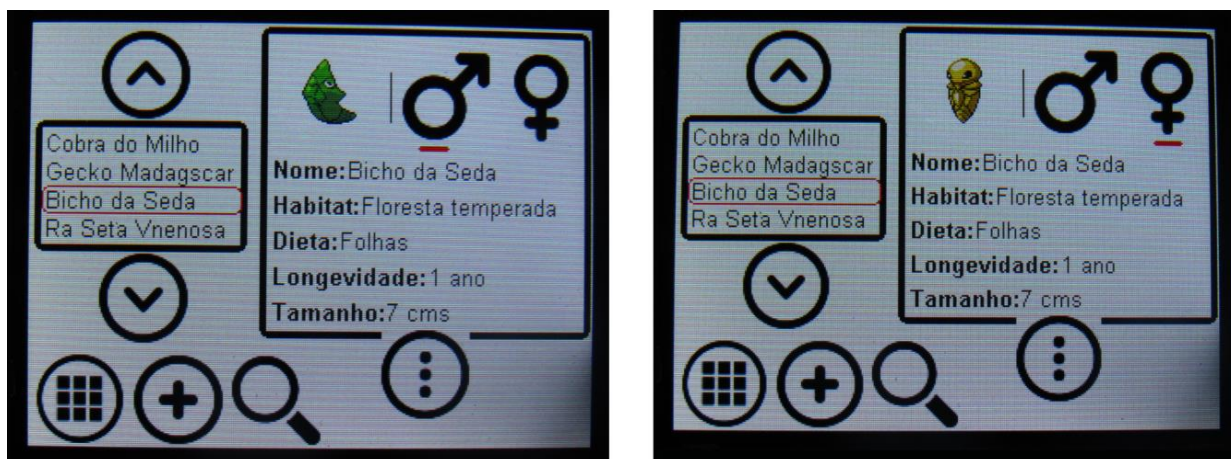


Figura 62 - Painel “Índice Animal” com as variantes masculina (à esquerda) e feminina (à direita) para a espécie seleccionada

Tocando no ícone “...” acede-se a um painel com informações mais detalhadas sobre a espécie como *habitat* de origem, relação com outros indivíduos da espécie, dieta, condições e conselhos para a sua manutenção (ver figura 63).

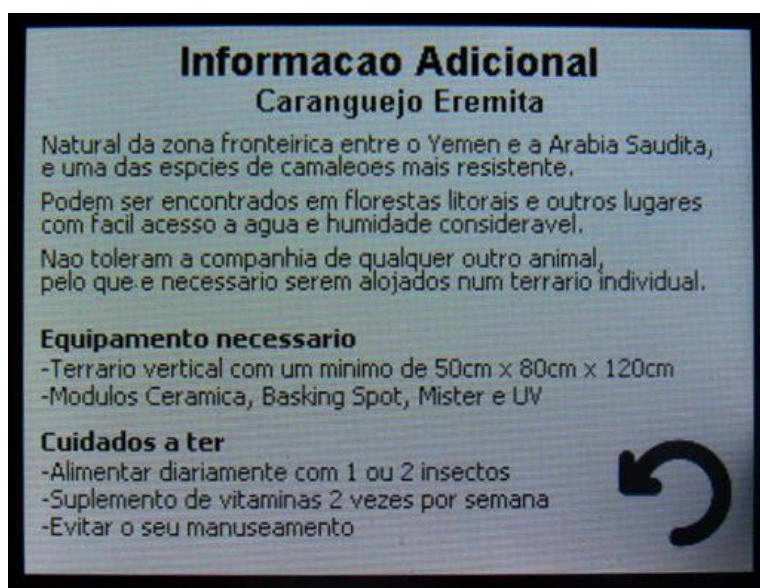


Figura 63 - Sub-painel “Informação Adicional”

De modo a adicionar o animal seleccionado ao viveiro, o utilizador premirá o ícone “+” que o irá levar para um painel (ver figura 64) que mostra o resultado da análise de compatibilidade da espécie pretendida relativamente a três tópicos:

- Compatibilidade com outros animais já presentes no viveiro;

- Compatibilidade com o ambiente em curso no caso do viveiro já ter outro animal;
- Presença dos módulos necessários no sistema.

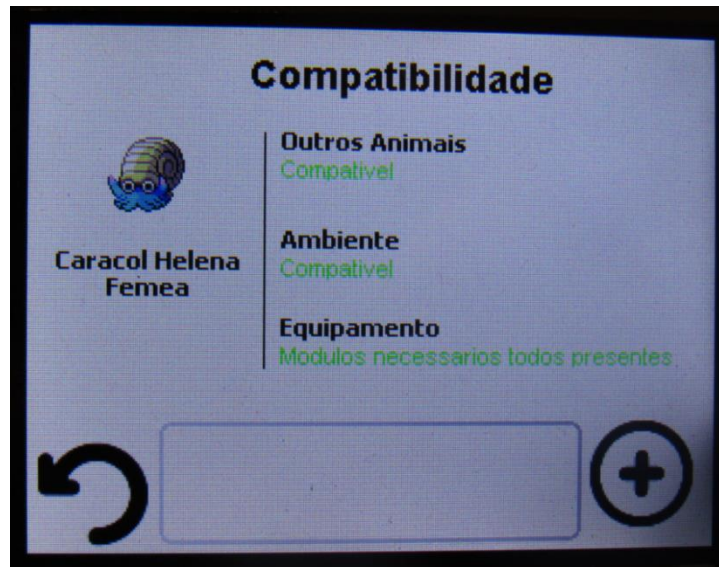


Figura 64 - Sub-painel “Compatibilidade” apresentando um resultado positiva relativamente à análise de compatibilidade entre o animal pretendido e o atual estado do viveiro

