

Final

Controlo de Estufagem do Vinho Madeira em Escala Piloto

PROJETO DE MESTRADO

Carlos Miguel da Silva Faria
MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA



UNIVERSIDADE da MADEIRA

A Nossa Universidade

www.uma.pt

setembro | 2015

Con
-R

Controlo de Estufagem do Vinho Madeira em Escala Piloto

PROJETO DE MESTRADO

Carlos Miguel da Silva Faria

MESTRADO EM ENGENHARIA INFORMÁTICA

ORIENTADOR

Fernando Manuel Rosmaninho Morgado Ferrão Dias

CO-ORIENTADOR

José Carlos Marques



Controlo de estufagem do Vinho Madeira em escala piloto

Carlos Miguel da Silva Faria

(Licenciado)

*Tese Submetida à Universidade da Madeira para a
Obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Informática*

Funchal - Portugal

Setembro 2015

ORIENTADOR

Professor Doutor Fernando Manuel Rosmaninho Morgado Ferrão Dias
Professor Auxiliar do Centro de Ciências Exatas e da Engenharia

COORIENTADOR

Professor Doutor José Carlos Marques
Professor Assistente do Centro de Ciências Exatas e da Engenharia

RESUMO

Um dos processos de envelhecimento do Vinho Madeira é a “Estufagem” realizada através da circulação de água aquecida a uma determinada temperatura por um sistema de serpentina existente no interior de cada estufa. De modo a tornar o processo de estufagem eficiente e preservar a qualidade do Vinho Madeira, a monitorização, registo e controlo da temperatura reveste-se da maior importância sendo, atualmente, todo esse processo realizado, por norma, manualmente, quer no sistema de dez estufas de aço inox existente no laboratório de enologia da Universidade da Madeira (*UMa*), quer nos sistemas das cooperativas de Vinho Madeira.

Existem, no mercado, alguns sistemas que solucionam, com menor ou maior limitação, este problema. Porém, nenhum desses sistemas implementa um sistema de controlo “inteligente” capaz de se adaptar automaticamente a diferentes períodos de temperaturas predefinidos e manter o aquecimento das estufas de acordo com essas temperaturas com uma margem de erro inferior a $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, bem como o custo associado aos mesmos é elevado o que dificulta a sua implementação neste setor.

O sistema implementado, nesta tese, consiste em duas aplicações: uma aplicação *web* e uma *Windows Forms Application*. A aplicação *web* foi desenvolvida em C# com recurso à *framework ASP.NET Web Pages* e implementa toda a lógica necessária à monitorização gráfica e à gestão do sistema, nomeadamente a definição do *setpoint* para cada estufa. A *Windows Forms Application*, também desenvolvida em C# devido à necessidade de interligação com a biblioteca fornecida pela *CAREL* para conexão aos controladores de temperatura *IR32*, efetua o registo e controlo automático da temperatura, de acordo com o *setpoint* definido para cada estufa através da aplicação *web*. O controlo de temperatura realiza-se com recurso às redes neuronais, nomeadamente através dum controlador *DIC* (*Direct Inverse Controller*) que obteve, de entre os vários controladores testados, o melhor Erro Quadrático Médio (*MSE*) e o melhor Coeficiente de Correlação (*R*).

Através da utilização do sistema implementado conseguiu-se eliminar a limitação física de erro com $\pm 1^{\circ}\text{C}$ em torno do *setpoint* tendo-se conseguido, para o melhor caso, uma margem de erro de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ relativamente ao *setpoint* reduzindo-se, assim, a margem de variação de temperatura até um máximo de $1,8^{\circ}\text{C}$ e, conseqüentemente, o erro associado.

PALAVRAS-CHAVE

Controlo de sistemas, monitorização, redes neuronais, Vinho Madeira, Controlo Direto Inverso.

ABSTRACT

One of the Madeira Wine aging processes is the "Estufagem" performed by circulating water heated to a certain temperature by the serpentine system existing inside each tank. In order to make the "Estufagem" process efficient and preserve the quality of Madeira Wine, monitoring, recording and controlling of temperature is of the utmost importance and, currently, this entire process is performed, in general, manually, in the ten stainless steel tanks system existing in the oenology laboratory at the University of Madeira (*UMa*), or in the systems of the Madeira Wine cooperatives.

There are, in the market, some systems that address, with greater or lesser limitation this problem. However, none of these systems implements an "intelligent" control system able to automatically adapt to different periods of preset temperatures and keep the heating of the tanks according to these temperatures with a margin of error of less than $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$, and the cost associated with them is high which hinders its implementation in this sector.

The implemented system consists of two applications: a web application and a Windows Forms Application. The web application was developed in C# using the ASP.NET Web Pages framework and implements all the logic needed for graphical monitoring and system management, including the set point setting for each tank. The Windows Forms Application, also developed in C# because of the need for interconnection with the library provided by CAREL for connection to the IR32 temperature controllers, makes recording and automatic temperature control, according to the set point defined for each tank through the web application. Temperature control is carried out with the use of neural networks, including a DIC controller (Direct Inverse Controller) that obtained the best Mean Square Error (*MSE*) and the best Mean and the best Correlation Coefficient (*R*) among several tested controllers.

By using the implemented system it was possible to eliminate the physical limitation of error of $\pm 1^{\circ}\text{C}$ around the set point and a margin of error of $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ has been achieved, in the best case, relative to the set point reducing thus, the temperature variation margin to 1.8°C and hence the associated error.

KEYWORDS

Control systems, monitoring, neural networks, Madeira Wine, Direct Inverse Control.

AGRADECIMENTOS

Ao longo do meu percurso académico várias foram as pessoas que contribuíram para o meu crescimento e desempenho as quais deixo um agradecimento.

De um modo especial quero agradecer à minha esposa Isolina Faria e ao meu filho Augusto Faria todo o apoio, compreensão, sacrifício e incentivo ao longo de todo este percurso.

Ao Centro de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira por toda a formação académica e condições proporcionadas ao longo destes anos.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Morgado Dias, e ao meu coorientador, Prof. Dr. José Marques por todo o apoio e dedicação que disponibilizaram ao longo da realização deste projeto, bem como pela possibilidade de teste e implementação das aplicações com recurso à implementação física já existente.

Aos meus colegas e amigos Válder Camacho e Tiago Sousa por todo o apoio e bom companheirismo ao longo de toda a minha vida académica, mas sobretudo ao Válder Camacho pelo incentivo prestado, ao longo de vários serões, na realização deste projeto.

Aos meus colegas Fábio Batista e Sandy Abreu pela realização conjunta do processo de identificação e ordem dos modelos, bem como da simulação dos vários controladores para o sistema de controlo.

A todos o meu mais sincero obrigado!

ÍNDICE

Orientador	iii
Resumo	v
Abstract	ix
Agradecimentos	xiii
Índice	xv
Lista de Figuras	xix
Lista de Tabelas	xxv
Acrónimos e Siglas	xxvii
I. Introdução	1
I.1. Motivação.....	3
I.2. Contexto / Problemática	4
I.3. Objetivos	5
I.4. Contribuição	6
I.5. Estrutura da Dissertação.....	7
II. Estado da Arte	9
II.1. Sistema Físico Existente	10
II.2. Sistemas Comerciais de Monitorização e Controlo	12
II.2.1. <i>PlantWatch Manager</i>	12
II.2.2. <i>PlantWatchPro</i>	13
II.2.3. <i>PlantVisorPro</i>	14
II.2.4. <i>COMTOOL</i>	15
II.2.5. <i>TCS.Wireless</i>	15
II.2.6. <i>CX2000</i>	16
II.2.7. <i>Wonderware InTouch</i>	17
II.2.8. Conclusão/Resumo	17
II.3. Arquitetura Modular MVC	19
II.4. Redes Neurais Artificiais (<i>RNA</i>).....	20
II.5. Controladores.....	23
II.5.1. <i>Direct Inverse Control (DIC)</i>	23
II.5.2. <i>Internal Model Control (IMC)</i>	24
II.5.3. <i>Proportional-Integral-Derivative Controller (PID)</i>	24
II.5.4. <i>Model Predictive Control (MPC)</i>	24
III. Modelação do Sistema	27

III.1. Casos de Uso.....	28
III.2. Requisitos.....	31
III.3. Protótipos.....	34
III.3.1. Protótipos de Baixa Fidelidade (<i>PBF</i>).....	34
III.3.2. Protótipos de Alta Fidelidades (<i>PAF</i>).....	34
III.4. Diagrama de Blocos.....	35
III.5. Modelo <i>E-R</i> (Entidade-Relação).....	36
III.6. Conclusão/Resumo.....	39
IV. Sistema de Monitorização e de Gestão.....	41
IV.1. Ferramentas e Linguagens.....	42
IV.2. Funcionalidades do Sistema de Monitorização e de Gestão.....	44
IV.2.1. Autenticação e Gestão de Contas.....	44
IV.2.2. Gestão de Projetos.....	46
IV.2.3. Gestão de Cubas (Estufas).....	47
IV.2.4. Gestão de Notas.....	48
IV.2.5. Visualização de gráficos.....	50
IV.2.6. Gestão de Dispositivos.....	51
IV.2.7. Visualização de relatórios.....	52
IV.2.8. Ajuda.....	52
IV.3. Testes de <i>Software</i>	54
IV.3.1. Teste de Segurança.....	54
IV.3.2. Teste de Funcionalidade.....	55
IV.3.3. Teste de Usabilidade.....	56
IV.4. Avaliação/Conclusão.....	57
V. Sistema de Controlo.....	59
V.1. Identificação do Sistema.....	60
V.1.1. Recolha de dados.....	60
V.1.2. Preparação dos dados.....	68
V.2. Identificação dos Modelos.....	69
V.3. Ordem dos Modelos.....	70
V.4. Análise de resultados dos modelos de Identificação.....	73
V.4.1. Modelos Lineares.....	73
V.4.2. Modelos não-lineares.....	76
V.5. Análise de Resultados dos Controladores.....	78
V.5.1. Análise da resposta em degrau.....	78
V.5.2. Análise da simulação.....	79
V.6. Implementação.....	83
V.6.1. Interligação com o Sistema de Monitorização e de Gestão.....	84
V.6.2. Testes.....	84
V.7. Avaliação/Conclusão.....	90
VI. Conclusões.....	91
VII. Perspetivas futuras.....	93

VIII. Referências	95
IX. Anexos	99
<hr/>	
Anexo I - Protótipos de Baixa Fidelidade (PBF).....	99
Anexo II - Análise de Requisitos & Interface (Tarefas).....	107
Anexo III - Sugestões e Falhas Após Análise dos PBF.....	109
Anexo IV - Protótipos de Alta Fidelidade (PAF).....	111
Anexo V - Composição Arquitetural do Sistema de Monitorização.....	115
Anexo VI - Avaliação da Aplicação (Tarefas).....	117
Anexo VII - Resultados dos Testes de Avaliação Heurística.....	119
Anexo VIII - Resultados dos Testes de Avaliação dos Utilizadores.....	121
Anexo IX - Sinais de Entrada.....	123
Anexo X - Algoritmo para Geração de Sinais de Entrada.....	127
Anexo XI - Output para Intervalo de Amostragem de Quinze Minutos.....	129
Anexo XII - Output para Intervalo de Amostragem de Trinta Minutos.....	133
Anexo XIII - Output para Intervalo de Amostragem de Sessenta Minutos.....	135

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Arquitetura do sistema físico existente no laboratório de enologia da <i>UMa</i>	10
Figura 2 - <i>Interface</i> do <i>PlantWatch Manager</i> da <i>CAREL</i>	12
Figura 3 - Consola monocromática <i>PlantWatch</i> [7] da <i>CAREL</i>	13
Figura 4 - Consola a cores <i>PlantWatchPro</i> [11] da <i>CAREL</i>	14
Figura 5 - Consola a cores <i>PlantVisorPro touch</i> [12], à esquerda, e <i>box</i> [12], à direita, da <i>CAREL</i>	14
Figura 6 - Aplicativo <i>ComTool</i> da <i>CAREL</i>	15
Figura 7 - Aplicativo <i>TCS.Wireless</i> [14].	16
Figura 8 - Estação de controlo e monitorização <i>CX2000</i> [16] (à esquerda) e aplicativo <i>DAQSTANDARD</i> [18] (à direita).	16
Figura 9 - Aplicativo <i>Wonderware InTouch</i> [23].	17
Figura 10 - Arquitetura Modular <i>MVC</i>	19
Figura 11 - Rede <i>Feedforward</i> com três camadas [28].	21
Figura 12 - Rede neuronal <i>perceptron</i> de múltipla camada, com uma camada escondida, tendo a camada de saída apenas um neurónio artificial [29].	21
Figura 13 - <i>Direct Inverse Control (DIC)</i> [33].	23
Figura 14 - Estrutura do <i>DIC</i> [33].	23
Figura 15 - <i>Internal Model Control (IMC)</i> [33].	24
Figura 16 - Casos de Uso - Visão Geral.	28
Figura 17 - Casos de Uso - Visão "Convidado"	29
Figura 18 - Casos de Uso - Visão "Utilizador"	29
Figura 19 - Casos de Uso - Visão "Administrador"	30
Figura 20 - Casos de Uso - Visão "Sistema"	30
Figura 21 - Diagrama de Blocos do Sistema.	35
Figura 22 - Modelo <i>E-R</i> (Entidade-Relação).	38
Figura 23 - <i>Interface</i> de Autenticação.	45

Lista de Figuras

Figura 24 – Interface de Gestão de Contas.	46
Figura 25 – Interface de Gestão de Projetos.	46
Figura 26 – Interface de Gestão de Cubas.	48
Figura 27 – Interface de Gestão de Notas.	49
Figura 28 – Interface de Visualização de Gráficos.	50
Figura 26 – Interface de Gestão de Dispositivos.	51
Figura 30 – Interface de Visualização de Relatórios.	52
Figura 31 – Interface de Visualização da Ajuda.	53
Figura 32 – Resultado do teste de vulnerabilidades do sistema.	55
Figura 33 – Interface da aplicação de recolha de dados e de testes.	60
Figura 34 – Resposta do sistema (<i>output</i>) a um <i>input</i> constante num período de amostragem de um segundo.	61
Figura 35 – Resposta do sistema (<i>output</i>) a um <i>input</i> constante num período de amostragem de um minuto.	61
Figura 36 – Correlação do <i>output</i> com um determinado <i>input</i> num período de amostragem de trinta e quatro minutos.	62
Figura 37 – Correlação do <i>output</i> com um determinado <i>input</i> num período de amostragem de sessenta minutos.	63
Figura 38 – Correlação do <i>output</i> com um <i>input</i> (com valores mais baixos) num período de amostragem de sessenta minutos.	63
Figura 39 – Correlação do <i>output</i> com um determinado <i>input</i> (com valores mais baixos) num período de amostragem de trinta minutos.	64
Figura 40 – Correlação do <i>output</i> com o aquecimento ligado e desligado durante um período de tempo.	64
Figura 41 – Correlação do <i>output</i> com um determinado <i>input</i> (com valores zero) num período de amostragem de sessenta minutos.	65
Figura 42 – Correlação do <i>output</i> com um determinado <i>input</i> (com valores zero) num período de amostragem de trinta minutos.	65

Figura 43 - Correlação do <i>output</i> com um determinado <i>input</i> (com valores zero) num período de amostragem de quinze minutos.....	66
Figura 44 - Correlação do sinal de entrada com o sinal de saída para o intervalo de amostragem de quinze minutos.	67
Figura 45 - Correlação do sinal de entrada com o sinal de saída para o intervalo de amostragem de trinta minutos.	67
Figura 46 - Correlação do sinal de entrada com o sinal de saída para o intervalo de amostragem de sessenta minutos.....	68
Figura 47 - <i>Loss Function</i> referente aos dados de quinze minutos.....	70
Figura 48 - <i>Loss Function</i> referente aos dados de trinta minutos	71
Figura 49 - <i>Loss Function</i> referente aos dados de sessenta minutos.	71
Figura 50 - Simulação dos diferentes sistemas de controlo do conjunto de dados de tempo de amostragem de quinze minutos.	80
Figura 51 - Simulação dos diferentes sistemas de controlo do conjunto de dados de tempo de amostragem de trinta minutos.	80
Figura 52 - Simulação dos diferentes sistemas de controlo do conjunto de dados de tempo de amostragem de sessenta minutos.....	80
Figura 53 - Comparação da leitura da temperatura da estufa (<i>output</i>) com o <i>setpoint</i> pretendido atendendo uma determinada entrada (<i>input</i>).	81
Figura 54 - Erro associado ao controlo de temperatura em situação simulada.	82
Figura 55 - Função que implementa o modelo inverso.....	83
Figura 56 - <i>Interface</i> do sistema de controlo de temperatura.....	84
Figura 57 - Comparação da leitura real da temperatura da estufa (<i>output</i>) com o <i>setpoint</i> pretendido atendendo a um determinado sinal de entrada (<i>input</i>).	85
Figura 58 - Erro associado ao controlo de temperatura em situação real.....	85
Figura 59 - Comparação da leitura real da temperatura da estufa (<i>output</i>) com o <i>setpoint</i> variável atendendo a um determinado sinal de entrada (<i>input</i>) – duas estufas.	86
Figura 60 - Comparação da leitura real da temperatura da estufa (<i>output</i>) com o <i>setpoint</i> variável atendendo a um determinado sinal de entrada (<i>input</i>) – duas estufas.	86

Lista de Figuras

Figura 61 - Erro associado ao controlo de temperatura em situação real – duas estufas.	87
Figura 62 - Erro associado ao controlo de temperatura em situação real – duas estufas.	87
Figura 63 - Comparação da leitura real da temperatura das estufas (<i>output</i>) com os <i>setpoint</i> variáveis atendendo a um determinado sinal de entrada (<i>input</i>) – quatro estufas.....	88
Figura 64 - Erro associado ao controlo de temperatura em situação real – quatro estufas.	89
Figura 65 - <i>Interface</i> de Autenticação.	99
Figura 66 - <i>Interface</i> de Autenticação - Mensagem de erro.....	99
Figura 67 - <i>Interface</i> de Gestão de Cubas - Geral.	100
Figura 68 - <i>Interface</i> de Gestão de Cubas - Parâmetros.	100
Figura 69 - <i>Interface</i> de Gestão de Utilizadores - Listar/Edição.	101
Figura 70 - <i>Interface</i> de Gestão de Utilizadores - Adicionar.	101
Figura 71 - <i>Interface</i> de Gestão de Utilizadores - Ficha de Utilizador.	102
Figura 72 - <i>Interface</i> de Gestão de Utilizadores - Registo de Utilizador.	102
Figura 73 - <i>Interface</i> de Gestão de Controladores - Geral/Adicionar.	103
Figura 74 - <i>Interface</i> de Gestão de Controladores - Parâmetros.	103
Figura 75 - <i>Interface</i> de Visualização de Gráficos - Geral.....	104
Figura 76 - <i>Interface</i> de Visualização de Gráficos - Semanal.	104
Figura 77 - <i>Interface</i> de Visualização de Gráficos - Projeto.....	105
Figura 78 - <i>Interface</i> de Visualização de Relatórios.	105
Figura 79 - <i>Interface</i> de Visualização de Ajuda - Manual.....	106
Figura 80 - <i>Interface</i> de Visualização de Ajuda - Sobre.	106
Figura 81 - <i>Interface</i> de Autenticação.	111
Figura 82 - <i>Interface</i> de Gestão de Projetos - Adicionar Projeto.	111
Figura 83 - <i>Interface</i> de Gestão de Projetos - Associar.....	112
Figura 84 - <i>Interface</i> de Gestão de Cubas - Geral.	112
Figura 85 - <i>Interface</i> de Gestão de Castas.....	112
Figura 86 - <i>Interface</i> de Visualização de Gráficos.	113
Figura 87 - <i>Interface</i> de Gestão de Notas.....	113

Figura 88 - <i>Interface de Gestão de Contas</i>	113
Figura 89 - <i>Interface de Gestão de Dispositivos</i>	114
Figura 90 - <i>Interface de Visualização de Relatórios</i>	114
Figura 91 - <i>Interface de Visualização da Ajuda</i>	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Análise comparativa dos diversos sistemas e aplicações de monitorização, gestão e controlo.	18
Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da utilização de uma rede neuronal.	22
Tabela 3 – Requisitos Funcionais.	31
Tabela 4 – Requisitos Não Funcionais.	33
Tabela 5 – Ações monitorizadas no Sistema de Auditorias.....	36
Tabela 6 – Níveis de prioridade no sistema de Gestão de Notas.....	49
Tabela 7 – <i>Best Fit</i> (em %) dos modelos lineares.	74
Tabela 8 – Estabilidade dos modelos lineares.	75
Tabela 9 – <i>Best Fit</i> (in %) dos modelos não lineares.....	77
Tabela 10 – Comparação entre os controladores para o conjunto de dados de amostragem de tempo de quinze minutos.....	78
Tabela 11 – Comparação entre os controladores para o conjunto de dados de amostragem de tempo de trinta minutos	79
Tabela 12 – Comparação entre os controladores para o conjunto de dados de amostragem de tempo de sessenta minutos.	79
Tabela 13 – Valores <i>MSE</i> e <i>R</i> das simulações efetuadas nos diferentes controladores em cada conjunto de dados	81
Tabela 14 – Valores <i>MSE</i> e <i>R</i> relativo ao controlo de temperatura com duas estufas	88
Tabela 15 – Valores <i>MSE</i> e <i>R</i> relativo ao controlo de temperatura com quatro estufas	89

ACRÓNIMOS E SIGLAS

ARMAX	- <i>Autoregressive–Moving–Average model with exogenous inputs model</i>
ARX	- <i>Autoregressive with exogenous terms model</i>
ASCII	- <i>American Standard Code for Information Interchange</i>
ASP.NET	- <i>Active Server Pages .Network</i>
B.I.B.O.	- <i>Bounded Input Bounded Output</i>
BJ	- <i>Box-Jenkins polynomial model</i>
C#	- <i>C Sharp</i>
CRLF	- <i>Carriage Return and Line Feed</i>
CRUD	- <i>Create, Remove, Update, Delete</i>
CSHTML	- <i>ASP.NET Razor C#</i>
CSS	- <i>Cascading Style Sheets</i>
CSV	- <i>Comma Separated Values</i>
DI Objects	- <i>Device Integration Objects</i>
DIC	- <i>Direct Inverse Control</i>
DLL	- <i>Dynamic-Link Library</i>
E-R	- <i>Entidade-Relação</i>
FTP	- <i>File Transfer Protocol</i>
GB	- <i>Gigabyte</i>
HACCP	- <i>Hazard Analysis and Critical Control Point</i>
HMI	- <i>Human Machine Interface</i>
HTML	- <i>Hypertext Markup Language</i>
IMC	- <i>Internal Model Control</i>
IMPACT	- <i>Impacto das Tecnologias de Produção na Qualidade do Vinho Madeira</i>
MPC	- <i>Model Predictive Control</i>
MSE	- <i>Mean Square Error</i>
MVC	- <i>Model-View-Controller</i>
OE	- <i>Output-Error polynomial model</i>
OLE	- <i>Object Linking and Embedding</i>
OPC UA	- <i>Process Control Unified Architecture</i>
PAF	- <i>Protótipo de Alta Fidelidade</i>
PBF	- <i>Protótipo de Baixa Fidelidade</i>
PC	- <i>Personal Computer</i>
PCC	- <i>Ponto Crítico de Controlo</i>
PDF	- <i>Portable Document Format</i>

Acrónimos e Siglas

PID	- <i>Proportional-Integral-Derivative Controller</i>
PIDF	- <i>Proportional-Integral-Derivative Controller with First-order filter on derivative term</i>
PW	- <i>PlantWatch</i>
R	- <i>Coeficiente de correlação</i>
RAM	- <i>Random Access Memory</i>
RNA	- <i>Redes Neurais Artificiais</i>
RS232	- <i>Recommend Standard number 232</i>
SIC	- <i>System Identification and Control</i>
SMS	- <i>Short Message Service</i>
SQL	- <i>Strured Query Language</i>
SS	- <i>State-Space model</i>
UI	- <i>User Interface</i>
UMa	- <i>Universidade da Madeira</i>
UML	- <i>Unified Modeling Language</i>
USB	- <i>Universal Serial Bus</i>
VPN	- <i>Virtual Private Network</i>
ZAP	- <i>Zed Attack Proxy</i>

I. INTRODUÇÃO

"The ideal engineer is a composite... He is not a scientist, he is not a mathematician, he is not a sociologist or a writer; but he may use the knowledge and techniques of any or all of these disciplines in solving engineering problems."

[N. W. Dougherty, 1955]

A monitorização e controlo da temperatura, dentro de uma gama de valores, ao longo do processo de estufagem do Vinho Madeira, são fundamentais para a obtenção de um produto de melhor qualidade num menor espaço de tempo reduzindo, assim, os custos associados a esse processo. No caso do Vinho Madeira, dada a sua importância para a Região e o facto de se tratar de um produto de valor acrescentado, esse controlo assume uma importância ainda maior visto reduzir os custos associados ao processo de produção e, conseqüentemente, o valor do produto final.

Ora, atendendo a que a monitorização, o registo e o controlo da temperatura se efetua, por norma, manualmente, existe a necessidade de implementação de um sistema automático que monitorize, registre e controle a temperatura de todas as estufas (cubas), ao longo do mesmo, bem como de um sistema de alertas e notas.

Um dos pontos importantes nesse processo é o aquecimento e arrefecimento controlado. O aquecimento realiza-se através da abertura de uma válvula que deixa passar água quente, num circuito fechado, que serpenteia no interior das estufas enquanto que o arrefecimento se faz através da dissipação de calor mantendo, respetivamente, aberta ou fechada essa válvula de acordo com o valor de tempo calculado num intervalo máximo de tempo pré-estabelecido de quinze minutos.

Introdução

Atualmente, existem alguns sistemas de monitorização e “controlo” no mercado, mas para além de serem economicamente inviáveis também apresentam algumas limitações para este caso específico, bem como não possuem nem possibilitam acoplar um sistema inteligente de controlo de parâmetros.

A implementação deste sistema de monitorização, gestão, registo e controlo automático permitirá uma gestão mais rigorosa e eficaz da temperatura em todas as estufas, o seu registo em uma base de dados específica e a gestão de alarmes e ocorrências, quer pelo sistema, através do envio de mensagens automáticas para o(s) administrador(es) do sistema, quer pelos próprios utilizadores registados, através da notificação de anomalias a outros utilizadores, com recurso à funcionalidade de submissão de notas.

I.1. MOTIVAÇÃO

O controlo do processo de estufagem do vinho é fundamental para a obtenção de um produto de boa qualidade. No caso do Vinho Madeira, dada a sua importância para a Região e o facto de se tratar de um produto de valor acrescentado, esse controlo assume uma importância ainda maior. A estufagem é controlada através da monitorização da temperatura que condiciona a temperatura de aquecimento aplicada.

Pretende-se, com este trabalho, desenvolver uma ferramenta de *software* para a monitorização, registo e controlo da temperatura do Vinho Madeira, em estufas de aço inox, da escala piloto de estufagem.

Por sua vez, o controlo da temperatura far-se-á com recurso às redes neuronais tendo como base a aquisição da temperatura atual, medida pelo controlador de temperatura IR32 da CAREL.

I.2. CONTEXTO / PROBLEMÁTICA

Esta dissertação de mestrado vem na sequência de um projeto do Centro de Ciências Exatas e da Engenharia da Universidade da Madeira denominado de *IMPACT* – Impacto das Tecnologias de Produção na Qualidade do Vinho Madeira [1], que tem, como principal objetivo, o controlo de estufagem do Vinho Madeira em escala piloto.

Com vista à diminuição do tempo e dos intervenientes necessários para o processo de estufagem das várias castas do Vinho Madeira, o que conseqüentemente leva à redução de custos, existe a necessidade de automatizar esse processo de monitorização, registo e controlo da temperatura das estufas.

Nesse sentido, foi proposto a implementação de um sistema que, fazendo uso do sistema físico já existente no laboratório de enologia da *UMa* e descrito no subcapítulo II.1., monitorizasse, registasse e controlasse todo esse processo, bem como possibilitasse o acesso remoto ao mesmo, nomeadamente:

1. Permitisse a conexão com os controladores da *CAREL*;
2. Possibilitasse a monitorização gráfica e histórica da temperatura para cada estufa;
3. Contivesse um sistema de gestão de alertas e de notas;
4. Incluísse um sistema de auditoria aos acessos e alterações do sistema;
5. Tivesse um sistema de gestão de contas baseado em permissões de acesso, gestão, monitorização e controlo do sistema;
6. Estivesse acessível local ou remotamente;
7. Integrasse um sistema de Controlo Inteligente com recurso às redes neuronais.

I.3. OBJETIVOS

Esta dissertação apresenta, como base, um sistema automático de monitorização, registo e controlo de temperaturas, dos diversos pontos de recolha de dados presentes no sistema físico existente, que seja de fácil manipulação pelo utilizador e permita:

- 1) Monitorizar a temperatura das estufas da escala piloto do Vinho Madeira;
- 2) Controlar a temperatura através de diferentes soluções de controlo;
- 3) Registrar os dados numa base de dados adequada;
- 4) Comparar as soluções de controlo.

I.4. CONTRIBUIÇÃO

Este projeto de mestrado teve como principais contribuições as seguintes:

- Estudo do funcionamento do sistema físico implementado que possibilitou uma correta implementação de todo o processo de controlo desde a aquisição de dados para o processo de identificação dos modelos, passando pela criação e simulação dos controladores baseados em Redes Neurais Artificiais (RNA) até à sua implementação real;
- Desenvolvimento duma *interface web* que permite monitorizar graficamente a temperatura e definir o *setpoint* para cada estufa;
- Adaptação e integração na *interface web* de um sistema de autenticação baseado em permissões de acesso às várias funcionalidades;
- Desenvolvimento dum sistema de controlo de temperatura que permite controlar a temperatura, em cada uma das estufas, de acordo com um *setpoint* predefinido;
- Criação de uma base de dados específica para armazenar os dados relativos à gestão do sistema, ao controlo de temperatura e a toda a componente da *interface web*.

I.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação está organizada em sete capítulos. No primeiro capítulo, faz-se uma breve introdução do trabalho onde se apresenta a motivação, o contexto/problemática, os objetivos e a estrutura da dissertação.

No segundo capítulo, aborda-se o estado da arte onde se apresenta o sistema físico existente no laboratório de enologia da Universidade da Madeira (*UMa*), analisa-se alguns dos sistemas comerciais de monitorização e controlo existentes no mercado, aborda-se a arquitetura modular *MVC*, explana-se, sumariamente, as redes neuronais e faz-se uma breve exposição dos diversos tipos de controladores existentes.

No terceiro capítulo, expõe-se a modelação do sistema, nomeadamente apresentação dos casos de uso, o levantamento de requisitos, os protótipos de baixa e de alta fidelidade, o diagrama de blocos, o modelo *E-R* (Entidade-Relação e, por fim, um breve resumo e algumas conclusões.

No quarto capítulo, apresenta-se o Sistema de Monitorização e de Gestão dando-se relevância às ferramentas e linguagens utilizadas, às funcionalidades do sistema e aos testes de *software* realizados apresentando-se, no final do capítulo, uma breve avaliação e conclusão.

O capítulo quinto explana o Sistema de Controlo, nomeadamente o processo de identificação do sistema e dos modelos. Depois, apresenta-se a metodologia utilizada para determinar a ordem dos modelos, bem como a análise de resultados dos modelos de identificação. Por fim, apresenta-se a implementação e avaliação do sistema de controlo e termina-se com uma breve conclusão sobre este capítulo.

No capítulo sexto tecem-se algumas conclusões e, no capítulo sétimo, apresenta-se as perspetivas futuras.

II. ESTADO DA ARTE

“There is no reason for any individual to have a computer in his home.”

[Ken Olson, (Presidente da Digital Equipment Corporation), 1977]

Atualmente não existe, no mercado, um sistema específico que realize o controlo de estufagem do Vinho Madeira de uma forma automática e inteligente.

No entanto, essa tarefa foi-se realizando com recurso a sistemas semiautomáticos, quer no laboratório de enologia da *UMa*, quer nas cooperativas da Região, mas sempre dependentes do controlo e supervisão humana.

Neste capítulo apresenta-se o sistema físico existente no laboratório de enologia da *UMa*, usado para testar e implementar o sistema desenvolvido; apresentam-se alguns dos sistemas comerciais de monitorização e controlo existentes no mercado; apresenta-se a arquitetura modular *MVC*; apresenta-se um dos sistemas inteligentes de controlo: as redes neuronais; por fim, apresentam-se vários tipos controladores disponíveis.

No final de cada um dos subcapítulos, realiza-se um pequeno resumo e tecem-se algumas conclusões.

II.1. SISTEMA FÍSICO EXISTENTE

O sistema físico existente no laboratório de enologia da *UMa*, representado na Figura 1, para o qual se pretendia desenvolver uma aplicação que registasse e controlasse eficazmente a temperatura de uma forma simples e com o mínimo de custos, é composto por dez estufas de aço inox de 200 litros, por um termoacumulador de 150 litros que fornece água quente ao circuito fechado de aquecimento, por dez atuadores termoeletrônicos *R479* [2] da *GIACOMINI* [3] e por dez controladores de temperatura *IR32* [4] da *CAREL* [5] (entretanto descontinuado e substituído pelo *IR33* [6]). Todo este sistema é monitorizado pela consola monocromática *PlantWatch (PW)* [7] da *CAREL* que assinala e regista todos os alarmes provenientes dos controladores de temperatura, relativamente a cada estufa, através do endereço de memória dos mesmos.

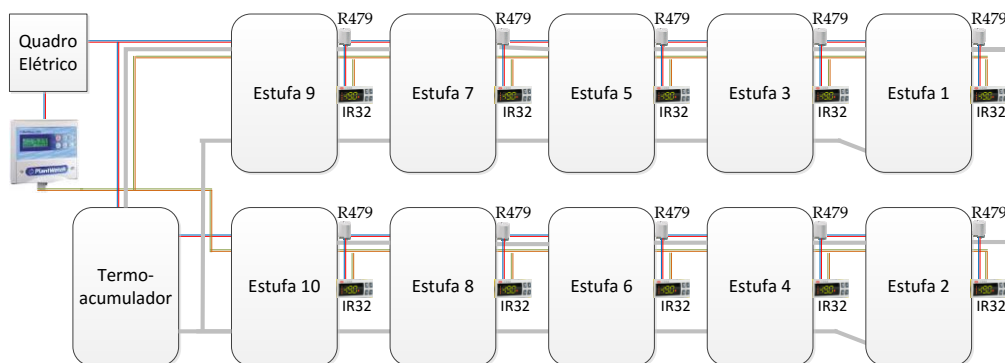


Figura 1 - Arquitetura do sistema físico existente no laboratório de enologia da *UMa*.

Todo o aquecimento deste sistema está dependente da única fonte de calor que mantém a água aquecida a uma temperatura de 60°C e que limita o aquecimento das próprias estufas a uma temperatura máxima de sensivelmente 50°C.

Os atuadores termoeletrônicos *R479* também apresentam uma limitação: por não serem do tipo *on* e *off*, têm um retardamento, na sua abertura e fecho completo, de sensivelmente quatro minutos.

O registo de temperatura, até ao momento, faz-se local e manualmente anotando a temperatura apresentada no *display* dos controladores de temperatura *IR32*. A definição dos valores correspondentes às variáveis do controlador de temperatura *IR32* (*setpoint*, temperatura mínima e máxima, etc.) faz-se, também, diretamente através dos controladores de temperatura *IR32*.

O controlo de temperatura (tendo por base o *setpoint*) realizado pelos controladores de temperatura *IR32* faz-se com um erro de $\pm 1^\circ\text{C}$ (por ser uma limitação do sistema físico).

A comunicação entre uma possível aplicação, existente num computador pessoal ligado através da porta série e do *Kit PLW0PPC000* [8] da *CAREL* para ligação série *RS232* [9] à consola monocromática *PW*, e os controladores de temperatura *IR32* é conseguida utilizando uma biblioteca disponibilizada pela *CAREL* (*DRVMNG32.DLL*) [10] que realiza as funções de acesso ao *PW* e aos controladores de temperatura *IR32*.

Atendendo à impossibilidade da definição do *setpoint* remotamente e da monitorização e visualização gráfica da temperatura, local e remotamente, bem como a inexistência de um sistema de controlo inteligente capaz de se ajustar automaticamente aos *setpoints* predefinidos com uma margem de erro inferior à atual sentiu-se a necessidade de complementar o mesmo com um sistema de *software* que permitisse monitorizar graficamente, registar, gerir e controlar todo o sistema existente de uma forma simples, remota, automática e inteligente.

II.2. SISTEMAS COMERCIAIS DE MONITORIZAÇÃO E CONTROLO

Na era pré-microprocessadores o controlo de temperatura efetuava-se com base em termóstatos ajustando-se os mesmos para a temperatura pretendida e definindo-se uma margem de erro. Atualmente, o controlo realiza-se com recurso aos microprocessadores em detrimento do uso daqueles. Embebidos em sistemas de controlo, com o nome de controlador de temperatura, já possuem um *display* que permite visualizar os valores dos parâmetros disponíveis, como sejam o *setpoint*, a temperatura mínima e a temperatura máxima, bem como possibilitam a ativação de alarmes em caso de anomalias.

De seguida, apresenta-se, sucintamente, alguns desses sistemas e as suas principais características. No final deste subcapítulo, faz-se uma avaliação comparativa entre eles e tecem-se algumas conclusões.

II.2.1. PlantWatch Manager

Um dos aplicativos de controlo e monitorização desenvolvido pela CAREL é o *PlantWatch Manager*, na Figura 2.

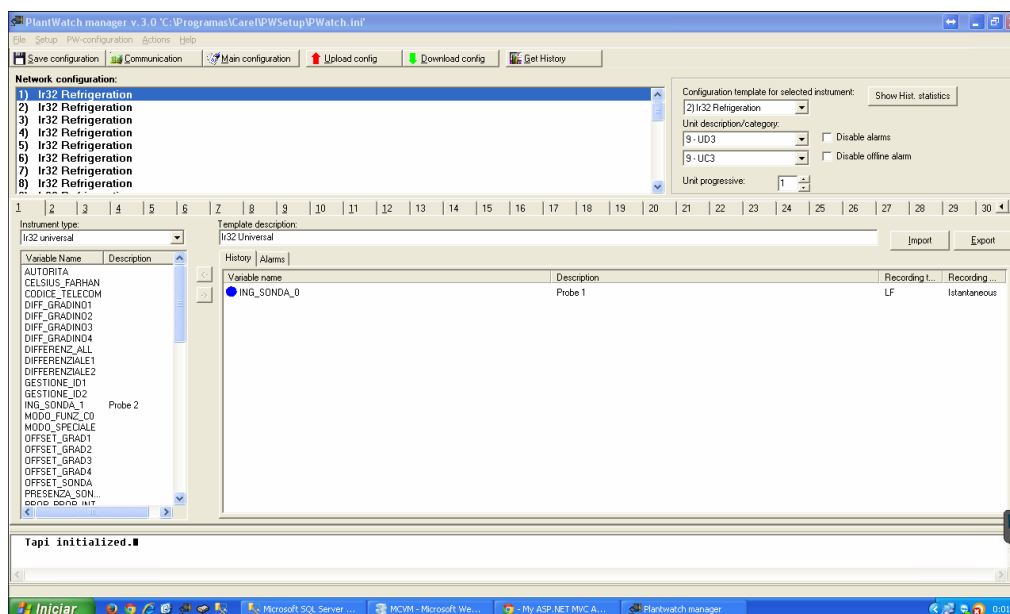


Figura 2 – Interface do *PlantWatch Manager* da CAREL.

O *PlantWatch Manager* é a interface gráfica de interligação entre a consola monocromática *PlantWatch (PW)* [7], na Figura 3, e os controladores da CAREL através de um computador. A consola *PW* é usada em instalações de pequena dimensão e

permite a conexão de, no máximo, 32 controladores. Esta consola permite realizar alertas remotos através de *modem* interno ou externo, dependendo da sua versão, e efetua o registo, em uma base de dados interna, da temperatura, pressão e humidade.



Figura 3 – Consola monocromática *PlantWatch* [7] da CAREL.

O *PlantWatch Manager*, por sua vez, possui as seguintes características:

1. Ler os parâmetros até 32 controladores;
2. Descarregar, da base de dados do *PW*, os parâmetros dos controladores;
3. Descarregar a configuração dos parâmetros dos controladores;
4. Efetuar o envio de configurações de parâmetros personalizados para os controladores;
5. Verificar a versão da *bios* do *PW*.

II.2.2. *PlantWatchPro*

Consola tátil a cores com um sistema de gestão, monitorização e controlo desenvolvido, também, pela CAREL, o *PlantWatchPro* [11], na Figura 4, está disponível em versão painel e em versão parede e garante o cumprimento das normas *Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP)*, sendo as suas principais características as seguintes:

1. Permite exportar relatórios, localmente ou por *email*, em vários formatos;
2. Menus intuitivos, fáceis de usar e configurar e gráficos atraentes;
3. Perfis de acesso ao sistema;
4. Possibilidade de criar pontos de restauro do sistema;
5. Gestão de alarmes;
6. Porta *USB (Universal Serial Bus)* disponível;
7. Acesso remoto através de *Interface Web*.



Figura 4 - Consola a cores *PlantWatchPro* [11] da CAREL.

II.2.3. *PlantVisorPro*

Um outro sistema, disponibilizado também pela CAREL, é o *PlantVisorPro* [12], na Figura 5, e que está disponível em versão *touch* ou em *box*. As suas principais características são as seguintes:

1. Gestão *HACCP* simplificada;
2. Gestão de alarmes;
3. Sistema de monitorização e telemanutenção baseado em *web-server*;
4. Flexibilidade de uso e personalizável;
5. Permite exportar *backup* para diretório *FTP* (*File Transfer Protocol*) ou dispositivos *USB*;
6. Permite exportar múltiplos relatórios em simultâneo;
7. Leitura e escrita de parâmetros nos controladores;
8. Ligação através de *VPN* (*Virtual Private Network*).



Figura 5 - Consola a cores *PlantVisorPro touch* [12], à esquerda, e *box* [12], à direita, da CAREL.

II.2.4. COMTOOL

COMTOOL [13] é um aplicativo de monitorização e controlo desenvolvido pela CAREL, na Figura 6, que permite utilizar um computador local para aceder os vários parâmetros dos controladores de temperatura e detém as seguintes características:

1. Total configuração dos parâmetros dos controladores da CAREL;
2. Utilização simples;
3. Possibilidade de simulação de vários testes;
4. Possibilidade de visualizar graficamente os principais parâmetros dos controladores.



Figura 6 - Aplicativo ComTool da CAREL.

II.2.5. TCS.Wireless

O TCS.Wireless [14], na Figura 7, é um sistema de monitorização e controlo dos limites críticos para cada Ponto Crítico de Controlo (PCC) da empresa Domopor [15]. Este sistema possui as seguintes características:

1. Registo de dados emitidos pelas sondas sem fios;
2. Envio de informação para as empresas de manutenção através da *internet*;
3. Gestão de alarmes;
4. Controlo, em tempo real, das ocorrências;
5. Monitorização das temperaturas através de um computador central;
6. Elaboração de relatórios, gráficos, estatísticas e outras análises;
7. Consulta, via *internet*, de toda a informação registada pelo sistema.

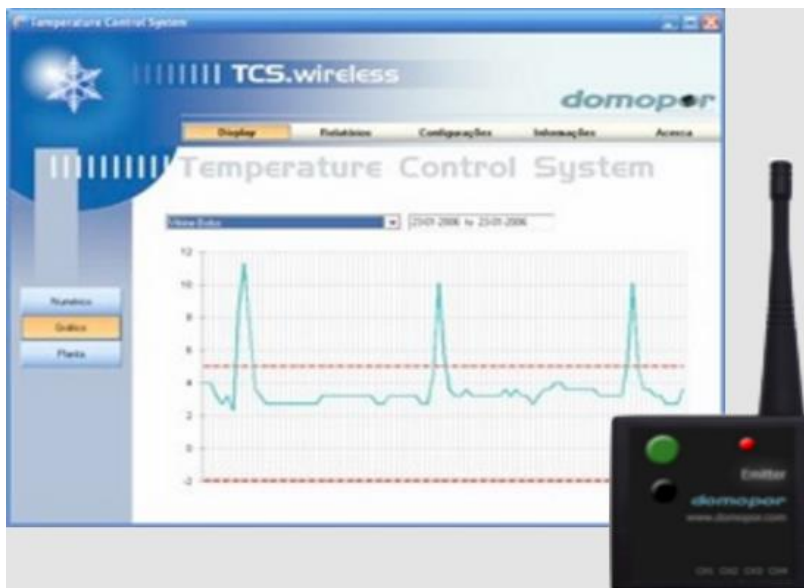


Figura 7 - Aplicativo TCS.Wireless [14].

II.2.6. CX2000

A estação de controlo e monitorização CX2000 [16], à esquerda na Figura 8, desenvolvida pela empresa Yokogawa [17], em muito semelhante às soluções disponibilizadas pela CAREL, nomeadamente o *PlantWatch Pro*, apresenta as seguintes características:

1. Registo de informação proveniente dos sensores;
2. Gestão de alarmes;
3. Envio de alertas por *email*;
4. Ecrãs da consola disponíveis através dum *web browser*;
5. Suporte para sistemas construídos segundo o protocolo *Modbus*;
6. Transferência de dados através de *FTP*.

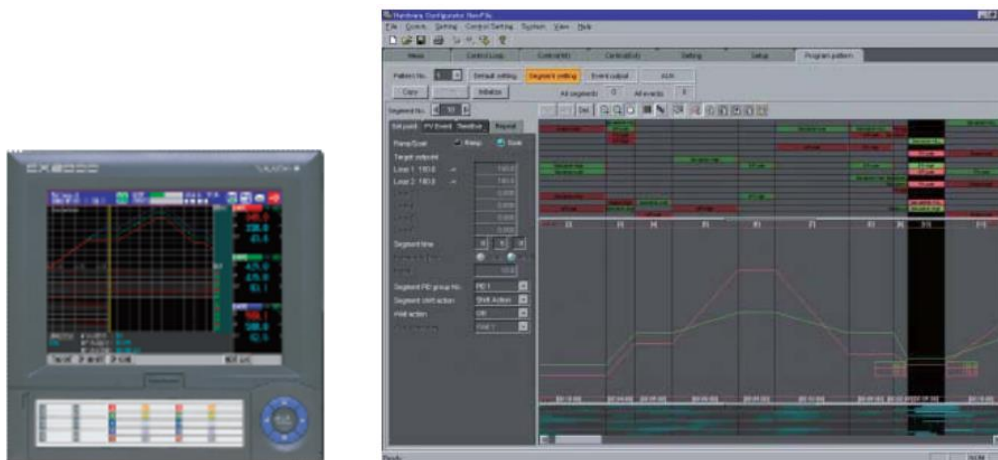


Figura 8 - Estação de controlo e monitorização CX2000 [16] (à esquerda) e aplicativo DAQSTANDARD [18] (à direita).

Esta estação de controlo e monitorização disponibiliza, ainda, o pacote de *software* DAQSTANDARD [18], à direita na Figura 8, que pode ser utilizado para imprimir ou para voltar a visualizar os dados guardados pela unidade CX2000 (em lista ou graficamente), para visualizar ou definir as configurações da unidade CX2000 e para exportar os dados em formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) ou CSV (*Comma Separated Values*).

II.2.7. Wonderware InTouch

A *Schneider Electric Software* [19] tem vários programas destinados à visualização de ambientes industriais. O sistema *Wonderware InTouch* [20], na Figura 9, com uma *Human Machine Interface (HMI)*, possui as seguintes características:

1. Gráficos e histórico de alarmes;
2. Gestão de *backups*;
3. Configurações de segurança;
4. Fácil integração de dispositivos recorrendo à funcionalidade *Device Integration Objects (DI Objects)* [21];
5. Conectividade abrangente através da tecnologia *OLE* para *Process Control Unified Architecture (OPC UA)* [22].

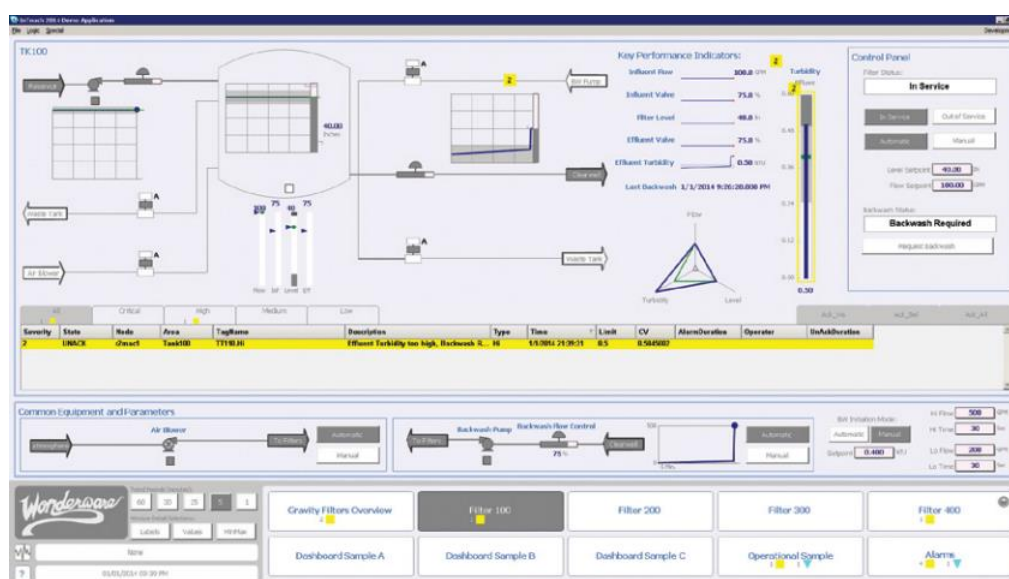


Figura 9 - Aplicativo *Wonderware InTouch* [23].

II.2.8. Conclusão/Resumo

Neste subcapítulo foram apresentadas, sucintamente, as principais características de alguns sistemas comerciais de monitorização, gestão e controlo existentes no mercado, compatíveis ou não com o controlador de temperatura IR32, quer a nível de consolas, quer a nível de *software*, integrado ou não naquelas.

Tabela 1 – Análise comparativa dos diversos sistemas e aplicações de monitorização, gestão e controlo.

Sistema ou Aplicação	Suporta IR32	Função gráfica	Privilégios		Sistema Proprietário	Acesso remoto	Alertas sms email	Controlo Neuronal
			Acesso	Gestão				
<i>PlantWatch</i>	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
<i>PlantWatchPro</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
<i>PlantVisorPro</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não
<i>Comtool</i>	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não
<i>TCS.Wireless</i>	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não
<i>CX2000</i>	Não	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não
<i>Wonderware InTouch</i>	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não

Analisando a Tabela 1, verifica-se que os sistemas mais completos são o *PlantWatchPro* e o *PlantVisorPro*. No entanto, não são suficientemente flexíveis para acoplar ou adaptar um sistema de controlo inteligente, por exemplo, baseado em redes neuronais, quer por serem sistemas proprietários e, portanto, fechados para várias configurações, quer por não possibilitarem a integração e utilização de outras tecnologias ou ferramentas. Esta limitação de integração de um sistema de controlo inteligente obriga a constante supervisão humana e a definição manual, nos controladores de temperatura IR32, do *setpoint* em vez de um ajuste automático e dinâmico segundo os *setpoints* inicialmente definidos. Na mesma tabela, pode-se, também, constatar que só os dois sistemas referidos anteriormente, bem como o *TCS.Wireless*, o *CX2000* e o *Wonderware InTouch* possibilitam o acesso remoto através da *web*, quer para monitorização, quer para gestão (neste último caso excetua-se o *CX2000*).

Por serem sistemas proprietários, todos os sistemas têm um elevado custo de aquisição. Por exemplo, o *PlantWatchPro* custa, na sua versão básica, mil e quinhentos euros e o *PlantVisorPro* poderá custar até aos dez mil euros, dependendo da versão. A exceção é o aplicativo *COMTOOL* que, no entanto, apresenta-se bastante limitado pois, à semelhança dos restantes, também não é personalizável.

II.3. ARQUITETURA MODULAR MVC

O *Model-View-Controller (MVC)* é uma arquitetura de *software* atualmente considerada um padrão arquitetural no desenvolvimento de *software*. Este modelo cria aplicações que separam os diferentes aspetos da aplicação, conforme ilustrado na Figura 10, (entrada lógica, a lógica de negócio e lógica *UI*), proporcionando um acoplamento fraco entre esses elementos [24].

O modelo gere o comportamento e os dados do domínio da aplicação respondendo aos pedidos de informação sobre o seu estado, bem como às instruções para a mudança de estado (geralmente do controlador). Em sistemas orientados por eventos, o modelo notifica observadores (geralmente vistas), quando existem alterações na informação, para que eles possam reagir [24].

As vistas apresentam os dados do modelo numa forma adequada para a interação, geralmente uma *interface* de utilizador, podendo existir múltiplas vistas, com diferentes fins, para um único modelo [24].

O controlador recebe as entradas do utilizador, conforme ilustrado na Figura 10, e inicia uma resposta fazendo chamadas sobre objetos do modelo que executam determinadas ações com base nessas entradas [24].

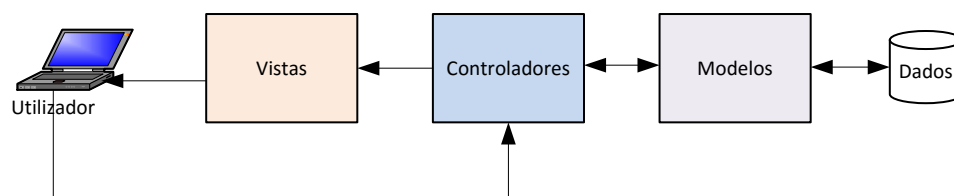


Figura 10 - Arquitetura Modular MVC.

II.4. REDES NEURAIS ARTIFICIAIS (*RNA*)

O lema para resolver eficientemente problemas complexos, num conjunto amplo de várias áreas, é dividir e conquistar. A fim de melhor compreender um sistema podemos dividi-lo em pequenas simples partes que, depois, na sua totalidade, representarão todo esse sistema.

As Redes Neurais Artificiais (*RNA*), um modelo matemático baseado no cérebro humano que consiste num grupo de neurónios artificiais altamente interligados com a capacidade de responder aos estímulos de entrada e de aprender a se adaptar ao ambiente, são um dos tipos de redes existentes que vê os nós como "neurónios artificiais" e consistem, basicamente, de entradas (como sinapses no neurónio real), que são multiplicados por pesos (resistência dos seus respetivos sinais) e, em seguida, calculados por uma função matemática que determina a ativação do neurónio [25].

Devido à ampla gama de aplicabilidade e da facilidade com que as *RNA* podem tratar problemas complexos, elas tornaram-se objeto de muita atenção e estudos, e, nestes últimos anos, a sua aplicação prática tem sido observado em diferentes áreas tecnológicas. Elas são uma ferramenta de modelação poderosa, isto é, elas podem identificar e aprender padrões correlacionados entre conjuntos de dados de entrada e os correspondentes valores de saída. O processo de aprendizagem é composto por três fases: treino, validação e teste. Após o treino, elas podem ser usadas para prever a saída de novos dados independentes e para processar problemas relacionados com dados complexos e não-lineares, mesmo que os dados sejam imprecisos e contenham ruído.

A Classificação em *RNA*, o processo de aprender a separar as amostras em diferentes classes comparando características comuns entre as amostras de classes conhecidas, é uma aprendizagem supervisionada - a tarefa de aprendizagem da máquina de inferir uma função a partir de dados de treino rotulados ou recursos. A construção de um procedimento de classificação, a partir de um conjunto de dados para o qual as verdadeiras classes são conhecidas, tem sido denominada de reconhecimento de padrões, discriminação ou aprendizagem supervisionada [26]. Caso a saída seja discreta, o algoritmo de aprendizagem supervisionada analisa os dados de treino e produz uma função inferida, que é chamada de classificador, caso contrário, se a saída é contínua produz uma função de regressão [27].

O tipo mais comum de *RNA* consiste em três camadas: a camada de entrada, a camada escondida e a camada de saída, conforme representado na Figura 11.

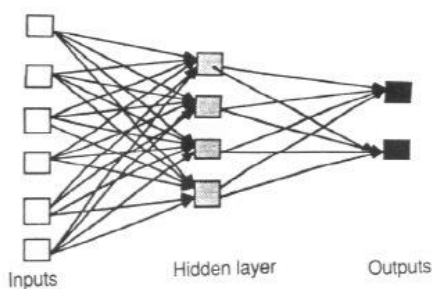


Figura 11 - Rede *Feedforward* com três camadas [28].

A atividade das unidades de entrada representa a linha de informação que é introduzida na rede e a atividade de cada unidade escondida é determinada pela atividade das unidades de entrada e pelos pesos das conexões entre as entradas e as unidades escondidas. O comportamento das unidades de saída depende da atividade das unidades escondidas e dos pesos entre as unidades escondidas e de saída [28].

Nas *RNA perceptron* de múltipla camada, representado na Figura 12, os neurónios artificiais são distribuídos nas seguintes camadas: uma camada de entrada, uma ou mais camadas escondidas e uma camada de saída. Os neurónios de cada camada partilham as mesmas entradas, mas não existem conexões entre os neurónios da mesma camada. A saída de um neurónio de uma determinada camada é ligada a todos os neurónios da camada seguinte [29].

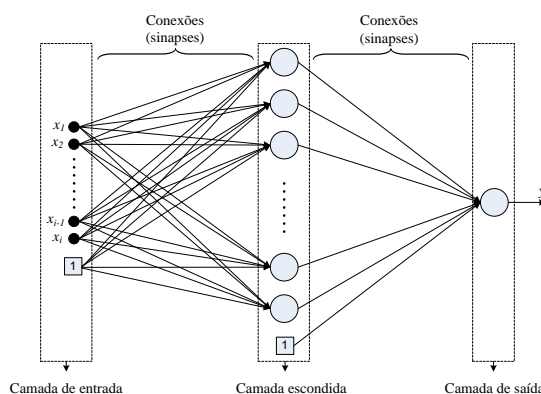


Figura 12 - Rede neuronal *perceptron* de múltipla camada, com uma camada escondida, tendo a camada de saída apenas um neurónio artificial [29].

O *perceptron* é uma única camada da rede neuronal cujos pesos e tendências podem ser treinados, usando a técnica de treino chamada de regra de treino *perceptron*, para produzir um vetor de saída correto quando se indica o correspondente vetor de entrada. O *perceptron* tem a capacidade de generalizar a partir dos seus vetores de treino e trabalhar com conexões distribuídas aleatoriamente. Os *Perceptrons* são especialmente adequados para problemas simples na classificação de padrões [30]. Como classificador

linear, o *perceptron* (de única camada) é o tipo mais simples de rede neural *feedforward* [31].

Para a execução de todo o processo inerente à criação dum sistema de controlo baseado nas RNA, o *Matlab* [32] já disponibiliza as ferramentas, algoritmos, funções e controladores necessários conforme será referido ao longo do capítulo V – Sistema de Controlo.

Como qualquer sistema, também é possível enunciar, para as redes neuronais, algumas vantagens e desvantagens na sua utilização, conforme espelhado na Tabela 2.

Tabela 2 – Vantagens e desvantagens da utilização de uma rede neuronal.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none">✓ Aprendizagem automática através dos exemplos;✓ Não necessita fazer suposições sobre a forma como as entradas e as saídas estão relacionadas.✓ Rápida aprendizagem.✓ Adaptável a situações desconhecidas.	<ul style="list-style-type: none">✓ Comporta-se como uma “caixa negra”, i.e. é difícil interpretar uma solução de rede neuronal.✓ É difícil de incorporar conhecimento de um dado conhecimento.

Assim, apesar das suas desvantagens serem uma dificuldade para quem está a implementar o sistema, pois tem de aplicar um maior esforço para interpretar as funções já existentes, constata-se que da utilização das redes neuronais resultará mais benefícios para o mesmo do que ao contrário sendo, por isso, aconselhável a sua utilização na implementação do sistema de controlo proposto.