No caso de se verificarem positivamente todos os pressupostos necessários à presença do animal selecionado no viveiro corrente, ao pressionar o ícone “+”, os dados relativos ao animal são transferidos via *Bluetooth* para a Unidade de Controlo. Esta irá atualizar o conjunto de animais presentes no viveiro e atualizar o ambiente consoante as novas informações recebidas da HMI.

Caso as condições para receber o animal pretendido não estiverem reunidas, o sistema informa o utilizador sobre como proceder através da caixa de texto, tal como ilustrado na figura seguinte:

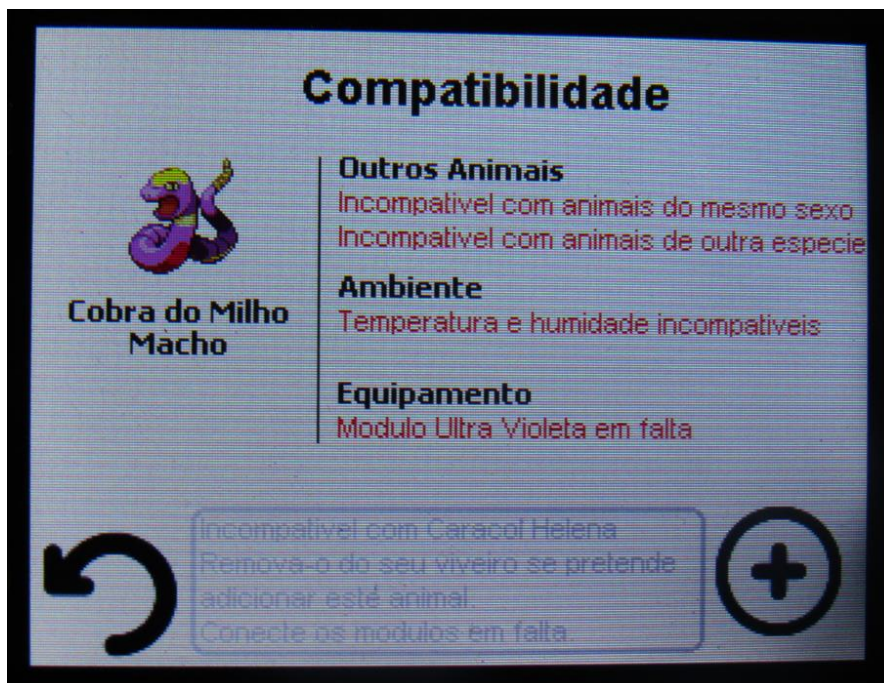


Figura 65 - Sub-painel “Compatibilidade” apresentando incompatibilidades entre a espécie pretendida e o atual estado do viveiro. Na caixa de texto lê-se “Incompatível com Caracol Helena. Remova-o do seu viveiro se pretende adicionar este animal. Conecte os módulos em falta.”

Painel Definições

Aqui o utilizador poderá ajustar a data e a hora assim como reiniciar a conexão com a Unidade de Controlo (ver figura 66). No caso de serem alteradas, as definições de data e hora são transmitidas via *Bluetooth* para a Unidade de Controlo, onde se encontra o relógio do sistema.

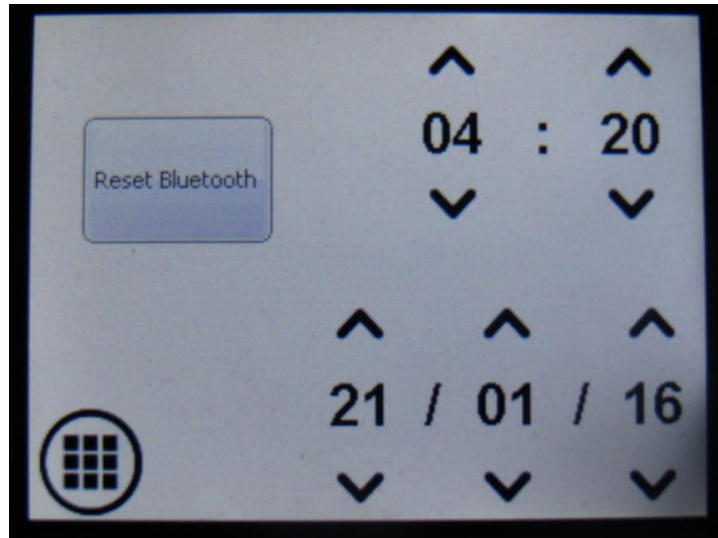


Figura 66 - Painel "Definições"

Nota sobre o interface

Como não poderia deixar de ser, tanto o grafismo como o conteúdo e as funcionalidades aqui apresentadas encontram-se ainda numa fase longe de terminada no âmbito do projeto geral do desenvolvimento de um produto final comercializável. O que aqui se apresenta é um “esboço” próprio de um primeiro protótipo, e uma mostra daquilo que a interface do VIIV poderá ser quando concretizado.