II.5. CONTROLADORES

O treino do controlador neuronal reside na aproximação da inversa do sistema a controlar podendo a sua implementação ser feita através de uma “Aprendizagem Generalizada” ou de uma “Aprendizagem Especializada”. Para o primeiro caso, é necessário dispor-se de um conjunto de treino satisfatoriamente representativo da dinâmica do sistema porque é um método de treino implementado em diferido. Para o segundo caso, e de modo a minimizar um dado critério de desempenho, o treino da estrutura neuronal é realizado em série sendo os pesos do controlador atualizados em cada intervalo de amostragem.

II.5.1. Direct Inverse Control (DIC)

As redes neuronais podem ser utilizadas para controlar, direta ou indiretamente, sistemas dinâmicos. A Figura 13 mostra um exemplo simplificado de um DIC em que a rede neuronal é treinada para modelar o inverso do processo sendo a saída do sistema igual ao *setpoint* quando o controlador inverso está ligado em série com o sistema [29].

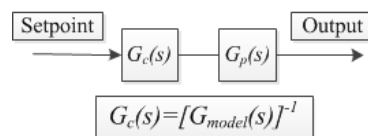


Figura 13 - Direct Inverse Control (DIC) [33].

A vantagem da utilização do DIC é que não necessita de um controlador no treino porque utiliza o inverso do modelo do sistema [29] sendo o sistema descrito pela expressão (1) e representado pelo diagrama de blocos da Figura 14, como descrito em [34].

$$y(t+1) = g[y(t), \dots, y(t-n+1), u(t), \dots, u(t-m)] \quad (1)$$

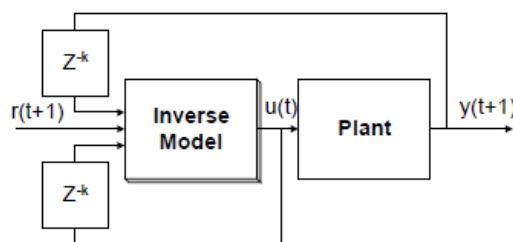


Figura 14 - Estrutura do DIC [33].

II.5.2. Internal Model Control (IMC)

A filosofia do *Internal Model Control (IMC)* baseia-se no princípio do modelo interno que estipula que se pode alcançar o controlo apenas se o sistema de controlo incorpora, implícita ou implicitamente, alguma representação do processo a ser controlado [35].

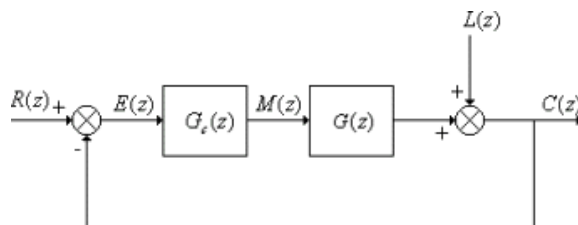


Figura 15 - *Internal Model Control (IMC)* [33].

No diagrama da Figura 15, $L(z)$ representa um distúrbio desconhecido que afeta o sistema e a saída do processo $C(z)$ é comparada com a saída do modelo. A função de transferência em malha fechada permite que o *setpoint* seja seguido com facilidade.

II.5.3. Proportional-Integral-Derivative Controller (PID)

Um controlador *PID* é um mecanismo genérico de *feedback* do circuito, largamente usado em sistemas de controlo industrial, que calcula o valor de um “erro” como sendo a diferença entre uma variável medida do processo e o *setpoint* pretendido [36].

A função de transferência da forma mais básica do controlador *PID* é:

$$C_s = K_p + K_i/s + K_d s \tag{2}$$

Sendo K_P o ganho proporcional, K_I o ganho integral e K_D o ganho derivativo.

Para diminuir o tempo de subida utiliza-se o K_P , para reduzir o *overshoot* e o tempo de estabilização usa-se o K_D e o K_I para o eliminar o erro em estado estacionário.

O *PID* pode ter um filtro de primeira ordem no termo derivativo (*PIDF*) como expresso na expressão (3).

$$C_s = K_p + K_i/s + K_d s / (sT_f + 1) \tag{3}$$

II.5.4. Model Predictive Control (MPC)

MPC é um método avançado de controlo de processos sendo a sua principal vantagem o fato de permitir que o intervalo de tempo atual seja otimizado considerando os

intervalos de tempo futuros através da otimização de um horizonte temporal finito mas implementando somente o intervalo de tempo atual.

MPC é um algoritmo de controlo de multivariáveis que considera um modelo dinâmico interno do processo, o histórico dos movimentos anteriores e uma função de custo de otimização J , dada pela expressão 4, sobre o recuo do horizonte de predição para calcular os melhores movimentos de controlo [37].

$$J = \sum_{i=1}^N w_{x_i} (r_i - x_i)^2 + \sum_{i=1}^N w_{u_i} \Delta u_i^2 \quad (4)$$

Sendo x_i a i -th variável controlada, r_i a i -th variável de referência, u_i a i -th variável manipulada, w_{x_i} o coeficiente de ponderação que reflete a importância de x_i e w_{u_i} o coeficiente de ponderação que penaliza grandes alterações em u_i .

De acordo com [37], os horizontes de predição e de controlo devem ser especificados de tal forma que:

$$P - M \gg t_{d,max}/\Delta t \quad (5)$$

Sendo P o horizonte de predição, M o horizonte de controlo, t_d e max o atraso máximo e Δt o intervalo de controlo.

III. MODELAÇÃO DO SISTEMA

“It would appear that we have reached the limits of what it is possible to achieve with computer technology, although one should be careful with such statements, as they tend to sound pretty silly in 5 years.”

[John Von Neumann, circa 1949]

A modelação, na conceção de sistemas informáticos, em engenharia informática, consiste na abstração do sistema de *software*, através de modelos que o descrevem, sendo um poderoso instrumento para o entendimento e comunicação do produto final que será desenvolvido, em que a maior dificuldade está no equilíbrio (*tradeoff*) entre simplicidade (favorecendo a comunicação) e a complexidade (favorecendo a precisão) do modelo [38].

Para a modelação de um sistema podemos citar três métodos: análise estruturada, análise essencial e *UML* (por ser considerado um *standard* e o mais amplamente utilizado, foi este último o que se utilizou na modelação deste projeto e disponível em [38] e [39]).

Neste capítulo apresentam-se as várias técnicas utilizadas no processo de modelação do novo sistema, nomeadamente, os casos de uso, os requisitos do sistema, os protótipos de baixa e de alta fidelidade, o diagrama de blocos do novo sistema, o modelo *E-R* representativo do modelo de dados e, por fim, tecem-se algumas conclusões.

III.1. CASOS DE USO

Um caso de uso é uma sequência de ações realizadas por um ator, incluindo variantes que um sistema realiza, para produzir um resultado observável ou um conjunto de resultados com valor para um ator ou mais atores [39], isto é, um caso de uso é a representação de uma funcionalidade do sistema, vista pelos utilizadores, bem como um tipo de interação entre atores e sistema.

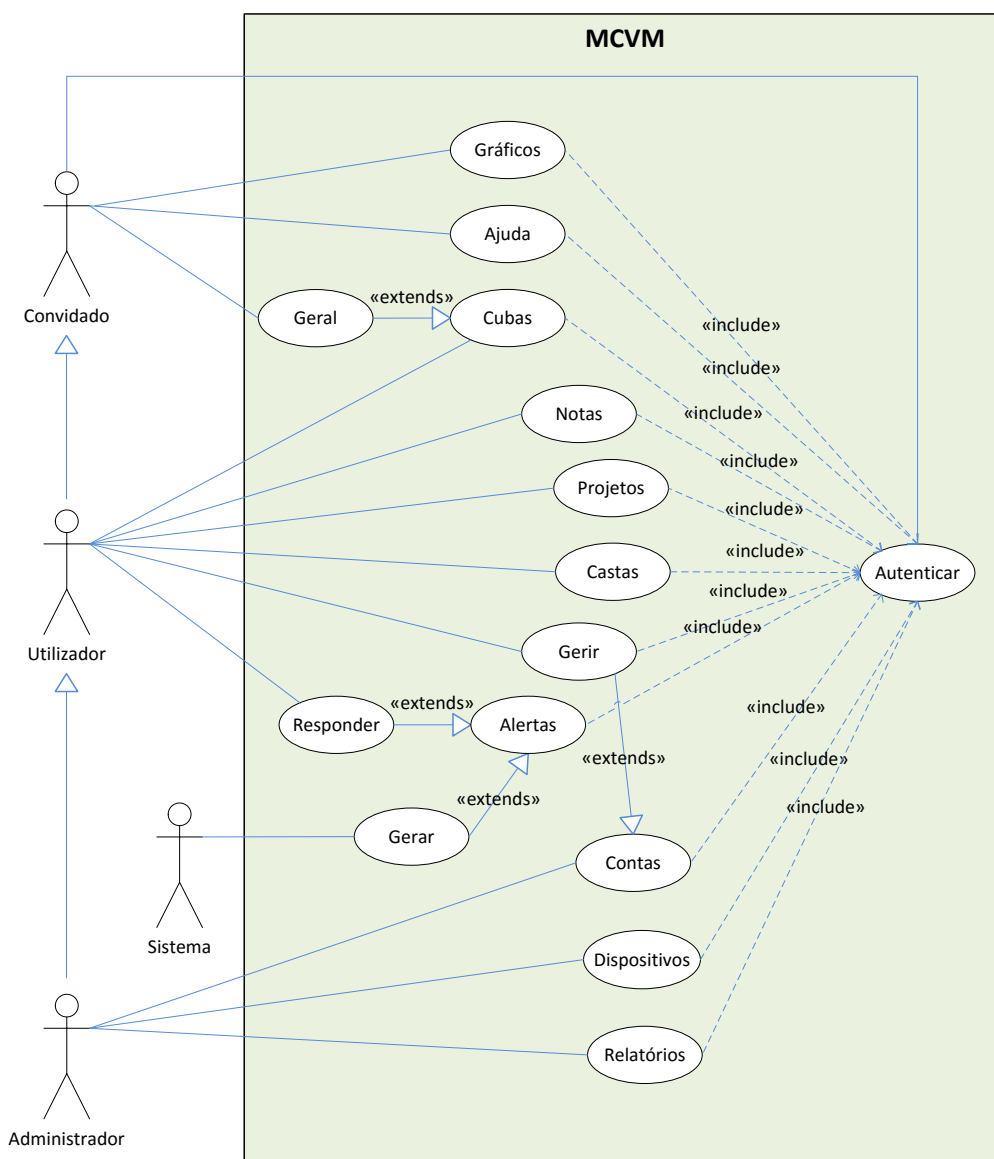


Figura 16 – Casos de Uso – Visão Geral.

A Figura 16 representa as ações realizadas pelos diversos atores e os respetivos resultados produzidos pelo sistema. Com o intuito de simplificar este diagrama e de torná-lo mais perceptível, utiliza-se a generalização de atores sendo o ator base o

“convidado” visto ser o que realiza menos ações de interação com o sistema em virtude das restrições naturais que lhe são impostas.

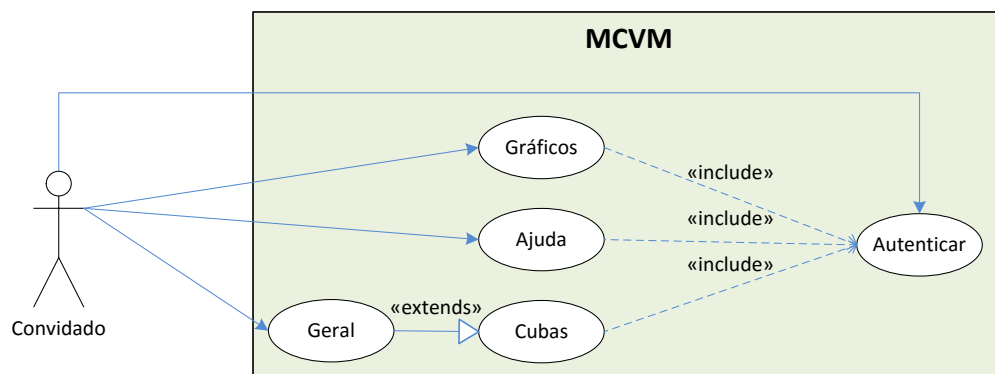


Figura 17 - Casos de Uso - Visão “Convidado”.

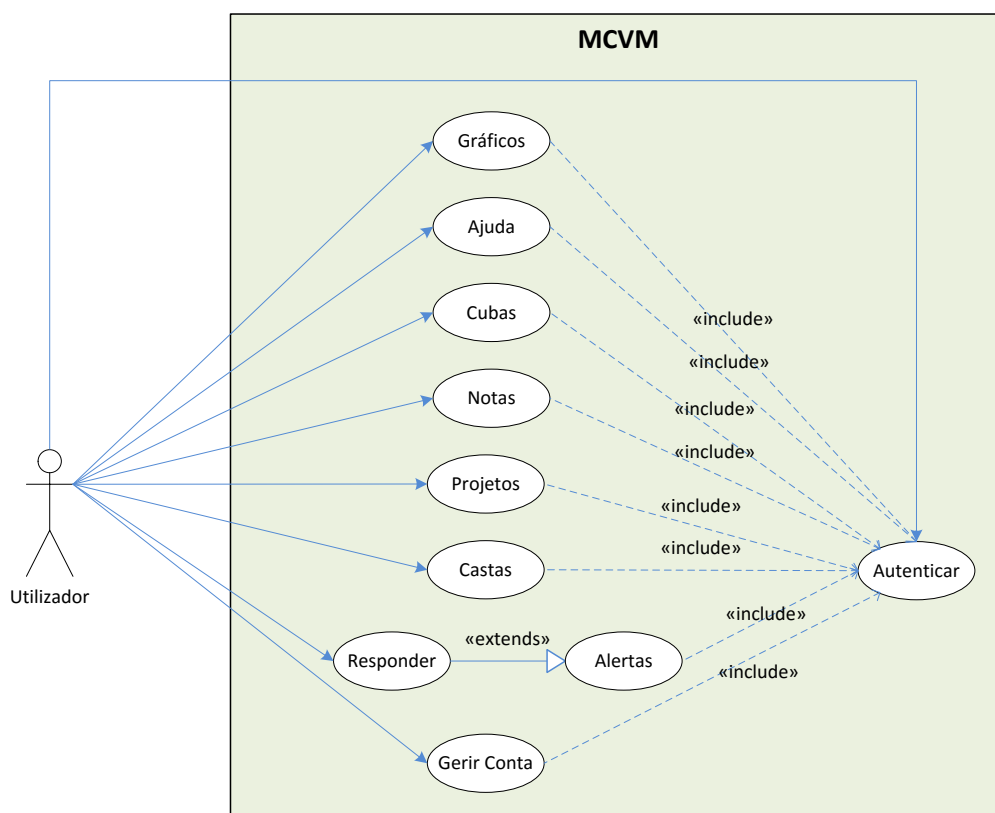


Figura 18 - Casos de Uso - Visão “Utilizador”.

Assim, de modo a mais facilmente se visualizar esta generalização de atores e respetivas ações que cada um pode realizar, opta-se por apresentar nas Figuras 17, 18 e 19 um diagrama de casos de uso por ator, respetivamente, para “convidado”, “utilizador” e “administrador”.

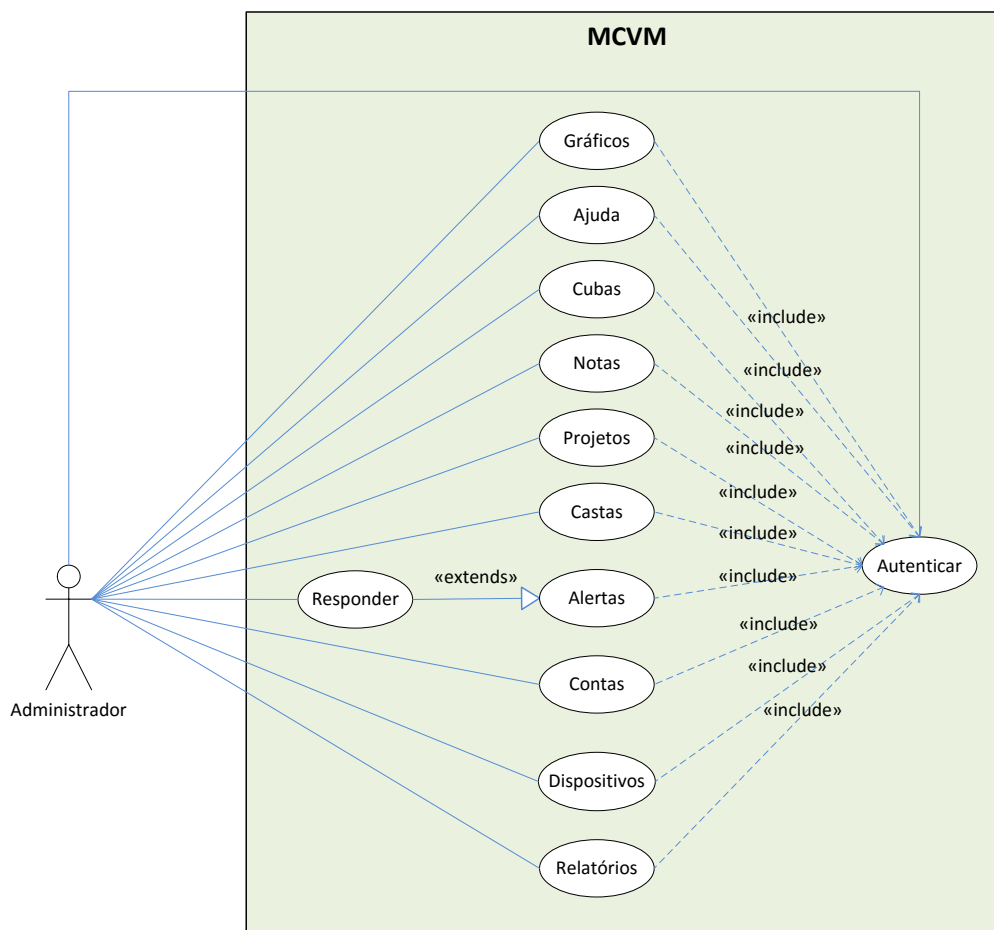


Figura 19 - Casos de Uso - Visão “Administrador”.

A Figura 20 apresenta o diagrama de casos de uso do “sistema” a fim de separar a ação de “responder”, referente aos atores “utilizador” e “administrador”, da ação de “geral” própria do ator “sistema” e o respetivo resultado produzido pelo sistema.

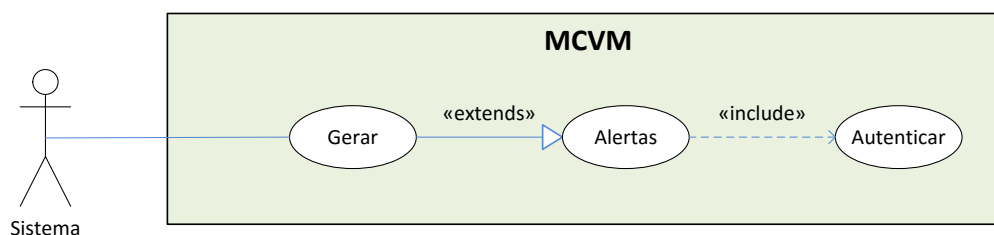


Figura 20 - Casos de Uso - Visão “Sistema”.

A criação destes diagramas de casos de uso teve como finalidade facilitar a definição de requisitos, a comunicação com os clientes e a geração das tarefas de teste do sistema o que efetivamente se verificou: a elaboração de requisitos foi mais objetiva, a comunicação com os possíveis clientes mais acessível e perceptível e a elaboração de tarefas de teste mais ágil.

III.2. REQUISITOS

Os requisitos funcionais englobam todas as funcionalidades intrínsecas ao sistema, isto é, tudo aquilo que o utilizador espera que o sistema ofereça, atendendo aos propósitos para o qual o sistema foi desenvolvido, enquanto os requisitos não funcionais referem-se às restrições nas quais o sistema deve operar ou às propriedades emergentes do mesmo [40].

A elaboração dos requisitos funcionais e não funcionais, de acordo com o descrito em [41], resultou, numa primeira fase, de entrevista com o professor José Carlos Marques, principal mentor do projeto *IMPACT*, do estudo e análise das características e funcionalidades que o sistema para a monitorização, registo e controlo de temperatura das estufas deveria implementar para atender, satisfatoriamente, às necessidades e expectativas dos possíveis utilizadores e, numa segunda fase, da avaliação e utilização dos protótipos de baixa fidelidade (*PBF*), apresentados no próximo subcapítulo e disponíveis no Anexo I.

Assim, os requisitos iniciais foram refinados, ordenados e numerados segundo a ordem de importância de implementação de acordo com as Tabelas 3 e 4, respetivamente, para os requisitos funcionais e não funcionais, tendo sido classificado cada requisito e atribuída uma prioridade de acordo com [42].

Tabela 3 – Requisitos Funcionais.

#	Requisito	Classificação	Prioridade
F01	O sistema deve contemplar um sistema de autenticação composto por utilizador e senha.	Segurança	Essencial
F02	O sistema deve contemplar um sistema de permissões, associado ao sistema de autenticação, com os seguintes privilégios: administrador, utilizador.	Segurança	Essencial
F03	O sistema de autenticação e de permissões deve ser gerido só por utilizadores com permissão de administrador.	Segurança	Essencial
F04	O sistema deve permitir adicionar novos utilizadores.	Entrada	Essencial
F05	O sistema deve permitir editar ou eliminar utilizadores existentes.	Entrada	Essencial
F06	O sistema deve permitir visualizar utilizadores.	Saída	Essencial
F07	O sistema deve permitir visualizar a configuração do sistema físico.	Saída	Importante
F08	O sistema deve permitir o acoplar de novos controladores.	Entrada	Importante

#	Requisito	Classificação	Prioridade
F09	O sistema deve permitir o remover de controladores.	Entrada	Importante
F10	O sistema deve permitir obter os parâmetros dos controladores.	Entrada	Essencial
F11	O sistema deve permitir editar os parâmetros dos controladores.	Entrada	Essencial
F12	O sistema deve permitir visualizar os parâmetros dos controladores.	Saída	Essencial
F13	O sistema deve permitir selecionar um controlador existente.	Entrada	Importante
F14	O sistema deve permitir visualizar os controladores existentes.	Saída	Importante
F15	O sistema deve permitir visualizar graficamente os parâmetros armazenados para cada cuba semanalmente.	Saída	Essencial
F16	O sistema deve permitir visualizar graficamente os parâmetros armazenados para cada cuba mensalmente.	Saída	Essencial
F17	O sistema deve permitir visualizar graficamente os parâmetros armazenados para cada cuba por projeto/colheita.	Saída	Essencial
F18	O sistema deve permitir visualizar graficamente os parâmetros armazenados para cada cuba de uma forma personalizada.	Saída	Essencial
F19	O sistema deve permitir visualizar, pelo menos, dois gráficos mensais ou quatro gráficos semanais, por ecrã.	Saída	Importante
F20	O sistema deve permitir exportar os dados das leituras dos controladores para o formato do Matlab (.m).	Saída	Importante
F21	O sistema só deve permitir adicionar, editar ou remover parâmetros para os controladores aos utilizadores com permissões de administrador.	Segurança	Essencial
F22	O sistema deve permitir, a qualquer utilizador, a visualização de todos os dados relativos ao registo de parâmetros por parte dos controladores.	Saída	Importante
F23	O sistema deve permitir adicionar novos parâmetros permitidos para um controlador.	Entrada	Importante
F24	O sistema deve permitir remover parâmetros a um determinado controlador.	Entrada	Importante
F25	O sistema deve validar, em tempo real, a introdução dos dados (validação <i>client side</i>).	Validação	Essencial
F26	O sistema deve permitir a validação da informação no servidor (validação <i>server side</i>).	Validação	Essencial
F27	O sistema deve apresentar mensagens de confirmação ou de erro das tarefas.	Saída	Importante
F28	O sistema deve permitir um ajuste automático ao sistema de aquecimento de modo a garantir a temperatura ideal pretendida.	Entrada	Essencial
F29	O sistema deve garantir um aquecimento progressivo com flutuações não superiores a mais ou menos meio grau tendo por base o <i>setpoint</i> .	Entrada	Essencial

#	Requisito	Classificação	Prioridade
F30	O sistema deve permitir obter um relatório, personalizável, para cada estufa por projeto/colheita.	Saída	Essencial
F31	O sistema tem de aceder automaticamente à consola <i>PWW</i> .	Entrada	Essencial
F32	O sistema deve permitir guardar o valor da temperatura de 15 em 15 minutos.	Entrada	Essencial
F33	O sistema deve permitir alterar o período para guardar o valor da temperatura.	Entrada	Essencial
F34	O sistema deve permitir um registo <i>LOG</i> .	Entrada	Importante
F35	O sistema deve permitir visualizar o registo <i>LOG</i> aos utilizadores do grupo de administradores.	Entrada	Importante

Tabela 4 - Requisitos Não Funcionais.

#	Designação	Classificação	Prioridade
NF01	O sistema deve funcionar 99% das vezes num ano.	Performance	Essencial
NF02	O tempo de resposta do sistema não deve ultrapassar 1 segundo.	Performance	Essencial
NF03	O sistema deve ser acessível através de qualquer Sistema Operativo e/ou <i>Browser</i> .	Portabilidade	Importante
NF04	A <i>Interface</i> deve adaptar-se a diferentes resoluções.	Usabilidade	Importante
NF05	O sistema deve ser executado em um <i>PC</i> com, pelo menos, um processador <i>i3</i> com 2GB de <i>RAM</i> ou equivalente.	Performance	Desejável
NF06	O uso do sistema não deve requerer mais do que uma hora de formação.	Usabilidade	Importante
NF07	O sistema deve possuir um manual de instalação não superior a duas páginas.	Usabilidade	Importante
NF08	O sistema deve possuir um manual de utilização não superior a cinco páginas.	Usabilidade	Importante
NF09	O utilizador deve reconhecer botões e funcionalidades, por aquisição de conhecimentos anteriores, em vez de se lembrar.	Usabilidade	Importante
NF10	O sistema deve ser capaz de recuperar os dados, referentes à última operação, em caso de falha.	Segurança	Essencial
NF11	O sistema deve promover a integridade e consistência da Base de Dados independentemente das ocorrências.	Segurança	Essencial
NF12	O sistema deverá garantir a consistência da informação antes de se desconectar ou encerrar.	Segurança	Essencial
NF13	O sistema deve ser desenvolvido em <i>ASP .NET</i> .	Implementação	Essencial
NF14	O sistema deve armazenar as senhas de acesso encriptadas com chave de 128 bits ou superior.	Segurança	Essencial

III.3. PROTÓTIPOS

Os protótipos são modelos desenvolvidos para testar ideias de desenho, examinar conteúdos, estética e técnicas de interação nas perspetivas dos *designers*, clientes e utilizadores podendo ser, quanto ao grau de fidelidade, de baixa fidelidade ou de alta fidelidade. Assim, atendendo aos benefícios da criação de protótipos de acordo com [43], foram concebidos, com base nos casos de uso e requisitos previamente elaborados e analisados, os *PBF* e os *PAF*.

III.3.1. Protótipos de Baixa Fidelidade (*PBF*)

Os *PBF* consistem numa representação artística do que se pretende implementar mas que contém muitos detalhes omissos relativamente ao produto final.

Os *PBF*, no Anexo I, foram utilizados na primeira iteração com os possíveis utilizadores do sistema de modo a se testar e verificar a sua correta progressão na execução de tarefas pré-definidas e constantes no Anexo II, bem como para se registar sugestões e possíveis falhas. O Anexo III apresenta o registo dessas sugestões e falhas que foram consideradas ao longo do processo de desenvolvimento do sistema.

Posteriormente, os *PBF* foram utilizados para a conceção e implementação da *interface* do sistema (Protótipos de Alta Fidelidade – *PAF*).

III.3.2. Protótipos de Alta Fidelidades (*PAF*)

Enquanto os *PBF* se caracterizam pela simplicidade e elementaridade, os *PAF* são mais minuciosos e assemelham-se ao produto final, conforme espelha o Anexo IV.

Estes são utilizados para testar o sistema, de uma forma mais minuciosa e mais próxima do produto final, quer pelos possíveis futuros utilizadores, quer pelos técnicos, nomeadamente para a sua avaliação heurística, como será referido no capítulo IV.

III.4. DIAGRAMA DE BLOCOS

A Figura 21 apresenta o diagrama de blocos do sistema de monitorização, registo e controlo, bem como a sua interação com o sistema físico existente.

De facto, observando este diagrama, podemos, muito mais facilmente, perceber a interação entre os vários subsistemas: o utilizador interage somente com o sistema de monitorização; este e o sistema de controlo, por sua vez, interagem com a base de dados onde é armazenada toda a informação necessária ao funcionamento do sistema e proveniente do sistema e, por fim, o sistema de controlo interage com o sistema físico, de modo a realizar a leitura e definir os valores dos parâmetros do controlador de temperatura *IR32*, bem como para controlar a temperatura de cada estufa.

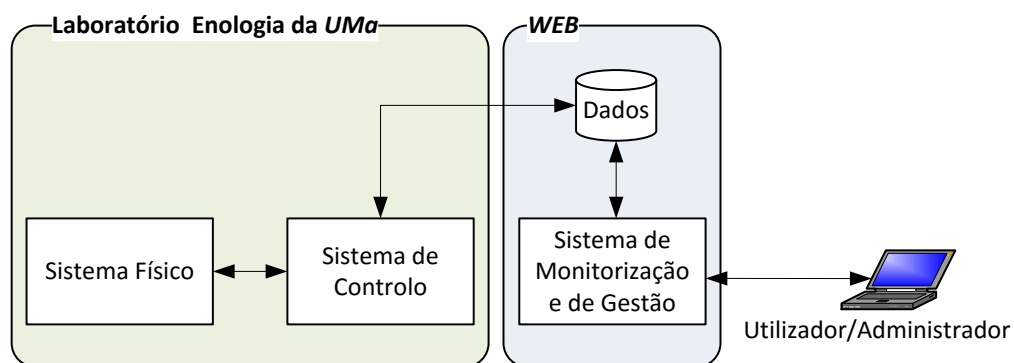


Figura 21 - Diagrama de Blocos do Sistema.

Ainda na Figura 21, pode-se verificar que o sistema de monitorização e de gestão é o único componente do sistema que está acessível externamente. O sistema de controlo (que deverá estar instalado num computador local com acesso ao sistema físico) não é acessível externamente (de uma forma direta, mas sim manipulado através de informação específica existente na base de dados) o que o protege, em parte, de ataques exteriores garantindo, assim, o seu funcionamento ininterrupto.

III.5. MODELO E-R (ENTIDADE-RELAÇÃO)

O modelo E-R é um modelo de dados, em que toda a sua definição teórica baseia-se na lógica de predicados e na teoria dos conjuntos, que assenta em dois conceitos fundamentais: entidade e relação.

Assim, uma entidade é caracterizada pelos dados que são recolhidos na sua identificação, a que vulgarmente designamos de tabela, enquanto a relação determina o modo como cada registo de uma tabela se associa a outros registos de outras tabelas.

A Figura 22 apresenta essas mesmas entidades e respetivas relações, representativas do modelo de dados implementado para o sistema de monitorização, registo e controlo.

Este modelo de dados assenta em seis grandes grupos: na gestão de auditorias, na gestão de contas, na gestão de dispositivos e parâmetros, na gestão de notas, na gestão de projetos e na gestão de cubas.

A gestão de auditorias é composta pelas entidades “Auditoria”, “Acao” e “UserProfile” que armazena toda a informação necessária à lógica do registo de alterações ao sistema, nomeadamente as operações *CRUD* (*Create, Read, Update e Delete*) inerentes a cada uma das funcionalidades do sistema e definidas de acordo com a Tabela 5.

Tabela 5 - Ações monitorizadas no Sistema de Auditorias.

Código	Ação	Descrição
1	Adicionar	Adição de novos itens ao sistema.
2	Editar	Alteração de itens existente no sistema.
3	Remover	Desassociação de itens no sistema.
4	Eliminar	Eliminação definitiva de itens do sistema.
5	Autenticar	Autenticação e saída do sistema.
6	Associar	Associação de itens no sistema.

A gestão de contas é composta pelas entidades “UserProfile”, “webpages_UsersInRoles”, “webpages_Roles” e “webpages_Membership” que armazenam toda a informação necessária a lógica de autenticação e de permissões de acesso ao sistema [44].

A gestão de dispositivos e parâmetros é composta pelas entidades “Dispositivo”, “Parametro”, “DispositivoParametro” e “TipoParametro” que armazenam toda a informação necessária à lógica de associação de parâmetros a dispositivos e disponibilização de dispositivos para associar a estufas.

A gestão de notas é composta pelas entidades “Nota”, “NivelPrioridade” e “UserProfile” que armazenam toda a informação necessária à lógica de envio, receção e resposta de notas.

A gestão de projetos é composta pelas entidades “ParamInicialProjeto”, “ParamFinalProjeto” e “Projeto” que armazenam toda a informação necessária à definição de novos projetos e registo de parâmetros iniciais e finais de cada projeto como, por exemplo, a data de início e de fim de cada projeto.

E, por fim, a gestão de cubas que é composta pelas entidades “Cuba”, “CubaDispParametro”, “Parametro2Visual”, “Parametro2Monitor”, “NivelPrioridade”, “Alerta”, “NotificaAlerta”, “ResolveAlerta”, “ProjetoCubaCasta”, “Casta” e “RegistaLeituras” que armazenam toda a informação necessária à lógica de associação de dispositivos às estufas; à lógica de definição de parâmetros de monitorização e de visualização; à lógica de geração, notificação e resolução de alertas associadas a uma determinada estufa e à lógica do registo de leituras provenientes dos controladores de temperatura IR32 existentes em cada estufa.

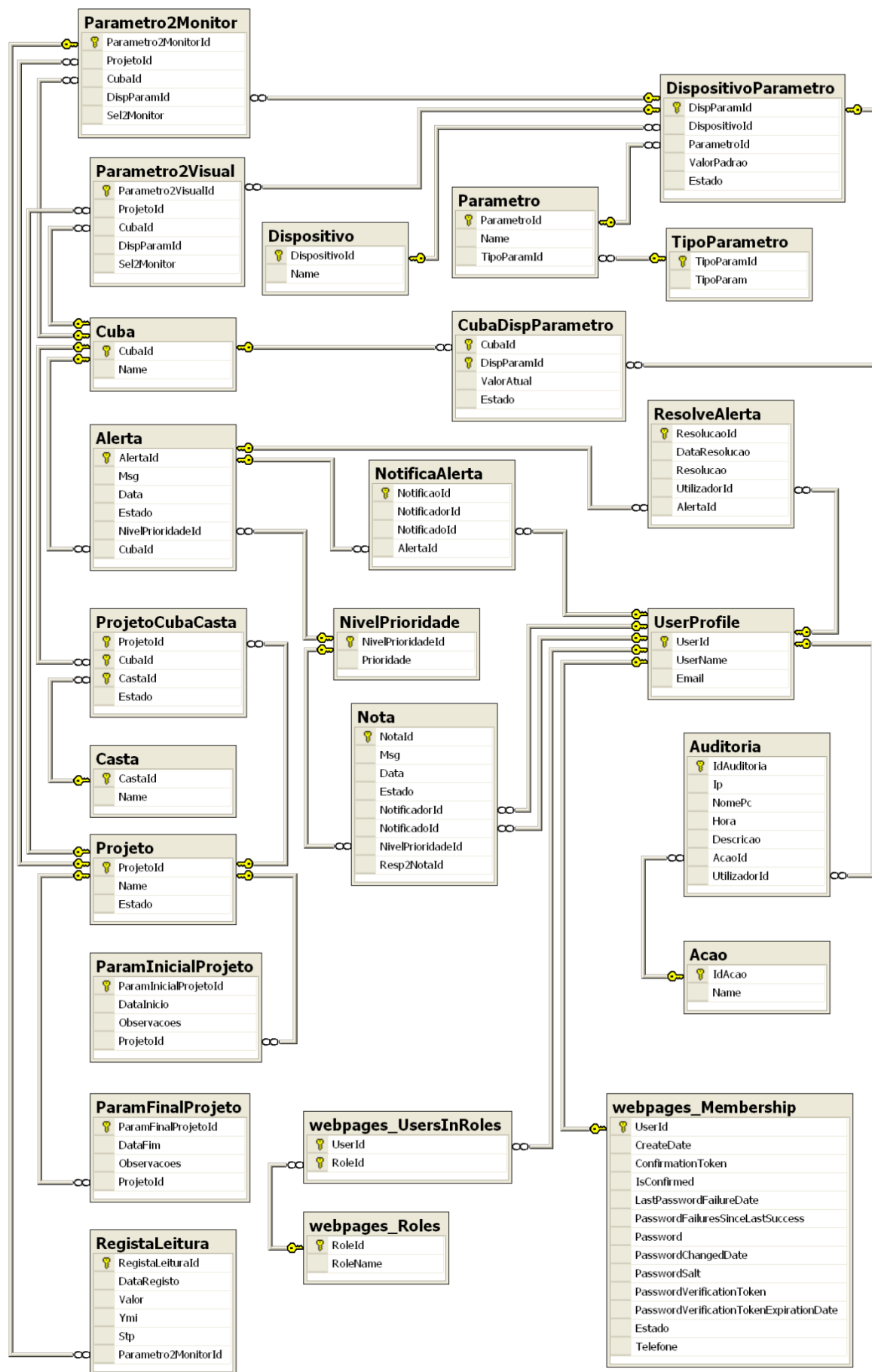


Figura 22 - Modelo E-R (Entidade-Relação).

III.6. CONCLUSÃO/RESUMO

A modelação do sistema facilitou a sua implementação. A criação de casos de uso deu origem à elaboração de requisitos mais precisos e reais.

Os *PBF*, resultantes dos casos de uso e dos requisitos, são uma primeira representação gráfica do sistema a implementar e serviram para simular um primeiro teste de utilização do sistema, junto dos possíveis clientes, o que ajudou a refinar a definição das funcionalidades a implementar, bem como auxiliou a melhorar o desenho e disposição gráfica dos elementos de cada *display*.

O diagrama de blocos apresenta, de uma forma simplificada, os subsistemas que compõem o sistema de monitorização, registo e controlo. Esta divisão em subsistemas veio facilitar a separação de conceitos e funcionalidades ao longo do processo de desenvolvimento mantendo a máxima de dividir para conquistar.

Por fim, o modelo *E-R* simplificou a implementação das classes e respetivas relações necessárias à criação do modelo de dados que suporta todo o sistema implementado.

IV. SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E DE GESTÃO

“Measuring programming progress by lines of code is like measuring aircraft building progress by weight.”

[Bill Gates]

O sistema de monitorização e de gestão, onde estão implementadas todas as funcionalidades com as quais o utilizador interage, através das respetivas *interfaces* gráficas e com recurso ao teclado, ao rato ou a qualquer outro dispositivo, é um dos blocos que compõe a arquitetura do sistema de monitorização, de registo e de controlo, apresentado, anteriormente, na Figura 21 do subcapítulo III.4.

Neste capítulo apresentam-se as ferramentas e linguagens utilizadas para a implementação da *interface* gráfica, as funcionalidades do sistema de monitorização, os testes de *software* realizados e os seus resultados. Por fim, realiza-se uma breve conclusão onde se tecem algumas observações sobre as configurações mais relevantes que influenciaram a criação da *interface* gráfica do sistema de monitorização e de gestão.

IV.1. FERRAMENTAS E LINGUAGENS

Após uma análise do sistema físico existente, estudados os seus componentes, bem como atendendo a algumas condicionantes do mesmo, nomeadamente a biblioteca disponibilizada pela CAREL, para comunicar com o controlador de temperatura IR32, ter sido escrita em C++ [45] e o *driver* para a ligação RS232 ser para o ambiente *Windows*, optou-se por utilizar as seguintes ferramentas e linguagens:

1. O *.NET Framework* – ambiente de execução gerido que oferece uma variedade de serviços aos seus aplicativos em execução e que consiste em dois componentes principais, conforme descrito em [46] e [47];
2. *ASP.NET Web Pages* – *framework* que poderá ser usada para criar páginas dinâmicas, conforme descrito em [48], que poderão ser acedidas através de qualquer *web browser*;
3. *WebMatrix* – ferramenta, livre e de fácil utilização, que integra um editor de páginas *web*, um utilitário de base de dados, um servidor *web* para as páginas de teste e recursos para a publicação de *site* na *Internet*, conforme apresentado em [49];
4. *SQL Server Express* – motor de base de dados com dez GB de armazenamento, funcionalidades de cópia de segurança, restauro para o *Microsoft Azure* e compatível com todas as edições do *SQL Server*, de acordo com [50];
5. *HTML* – vulgarmente classificada como linguagem de formatação, é um arquivo, em formato de texto, que é interpretado pelo *browser* e que não possui estruturas de controlo e de repetição, conforme apresentado em [51];
6. *CSS* – linguagem de estilo utilizada para definir a apresentação de documentos escritos numa linguagem de descrição como, por exemplo, o *HTML* ou o *CSHTML*, separando o conteúdo da formatação, conforme apresentado em [52];
7. *jQuery* – biblioteca *JavaScript*, de código aberto, desenhada para simplificar enormemente a programação *JavaScript* – *script* do lado do cliente – contendo as funcionalidades descritas em [53];
8. *MatLab* – ambiente interativo e linguagem de alto nível utilizado em várias áreas conforme apresentado em [32].

A *interface* gráfica do sistema de monitorização e de gestão, que se pretende de simples compreensão e de fácil utilização, prevalecendo o reconhecer funcionalidades e símbolos em detrimento do aprender, foi implementada utilizando, até à primeira

entrega do sistema, o *Visual Studio 2010* (depois, para a segunda entrega, foi convertido para o *Visual Studio 2013* de modo a fazer uso da *framework 6* e das suas novas funcionalidades, nomeadamente do novo sistema de autenticação (*Identity 2.0*) [54], bem como para fazer uso da *framework Bootstrap*) [55] e a linguagem de programação C#.

Na conceção do sistema de monitorização e de gestão utilizou-se a arquitetura modular *MVC* que implementa a separação de conceitos e de conteúdos tornando a implementação mais transparente e de mais fácil manutenção.

As vistas e classes que constituem o sistema de monitorização, registo e controlo implementado, distribuídas pelos elementos que compõem esta arquitetura, encontram-se no Anexo V.

IV.2. FUNCIONALIDADES DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO E DE GESTÃO

O sistema de monitorização implementa diversas funcionalidades resultantes da modelação do sistema onde, devido à classificação dos requisitos e à atribuição de prioridades, conforme indicado em [42], foi dada particular relevância à segurança da aplicação, através da implementação de um sistema de autenticação de utilizadores baseado em permissões de acesso, bem como à visualização gráfica da temperatura das estufas, quer na gestão de estufas, quer na visualização de gráficos.

A gestão de projetos surgiu da necessidade de associar as estufas a projetos de modo a mais facilmente organizar, registar e monitorizar estufas que pertencessem ao mesmo projeto e contivessem a mesma colheita/casta.

Devido ao sistema de auditoria, implementado com o objetivo de ajudar o(s) administrador(es) a rastrear mais facilmente situações anómalas, surgiu a necessidade de implementar um sistema de relatórios que apresenta, em formato de lista, todas as alterações relevantes ao sistema.

Resultante da primeira avaliação do sistema surgiu, por parte dos possíveis utilizadores, a indicação de uma funcionalidade extra: um sistema de gestão de notas. A opinião geral era que esta funcionalidade seria uma mais-valia para o sistema e para os seus utilizadores pois possibilitaria, de uma maneira mais fácil e interativa, a troca de informação, registo de observações ou a indicação de tarefas a realizar ao longo do processo de estufagem do Vinho Madeira.

A possibilidade de adicionar novos dispositivos e respetivos parâmetros foi, inicialmente, uma preocupação de modo a tornar o sistema mais flexível e dinâmico mas, atendendo que o sistema de controlo precisa de ser treinado para controlar novos parâmetros, esta funcionalidade foi restrita somente à visualização dos dispositivos instalados no sistema e dos parâmetros associados.

Por fim, a ajuda vem facilitar a compreensão das situações menos comuns onde foi mais difícil fazer prevalecer o reconhecer de botões, funcionalidades e tarefas sobre o aprender.

IV.2.1. Autenticação e Gestão de Contas

Para aceder ao sistema de monitorização e de gestão é necessário que o utilizador se autentique, através do formulário de autenticação, com o seu *email* e a sua senha (com

pelo menos seis caracteres), conforme ilustrado na Figura 20. Após se autenticar com sucesso no sistema, são disponibilizadas as funcionalidades de acordo com as suas permissões de acesso (previamente atribuídas por um administrador do sistema).

Atendendo que a segurança foi o atributo mais relevante emanado da classificação dos requisitos e da atribuição de prioridades, enquanto não existir uma autenticação com sucesso no sistema, nenhuma das funcionalidades do sistema está disponível, conforme se pode verificar na Figura 23, de modo a evitar a sua utilização indevida. Inclusivamente, o registo de novos utilizadores só se encontra disponível (no canto superior direito) após uma autenticação com sucesso no sistema e somente se o utilizador autenticado tiver permissões de administrador, conforme se pode verificar pelas Figuras 23 e 24.

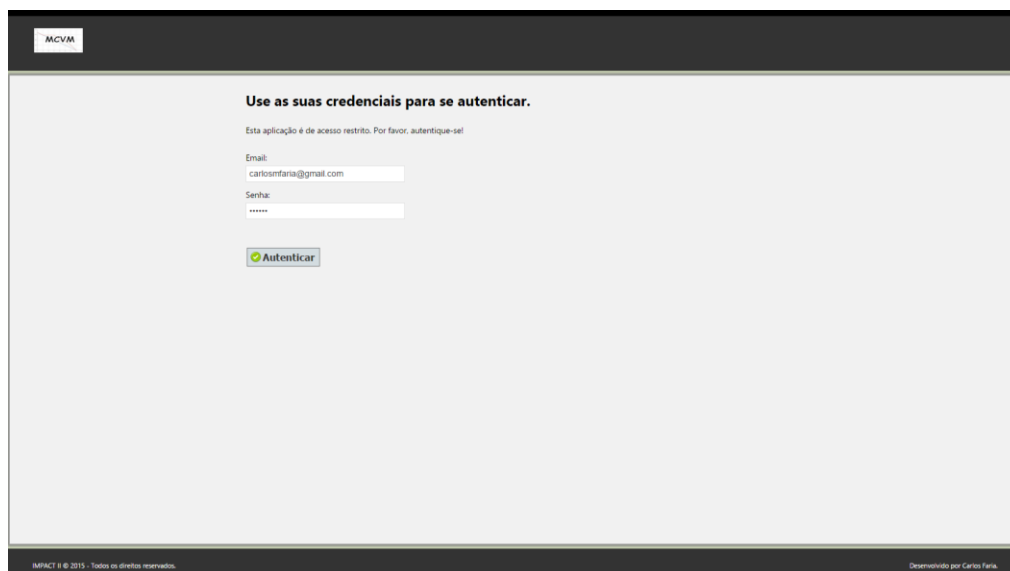


Figura 23 – Interface de Autenticação.

Conforme anteriormente mencionado, a Gestão de Contas (operações *CRUD*), apresentada na interface da Figura 24, só está disponível aos administradores do sistema. No entanto, a alteração da senha está disponível para todos os utilizadores registados.

A apresentação de lista paginada de contas à esquerda e as operações à direita foi a forma encontrada para manter sempre disponíveis todas as operações associadas a cada subsistema oferecendo, desta forma, maior disponibilidade do sistema ao utilizador e evitando, assim, um maior número de cliques para aceder as mesmas.

Foi, também, uma preocupação constante manter o utilizador informado do estado do sistema, através das respetivas mensagens de sucesso, de alerta e de erro ou de obrigação, ao realizar qualquer ação ou tarefa, conforme apresentado na Figura 24.

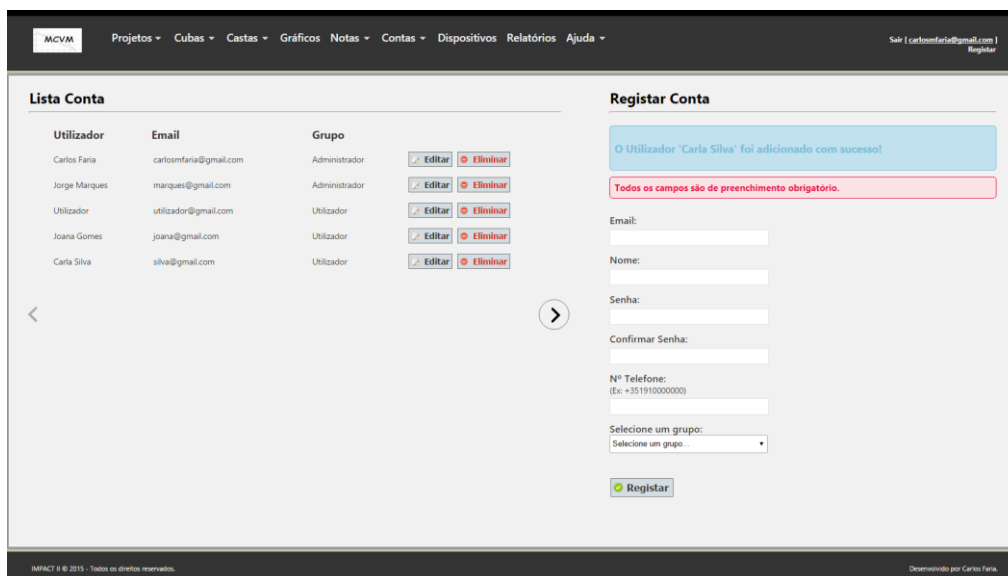


Figura 24 – Interface de Gestão de Contas.

IV.2.2. Gestão de Projetos

A Gestão de Projetos, na Figura 25, possibilita associar castas a estufas e estas a projetos atribuindo, automaticamente, o estado de ativo. À semelhança da interface de Gestão de Contas e de modo a manter a consistência e a coerência da interface do sistema, no painel da esquerda é apresentada uma lista paginada dos projetos e das estufas associadas a cada um deles e, no painel da direita, são apresentados os formulários para a realização das operações *CRUD*, para cada item selecionado da lista da esquerda, ou o formulário de adição de novo projeto, ou o formulário de “Associar Projeto, Cuba e Casta”, presente na Figura 25.

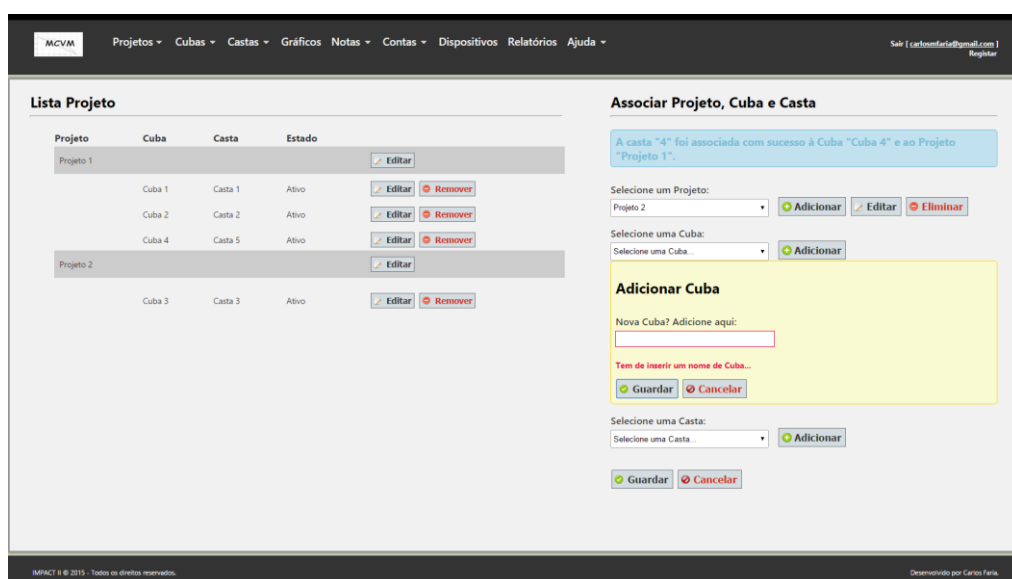


Figura 25 – Interface de Gestão de Projetos.

Neste, para cada item (projeto, cuba ou casta), é possível efetuar as operações *CRUD* de acordo com o selecionado nas respetivas listas. No momento da seleção de um projeto, de uma estufa ou de uma casta são disponibilizados os botões correspondentes às funcionalidades de editar e eliminar para esse item.

A validação de inserção de dados é realizada no lado do cliente no momento da inserção ou submissão de formulários e, como se pode verificar na Figura 25, as mensagens de *feedback* e de validação continuam a ser uma das preocupações na implementação do sistema de modo a manter o seu estado visível.

IV.2.3. Gestão de Cubas (Estufas)

A Gestão de Cubas, na Figura 26, seguiu a mesma filosofia utilizada na Gestão de Contas: a lista paginada de estufas, à esquerda, com o acesso, à distância de um clique, a todas as operações disponíveis para a estufa selecionada e, à direita, na parte superior, a visualização gráfica da temperatura e, na parte inferior, a operação selecionada para a respetiva estufa.

O gráfico apresentado no canto superior direito é a representação gráfica da variação de temperatura, para a estufa selecionada, ao longo do tempo de vida do projeto e registada em intervalos de tempo de quinze minutos, de modo a manter a coerência com o modelo de dados do controlador neuronal.

No lado direito do gráfico temos o valor de referência (*setpoint*), representado pela letra “s” conjuntamente com o seu valor atual, e o desvio de alerta representado por “s-1” e “s-2” caso a temperatura registada esteja abaixo de “s” e “s+1” e “s+2” caso contrário. O valor base utilizado para cada nível de alerta foi de 0,5°C. Isto significa que temos uma margem de alerta de 1°C antes do sistema começar automaticamente a aquecer ou a arrefecer consoante seja, respetivamente, negativa ou positiva a temperatura medida. O alerta de temperatura faz-se através do envio de uma mensagem *sms* (*Short Message Service*) para os administradores registados no sistema. Ao mesmo tempo, é adicionado esse alerta ao sistema o qual passará a estar associado à estufa em questão e que será apresentado a qualquer administrador ou utilizador que, a partir de então, aceda ao sistema.

Por defeito, se não existirem mensagens de alerta para a estufa selecionada, são apresentados alguns dos parâmetros gerais do controlador de temperatura *IR32*. Neste caso, existe a possibilidade de definir o valor de referência para cada parâmetro apresentado, o qual será usado por todo o sistema.

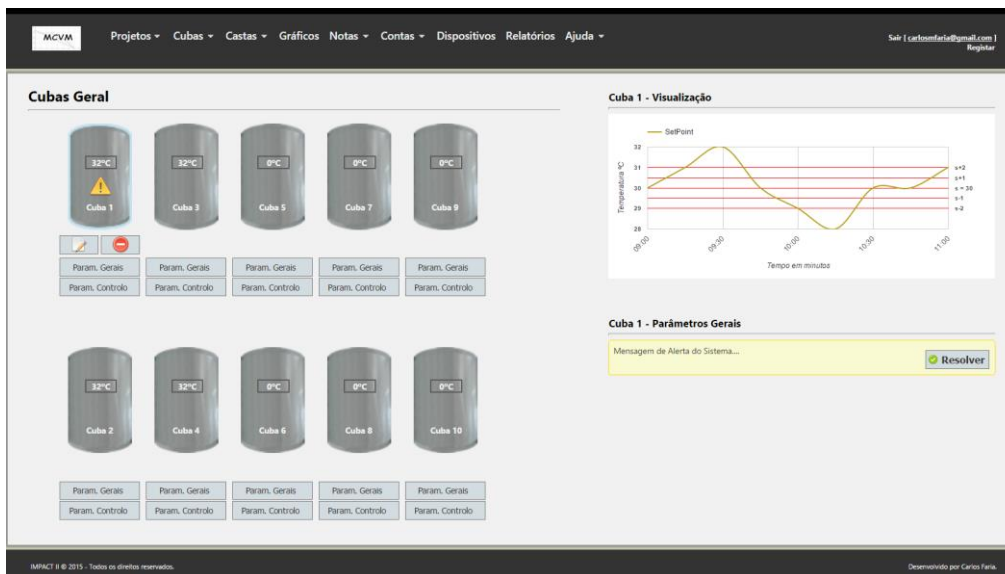


Figura 26 – Interface de Gestão de Cubas.

Por outro lado, se existirem alertas para a cuba seleccionada, será apresentado, na parte inferior do painel da direita, conforme mostra a Figura 26, a mensagem referente ao alerta e a possibilidade de resolver esse alerta. Esta resolução pode ser feita de duas maneiras: notificando um administrador a existência desse alerta ou, se já solucionou o alerta apresentado, indicando, através do formulário de resolução do alerta, qual foi a ação efetuada na resolução desse alerta. Após ter sido efetivado uma das duas opções, os parâmetros gerais e de controlo, disponíveis para essa estufa, serão novamente apresentados.

IV.2.4. Gestão de Notas

A Gestão de Notas, na Figura 27, foi uma funcionalidade que não surgiu aquando da realização dos requisitos iniciais, mas após à primeira avaliação do sistema e por indicação dos possíveis futuros utilizadores.

Novamente, teve-se a preocupação de manter a mesma lógica de desenho da *interface*: a lista paginada de notas à esquerda e as operações *CRUD* à direita.

As mensagens de *feedback*, conforme já mencionado anteriormente, continuam a ser uma das preocupações na implementação desta funcionalidade, como se pode verificar na Figura 27.

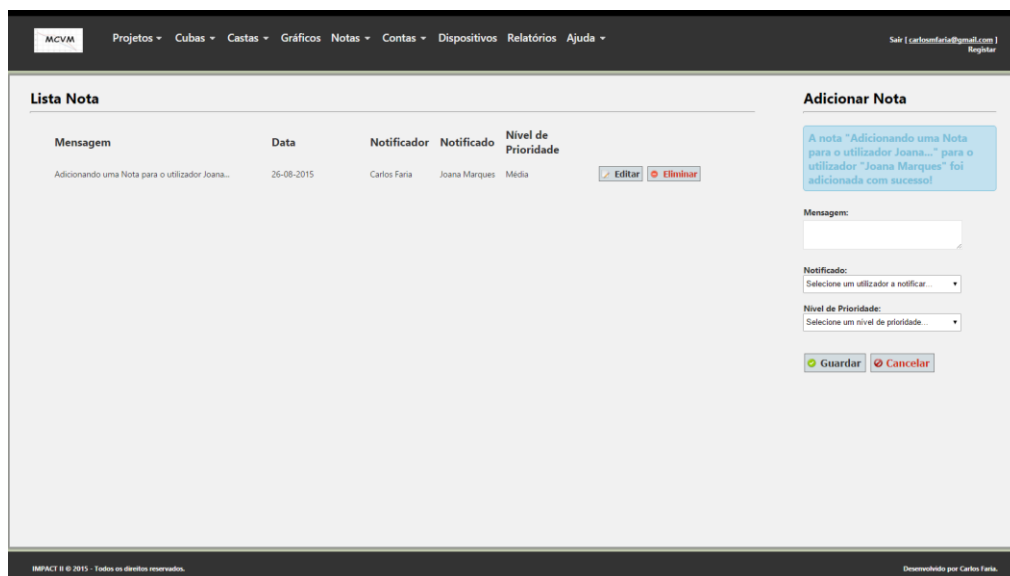


Figura 27 – Interface de Gestão de Notas.

Na Gestão de Notas é possível inserir mensagens para outros utilizadores, quer indicando um procedimento a seguir no processo de estufagem do Vinho Madeira, quer notificando qualquer outra situação relevante e, ao mesmo tempo, indicar o utilizador que se pretende notificar, bem como o nível de prioridade dessa nota, de acordo com a Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis de prioridade no sistema de Gestão de Notas.