6.3. TESTES

Os gráficos abaixo apresentados resultam dos testes realizados aos módulos Temperatura Geral e Temperatura *Basking Spot*. Pretende-se demonstrar com isto, o grau de exatidão obtido no controlo das temperaturas.

Aplicou-se o sistema num terrário à temperatura ambiente de 29 C°, conectando-se apenas o Módulo Temperatura Geral à Unidade de Controlo. Definiu-se a temperatura a atingir na zona mais fria do terrário de 32 C°. Após meia hora a temperatura estabilizou nos 32 C° graus tal como previsto.

Tal como ilustra o seguinte gráfico:

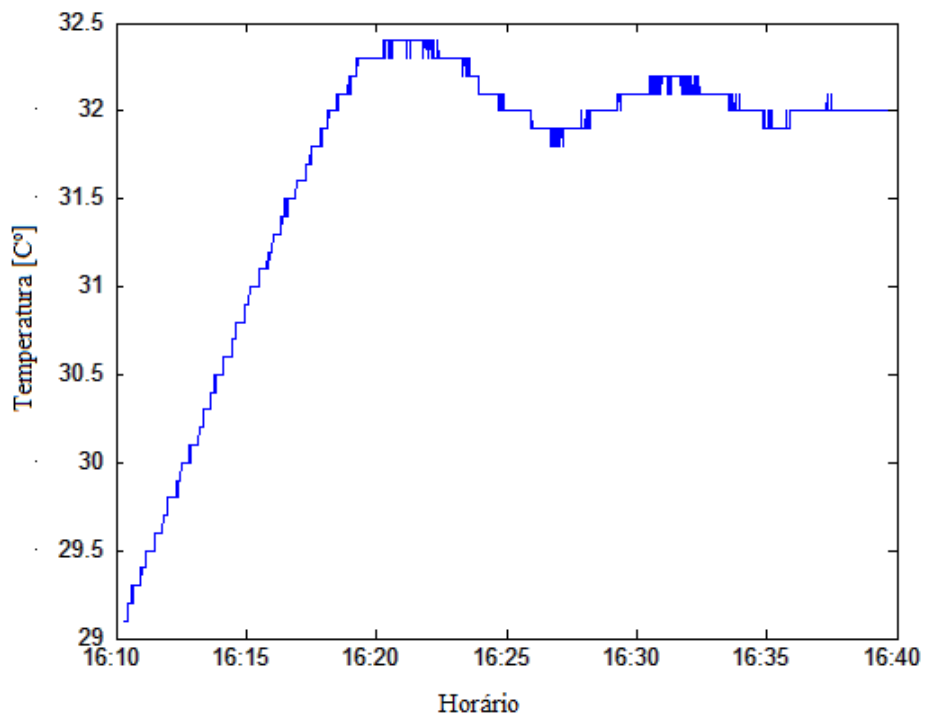


Figura 67 - Resultado do teste Módulo Temperatura Geral

Como se pode observar, a temperatura demorou um pouco a estabilizar tal como o esperado deste sistema de controlo com uma resposta relativamente lenta. Podemos no entanto considerar que o intervalo de erro de $\pm 0,5\text{C}^\circ$ objetivado no capítulo 3 foi cumprido com sucesso. Isto é o resultado da afinação escolhida para o controlador PI. Do mesmo modo, foi testado o Módulo Temperatura *Basking Spot*.

No seguinte gráfico mostra-se o resultado deste teste onde se definiu a temperatura a obter de 40C°:

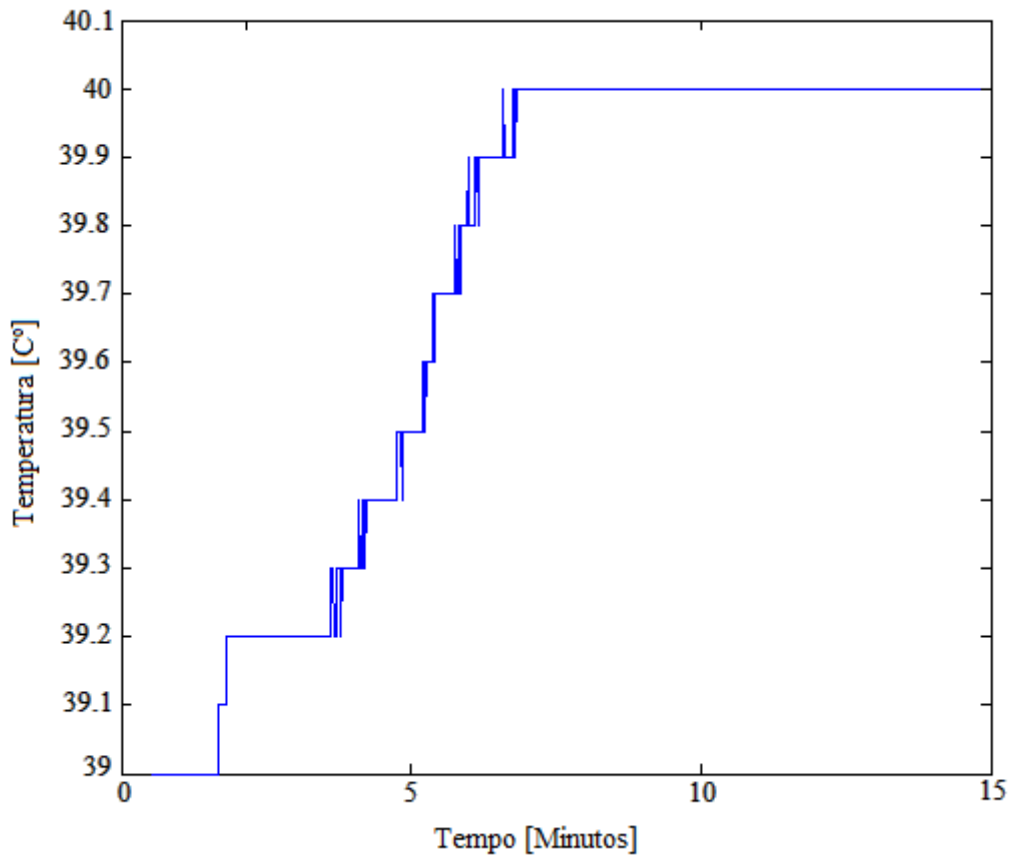


Figura 68 - Resultado do teste do Módulo Temperatura *Basking Spot*

Este controlador de temperatura tem uma resposta bastante mais rápida que o anterior por se tratar duma lâmpada com uma relação mais direta entre o seu *output* e a variação sentida imediatamente no sensor. Acentua isto também, o facto de o sensor ser colocado exatamente por baixo da lâmpada de *basking spot* onde incidem os feixes luminosos emitidos por esta.

Como tal, foi possível proceder a um afinamento apurado do controlador PI de maneira a obter um controlador com menos oscilação e com um erro máximo de +/- 0.1C°. Sendo que muitas das vezes o erro obtido é até de 0C°, tal como na situação ilustrada pelo gráfico acima. Este resultado é considerado muito satisfatório tendo em conta o erro máximo de +/-0.3C° estabelecido no capítulo 3.

Outro aspeto verificado foi o da variação da temperatura ao longo do dia. De maneira a comprovar isto, foi gerado a título de exemplo um ambiente para uma espécie fictícia e medidas as temperaturas no *basking spot* ao longo do dia. O gráfico abaixo ilustra as temperaturas do *basking spot* obtidas para um dia de verão, onde facilmente se conseguem perceber as várias fases de iluminação solar:

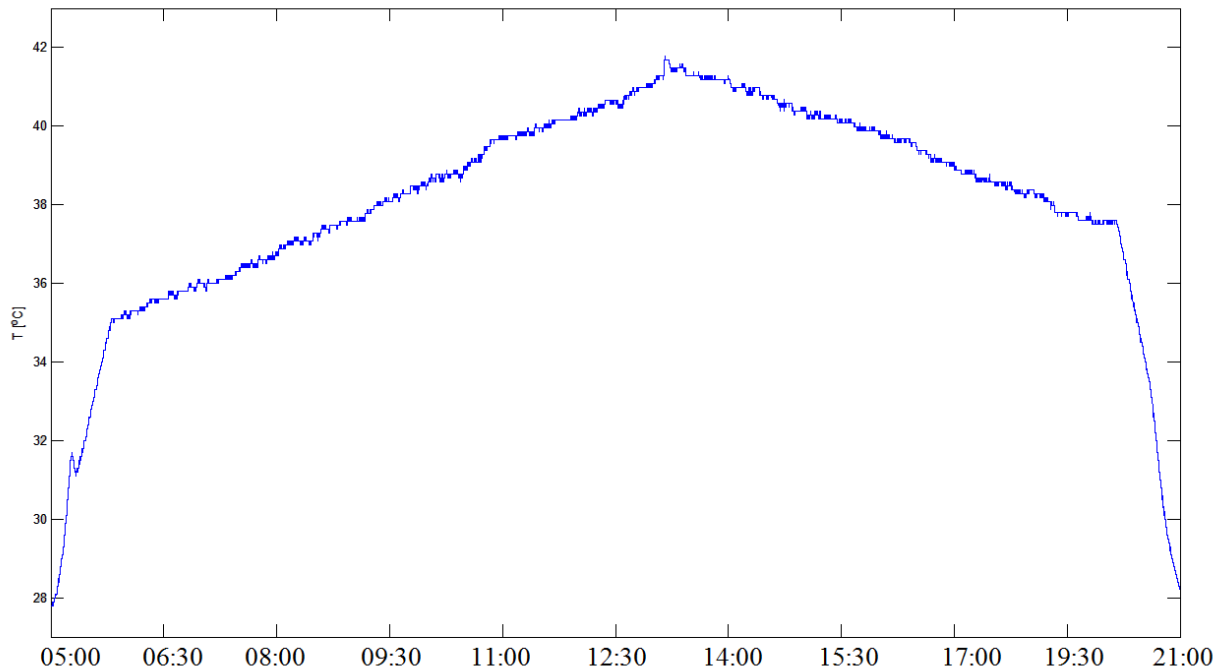


Figura 69 - Temperatura medida no *basking spot* ao longo de 18 horas

Durante o período da noite esta lâmpada é desligada. A sua luminosidade máxima é limitada nas alturas da aurora e do crepúsculo de modo a simular o nascer e o pôr do sol, como se pode perceber pela ascensão e queda mais acentuadas na temperatura nas fases do dia correspondentes. Comparando com o mesmo período de tempo na figura 47 ou na figura 51 é possível constatar a verosimilhança entre os 3 gráficos, tal como se pretendia.

O sistema também se foi capaz de seguir os vários horários de iluminação ultravioleta através do módulo respetivo, variando este ao longo do ano conforme a duração do período de iluminação solar.

7. CONCLUSÃO E TRABALHO FUTURO

O objetivo desta dissertação consistia no desenvolvimento do protótipo de um equipamento eletrônico direcionado para o mercado da terrariofilia que fosse capaz de criar autonomamente as condições ambientais necessárias num viveiro onde seriam alojadas espécies exóticas, sem exigir qualquer conhecimento sobre a matéria ao utilizador. Ou seja, o produto a desenvolver (ao qual se deu o nome de VIIV) teria de ajustar automaticamente as grandezas físicas como temperatura ou humidade, sem que para isso o utilizador tivesse que programar parâmetros ou rotinas de controlo de ambiente. Além disso, o sistema comunicaria com o utilizador através de mensagens de modo a ajuda-lo a executar tarefas não automatizáveis e informa-lo sobre o estado e características do seu viveiro e animais. Pretendia-se também que as características dos ambientes criados pelo sistema fossem mutáveis ao longo do dia e do ano, recriando uma experiência mais próxima daquilo que os animais encontrariam na natureza. Com isto, tencionava-se atrair novos praticantes para a terrariofilia através da redução do conhecimento e tempo exigido aos mesmos para cuidar dum animal exótico e respetivo viveiro. Ao mesmo tempo, evita-se que o cuidador arrisque aceder a informação errada na *Web*, ou a cometer algum erro ao implementar e gerir o ambiente do terrário,

assegurando desta forma as características necessárias à vida em cativeiro do animal em questão.

Para isso foi realizada uma análise aos produtos existentes no mercado da terrariofilia e da aquariofilia que se aproximassem do que se pretendia com o VIIV. Com esse estudo concluiu-se não existir nenhum equipamento que livre o utilizador do processo de pesquisa por informação, estudo, experimentação e implementação das características necessárias no ambiente do viveiro, nem que o acompanhe nas tarefas posteriores de manutenção dos viveiros e respetivos animais. Seguindo a lista de requisitos resultante duma análise às necessidades ambientais dos animais de terrário mais populares no mercado e de maneira a ir de encontro às características delineadas anteriormente relativamente à comunicação e guia do utilizador, foi projetado todo o sistema a desenvolver.

Todos os objetivos relativos a projeção e construção do protótipo foram alcançados com sucesso.

A idealização da arquitetura do sistema foi o primeiro dos objetivos cumpridos. Tal como se pode verificar no capítulo 4, foram definidas a Arquitetura Geral, Funcional, Lógica e Física.

O *hardware* que constitui este protótipo do VIIV foi também devidamente projetado e implementado. Desde as opções de componentes a utilizar descritas em 4.4, até ao desenho e construção das várias PCB desenvolvidas ao longo deste projeto, tal como mostrado no capítulo 5. Ficaram apenas por concretizar as placas dos 3 módulos projetados mas não implementados (Humidade, Ventilação e Iluminação Visível).

O *software* do sistema foi desenhado e desenvolvido com êxito, indo de encontro aos objetivos delineados, relativos às funcionalidades pretendidas para o protótipo. Como se verifica no capítulo 4 e 5, foi desenvolvido código para os *drivers* dos componentes constituintes das PCB, gestão e controlo de 3 das 6 grandezas físicas delineadas, gestão do quadro de população do viveiro, comunicação *Bluetooth*, interface gráfica e demais funcionalidades do sistema.

Para finalizar o processo de construção do protótipo e como se vê no capítulo 6, toda a eletrónica que compõe o sistema foi encapsulada em caixas próprias para o efeito, dando uma amostra do aspeto que o sistema virá a ter quando concretizado enquanto produto comercializável.

Após estarem prontas as peças que compõe o sistema, foram testadas e analisadas as várias funcionalidades do equipamento comparativamente com os objetivos delineados.

No que toca à criação das condições de ambiente no terrário resultante da ação dos 3 módulos desenvolvidos (Temperatura Geral, Temperatura *Basking Spot* e Iluminação Ultravioleta), e tal como mostrado no capítulo 6, concluiu-se que o sistema é capaz de controlar com a precisão desejada os valores de temperatura e horas de iluminação UV. A temperatura geral apresentou um erro máximo de $\pm 0.3\text{C}^\circ$, abaixo dos $\pm 0.5\text{C}^\circ$ máximos objetivados. O mesmo sucedeu com a temperatura no *basking spot*, mantida com um erro máximo de $\pm 0.2\text{C}^\circ$, também abaixo do erro máximo estipulado de $\pm 0.3\text{C}^\circ$. O horário de iluminação ultravioleta é também cumprido com o rigor necessário de acordo com plano traçado pelo próprio sistema.