Código	Prioridade	Descrição
1	Baixa	Nota com baixa relevância que não carece de especial atenção.
2	Média	Nota com moderada relevância e que deverá ter atenção logo que possível.
3	Alta	Nota com especial relevância e que deverá ter uma atenção imediata.

No caso de existirem notas catalogadas com prioridade alta para o utilizador que acede ao sistema e se não existirem alertas do sistema para qualquer uma das estufas, este será reencaminhado, automaticamente e de imediato, para a Gestão de Notas sendo dada a possibilidade de responder à referida nota.

Esta funcionalidade está disponível somente aos utilizadores com permissões de administrador ou de utilizador pois são estes que monitorizam e orientam o processo de estufagem do Vinho Madeira e que poderão ter a necessidade de deixar a indicação de um procedimento a seguir.

IV.2.5. Visualização de gráficos

A representação gráfica da temperatura, para cada estufa, é a funcionalidade mais relevante do sistema pois, visualizando um gráfico, se pode ter uma perceção mais rápida e abrangente da evolução da temperatura ao longo do processo de estufagem do Vinho Madeira.

A monitorização e visualização gráfica foi conseguida com recurso à ferramenta *Google Charts* [56] em virtude de ser uma ferramenta livre, de código aberto e, portanto, mais facilmente adaptável às especificidades deste sistema.

Na visualização gráfica pode-se aplicar alguns filtros, conforme ilustra a Figura 28, de modo a se obter representações gráficas semanais, mensais, por projeto e por data para a estufa ou estufas selecionadas. Ao aplicar o filtro por projeto são apresentadas, por defeito, as visualizações gráficas para as estufas pertencentes ao último projeto ativo. Por outro lado, quando se seleciona um projeto da lista de projetos são apresentados os gráficos para todas as estufas de todos os projetos ativos. A introdução da data/hora, para definir um intervalo de tempo como filtro, é feita através do *plugin* “*DateTimePicker*” da XDSOft [57]. Outros *plugins*, como por exemplo o “*JQChart*” [58], foram analisados mas a escolha recaiu sobre o primeiro por melhor se adequar ao pretendido e por ser de acesso livre.

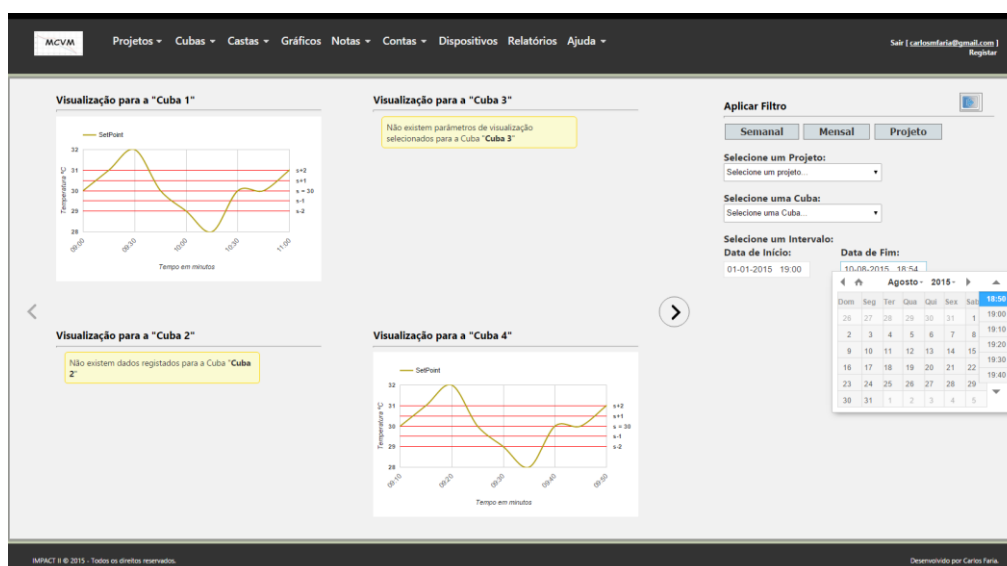


Figura 28 – Interface de Visualização de Gráficos.

Uma vez mais se nota a preocupação de manter, também aqui, a consistência da *interface*: uma lista paginada de representações gráficas da temperatura, à esquerda, para cada estufa do sistema e, à direita, as opções de filtro. À semelhança da Gestão de

Cubas, a apresentação dos gráficos também respeitou a disposição física atual das estufas.

Pode-se ocultar o painel das opções de filtro de modo a se obter uma área maior para a visualização de gráficos. Neste caso, obtemos automaticamente um maior número de representações gráficas ou, então, um gráfico de maiores dimensões, dependendo dos últimos parâmetros de filtro aplicados.

Uma outra funcionalidade menos visível é a possibilidade de ampliar uma determinada área do gráfico. Para tal, é necessário clicar com o botão esquerdo do rato num ponto do gráfico e mantendo-o pressionado arrastar até ao ponto pretendido definindo, assim, a área do gráfico que pretende ampliar. Para desseleccionar basta clicar com o botão direito do rato sobre a área do gráfico.

IV.2.6. Gestão de Dispositivos

Na definição inicial da *interface*, patente nos *PBF* do Anexo I, foi prevista a possibilidade de adicionar novos dispositivos e respetivos parâmetros com vista a tornar o sistema mais flexível e dinâmico mas, conforme já mencionado, atendendo que o sistema de controlo precisa de ser treinado para controlar novos parâmetros, esta funcionalidade foi restrita somente à visualização dos dispositivos instalados no sistema e dos parâmetros associados.

Dispositivo	Parâmetro	Valor Padrão
IR 32	Max SetPoint	35 °C
	Mín SetPoint	25 °C
	SetPoint	30 °C

Figura 29 – *Interface* de Gestão de Dispositivos.

Contudo, na Gestão de Dispositivos, Figura 26, manteve-se a mesma lógica de desenho da *interface*: à esquerda, a lista de dispositivos e de parâmetros associados e, à direita,

uma área reservada para a execução das possíveis operações *CRUD* (caso o sistema venha, no futuro, a contemplar essas funcionalidades).

IV.2.7. Visualização de relatórios

A visualização de relatórios, na Figura 30, é feita em formato *PDF* (*Portable Document Format*) sendo possível utilizar as várias ferramentas disponibilizadas por cada *browser*, nomeadamente, ampliar, rodar, guardar e imprimir.

Para a criação dos relatórios utiliza-se a ferramenta *Crystal Reports* [59] em virtude de ser uma ferramenta livre, de fácil integração com qualquer versão do *Visual Studio*, configurável para aceder a um vasto conjunto de origem de dados e bastante flexível, quer na apresentação dos dados, quer na sua manipulação.

A apresentação da informação no relatório faz-se agrupando a mesma por mês e pelo grupo data/hora.

Utilizador	Email	Ip	Nome do PC	Hora	Ação	Descrição
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	13-07-2015 17:34	Editar	Edição do nome de utilizador com sucesso de Joana para Joana Marques
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	13-07-2015 17:34	Autenticar	Encerramento de Sessão com sucesso!
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:35	Associar	O Projeto "db-Projeto 1-01" foi adicionado, com sucesso, pelo utilizador "db-Carlos Faria-01".
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:35	Associar	O Projeto "db-Projeto 2-01" foi adicionado, com sucesso, pelo utilizador "db-Carlos Faria-01".
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:35	Adicionar	A cuba "Cuba 1", com o ID 1, foi adicionada com sucesso ao sistema.
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:35	Adicionar	A cuba "Cuba 2", com o ID 2, foi adicionada com sucesso ao sistema.
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:36	Adicionar	A cuba "Cuba 3", com o ID 3, foi adicionada com sucesso ao sistema.
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:36	Adicionar	A cuba "Cuba 4", com o ID 4, foi adicionada com sucesso ao sistema.
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:36	Adicionar	A cuba "Cuba 5", com o ID 5, foi adicionada com sucesso ao sistema.
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:36	Adicionar	A cuba "Cuba 6", com o ID 6, foi adicionada com sucesso ao sistema.
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:36	Adicionar	A cuba "Cuba 7", com o ID 7, foi adicionada com sucesso ao sistema.
Carlos Faria	carlosfaria@gmail.com	:1	CARLOSFARIA-PC	18-07-2015 17:36	Adicionar	A cuba "Cuba 8", com o ID 8, foi adicionada com sucesso ao sistema.

Figura 30 – Interface de Visualização de Relatórios.

IV.2.8. Ajuda

A interface da Ajuda, na Figura 31, é composta por um painel de navegação, à esquerda, e pela área de visualização da Ajuda, à direita. Uma vez mais, verifica-se a preocupação de manter a mesma lógica de desenho da interface.

Ao acedermos à Ajuda é apresentado um menu expansível, à esquerda, com todos os itens da Ajuda e, na área de visualização da Ajuda, uma breve apresentação do aplicativo, bem como uma lista de *links* para o acesso direto aos vários itens da Ajuda.

Nesta seção houve a preocupação de colocar toda a informação relevante para a execução, com sucesso, daquelas tarefas que podem apresentar algumas dificuldades adicionais ou que, por razões várias, não tenham sido possível implementar segundo a lógica de reconhecer em detrimento do aprender.

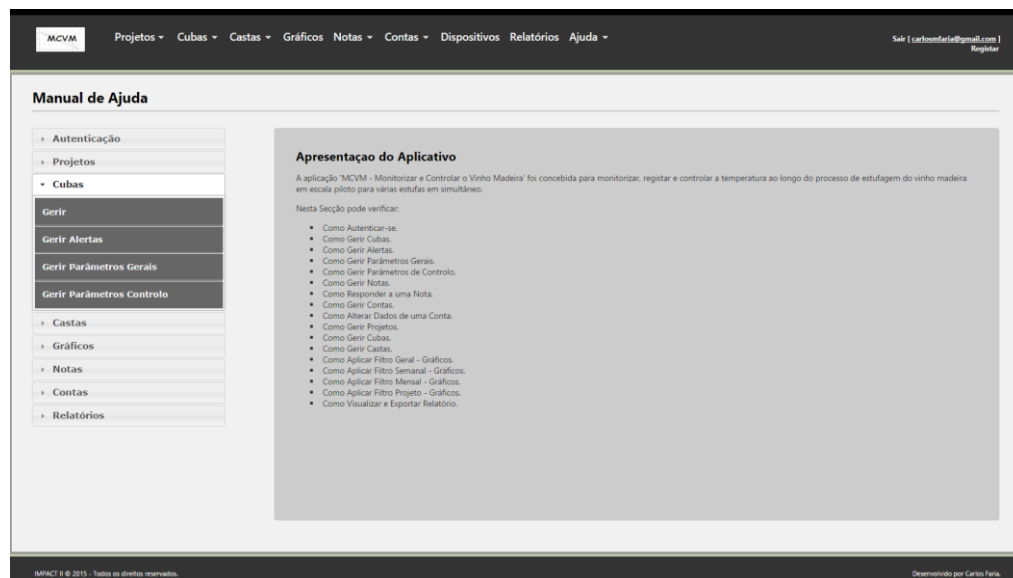


Figura 31 – Interface de Visualização da Ajuda.

IV.3. TESTES DE SOFTWARE

Os testes de *software* têm por finalidade identificar as principais falhas do sistema e as necessidades ou dificuldades sentidas pelos utilizadores, isto é, verificar a qualidade do *software* implementado, de modo a diminuir a frequência com que ocorrem erros na sua utilização futura, bem como verificar se as suas funcionalidades e implementação correspondem aos requisitos definidos e ao contexto em que deve operar.

As falhas podem acontecer por vários motivos: por especificação errada, por requisitos impossíveis de implementar, devido a limitações do *hardware* ou do *software*, ou por implementação errada ou incompleta de um algoritmo.

Assim, para verificar o correto funcionamento e ausência de falhas no sistema, foram realizados testes de segurança, de funcionalidade e de usabilidade.

Todos estes testes foram realizados individualmente de modo a evitar a transferência e acumulação de experiência, por um utilizador, a cada interação com o sistema.

IV.3.1. Teste de Segurança

O teste de segurança assentou em duas vertentes:

1. Disponibilidade da aplicação somente para utilizadores registados e de acordo com as suas permissões;
2. Verificação de vulnerabilidades do sistema.

No primeiro caso, o teste baseou-se em verificar, manualmente, se as funcionalidades implementadas estavam somente disponíveis para os utilizadores registados e de acordo com as permissões atribuídas a cada utilizador.

Para tal foram feitas várias tentativas de acesso para os vários tipos de permissões com recurso à indicação de vários endereços não permitidos para esse utilizador, com as respetivas permissões de acesso, de acordo com o definido nos casos de uso.

Verificou-se que, quaisquer tentativas de acesso a funcionalidades não autorizadas, para aquele utilizador, eram reencaminhadas para o sistema de autenticação, nomeadamente, para o formulário de autenticação, ficando o reencaminhamento para a funcionalidade solicitada dependente de uma autenticação com sucesso no sistema, com as respetivas permissões necessárias.

Para verificar a existência de vulnerabilidades do sistema, portanto o segundo caso, foi utilizada a ferramenta *Zed Attack Proxy (ZAP)* [60] configurada para um ataque de nível de força “Alto”, sendo este o terceiro nível numa escala de quatro.

Pelos resultados apresentados na Figura 32, pode-se constatar que o sistema superou, com sucesso, os vários testes realizados pela referida aplicação, nomeadamente, *Path Traversal*, *Remote File Inclusion*, *Injeção SQL*, *Remote OS Command Injection* e *Injeção CRLF* de entre outros.

Plugin	Strength	Progress	Elapsed	Reqs	Status
Path Traversal	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:31.620	336	✓
Remote File Inclusion	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:15.025	160	✓
Server Side Include	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:03.751	32	✓
Cross Site Scripting (Reflected)	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:03.104	25	✓
Injeção SQL	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:37.422	360	✓
Server Side Code Injection	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:06.360	64	✓
Remote OS Command Injection	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:27.791	288	✓
Directory Browsing	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:02.532	21	✓
External Redirect	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:08.728	88	✓
Buffer Overflow	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:01.074	8	✓
Format String Error	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:02.673	24	✓
CRLF Injection	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:05.747	56	✓
Parameter Tampering	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:02.372	32	✓
Cross Site Scripting (Persistent) - Prime	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:01.235	8	✓
Cross Site Scripting (Persistent) - Spider	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:02.325	21	✓
Cross Site Scripting (Persistent)	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:00.422	0	✓
Script Active Scan Rules	Alto	<div style="width: 100%;"></div>	00:00.281	0	✓
Totals			02:33.289	1523	

Figura 32 – Resultado do teste de vulnerabilidades do sistema.

IV.3.2. Teste de Funcionalidade

Atendendo ao contexto para o qual o sistema foi concebido e tendo por base os requisitos funcionais, os casos de uso e a lista de tarefas (definida no Anexo VI), redefinida a partir do Anexo II em virtude das sugestões constantes do Anexo III, verificou-se a capacidade do sistema facultar funcionalidades que satisfizessem as necessidades, declaradas e implícitas, dos possíveis utilizadores.

De facto, através de entrevista e da interação dos utilizadores com o sistema, verificou-se:

1. Que as funcionalidades previstas pelos requisitos funcionais estavam disponíveis para os utilizadores, de acordo com as suas permissões e como previsto nos casos de uso;
2. Que a interface era consistente e facilitadora da execução das várias tarefas.

IV.3.3. Teste de Usabilidade

Os testes de usabilidade foram realizados com o objetivo de simular as condições de utilização do sistema na perspetiva do utilizador final e para verificar, de entre outros aspetos, a facilidade de navegação, a clareza e a adequação das mensagens apresentadas aos utilizadores, a quantidade de interações necessárias à execução de uma tarefa e a padronização visual da *interface*.

Uma vez mais, para a realização deste teste, foram utilizadas as tarefas definidas no Anexo VI, onde se deu especial atenção à facilidade de navegação entre diferentes *interfaces*, à correta e adequada apresentação das mensagens emitidas pelo sistema, à clareza no estado de execução da aplicação, ao número de passos necessários à execução de uma tarefa e à realização de uma tarefa segundo a orientação da Ajuda.

Com intuito de aprimorar a usabilidade do sistema, bem como reduzir a existência de falhas, foi realizada uma avaliação heurística, por mim e pelo Eng.º Válder Camacho, segundo as Heurísticas de *Jakob Nielsen* [61]. Às falhas encontradas foi também atribuído um nível de gravidade de acordo com o definido no Anexo VI.

O resultado da análise heurística foi registado no documento do Anexo VII, onde se pode verificar as falhas encontradas, em que *interface*, qual foi a heurística violada, a avaliação da gravidade e o nível de gravidade. Observando-se os resultados da avaliação heurística, no referido Anexo VII, pode-se verificar algumas das falhas detetadas e que foram oportunamente corrigidas segundo a indicações sugeridas.

Da análise da execução dessas mesmas tarefas, pelos utilizadores, verificou-se que prevaleceu o reconhecer em detrimento do aprender, que as mensagens de *feedback* corresponderam, na sua maioria, satisfatoriamente à expectativa do utilizador, que o estado da aplicação estava razoavelmente explícito, que, em virtude da disposição gráfica dos vários elementos nas *interfaces*, a maioria das tarefas relacionadas com uma determinada funcionalidade estavam disponíveis à distância de um clique e que a Ajuda orientou, de forma satisfatória, a execução da tarefa selecionada pelo utilizador. O resultado proveniente da avaliação de utilizadores encontra-se patente no Anexo VIII.

IV.4. AVALIAÇÃO/CONCLUSÃO

A implementação do sistema de monitorização e de gestão contempla todas as funcionalidades previstas nos requisitos funcionais, com as necessárias alterações e adaptações resultantes da primeira avaliação do sistema e constantes no Anexo III, bem como as condições e restrições apresentadas nos requisitos não funcionais e nos casos de uso.

Constatou-se, através da realização de testes de *software*, que o sistema corresponde satisfatoriamente ao inicialmente projetado e que segue a máxima de reconhecer em detrimento de aprender o que facilita, em muito, o processo de aprendizagem e de utilização da aplicação por parte do utilizador.

Assim, apesar de se ter detetado algumas falhas que foram oportunamente corrigidas, conclui-se que este sistema e a sua *interface* gráfica vão de encontro ao pretendido e ao que foi inicialmente projetado, bem como a sua utilização é intuitiva e sugestiva.

V. SISTEMA DE CONTROLO

“Ever tried, Ever failed. No matter. Try again. Fail again. Fail better.”

[Samuel Beckett, “Worstward Ho”]

O sistema de controlo tem por finalidade realizar um controlo automático e autoajustável da temperatura de cada estufa usando como referência o *setpoint* definido para cada uma.

Neste capítulo começa-se por abordar o processo de identificação do sistema existente no laboratório de enologia da *UMa*, nomeadamente o processo de recolha e de normalização de dados provenientes das leituras de temperatura realizadas pelos controladores de temperatura *IR32*.

Depois apresenta-se todo o processo de identificação dos modelos, ordem dos modelos, modelos de identificação linear e não linear e simulação de controladores que foi resultado de um trabalho conjunto realizado na cadeira de *System Identification and Control (SIC)* e que deu origem ao conteúdo dos subcapítulos V.2. a V.5. [33].

Por fim, indica-se as decisões de implementação deste sistema, a sua interligação com o sistema de monitorização e registo, apresentam-se alguns testes e termina-se com uma pequena avaliação conclusiva.

V.1. IDENTIFICAÇÃO DO SISTEMA

A identificação de sistemas dinâmicos obtém-se através da criação de modelos matemáticos, com recurso a métodos estatísticos, utilizando dados previamente recolhidos e representativos desse sistema.

Assim, foram realizadas várias recolhas de dados que, posteriormente, foram preparados, normalizados e utilizados na identificação dos modelos, conforme se apresenta nos subcapítulos seguintes.

V.1.1. Recolha de dados

A recolha de dados, nomeadamente a leitura da temperatura das estufas (bem como os primeiros testes ao controlador) foi realizada com recurso a uma *Windows Forms Application*, na Figura 33, implementada especialmente para o efeito, utilizando a linguagem de programação C#. Os dados provenientes das leituras de temperatura, bem como o sinal de entrada, a data/hora de registo da temperatura e o endereço de memória da estufa foram registados numa base de dados *MySQL* [62] especialmente concebida para o efeito.

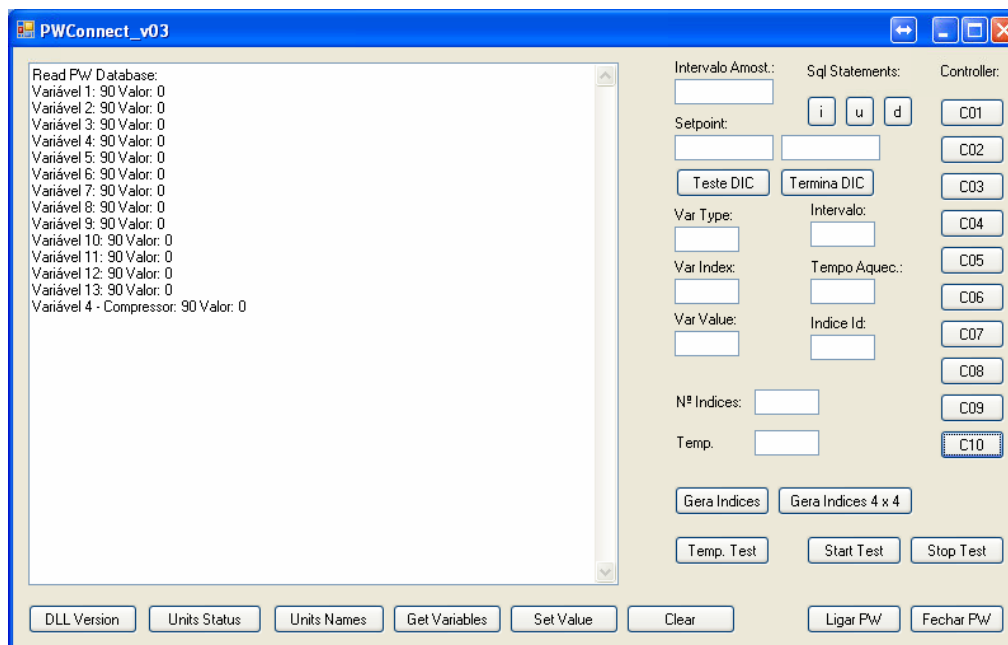


Figura 33 – Interface da aplicação de recolha de dados e de testes.

Utilizando a aplicação referida anteriormente, foram feitas várias recolhas de quinhentas e de mil amostras, resultantes de diferentes sinais de entrada, em intervalos de um segundo, um minuto, cinco minutos, dez minutos, quinze minutos, trinta

minutos e de sessenta minutos, nomeadamente a aquisição do valor da temperatura (*output* do sistema real) e do sinal de entrada (*input* no sistema real).

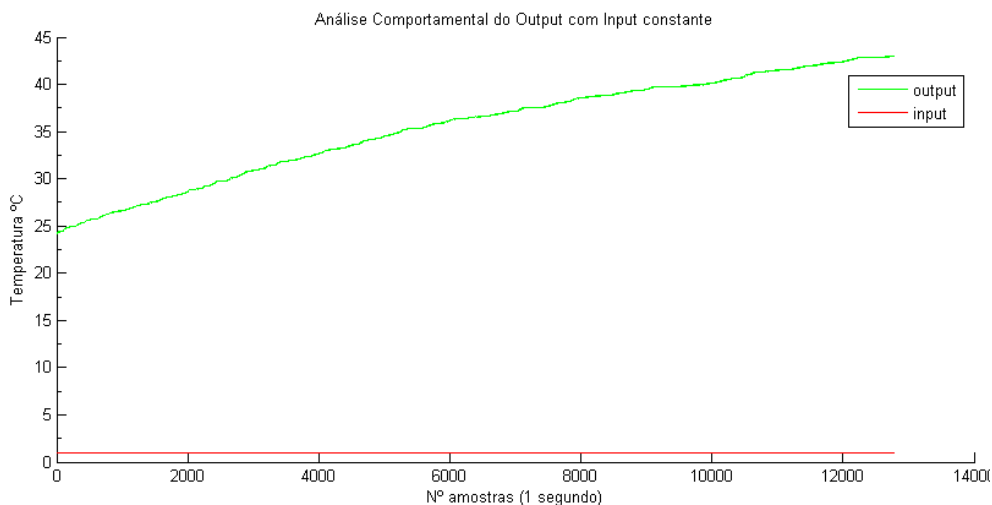


Figura 34 - Resposta do sistema (*output*) a um *input* constante num período de amostragem de um segundo.

O primeiro teste de resposta do sistema, na Figura 34, consistiu em verificar o comportamento do sistema a um *input* constante, isto é, constantemente a aquecer com a válvula completamente aberta. Porém, como se pode constatar na Figura 34, verificou-se que este período de amostragem era muito pequeno pois a estufa que estava a ser aquecida ainda não tinha atingido a temperatura máxima de 50°C e já tínhamos um considerável número de amostras (períodos de amostragem muito curtos produziam um grande número de dados intermédios desnecessários à análise comportamental do sistema).

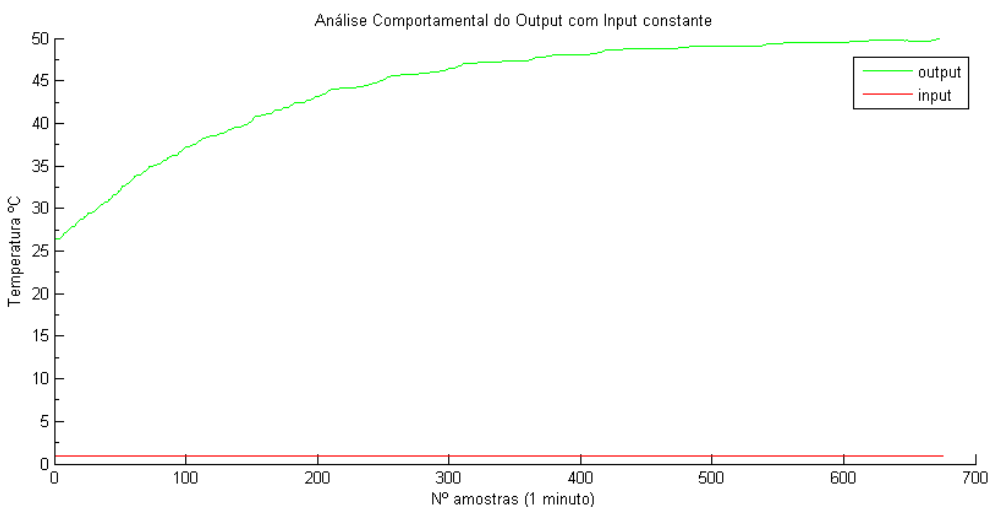


Figura 35 - Resposta do sistema (*output*) a um *input* constante num período de amostragem de um minuto.

Atendendo a esta situação realizou-se um segundo teste, na Figura 35, mas agora com um período de amostragem de um minuto. Este foi o teste utilizado para calcular o tempo de subida [63] da temperatura. Atendendo que a temperatura inicial é de 26,4°C e a temperatura máxima final é de 50°C então a subida de temperatura é de 23,6°C. Considerando que 10% do tempo de subida corresponde a 28,8°C, isto é, 26,4°C+2,36°C, e 90% do tempo de subida corresponde a 47,6°C, isto é, 50°C-2,36°C, então o tempo de subida encontra-se entre os 28,8°C e os 47,6°C [63] que corresponde à vigésima primeira amostra e à trecentésima sexagésima quinta amostra, respetivamente, o que equivale a 344 amostras. O número de períodos de amostragem por tempo de subida situa-se entre 4 e 10 [63] pelo que o menor período de amostragem é de 34 minutos, na Figura 36.

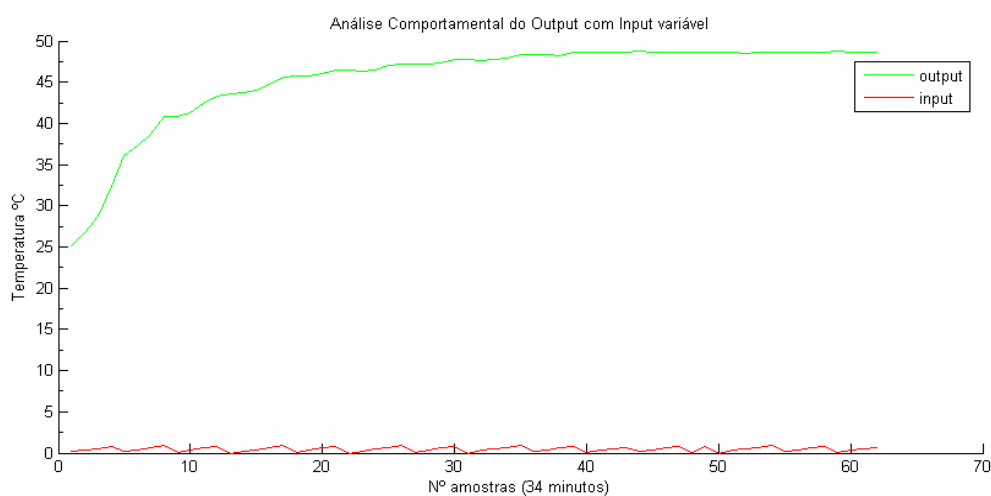


Figura 36 – Correlação do *output* com um determinado *input* num período de amostragem de trinta e quatro minutos.

No entanto, devido à inexistência dum sistema de arrefecimento e aos valores de entrada (*input*) muito altos, este teste teve de ser abandonado por muito rapidamente se ter atingido temperaturas muito elevadas (a oscilar próximo dos 50°C em virtude da limitação do sistema de aquecimento que contém água aquecida a 60°C mas que, possivelmente pela dissipação de calor, aquece as estufas até sensivelmente os 50°C).