Apenas com estes 3 módulos é possível responder às necessidades ambientais da maioria dos animais de terrário provenientes de climas pouco húmidos como deserto ou savana, indo de encontro ao conceito de aplicabilidade global idealizada para o sistema. Tal como balizado e verificado no capítulo 6, o VIIV foi dotado de um sistema de módulos que permitirá ao utilizador otimizar a sua compra relativamente ao animal desejado, e ao mesmo tempo facilitar o processo de decisão sobre que equipamentos adquirir.

As variações das grandezas físicas ao longo do dia e do ano, com o intuito de criar um ambiente no terrário com um carácter mais natural foram também avaliadas com sucesso. Como se pode ver nos capítulos 5 e 6, O VIIV vai modificando gradualmente as temperaturas e iluminação consoante as fases do dia. Simultaneamente introduz pequenas alterações no horário das fases do dia, horas de luz e temperaturas a atingir consoante o dia do ano que marca no calendário. Tal reflete as mudanças climáticas das várias estações. Um fator aleatório introduzido diariamente realça o cariz natural do ambiente gerado, tal como pretendido.

Apreciou-se positivamente a capacidade do sistema criar as condições de ambiente adequadas à vida das espécies seleccionadas pelo utilizador, baseando-se para isso nos valores armazenados na própria base de dados e sem requerer qualquer informação externa ao utilizador. Como se pode observar no capítulo 6, o VIIV mostrou-se também capaz de guiar o utilizador no processo de aquisição de um novo animal, gerir a fauna do viveiro, assim como auxilia-lo na compra dos módulos necessários para manter uma dada espécie. Para isso o sistema notifica o utilizador

sobre possíveis incompatibilidades ou equipamento em falta, apresentando soluções através duma caixa de mensagens.

Toda a informação considerada relevante para que o utilizador fique a par do estado do seu viveiro e respetiva fauna é disponibilizada através dum ecrã tátil, criando assim uma interface apelativa onde a informação se encontra sintetizada para que seja fácil de entender, tal como mostrado no capítulo 6.

Concluiu-se portanto, que o protótipo criado consegue demonstrar com êxito muitas das capacidades planeadas para o VIIV e provar esses mesmos conceitos de funcionamento.

Devido ao constrangimento de tempo, não foi possível implementar todas as funcionalidades desejadas para este produto. Pretende-se então deixar como proposta para trabalho futuro, numa primeira fase, o desenvolvimento dos restantes 3 módulos de modo a possibilitar o controlo da humidade, iluminação visível e ventilação. De modo a trazer mais realismo para o ambiente criado no viveiro, seria interessante acrescentar mais detalhe aos algoritmos que recriam as mudanças climatéricas ao longo do dia e do ano para refletirem ainda melhor os padrões encontrados na natureza.

Propõe-se também que, numa próxima versão do VIIV se proceda a uma mudança do ecrã tátil resistivo para um ecrã tátil capacitivo, de tamanho maior, de modo a melhorar a interface homem-máquina. Esta deverá ser completa com mais informações que guiem o utilizador ao desempenhar tarefas como montar o terrário ou detetar possíveis sinais de doenças no seu animal.

A base de dados seria algo a preencher por profissionais da zoofilia, pelo que se sugere uma parceria com uma entidade ligada à área que assegure o rigor científico necessário ao funcionamento previsto para este produto.

Tal como indicado ao longo deste documento, o desenvolvimento do VIIV pressupõe também uma versão “gémea” para aquários que partilhará a maior parte do *hardware* e *software*. Propõe-se como tal, a longo prazo, a concretização dessa adaptação deste produto para ambientes aquáticos. Dado que as diferenças entre as versões se encontram principalmente ao nível dos módulos de controlo do ambiente, esta será uma tarefa relativamente simples e pouco dispendiosa.

Referências Documentais

- [1] AQUARIUM DESIGN - A bit of Aquarium History - http://www.aquarium-design.com/beginner/history.__html, 2015.
- [2] REEF AQUARIA DESIGN - History of Aquarium Keeping - <http://reefaquariadesign.com/history-of-aquarium-keeping/>, 2015.
- [3] KNIGHT, Patricia - Innovations in the Aquarium Hobby - FishChannel.com, (2015).
- [4] BAINES, Frances - Reptile Lighting Information - Reptiles Magazine, (2014).
- [5] DIVERS, Stephen - Basic reptile husbandry, history taking and clinical examination, (1996).
- [6] DOCTORS FOSTER AND SMITH – Frequently Asked Questions About Heating - <http://www.drsfostersmith.com/PIC/Article.cfm?d=160&category=292&articleid=2575>, 2015.
- [7] ADKINS, Elizabeth, DRIGGERS, Todd, FERGUSON, Gary, et al - Ultraviolet Light and Reptiles, Amphibians - Journal of Herpetological Medicine and Surgery vol. 13, (2003).
- [8] Pet Industry Market Size & Ownership Statistics - American Pet Products Association (APPA) - http://www.americanpetproducts.org/press_industrytrends.asp, 2016.
- [9] Reptiles now more popular pets than dogs – The Telegraph, 22/11/2008.
- [10] As casas para peixes e répteis da Aquatlantis têm vista para o mundo – Expresso, 01/02/2016.
- [11] BEVERIDGE, Andy - Lighting for Chameleons - Chameleons ! Online E-Zine, (2004).
- [12] VIVARIUM ELECTRONICS – Products - <http://www.vivariumelectronics.com/Products.html>, 2016.
- [13] HELIX CONTROL SYSTEMS – DBS-1000 – http://helixcontrols.com/?page_id=42, 2016.