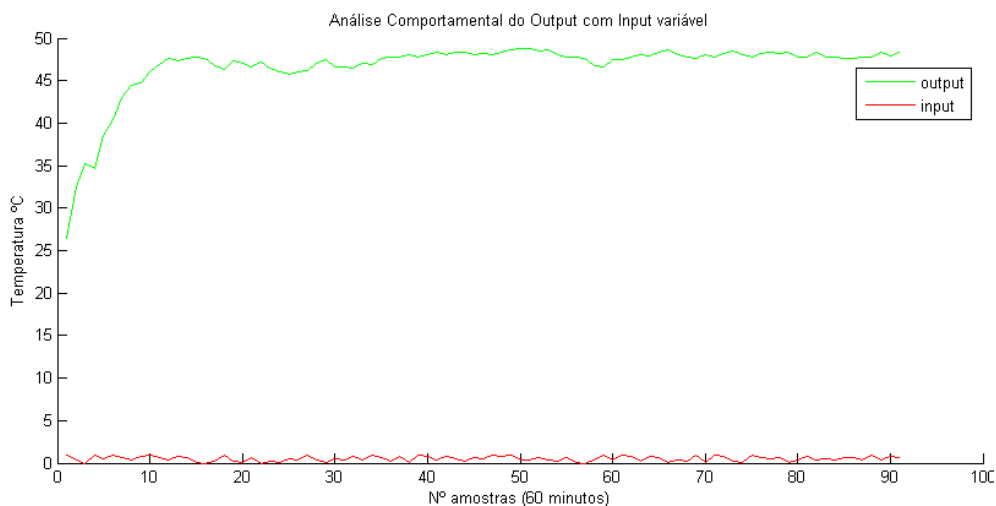


Figura 37 - Correlação do *output* com um determinado *input* num período de amostragem de sessenta minutos.

Com o intuito de melhorar a resposta do sistema, calculou-se outro sinal de entrada (com valores mais baixos) e aumentou-se o período de amostragem de modo a que o sistema tivesse mais tempo para arrefecer (através da dissipação de calor visto, como referido anteriormente, não existir um sistema de arrefecimento), conforme mostra a Figura 37. No entanto, apesar de ligeiramente melhor, o *output* alcançado ainda não era satisfatório e, conseqüentemente, representativo do sistema. Por esta razão, realizou-se novo teste mantendo o período de amostragem mas diminuindo ainda mais os valores de *input*, na Figura 38.

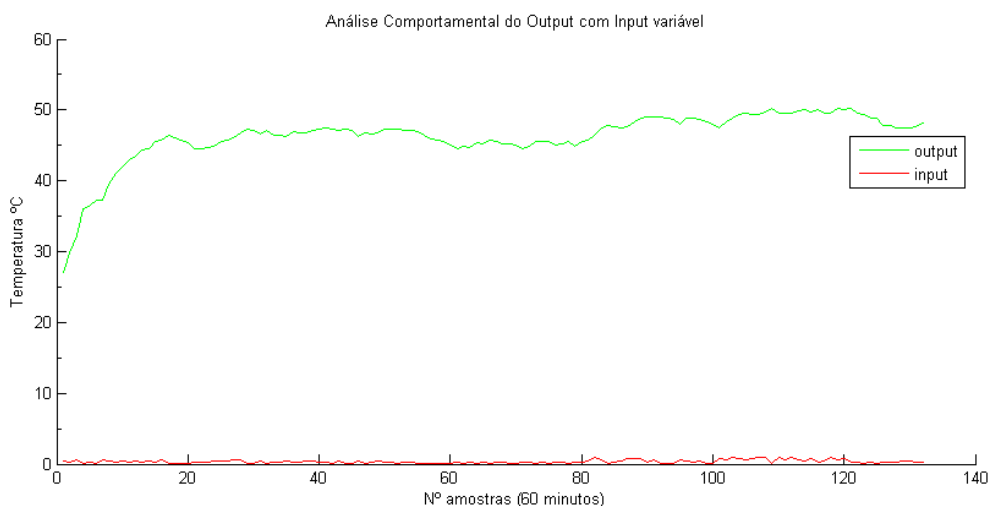


Figura 38 - Correlação do *output* com um *input* (com valores mais baixos) num período de amostragem de sessenta minutos.

Apesar da diminuição dos valores de entrada (*input*) a melhoria não foi significativa. No novo teste, na Figura 39, optou-se por reduzir o período de amostragem e de aplicar novo sinal de entrada, mas a resposta do sistema continua a não ser satisfatória.

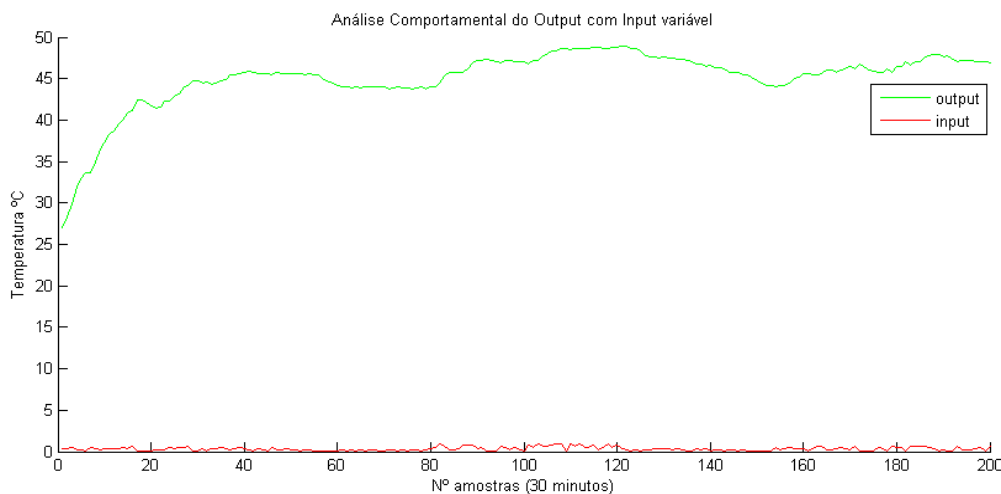


Figura 39 – Correlação do *output* com um determinado *input* (com valores mais baixos) num período de amostragem de trinta minutos.

No sentido de melhor perceber o comportamento do sistema quando este era aquecido, após atingir a temperatura máxima e quando deixava de ser aquecido, procedeu-se a mais um teste, na Figura 40, que consistiu em aquecer uma estufa durante um determinado tempo e depois desligar o aquecimento.

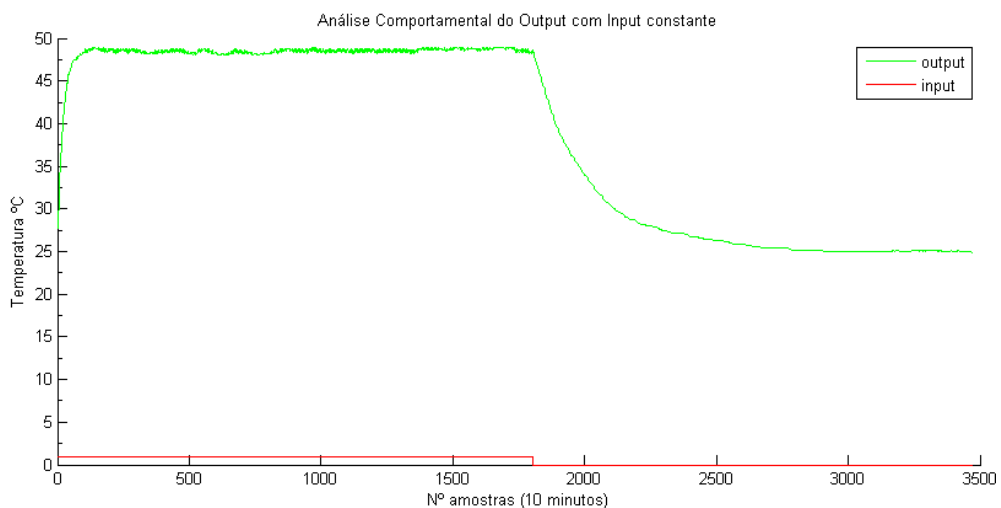


Figura 40 – Correlação do *output* com o aquecimento ligado e desligado durante um período de tempo.

Neste teste verificou-se que a temperatura máxima atingiu-se muito rapidamente, que após atingir a temperatura máxima manteve-se a oscilar em torno da mesma e que, após ter sido desligado o aquecimento, a temperatura começou de imediato a descer mas

muito mais lentamente comparativamente com a subida de temperatura. Verificou-se, também, que quanto mais próximo estava da temperatura ambiente mais lenta se tornava a descida da temperatura o que levou a refazer o sinal de entrada.

Assim, a solução para se ter uma saída (*output*) representativa do sistema passou, então, por baixar ainda mais os valores de entrada no sistema (*input*) mantendo a válvula completamente fechada por vários períodos de tempo de modo a possibilitar a descida da temperatura por dissipação de calor, nas Figuras 41, 42 e 43.

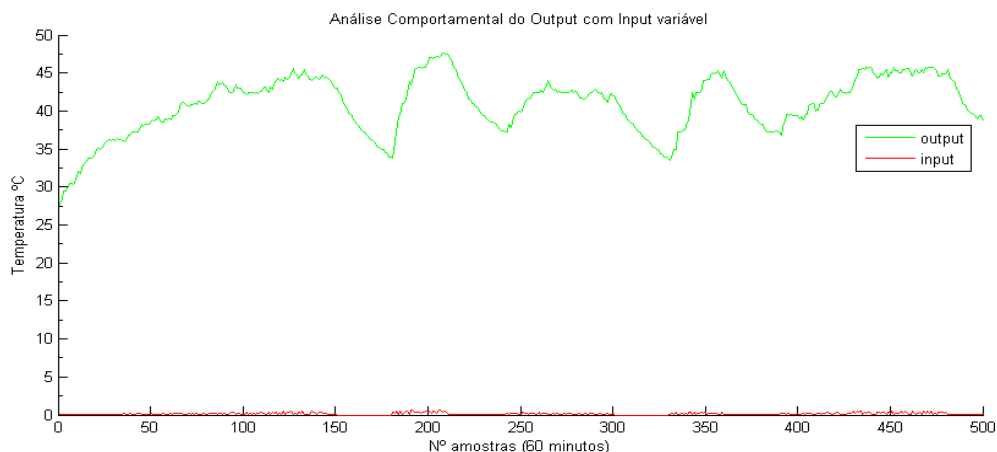


Figura 41 - Correlação do *output* com um determinado *input* (com valores zero) num período de amostragem de sessenta minutos.

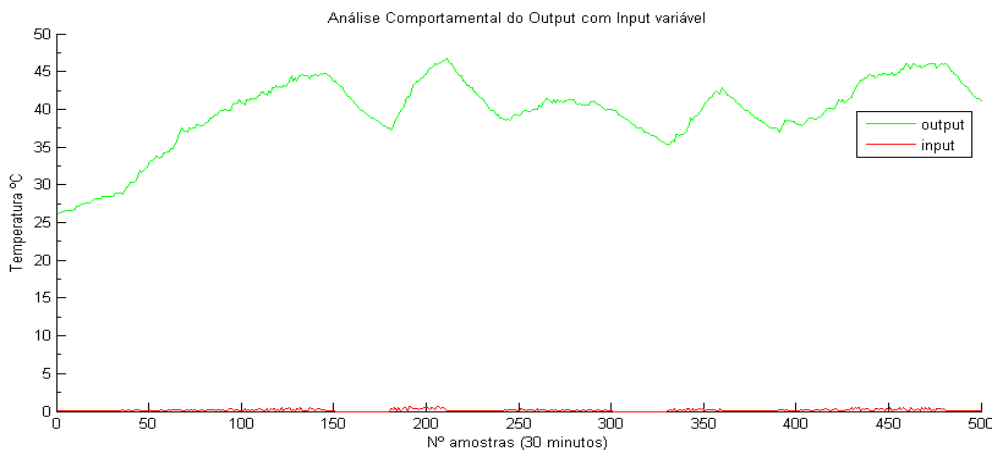


Figura 42 - Correlação do *output* com um determinado *input* (com valores zero) num período de amostragem de trinta minutos.

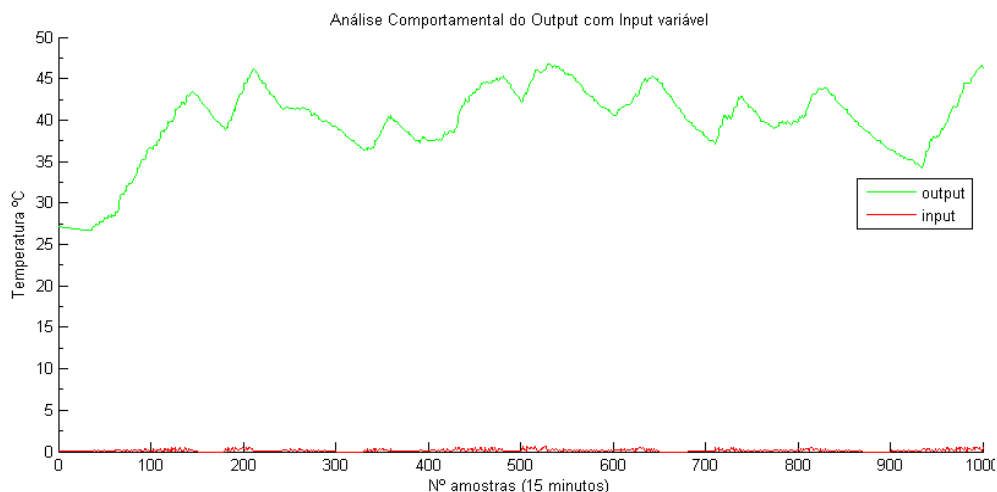


Figura 43 – Correlação do *output* com um determinado *input* (com valores zero) num período de amostragem de quinze minutos.

Estes três testes tiveram por base o mesmo sinal de entrada variando somente o período de amostragem: quinze, trinta e sessenta minutos.

A resposta do sistema é muito semelhante para os três casos, no entanto percebe-se uma maior acentuação nas subidas e descidas de temperatura nos testes com maior período de amostragem o que levou a pensar que possivelmente o período de amostragem de quinze minutos fosse mais estável e, conseqüentemente, preferível.

Estes viriam a ser os dados utilizados posteriormente para o processo de identificação de modelos (os dados referentes aos períodos de amostragem de quinze, trinta e sessenta minutos) por se considerar serem os que melhor representavam o sistema físico.

Para gerar os sinais de entrada, no Anexo IX, utilizados na obtenção destes conjuntos de dados, foi utilizado o algoritmo constante do Anexo X.

Os Anexos XI, XII e XIII apresentam o *output* do sistema real (temperatura em graus celsius) resultante da aplicação dos sinais de entrada, constantes do Anexo IX, respetivamente para o intervalo de amostragem de quinze, trinta e sessenta minutos. Para estes dois últimos foram utilizados os primeiros quinhentos sinais de entrada para obter o *output*.

Atendendo que o conjunto de dados para o intervalo de amostragem de quinze minutos era de mil amostras, para a identificação de modelos foram utilizadas somente as primeiras quinhentas amostras de modo a se obter as mesmas condições relativamente aos outros dois conjuntos de dados (de trinta e de sessenta minutos).

As Figuras 44, 45 e 46 apresentam, respetivamente, a correlação entre o sinal de entrada aplicado (*input*) e a temperatura medida (*output*) para os conjuntos de dados relativos aos intervalos de amostragem de quinze, trinta e sessenta minutos. A apresentação do sinal de entrada faz-se ampliado de cinquenta vezes para mais facilmente se poder visualizar e correlacionar ambos os valores.

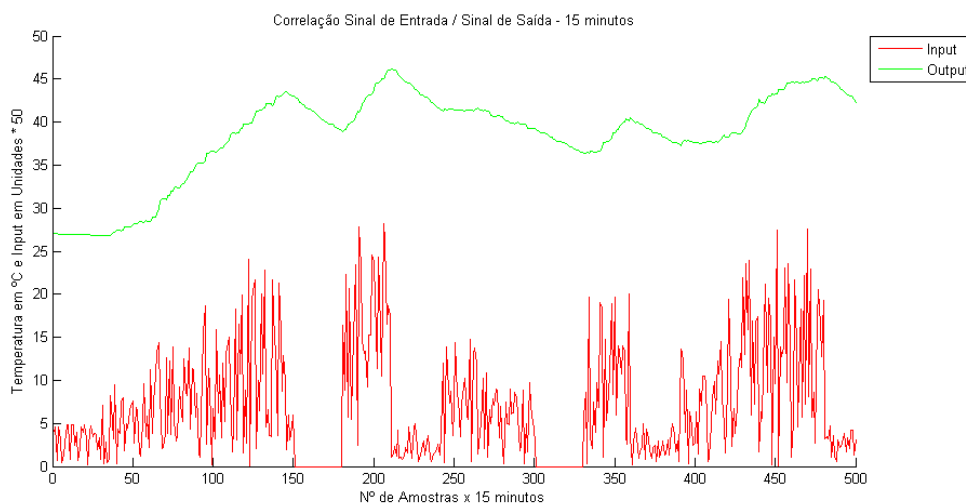


Figura 44 – Correlação do sinal de entrada com o sinal de saída para o intervalo de amostragem de quinze minutos.

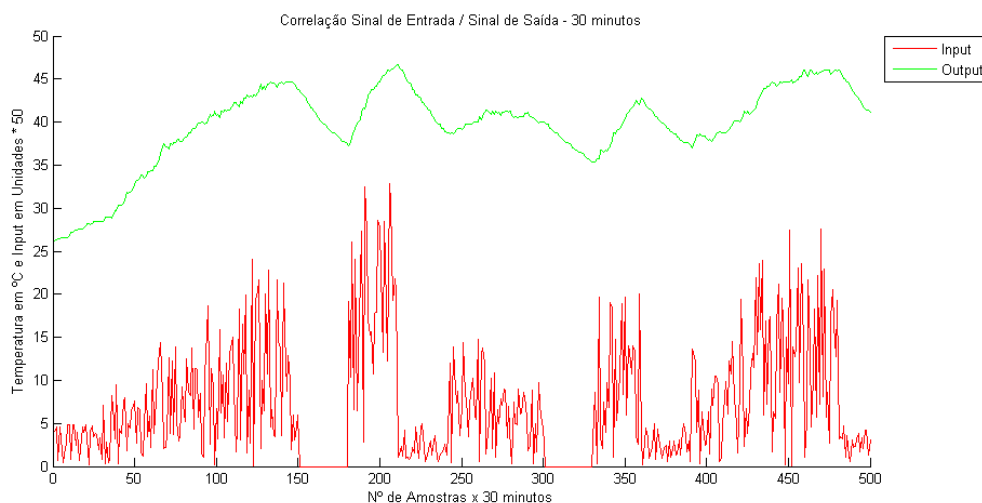


Figura 45 – Correlação do sinal de entrada com o sinal de saída para o intervalo de amostragem de trinta minutos.

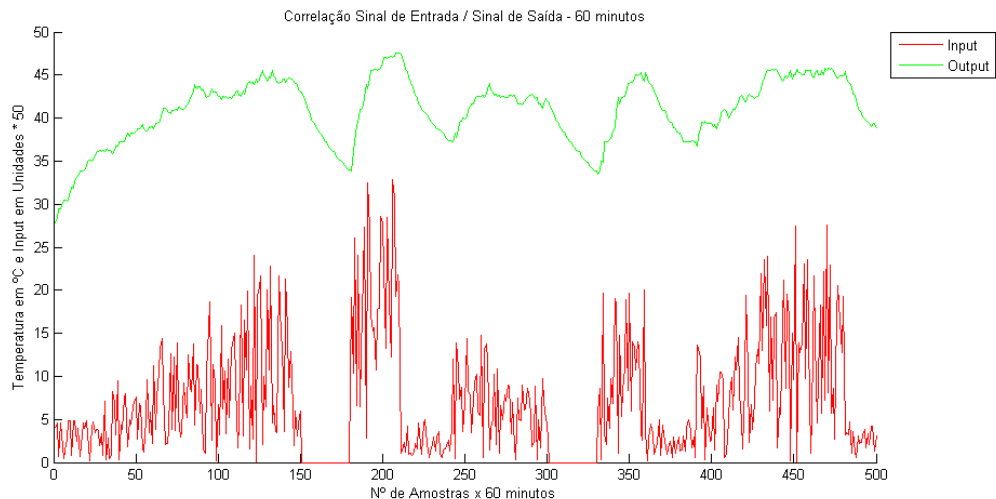


Figura 46 – Correlação do sinal de entrada com o sinal de saída para o intervalo de amostragem de sessenta minutos.

Apesar do *input* aplicado ser o mesmo, pode-se verificar que o *output* varia: como o tempo de aquecimento é proporcional ao intervalo de amostragem e ao sinal de entrada, quanto maior é o intervalo de amostragem maior é o tempo de aquecimento da estufa e, conseqüentemente, maior é a temperatura obtida.

V.1.2. Preparação dos dados

Na preparação dos dados e na identificação dos modelos foi utilizada a *System Identification Toolbox™* [64]. Com o intuito de minimizar a *bias* e aumentar a velocidade do tempo de treino de acordo com [65], procedeu-se à normalização dos dados removendo a média bem como a tendência utilizando, para tal, a função *dtrend*, de acordo com as indicações descritas em [66].

V.2. IDENTIFICAÇÃO DOS MODELOS

O modelo matemático de sistemas dinâmicos é definido por um conjunto de equações que representam a dinâmica de um sistema, sendo considerada a parte mais importante para a identificação. Existem dois tipos de modelos que podem representar um sistema: modelos lineares e modelos não lineares.

Para estimar os parâmetros dos modelos lineares desenvolvidos foi utilizado o método dos mínimos quadrados. Este método consiste em encontrar uma otimização matemática para realizar o melhor ajuste para um conjunto de dados de modo a minimizar os resíduos.

Dentre os modelos não lineares foi utilizado as redes neuronais artificiais (*RNA*).

V.3. ORDEM DOS MODELOS

Após a recolha de dados representativa do funcionamento do sistema e a sua normalização, conforme descrito no subcapítulo V.1., definiu-se a percentagem de dados a utilizar para o treino (75%) e para a validação (25%).

Realizada esta subdivisão dos dados e no intuito de se verificar qual a ordem com menos custos de implementação, mas que permitisse ao modelo representar com um elevado grau de confiança o sistema, foram realizadas 100 combinações (onde na e nb variaram de 1 a 10 e nk de 1 a 4). As Figuras 47, 48 e 49 representam a complexidade do modelo (*Loss Function*) ARX para cada conjunto de dados (quinze, trinta e sessenta minutos), ou seja, cada figura representa a função que mapeia a incapacidade do modelo prever a saída, bem como indica as quantidades de polos e zeros do modelo ARX.

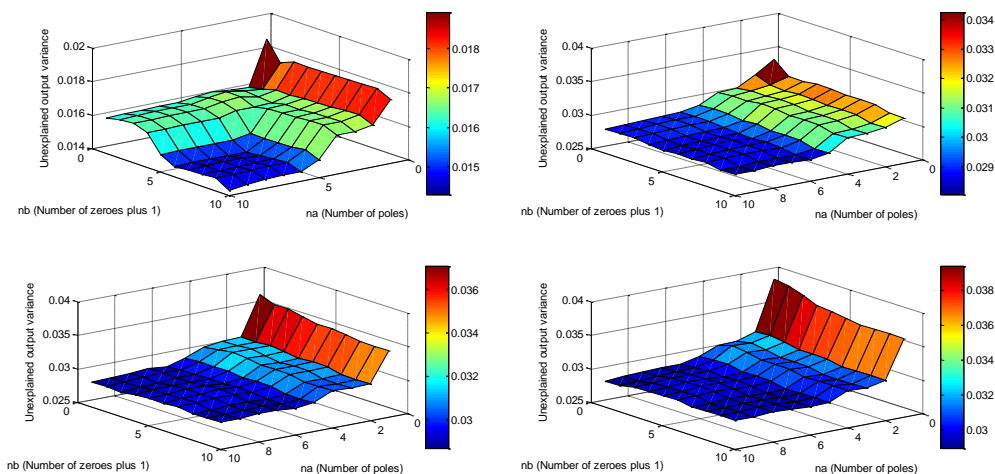


Figura 47 – *Loss Function* referente aos dados de quinze minutos.

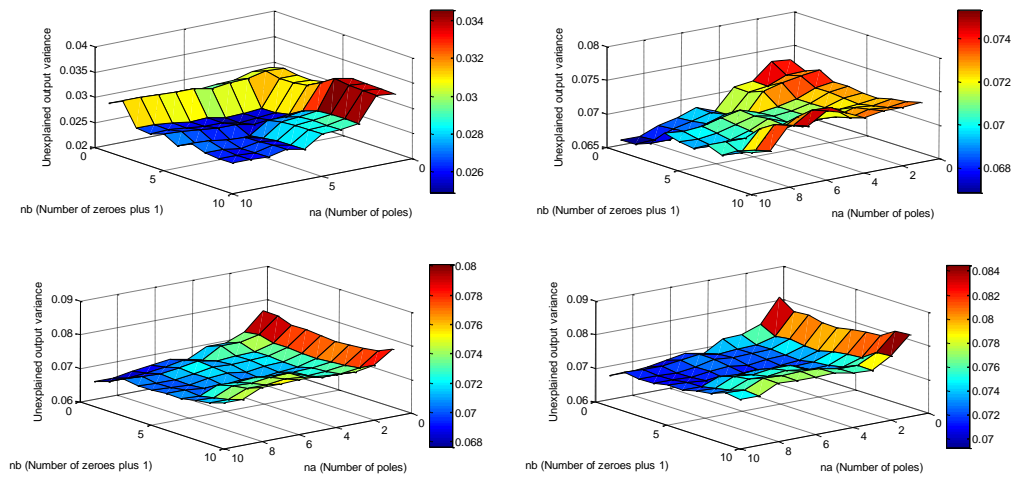


Figura 48 - *Loss Function* referente aos dados de trinta minutos

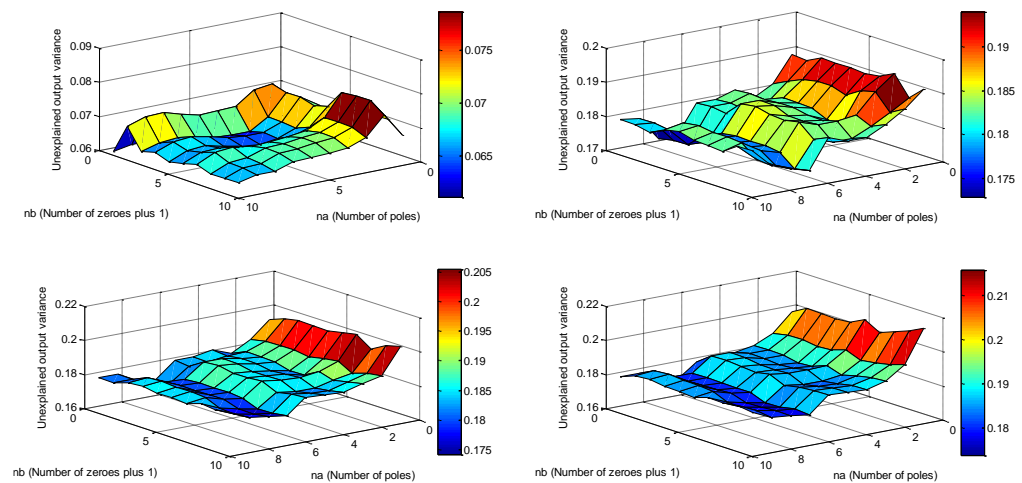


Figura 49 - *Loss Function* referente aos dados de sessenta minutos.

No entanto, subsiste o problema de decidir quando se considera que a *Loss function* é suficientemente pequena para designar um modelo de complexidade adequada. Na análise das figuras anteriores, verifica-se que a função decresce sobretudo devido ao número de polos. Contudo, é conhecido que, num sistema com muitos polos, apenas alguns impõe o comportamento dinâmico dominante [66].

A ordem que mais se adequa ao modelo são os valores de na e nb onde a função decresce lentamente. Portanto, com base nas Figuras 44, 45 e 46, a melhor ordem para o conjunto de dados de amostragem de quinze minutos é $na=2$, $nb=1$ e $nk=1$ pois se aumentarmos a complexidade do modelo, a sua precisão aumenta mas de forma muito residual. A

melhor ordem para o conjunto de dados de amostragem de trinta e sessenta minutos é $na=1$, $nb=1$ e $nk=1$.

Neste trabalho, para além do modelo *ARX*, foram desenvolvidos também os modelos *ARMAX*, *OE*, *BJ* e *SS*. Como na *System Identification Tool* do *MATLAB*® não existe um método implementado para auxiliar na escolha da ordem para estes últimos modelos, foi realizado uma analogia entre o modelo *ARX* e cada um dos restantes modelos.

Para os modelos para os quais as classes necessitam de indicar a ordem dos polos (nd e nf) do modelo dinâmico e do modelo de perturbação isoladamente, foi atribuída a mesma ordem de na .

Ainda, para o caso dos modelos de classe *ARX*, o polinómio do numerador referente ao modelo de perturbação é igual a 1. No entanto, o modelos cujas classes necessitem de indicar a ordem do polinómio do numerador do modelo de perturbação foi atribuído, por defeito, ordem igual a 1 ($nc=1$), pois corresponde à ordem da equação $B(z)$.

É de salientar que os valores iniciais podem ser alterados mas sem comprometer o equilíbrio entre a facilidade de estabelecer o modelo e a sua exatidão.

V.4. ANÁLISE DE RESULTADOS DOS MODELOS DE IDENTIFICAÇÃO

Esta secção do trabalho consiste na seleção dos modelos para depois serem utilizados na implementação dos controladores.

No caso específico de modelagem de sistemas para fins de controlo, esta complexidade causa problemas na escolha da melhor estrutura e o estimador mais eficiente para o modelo que se deseja representar.

V.4.1. Modelos Lineares

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos dos diferentes modelos lineares para os três conjuntos de dados utilizados para elaborar este trabalho. Na análise da Tabela 7 verifica-se que o modelo *OE* é aquele que apresenta o menor desempenho em todos os conjuntos de dados (75.11% para o tempo de amostragem de quinze minutos, 34.69% para o tempo de amostragem de trinta minutos e 73.13% para o tempo de amostragem de sessenta minutos). Desta forma, este modelo é descartado como sendo o pior.