- [14] TRIXIE – Digital Thermostat/Hygrostat -
<https://www.trixie.de/heimtierbedarf/en/shop/Terraristic/TerrariumAccessories/MonitoringControlling/?card=26752>, 2106.
- [15] MICROCLIMATE - Prime 1 - <http://www.microclimate.co.uk/prime/prime1>, 2016.
- [16] ECOZONE VIVARIUM – Eco500 - <http://ecozonevivarium.com>, 2016.
- [17] DIGITAL AQUATICS – HerpKeeper Pro -
<http://www.digitalaquatics.com/herpetology/herpkeeper-systems/herpkeeper-pro>, 2016.
- [18] MICROCLIMATE – EVO - <http://www.microclimate.co.uk/evo/>, 2016.
- [19] NEPTUNE SYSTEMS – Apex Controller System -
<https://www.neptunesystems.com/products/apex-controllers/apex-controller-system/>, 2016.
- [20] DIGITAL AQUATICS – ReefKeeper -
<http://www.digitalaquatics.com/saltwater/systems/reefkeeper-systems/>, 2016.
- [21] ECOTECH MARINE – EcoSmart Live -
<http://ecotechmarine.com/products/ecosmart-live>, 2016.
- [22] FISHBIT – Fishbit - <https://getfishbit.com>, 2016.
- [23] ADAMS, Jake – The Fishbit is the future of aquarium controllers -
<https://reefbuilders.com>, 2016.
- [24] BIORB AIR – biOrbAIR Terrarium - <http://www.biorbair.com>, 2016.
- [25] FLUVAL AQUATICS – Fluval Edge -
<http://www.fluvalaquatics.com/ca/product/15391-edge>, 2016.
- [26] RED SEA – MAX Aquarium Systems - <http://www.redseafish.com/aquarium-systems/max-aquarium-systems>, 2016.
- [27] JOSH’S FROGS - Heating your vivarium -
<http://www.joshsfrogs.com/catalog/blog/2012/04/heating-your-vivarium>, 2016.
- [28] NXP - LPCOpen Libraries and Examples -
<http://www.nxp.com/products/microcontrollers-and-processors/arm-processors/lpc-cortex-m-mcus/software-tools/lpcopen-libraries-and-examples:LPC-OPEN-LIBRARIES>, 2016.

- [29] Segger – emWin Overview - <https://www.segger.com/emwin.html>, 2016.
- [30] ASTROM, Karl – PID Control – Control System Design cap.6, (2002).
- [31] Bluetooth Smart (Low Energy) Technology – Bluetooth Developer Portal - <https://developer.bluetooth.org/TechnologyOverview/Pages/BLE.aspx>, 2016.
- [32] The Diurnal Cycle – National Environmental Satellite Data and Information Service (NESDIS) - <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/ctl/clisci0.html>, 2016.
- [33] PIDWIRNY, M. - Daily and Annual Cycles of Temperature cap.7, (2006).


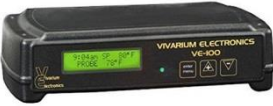
Anexo A. Certificado IAPMEI



Certificado do concurso “Passaporte para o Empreendedorismo” atribuído pelo IAPMEI




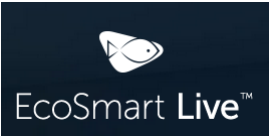
Anexo B. Tabela do Estado da Arte


Resultado do estudo dos equipamentos existentes no mercado.


Nome	Caraterísticas	
<p style="text-align: center;">DBS -1000</p> 	Marca	Helix Control Systems
	Meio	Terrestre
	Controlo	Temperatura
	Interface	Display de 7 segmentos
	Módulos	Temperatura nocturna
	Ambiente gerado	Temperatura diferente para o dia e para a noite
	Observações	Definição de temperatura nocturna apenas possível através da compra do módulo extra
<p style="text-align: center;">VE-300</p> 	Marca	Vivarium Electronics
	Meio	Terrestre
	Controlo	Temperatura
	Interface	Display de caracteres 16x2 e botões tácteis
	Módulos	-
	Ambiente gerado	Temperatura diferente para o dia e para a noite
	Observações	Guarda o histórico da temperatura máxima e mínima

Nome	Caraterísticas	
<p data-bbox="245 398 341 432">Digital</p>  <p data-bbox="150 640 435 674">Thermostat/Hygrostat</p>	Marca	Trixie
	Meio	Terrestre
	Controlo	Temperatura, humidade e luminosidade
	Interface	Display gráfico e botões tácteis
	Módulos	-
	Ambiente gerado	Temperatura diferente para o dia e para a noite; Temporizador para luminosidade
	Observações	-
<p data-bbox="240 1070 346 1104">Eco500</p> 	Marca	EcoZone Vivarium
	Meio	Terrestre
	Controlo	Temperatura, humidade e luminosidade
	Interface	Display de caracteres 16x2 e botões tácteis
	Módulos	-
	Ambiente gerado	Simulação do ciclo solar, lunar, e variação da temperatura e humidade ao longo do dia e do ano.
	Observações	Excelente capacidade de criação dum ambiente de carácter natural, sendo no entanto necessário programar as características de cada parâmetro a controlar através duma interface algo rudimentar.