Ainda na Tabela 7 é possível identificar que a melhor classe para realizar a identificação do sistema real do tempo de amostragem de quinze minutos é o *ARX211* (96.05%). Verifica-se que no conjunto de dados de tempo de amostragem de trinta minutos existem dois modelos com o mesmo valor de *Best Fit*, nomeadamente os modelos *ARX111* e o *ARMAX111*. Destes dois escolheu-se o modelo *ARX111* (93.52%) para ser utilizado na identificação do sistema real do conjunto de dados de tempo de amostragem de trinta minutos, uma vez que o modelo *ARX111* é menos complexo do que o modelo *ARMAX111*. Existe, para o conjunto de dados de tempo de amostragem de sessenta minutos, novamente dois modelos com o mesmo valor de *Best Fit*, nomeadamente o *ARX111* e o *BJ11111*. Escolheu-se, novamente, o modelo *ARX111* (90.58%) por apresentar uma menor complexidade quando comparado com o *BJ11111*.

Tabela 7 - Best Fit (em %) dos modelos lineares.

	Modelo Linear	Best Fit
Tempo de Amostragem de 15 minutos	Linear ARX [na=2; nb=1; nk=1]	96,05%
	Linear ARXMAX [na=2; nb=1; nc=1; nk=1]	96,06%
	Linear OE [nb=1; nf=2; nk=1]	75,11%
	Linear BJ [nb=1;nc=1; nd=2; nf=2; nk=1]	95,38%
	Linear SS - N4sID n=1; [nk=1]	95,89%
	Linear SS - PEM n=1; [nk=1]	95,80%
Tempo de Amostragem de 30 minutos	Linear ARX [na=1; nb=1; nk=1]	93,52%
	Linear ARXMAX [na=1; nb=1; nc=1; nk=1]	93,52 %
	Linear OE [nb=1; nf=1; nk=1]	34,69%
	Linear BJ [nb=1;nc=1; nd=1; nf=1; nk=1]	93,35%
	Linear SS - N4sID n=1; [nk=1]	93,35%
	Linear SS - PEM n=1; [nk=1]	92,71%
Tempo de Amostragem de 60 minutos	Linear ARX [na=1; nb=1; nk=1]	90,58%
	Linear ARXMAX [na=1; nb=1; nc=1; nk=1]	90,34%
	Linear OE [nb=2; nf=2; nk=1]	73,13%
	Linear BJ [nb=1;nc=1; nd=1; nf=1; nk=1]	90,58%
	Linear SS - N4sID n=1; [nk=1]	90,57%
	Linear SS - PEM n=1; [nk=1]	90,35%

De seguida, é realizada a análise da estabilidade. A Tabela 8 mostra a estabilidade de cada classe de modelo.

Tabela 8 - Estabilidade dos modelos lineares.

	Modelo Linear	Estabilidade	
		b.i.b.o	Assintótica
Tempo de Amostragem de 15 minutos	Linear ARX [$na=2; nb=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear ARXMAX [$na=2; nb=1; nc=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear OE [$nb=1; nf=2; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear BJ [$nb=1; nc=1; nd=2; nf=2; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear SS - $N4sID$ $n=1; [nk=1]$	Estável	Estável
	Linear SS - PEM $n=1; [nk=1]$	Estável	Estável
Tempo de Amostragem de 30 minutos	Linear ARX [$na=1; nb=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear ARXMAX [$na=1; nb=1; nc=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear OE [$nb=1; nf=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear BJ [$nb=1; nc=1; nd=1; nf=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear SS - $N4sID$ $n=1; [nk=1]$	Estável	Estável
	Linear SS - PEM $n=1; [nk=1]$	Estável	Estável
Tempo de Amostragem de 60 minutos	Linear ARX [$na=1; nb=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear ARXMAX [$na=1; nb=1; nc=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear OE [$nb=2; nf=2; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear BJ [$nb=1; nc=1; nd=1; nf=1; nk=1$]	Estável	Estável
	Linear SS - $N4sID$ $n=1; [nk=1]$	Estável	Estável
	Linear SS - PEM $n=1; [nk=1]$	Estável	Estável

Genericamente, um sistema é projetado para ser estável. A estabilidade de um sistema pode ser definida segundo duas maneiras distintas: estabilidade externa e estabilidade interna. É de notar que a estabilidade interna assegura a estabilidade externa mas o

inverso não é verdadeiro. Isto acontece porque a estabilidade externa não garante que os sinais internos do sistema também sejam limitados, somente a relação entre o sinal de entrada e o sinal de saída do sistema [67].

O modelo instável não tem aplicação do ponto de vista de processamento de sinais porque qualquer conjunto de condições iniciais, intencionais ou não, resulta numa resposta ilimitada que pode destruir o sistema ou resultar nalguma condição de saturação que mude a natureza do modelo. Mesmo que as condições iniciais sejam zero, a tensão estática ou ruídos térmicos gerados dentro do sistema irão funcionar como condições iniciais [67].

A estabilidade externa (conhecida também por *b.i.b.o.* – *bounded input bounded output*) menciona que um sistema é dito estável se, para todo sinal de amplitude limitada aplicado em sua entrada, o sinal de saída é também limitado. Por outro lado, se o sistema é instável, ao aplicarmos um sinal de amplitude limitada em sua entrada, sua saída divergirá com o passar do tempo, ou seja, a amplitude do sinal de saída tenderá a crescer indefinidamente [68].

A estabilidade interna (conhecida também por Assintótica) afirma que a estabilidade de um sistema está diretamente ligado com a localização de polos no plano Z . Diz-se que o sistema é estável quando os polos estiverem dentro do círculo unitário e não existirem polos repetidos dentro do círculo unitário, caso contrário diz-se que o sistema é instável. Ainda há a possibilidade do sistema ser marginalmente estável quando não existirem polos fora do círculo unitário e houver polos sobre o círculo unitário [69].

A Tabela 8 mostra que todos os modelos apresentam estabilidade interna e externa. Desta forma, as escolhas dos modelos feitas a partir da Tabela 7 mantêm-se.

V.4.2. Modelos não-lineares

A seleção da quantidade de neurónios numa *RNA* do tipo *perceptron* é uma decisão muito importante e complexa. Por um lado, a escolha de poucos neurónios pode resultar na incapacidade de reproduzir corretamente os dados. Por outro lado, a escolha de um grande número de neurónios pode resultar numa má capacidade de generalização, em consequência da suscetibilidade de ajustamento ao ruído e a outras peculiaridades dos dados. Consequentemente, foram testadas várias implementações de *RNA* mudando o número de neurónios à procura de um ponto de equilíbrio entre a facilidade de criar o modelo e a sua exatidão. Para a realização das Redes Neurais utilizou-se o seguinte código:

```

% Construir a RNA do tipo feedforward sob a
forma de um objecto
% denominado por net
net=feedforwardnet(4);

%Selecionar o algoritmo de treino
nettrainFcn='trainlm'

%Selecionar o número de épocas
net.trainParam.epochs=10000;

% Agrupar ARX e a RNA.

```

A Tabela 9 apresenta os resultados obtidos do *Best Fit* de um passo (*one step ahead*) dos diferentes modelos não lineares (*RNA*) para cada conjunto de dados. Os modelos criados pertencem à classe *ARX*. É de referir que se utilizaram dez mil iterações para a realização do treino de cada uma das *RNA*.

Da análise da Tabela 9 conclui-se que, para o conjunto de dados de tempo de amostragem de quinze minutos, a melhor *RNA* tinha sete neurónios e treinada com o algoritmo *trainbr*. Os restantes conjuntos de dados apresentavam melhores resultados com a *RNA* com quatro neurónios treinada com o algoritmo *trainbr*.

Os modelos não lineares não foram considerados para representar o sistema real das estufas, uma vez que os modelos lineares apresentavam melhores valores.

Tabela 9 - *Best Fit* (in %) dos modelos não lineares.

	Rede Neuronal	<i>Best fit</i>	
		<i>trainlm</i>	<i>trainbr</i>
Tempo de Amostragem de 15 minutos ARX211	<i>Nonlinear ARX - RNA</i> 1 camada escondida com 4 neurónios	93.41%	94.09%
	<i>Nonlinear ARX - RNA</i> 1 camada escondida com 7 neurónios	93.34%	94.20%
Tempo de Amostragem de 30 minutos ARX111	<i>Nonlinear ARX - RNA</i> 1 camada escondida com 4 neurónios	89.2%	89.45%
	<i>Nonlinear ARX - RNA</i> 1 camada escondida com 7 neurónios	89.27%	89.27%
Tempo de Amostragem de 60 minutos ARX111	<i>Nonlinear ARX - RNA</i> 1 camada escondida com 4 neurónios	82.99%	84.71%
	<i>Nonlinear ARX - RNA</i> 1 camada escondida com 7 neurónios	84.17%	84.08%

V.5. ANÁLISE DE RESULTADOS DOS CONTROLADORES

Nesta secção são apresentados os resultados obtidos dos controladores *PIDF*, *PID*, *IMC*, *MPC* e *DIC* para cada conjunto de dados fornecidos para elaborar este trabalho. Todos os controladores em todos os conjuntos de dados têm como referência o tempo de subida (*Rise Time*) de vinte mil seiscientos e quarenta segundos. Os parâmetros a considerar são, nomeadamente, o tempo de estabilização (*Settling Time*) o *Overshoot*, o valor do pico e o tempo onde ocorre o pico. Quanto menor for o valor do *Overshoot* mais preciso é o controlador em atingir a temperatura desejada, uma vez que o controlador não excede a temperatura pretendida. O *Overshoot* é muitas vezes associado ao tempo de estabilização e, neste caso, quanto menor for o tempo de estabilização melhor é o resultado do funcionamento do sistema das estufas. O modelo *ARX* foi utilizado em todos os controladores e em todos os conjuntos de dados.

V.5.1. Análise da resposta em degrau

A Tabela 10 mostra que o controlador que mais se adequa ao conjunto de dados de tempo de amostragem de quinze minutos é o *DIC*, uma vez que possui um *Overshoot* igual a zero, apesar do controlador *IMC* ter um tempo de estabilização um pouco menor. Todos os controladores são estáveis, uma vez que todos apresentam um pico superior e/ou igual a 1.

Tabela 10 – Comparação entre os controladores para o conjunto de dados de amostragem de tempo de quinze minutos

Conjunto de dados de 15m					
Controlador	<i>PIDF</i>	<i>PID</i>	<i>IMC</i>	<i>MPC</i>	<i>DIC</i>
Modelo	<i>ARX 211</i>	<i>ARX 211</i>	<i>ARX 211</i>	<i>ARX 211</i>	<i>ARX 211</i>
<i>Rise time</i> (segundos)	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04
<i>Settling time</i> (segundos)	2,38 e+05	2,49 e+05	1,24 e+05	3,60 e+05	1,28 e+05
<i>Overshoot</i> (%)	6,6	13,6	0,00364	1	0
<i>Peak</i>	1,07	1,14	1	1,01	1
<i>Closed-loop stability</i>	Estável	Estável	Estável	Estável	Estável
Tempo onde ocorre o pico máximo	1,55 e+05	1,51 e+05	2,00 e+05	1,48 e+05	1,80 e+05

A Tabela 11 mostra que o controlador que mais se adequa ao conjunto de dados de tempo de amostragem de trinta minutos é o *DIC*, uma vez que possui um *Overshoot* igual a zero. Todos os controladores são estáveis, uma vez que todos apresentam um pico superior e/ou igual a 1.

Tabela 11 – Comparação entre os controladores para o conjunto de dados de amostragem de tempo de trinta minutos

Conjunto de dados de 30m					
Controlador	<i>PIDF</i>	<i>PID</i>	<i>IMC</i>	<i>MPC</i>	<i>DIC</i>
Modelo	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>
<i>Rise time</i> (segundos)	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04
<i>Settling time</i> (segundos)	2,36 e+05	2,50 e+05	2,06 e+05	3,91 e+05	1,28 e+05
<i>Overshoot</i> (%)	6,52	13,5	2,76	2,4	0
<i>Peak</i>	1,07	1,14	1,03	1,024	1
<i>Closed-loop stability</i>	Estável	Estável	Estável	Estável	Estável
Tempo onde ocorre o pico máximo	1,55 e+05	1,51 e+05	1,60 e+05	1,44 e+05	2,00 e+05

A Tabela 12 mostra que o controlador que mais se adequa ao conjunto de dados de tempo de amostragem de sessenta minutos é o *DIC*, uma vez que possui um *Overshoot* igual a zero, apesar do controlador *IMC* ter um tempo de estabilização um pouco menor. Todos os controladores são estáveis, uma vez que todos apresentam um pico superior e/ou igual a 1.

Tabela 12 – Comparação entre os controladores para o conjunto de dados de amostragem de tempo de sessenta minutos.

Conjunto de dados de 60m					
Controlador	<i>PIDF</i>	<i>PID</i>	<i>IMC</i>	<i>MPC</i>	<i>DIC</i>
Modelo	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>	<i>ARX 111</i>
<i>Rise time</i> (segundos)	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04	2,06 e+04
<i>Settling time</i> (segundos)	2,27 e+05	2,38 e+05	1,26 e+05	3,60 e+05	1,28 e+05
<i>Overshoot</i> (%)	9,77	10,9	0,00761	1	0
<i>Peak</i>	1,1	1,11	1	1,01	1
<i>Closed-loop stability</i>	Estável	Estável	Estável	Estável	Estável
Tempo onde ocorre o pico máximo	1,48 e+05	1,48 e+05	2,50 e+05	1,48 e+05	2,50 e+05

V.5.2. Análise da simulação

De seguida, são apresentadas as simulações efetuadas com cada um dos controladores para os três conjuntos de dados fornecidos para este trabalho. Todas as simulações foram efetuadas através do mesmo sinal de entrada.

As Figuras 50, 51 e 52 mostram as simulações dos diferentes controladores ao utilizar cada um dos conjuntos de dados fornecidos para a elaboração deste trabalho.

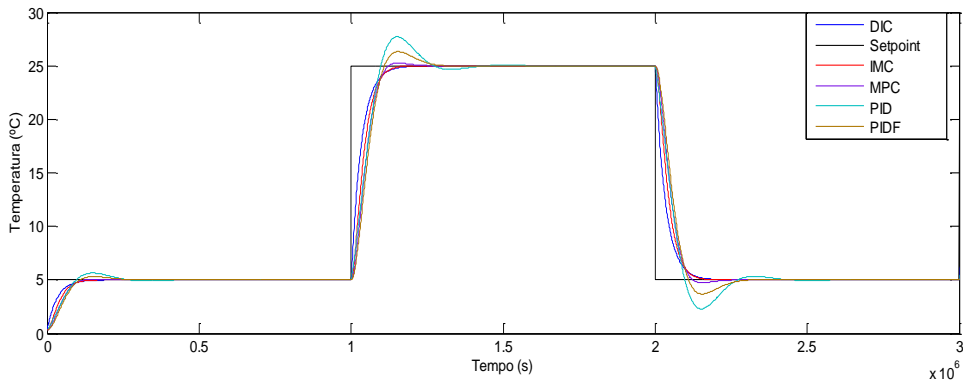


Figura 50 - Simulação dos diferentes sistemas de controlo do conjunto de dados de tempo de amostragem de quinze minutos.

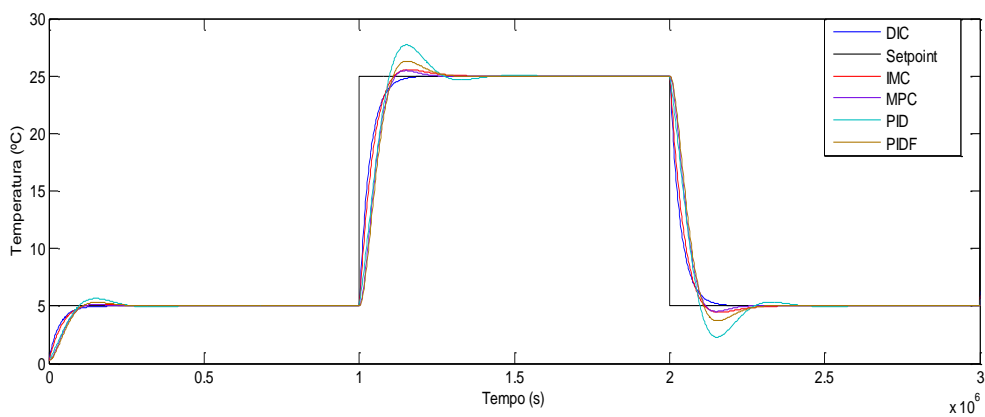


Figura 51 - Simulação dos diferentes sistemas de controlo do conjunto de dados de tempo de amostragem de trinta minutos.

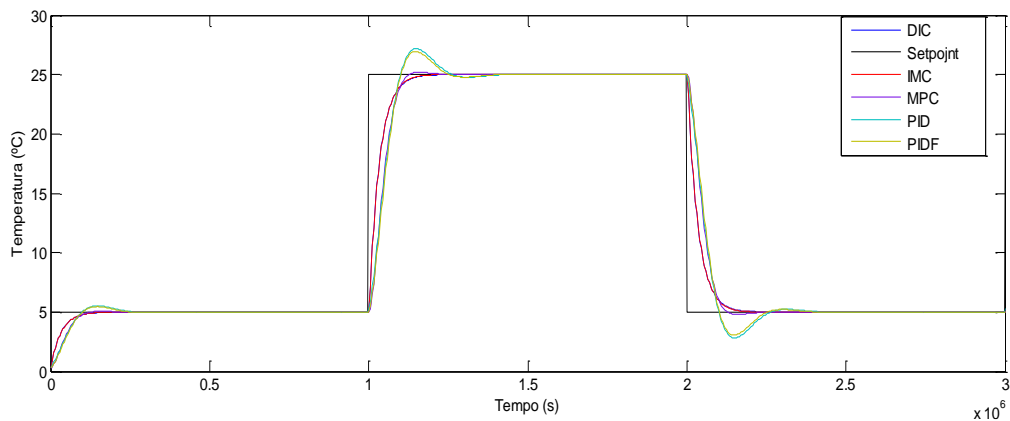


Figura 52 - Simulação dos diferentes sistemas de controlo do conjunto de dados de tempo de amostragem de sessenta minutos.

A Tabela 13 mostra os valores *MSE* (*Mean Square Error*) e *R* (coeficiente de correlação) das simulações efetuadas nos diferentes controladores para cada conjunto de dados. Verifica-se que o controlador *DIC* apresenta os melhores valores *MSE* e *R* em todos os conjuntos de dados. O conjunto de dados que apresenta os melhores valores de simulação é o do tempo de amostragem de quinze minutos.

Tabela 13 – Valores *MSE* e *R* das simulações efetuadas nos diferentes controladores em cada conjunto de dados

	MSE	R	MSE	R	MSE	R
	15 minutos		30 minutos		60 minutos	
DIC	5,4135	0,9727	5,5632	0,9720	5,87080	0,9704
IMC	8,4797	0,9572	6,7356	0,9661	5,93640	0,9701
MPC	10,4711	0,9472	10,8411	0,9453	10,3592	0,9477
PID	10,0318	0,9500	10,0630	0,9498	10,3449	0,9482
PIDF	11,7054	0,9413	11,7860	0,9409	11,0479	0,9446

Após a simulação e análise dos vários controladores a escolha recaiu sobre o controlador *DIC* visto ter sido o que apresentou melhores resultados em todos os testes realizados, em simulação, como apresentado anteriormente.

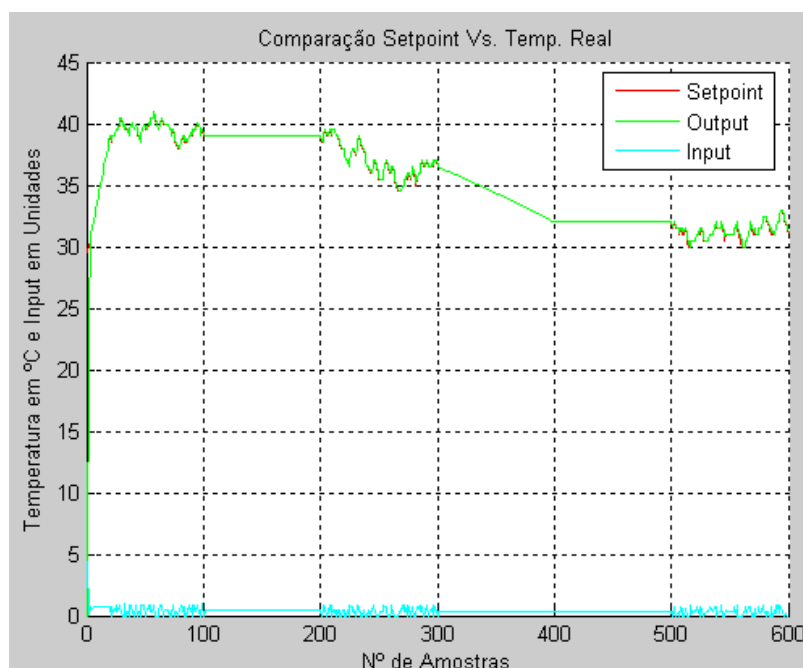


Figura 53 – Comparação da leitura da temperatura da estufa (*output*) com o *setpoint* pretendido atendendo uma determinada entrada (*input*).

Assim, para testar a eficiência do modelo inverso e a correta resposta do modelo direto (e já usando o sistema de controle, mas substituindo o sistema físico pelo modelo direto) realizou-se um teste, na Figura 53, onde se aplicou um *setpoint* variável. Constatou-se, como demonstra a Figura 53, que o sistema consegue controlar a temperatura de acordo

com o *setpoint* estipulado, quase sem erro, à exceção de descidas muito acentuadas da temperatura (erro máximo de $0,47^{\circ}\text{C}$, na Figura 54).

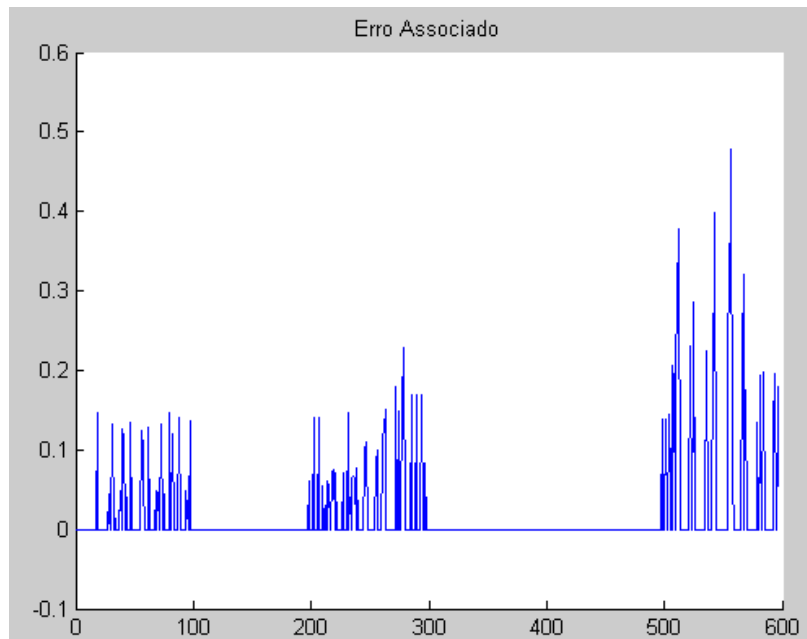


Figura 54 – Erro associado ao controlo de temperatura em situação simulada.

Perante este conjunto de simulações e testes, com resultados bastante satisfatórios, tinha-se todas as condições para se passar à implementação real do sistema de controlo de temperatura para as várias estufas do sistema físico existente.

V.6. IMPLEMENTAÇÃO

O sistema de controlo foi implementado utilizando o controlador *DIC* por ter sido o que apresentou melhores resultados em todos os testes realizados, em simulação, como apresentado nos subcapítulos anteriores. Este, por sua vez, utiliza o modelo de dados linear *ARX211*, que é o que melhor identifica o sistema real, conforme apresentado anteriormente na Tabela 7, do subcapítulo V.4.1.

De modo a conseguir interligar o modelo de dados linear e algumas funções próprias do *Matlab*, necessárias à implementação do modelo inverso que faz parte da arquitetura do controlador *DIC*, com a programação em *C#*, que implementa o sistema de controlo, foi necessário criar uma *DLL* que implementa a função apresentada na Figura 55 a qual retorna um *array* com o tempo de abertura da válvula, ou seja, o tempo de aquecimento para aquela estufa naquele intervalo de tempo. A geração da *DLL* faz-se criando, inicialmente, um novo *Deployment Project*, no *Matlab*, do tipo *.Net Assembly*, onde são indicadas as classes e respetivos *scripts*. Depois, através da funcionalidade “*build*” executamos a compilação da *DLL*.

```

% MODELO INVERSO
% Variáveis:
% u_mi==>Entradas do modelo inverso
% Ts==>Tempo em seg ( = 15min) - Intervalo da Amostra
% y_mi==>Saida do Modelo Inverso (indice de abertura da válvula)
function y_mi = arx_mi_Controlo_26Jun2015(u_mi, Ts)
    load('modelos_12Mai2014.mat')
    y_inv = iddata([], u_mi', Ts);
    y_inv.InputName = 'Temp';
    mi = sim(arx211_inv, y_inv);
    y_mi = mi.y;
end

```

Figura 55 - Função que implementa o modelo inverso.

Para além de facilitar a interligação das várias funcionalidades necessárias à implementação do sistema de controlo, a compilação numa *DLL* vem reduzir o uso desnecessário de recursos uma vez que basta carregar somente uma vez na memória e depois pode ser utilizada por qualquer aplicativo que necessite fazer uso da mesma. A compilação da aplicação torna-se mais fácil porque se o código da *DLL* alterar só é necessário compilar a *DLL* não sendo necessário recompilar os aplicativos que a usam [70].

Ao utilizar este recurso o sistema está a ser implementado de uma forma modular facilitando uma possível implementação internacional (sistemas multilíngues) [70].

V.6.1. Interligação com o Sistema de Monitorização e de Gestão

A interligação com o sistema de monitorização e de gestão implementado faz-se com recurso à base de dados comum às duas aplicações conforme o modelo *E-R*, apresentado anteriormente na Figura 22, do subcapítulo III.5.

O registo das temperaturas faz-se na Tabela “*RegistaLeitura*” que a *interface* gráfica utiliza para mostrar graficamente as temperaturas registadas para cada uma das estufas.

Assim, consegue-se manter a independência das duas aplicações de modo a que, se a *interface* do sistema de monitorização e gestão sofrer alguma anomalia, a temperatura continue a ser registada e controlada, para cada uma das estufas, através do sistema de controlo, que deverá estar sempre funcional.

V.6.2. Testes

Após as várias simulações, quer através das várias ferramentas disponibilizadas pelo *Matlab*, quer usando o modelo indireto e substituindo o modelo real pelo modelo direto, descritas no capítulo anterior, era altura de testar o controlador de temperatura em situação real com o sistema físico com recurso à aplicação de controlo de temperatura, na Figura 56, implementada especialmente para o efeito.

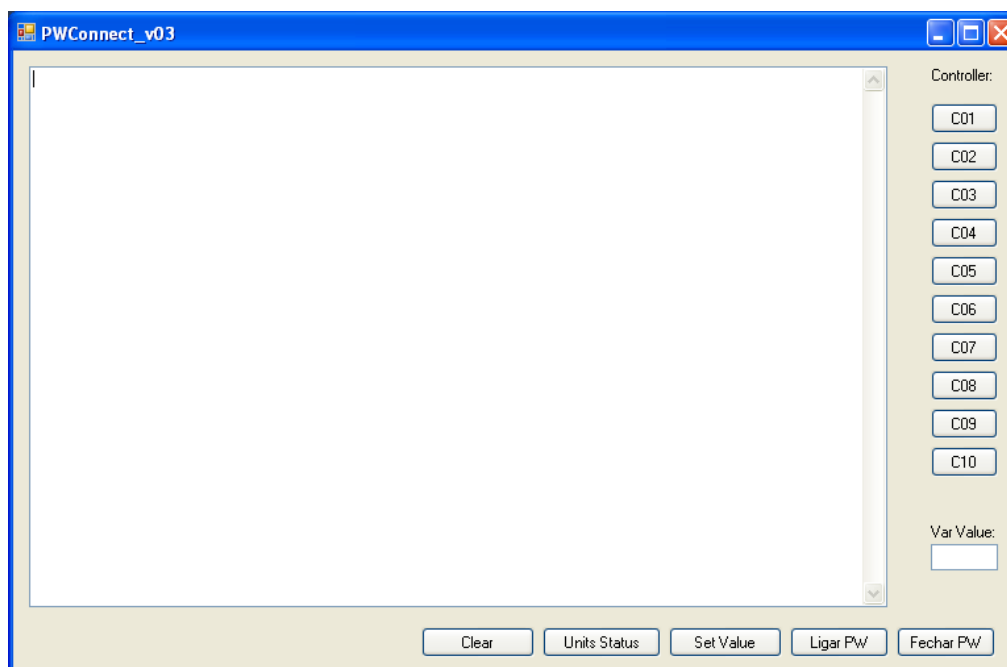


Figura 56 – *Interface* do sistema de controlo de temperatura.

Neste sistema (para além de controlar a temperatura) é possível visualizar o valor dos parâmetros e o estado de cada controlador de temperatura *IR32* para cada estufa, bem como se ligar e se desligar do sistema físico.

Quando se substituiu a saída do modelo direto pela temperatura real da estufa (*output*) verificou-se que, para um *setpoint* predefinido e constante (35°C) e após estabilizar, o sistema controla a temperatura com a mesma exatidão, na Figura 57.