Nome	Caraterísticas	
<p style="text-align: center;">Prime1</p> 	Marca	Microclimate
	Meio	Terrestre
	Controlo	Temperatura e luminosidade
	Interface	Display de caracteres 16x2 e botões tácteis
	Módulos	-
	Ambiente gerado	<p>Até 8 temperaturas diferentes ao longo do dia</p> <p>Temporizador para luminosidade e/ou borrifos de água periódicos</p>
	Observações	Não possui qualquer sensor de humidade pelo que os borrifos periódicos de água devem ser aplicados com reserva
<p style="text-align: center;">HerpKeeper Pro</p> 	Marca	Digital Aquatics
	Meio	Terrestre
	Controlo	Temperatura, humidade e luminosidade
	Interface	Display gráfico e botões tácteis
	Módulos	Controlador de iluminação; Medidor de temperatura e humidade; Simulador do ciclo lunar; Envio de avisos sobre o estado do viveiro via web e módulo de expansão para acrescentar outros periféricos.
	Ambiente gerado	Dependendo dos módulos adquiridos, é possível simular o ciclo solar, lunar e a variação da humidade ao longo do dia e do ano.
	Observações	-

Nome	Caraterísticas	
<p data-bbox="256 398 328 427">EVO</p> 	Marca	Microclimate
	Meio	Terrestre
	Controlo	Temperatura e luminosidade
	Interface	Ecrã tátil
	Módulos	-
	Ambiente gerado	Controlo de temperatura diurna e nocturna. Temporizador para luminosidade e/ou borrifos de água.
	Observações	Não possui qualquer sensor de humidade pelo que os borrifos periódicos de água devem ser aplicados com reserva
<p data-bbox="193 1126 392 1155">EcoSmart Live</p> 	Marca	EcoTech Marine
	Meio	Aquático
	Controlo	Luminosidade e bombas de água
	Interface	Ligação dos periféricos a um PC através de USB (ou <i>tablet/smartphone</i> através da Web com o módulo ReefLink)
	Módulos	ReefLink (acessibilidade Web)
	Ambiente gerado	Controlo individual dos componentes RGB da iluminação LED e respectiva intensidade, variáveis ao longo do dia. O mesmo se aplica às bombas de água.
	Observações	Ao contrário dos outros equipamentos, o EcoSmart Live é composto apenas por <i>software</i> e necessita duma plataforma (como um PC, <i>tablet</i> ou <i>smartphone</i>) para funcionar. É bastante limitado no sentido em que só controla os produtos de iluminação e bombas de água da própria marca.

Nome	Características	
<p data-bbox="188 398 400 432">Apex Controller</p> 	Marca	Neptune Systems
	Meio	Aquático
	Controlo	Temperatura, luminosidade, pH, salinidade, volume da água e bombas de água.
	Interface	Display gráfico e botões tácteis ou num computador, <i>tablet</i> ou <i>smartphone</i> através do <i>software</i> Apex Fusion
	Módulos	Doseador de fluídos; Reservatórios de fluídos com sensor ópticos; Monotorização de radiação fotossintética; Controlador de LEDs; Medidor de pH; Medidor de salinidade; Simulador das fases lunares; Variador de potência para as bombas de água; Detector de vazamento; Módulo de expansão para acrescentar outros periféricos.
	Ambiente gerado	Dependendo dos módulos adquiridos, é possível controlar virtualmente todos os aspectos do ambiente aquático de maneira tão precisa quanto desejar pois o Apex Controller tem uma linguagem de programação própria que permite escrever as rotinas de funcionamento de todos os periféricos ligados.
	Observações	-

Nome	Características	
<p data-bbox="180 398 405 432">ReefKeeper Elite</p> 	Marca	Digital Aquatics
	Meio	Aquático
	Controlo	Temperatura, luminosidade, pH, salinidade, volume de água e bombas de água.
	Interface	Display gráfico e botões tácteis
	Módulos	Controlador de iluminação; Medidor de temperatura e humidade; Controlador de bombas de água; Doseador de fluídos ou auto top-off; Simulador do ciclo lunar; Módulo de expansão para sensores de pH e salinidade; Módulo de expansão para sensores de temperatura; Envio de avisos sobre o estado do viveiro via web e módulo de expansão para acrescentar outros periféricos.
	Ambiente gerado	Dependendo dos módulos adquiridos, é possível simular o ciclo solar, lunar e a variação das temperaturas e correntes aquáticas, ao longo do dia. Não é possível simular automaticamente as variações ao longo do ano.
	Observações	-