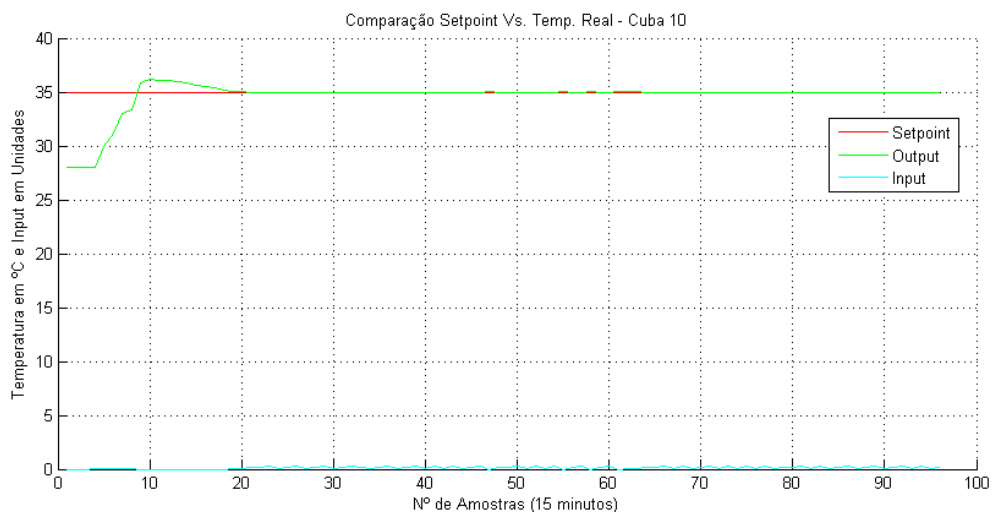


Figura 57 – Comparação da leitura real da temperatura da estufa (*output*) com o *setpoint* pretendido atendendo a um determinado sinal de entrada (*input*).

A Figura 58 mostra o erro associado a este teste realizado com o sistema real e, como se pode verificar, após estabilizar, o erro é quase nulo (varia entre $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$).

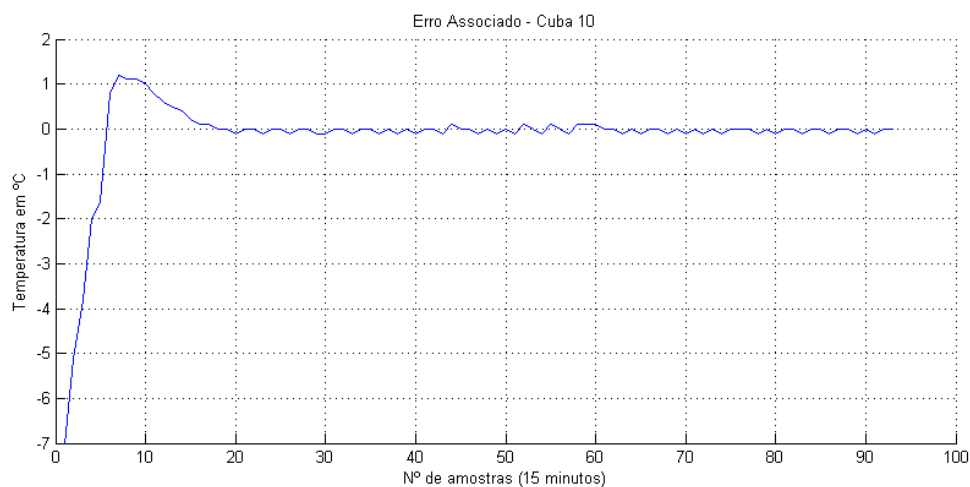


Figura 58 – Erro associado ao controlo de temperatura em situação real.

Este teste de controlo de temperatura foi realizado com o aquecimento de uma só estufa (portanto, o melhor caso, visto a fonte de calor ser única) e verifica-se que o sistema correspondeu satisfatoriamente.

Porém, como sabemos que a intensidade com que cada estufa é aquecida depende também do número de estufas que estão a ser aquecidas simultaneamente (em virtude da fonte de calor ser única para todo o sistema), decidiu-se realizar novo teste com duas estufas em simultâneo e com um *setpoint* variável, nas Figuras 59 e 60.

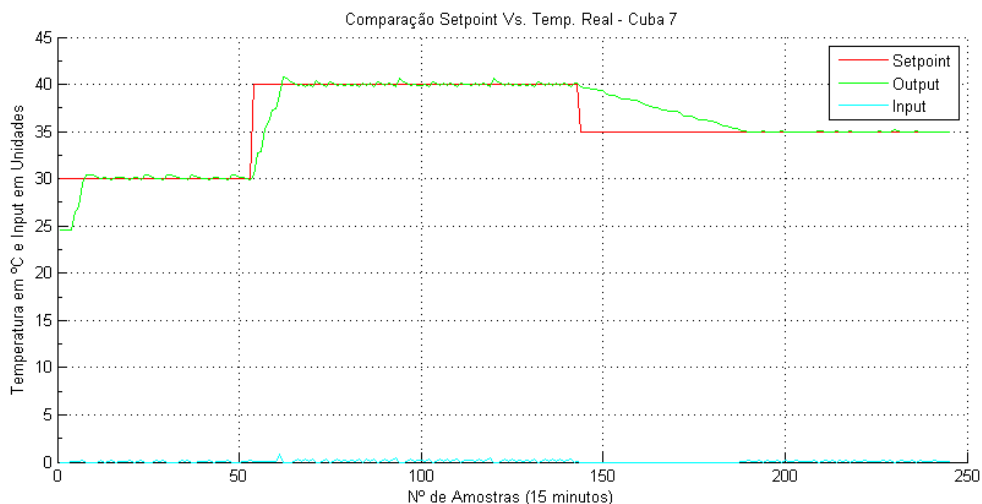


Figura 59 – Comparação da leitura real da temperatura da estufa (*output*) com o *setpoint* variável atendendo a um determinado sinal de entrada (*input*) – duas estufas.

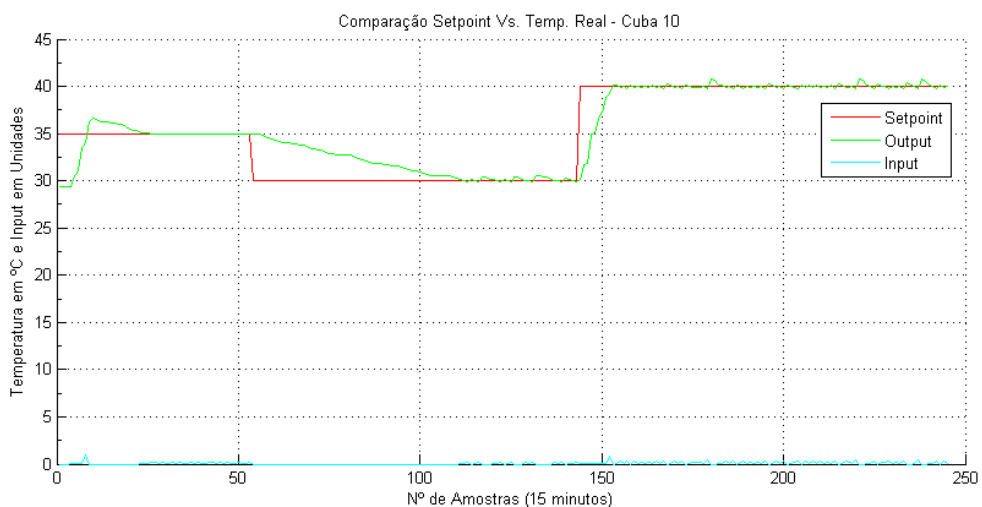


Figura 60 – Comparação da leitura real da temperatura da estufa (*output*) com o *setpoint* variável atendendo a um determinado sinal de entrada (*input*) – duas estufas.

Mesmo com a adição destas novas variáveis (mais uma estufa para aquecer e o *setpoint* variável) observa-se que o controlo de temperatura do sistema continua a ser satisfatório. No entanto, conforme referido anteriormente, o arrefecimento do sistema realiza-se muito mais lentamente em virtude de não existir um sistema físico de arrefecimento das estufas (o arrefecimento faz-se por dissipação de calor).

No erro associado ao controlo de temperatura para o caso de duas estufas com *setpoint* variável, Figuras 61 e 62, verificam-se alguns picos que se consideram normais pois são referentes à mudança acentuada de temperatura quer para cima, quer para baixo. Porém, após estabilizar, o controlo de temperatura para ambas as estufas realiza-se com um erro mínimo e aceitável.

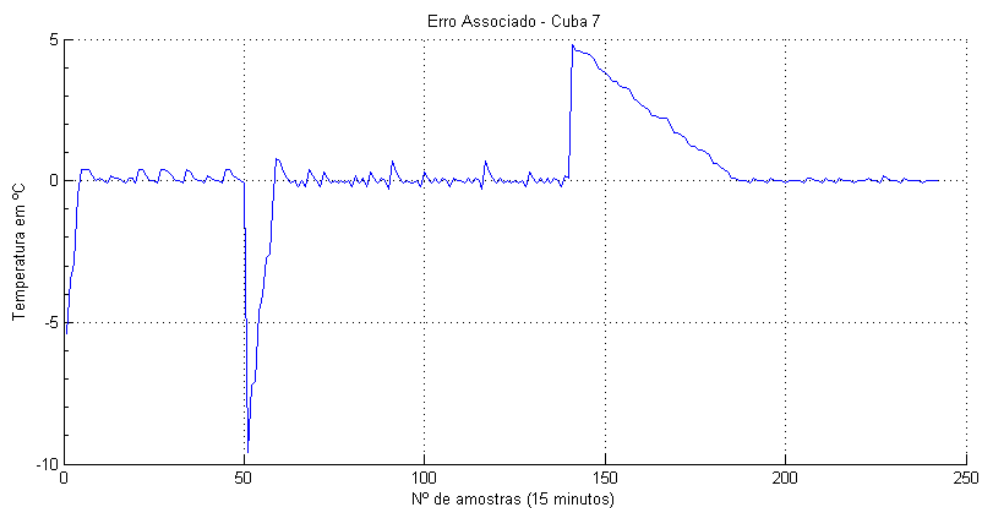


Figura 61 – Erro associado ao controlo de temperatura em situação real – duas estufas.

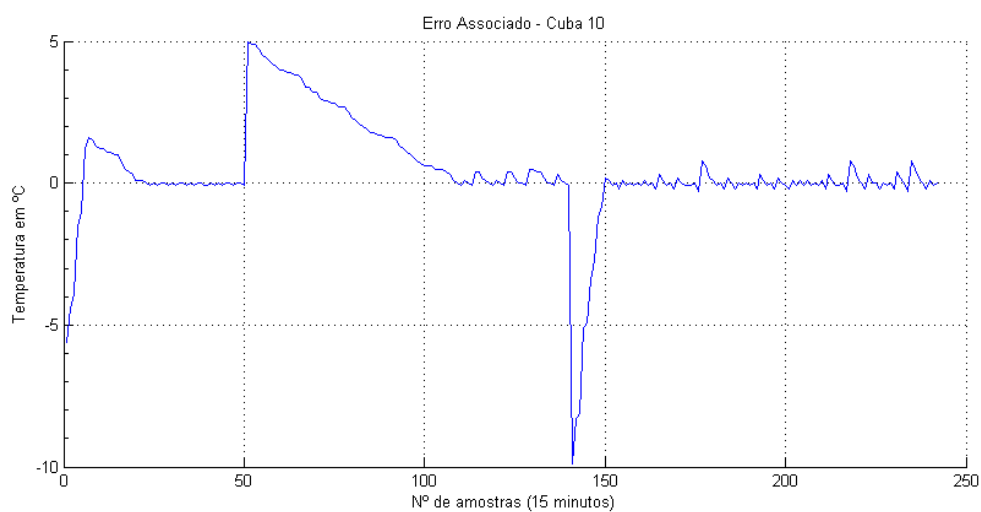


Figura 62 – Erro associado ao controlo de temperatura em situação real – duas estufas.

A Tabela 14 mostra os valores *MSE* (*Mean Square Error*) e *R* (Coeficiente de Correlação) relativo ao controlo de temperatura efetuado anteriormente (Figuras 59 e 60). Verifica-se que, apesar do *MSE* e do *R* não serem tão bons como os apresentados em simulação para o controlador *DIC*, continuam a apresentar bons valores atendendo a que, em simulação, não se coloca o problema do arrefecimento das estufas nem se verifica *overshoot*.

Tabela 14 – Valores *MSE* e *R* relativo ao controlo de temperatura com duas estufas

	MSE	R
	15 minutos	
Cuba7	3,0528	0,9028
Cuba10	3,8748	0,8987

De modo a testar o sistema de controlo de temperatura numa situação ainda mais intensa realizou-se novo controlo de temperatura mas agora com quatro estufas em simultâneo, na Figura 63.

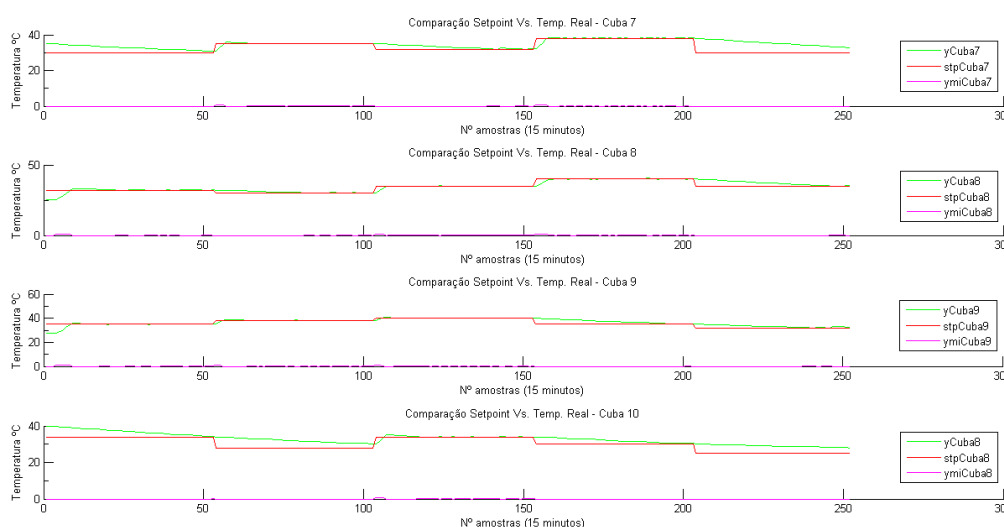


Figura 63 – Comparação da leitura real da temperatura das estufas (*output*) com os *setpoint* variáveis atendendo a um determinado sinal de entrada (*input*) – quatro estufas.

Como é perceptível na Figura 63, mesmo aumentando o número de estufas a controlar (o que leva a partilha da fonte de aquecimento e que poderia influenciar o controlo de temperatura) o sistema de controlo consegue manter o mesmo desempenho e performance comparativamente com os controlos de temperatura anteriores.

Na Figura 64 verificam-se alguns picos que coincidem com a mudança de *setpoint* pelo que se consideram normais. Porém, após estabilizar, o controlo de temperatura, para todas as estufas, realiza-se com um erro mínimo e perfeitamente aceitável.

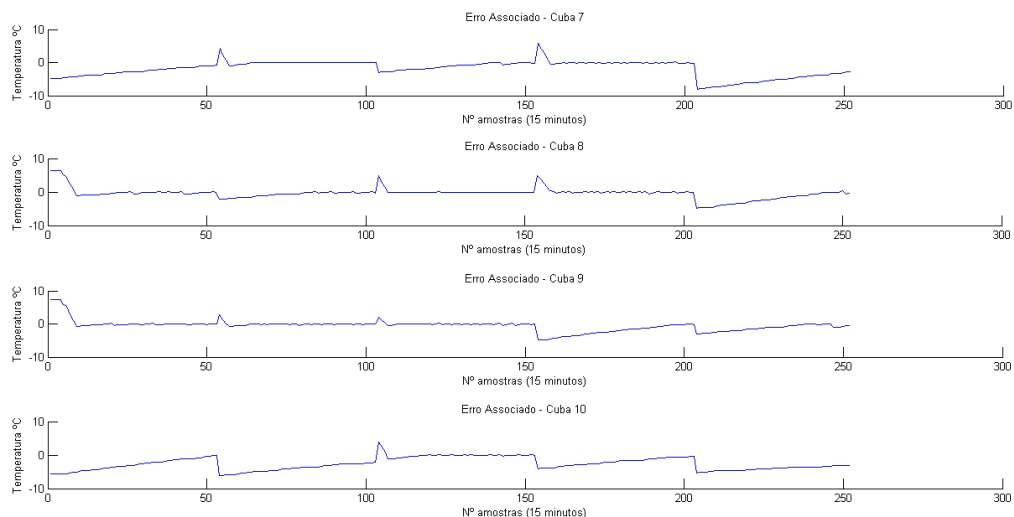


Figura 64 - Erro associado ao controle de temperatura em situação real - quatro estufas.

A Tabela 15 mostra os valores *MSE* (*Mean Square Error*) e *R* (Coeficiente de Correlação) relativo ao controle de temperatura efetuado anteriormente (Figura 63) com quatro estufas em simultâneo. Comparativamente com o controle de temperatura com duas estufas, verifica-se que os valores do *MSE* e do *R* não são tão bons, mas continuam a apresentar bons valores atendendo a que, em simulação, não se coloca o problema do arrefecimento das estufas, não se coloca a partilha da fonte de aquecimento, nem se verifica *overshoot*.

Tabela 15 - Valores *MSE* e *R* relativo ao controle de temperatura com quatro estufas

	MSE	R
	15 minutos	
Cuba7	8,8077	0,6540
Cuba8	2,8471	0,8936
Cuba9	3,1543	0,8152
Cuba10	10,2598	0,8428

V.7. AVALIAÇÃO/CONCLUSÃO

Os testes realizados, em modo de simulação, quer do modelo linear *ARX211*, quer do controlador *DIC*, são bastante satisfatórios tendo mesmo atingido boas percentagens de representatividade do sistema real e de controlo de temperatura.

Quando se implementa o controlador *DIC* de modo a controlar a temperatura de cada uma das estufas do sistema real verifica-se que o resultado, apesar de não ser tão satisfatório, continua a ter boas prestações e boas percentagens quer a nível de controlo de temperatura tendo como referência um determinado *setpoint* (variável ou não), quer a nível de erro e de coeficiente de correlação.

Ora, atendendo que o sistema de controlo implementado controla a temperatura de forma oscilatória em torno do *setpoint* com a menor variação possível, ou até mesmo sobrepondo-se ao *setpoint*, considera-se que o resultado alcançado é bastante satisfatório se compararmos com a situação real anterior em que o controlo da temperatura oscilava em torno do *setpoint* entre, no mínimo, menos um e mais um grau celsius, por ser uma limitação do controlador de temperatura *IR32S* da *CAREL*. Isto quer dizer que, para além de contornar esta limitação existente no sistema físico, reduz o erro relativamente ao *setpoint* definido (tendo-se alcançado sendo no melhor caso um erro de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ relativamente ao *setpoint*) e controla, de uma forma completamente automática, a temperatura para cada uma das estufas do sistema.

Assim, considera-se que o sistema de controlo de temperatura implementado é uma mais-valia para o controlo da temperatura no processo de estufagem do Vinho Madeira pois reduz, relativamente ao sistema existente anteriormente, a margem de variação de temperatura até um máximo de $1,8^{\circ}\text{C}$ e conseqüentemente o erro associado, bem como automatiza todo esse processo de controlo de temperatura.

VI. CONCLUSÕES

A execução deste projeto possibilitou aprofundar e aplicar os conhecimentos adquiridos ao longo do curso. Possibilitou, de igual modo, o conhecimento de novas realidades, tecnologias e ferramentas.

Desenvolver este projeto exigiu perceber a arquitetura física existente, nomeadamente a comunicação entre um computador e o dispositivo *PlantWatch* da CAREL no sentido de conseguir adquirir os dados dos controladores de temperatura *IR32* e de controlar essa mesma temperatura.

Os desafios relacionados com a mudança são dos mais comuns nos projetos de *software* pelo que foi uma preocupação conceber este sistema de modo a que aceite essa mudança com o menor impacto possível e com o mínimo de custos.

A fase de modelação e de desenvolvimento possibilitou um aprofundar de conhecimentos, tecnologias, linguagens e de plataformas de programação.

Apesar de ter a consciência que seria preferível ter um conjunto de testes maior foi possível realizar os testes mínimos à *interface* e ao sistema de controlo identificando no primeiro caso algumas falhas de usabilidade e de execução de funcionalidades que foram, na sua maioria, oportunamente corrigidas.

O sistema de monitorização, registo e controlo de temperatura implementa os requisitos funcionais e não funcionais definidos, nomeadamente a definição, monitorização e registo da temperatura para cada estufa, bem como realiza o controlo de temperatura com um erro máximo de 0,4°C e um erro mínimo de 0,1°C (após estabilizar e para um *setpoint* constante) e encontra-se acessível através do endereço *www.mvvm.pt* sendo que o sistema de controlo está no computador local, existente no laboratório de enologia da *UMa*, devido à necessidade de ligação com o sistema físico.

VII. PERSPETIVAS FUTURAS

As melhorias são sempre possíveis! Com este pensamento em mente o sistema foi concebido de modo a possibilitar novas funcionalidades e a consequente expansão do sistema.

Para além da fase normal de manutenção do *software*, nomeadamente a correção de erros de *interface* e de algoritmos, bem como pequenas alterações baseadas no *feedback* futuro dos utilizadores, existem outras funcionalidades que virão enriquecer este projeto. De entre outras se destacam:

- Controlar a temperatura com a mesma variação acima e abaixo do *setpoint*.
- Diminuição da variação de temperatura em torno do *setpoint*.
- Reduzir a percentagem de *overshoot* e o pico no controlo da temperatura;
- Leitura de novos sensores.
- Possibilidade de envio de *SMS* de alertas por parte dos utilizadores.
- Melhorar a *interface* para acesso através de dispositivos móveis.
- Aplicar parâmetros de filtro para o relatório.
- Adicionar a possibilidade de indicar um ficheiro de configuração para um novo dispositivo configurando, automaticamente, os parâmetros disponíveis para esse dispositivo.

VIII. REFERÊNCIAS

- [1] J. C. Marques, "Impacto das Tecnologias de Produção na Qualidade do Vinho Madeira," 2009. [Online]. Available: <http://www3.uma.pt/jcmarques/research.htm#impact>. [Acedido em 5 Agosto 2015].
- [2] Giacomini S.p.A., "R479-R479M," 2012. [Online]. Available: http://old.giacomini.com/export/sites/default/es/download_gallery/pdf_catalogo_doc_tec_spagna/familia_3/1264663893536_R479-R479M_-E-.PDF. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [3] GIACOMINI PORTUGAL, LDA., "GIACOMINI," 2015. [Online]. Available: <http://pt.giacomini.com/>. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [4] CAREL INDUSTRIES S.p.a., "Bula IR32 Universal," 08 Maio 2014. [Online]. Available: http://www.carel.com.br/Bula_IR32_universal.pdf. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [5] CAREL INDUSTRIES S.p.a., "CAREL," 08 Maio 2014. [Online]. Available: <http://www.carel.com/>. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [6] CAREL INDUSTRIES S.p.a., "IR33 Universale," 08 Maio 2014. [Online]. Available: <http://www.carel.com/documents/10191/0/%2B030220805/02ebf09f-9c56-424a-b9ee-2864605a32cd;jsessionid=36BBB8E8F8633FD0CCFC96B120933ADF?version=1.0>. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [7] CAREL INDUSTRIES S.p.a., "PlantWatch," 08 Maio 2014. [Online]. Available: http://www.carel.com/local-monitoring-systems-na/-/journal_content/56_INSTANCE_i4q5KIMLInKK/10191/136835. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [8] CAREL INDUSTRIES S.p.a., "Adapter Kit for PlantWatch," 2015. [Online]. Available: http://www.carel.pl/doc/+050003460_GB.pdf. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [9] Wikipedia, "RS-232," 2015. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/RS-232>. [Acedido em 10 Agosto 2015].
- [10] M. P. Baptista, "DLL 32 2.1," 2012. [Online]. Available: https://dl.dropboxusercontent.com/u/104501097/DLL%2032_2.1.rar. [Acedido em 19 Novembro 2012].
- [11] CAREL INDUSTRIES S.p.a., "PlantWatchPRO," 08 Maio 2014. [Online]. Available: http://www.carel.com/local-monitoring-systems/-/journal_content/56_INSTANCE_i4q5KIMLInKK/10191/62959. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [12] CAREL INDUSTRIES S.p.a., "PlantVisorPRO," 08 Maio 2014. [Online]. Available: http://www.carel.com/local-monitoring-systems/-/journal_content/56_INSTANCE_i4q5KIMLInKK/10191/63184. [Acedido em 05 Agosto 2015].
- [13] i-A.C.Systems, "COMTOOL," 2012. [Online]. Available: <http://www.i-acs.co.uk/store/comtool.html>. [Acedido em 08 Outubro 2012].
- [14] Domopor - Sistemas de domótica, "TCS.wireless - Soluções de Controlo de Temperaturas sem fios," 2016. [Online]. Available: <http://www.domopor.com/tcs.html>. [Acedido em 21 Janeiro 2016].
- [15] Domopor - Sistemas de domótica, "Home," 2016. [Online]. Available: <http://www.domopor.com/Home.html>. [Acedido em 21 Janeiro 2016].

- [16] Yokogawa Electric Corporation, "Control and Measurement Station - CX2000," 2016. [Online]. Available: http://www.yokogawa.com/ns/daq/cx/daq-cx_01.htm?nid=left. [Acedido em 21 Janeiro 2016].
- [17] Yokogawa Electric Corporation, "Yokogawa Electric Corporation," 2016. [Online]. Available: <http://www.yokogawa.com/index.htm>. [Acedido em 21 Janeiro 2016].
- [18] Yokogawa Electric Corporation, "DAQSTANDARD DXA120," 2016. [Online]. Available: http://www.yokogawa.com/ns/daq/cx/daq-cx_11.htm. [Acedido em 21 Janeiro 2016].
- [19] Schneider Electric Software, LLC, "Schneider Electric Software," 2015. [Online]. Available: <http://software.schneider-electric.com/>. [Acedido em 21 Janeiro 2016].
- [20] Schneider Electric Software, LLC, "Wonderware InTouch," 2015. [Online]. Available: <http://software.schneider-electric.com/products/wonderware/hmi-and-supervisory-control/intouch/>. [Acedido em 21 Janeiro 2016].
- [21] Wonderware, "Wonderware Device Integration Servers," 2016. [Online]. Available: http://www.wonderware.fi/htm/Wonderware_Device_Integration_Servers.htm. [Acedido em 16 Abril 2016].
- [22] Wikipedia, The Free Encyclopedia, "OPC Unified Architecture," 01 Março 2016. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/OPC_Unified_Architecture. [Acedido em 15 Abril 2016].
- [23] J. Krajewski, "Situational Awareness - The Next Leap in Industrial Human Machine Interface Design," 2015. [Online]. Available: <http://software.schneider-electric.com/pdf/white-paper/situational-awareness-the-next-leap-in-industrial-human-machine-interface-design/>. [Acedido em 30 Janeiro 2016].
- [24] Wikipédia, "Model-view-controller," 2015. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Model%E2%80%93view%E2%80%93controller>. [Acedido em 17 Agosto 2015].
- [25] C. Gershenson, "Artificial Neural Networks for Beginners," [Online]. Available: <https://datajobs.com/data-science-repo/Neural-Net-%5BCarlos-Gershenson%5D.pdf>. [Acedido em 10 Agosto 2015].
- [26] . D. Michie, D. J. Spiegelhalter e C. C. Taylor, Machine Learning, Neural and Statistical, D. Michie, D.J. Spiegelhalter, C.C. Taylor, 1994.
- [27] Wikipedia - The Free Encyclopedia, "Supervised Learning," 20 Janeiro 2016. [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Supervised_learning. [Acedido em 23 Janeiro 2016].
- [28] C. Stergiou e D. Siganos , "NEURAL NETWORKS," [Online]. Available: http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/cs11/report.html#What%20is%20a%20Neural%20Network. [Acedido em 23 Janeiro 2016].
- [29] F. . M. Dias e A. M. Mota, "DIRECT INVERSE CONTROL OF A KILN," 2000. [Online]. Available: http://www.cee.uma.pt/morgado/Down/NN_INVC_C2K_final.pdf. [Acedido em 10 Agosto 2015].
- [30] O. Weisman e Z. Pollack, "The Perceptron," 1995. [Online]. Available: <http://serendip.brynmawr.edu/bbutoi/work/README>. [Acedido em 06 Fevereiro 2016].
- [31] Wikipedia, "Perceptron," 27 Janeiro 2016. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Perceptron>. [Acedido em 08 Fevereiro 2016].
- [32] The MathWorks, Inc., "MATLAB - The Language of Technical Computing," 2015. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/products/matlab/>. [Acedido em 14 Agosto 2015].
- [33] F. D. V. Batista, S. R. Abreu e C. M. S. Faria, "System Identification and Control - Assignment 2," Não Publicado, 2013.
- [34] M. T. Tham, "Robust Control," 2002. [Online]. Available: <http://lorien.ncl.ac.uk/ming/robust/imc.pdf>. [Acedido em 20 Agosto 2005].
- [35] T. Callinan, "Artificial Neural Network identification and control of the inverted pendulum," 2003. [Online]. Available:

- http://elm.eeng.dcu.ie/~brutonj/Reports/TCallinan_MEng_03.pdf. [Acedido em 20 Agosto 2015].
- [36] Society for Industrial and Applied Mathematics, "PID Controller Design," 2007. [Online]. Available: <http://www.siam.org/books/dc14/DC14Sample.pdf>. [Acedido em 22 Agosto 2015].
- [37] A. Bemporad, M. Morari e N. L. Ricker, "Model Predictive Control Toolbox - User's Guide," 2015. [Online]. Available: http://www.mathworks.com/help/pdf_doc/mpc/mpc_ug.pdf. [Acedido em 22 Agosto 2015].
- [38] Wikipédia, "Engenharia de software - Modelagem," 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Engenharia_de_software#Modelagem. [Acedido em 16 Agosto 2015].
- [39] K. Scott, "Use Cases," em *Fast Track UML 2.0*, Apress, 2004, pp. 49-60.
- [40] Wikipédia, "HTML," 2015. [Online]. Available: <http://pt.wikipedia.org/wiki/HTML>. [Acedido em 16 Agosto 2015].
- [41] G. Kotonya e I. Sommerville, "The Requirements Engineering Process," em *Requirements Engineering - Processes and Techniques*, England, John Wiley & Sons Ltd., 2004, pp. 1-136.
- [42] I. Sommerville e P. Sawyer, "Requirements Analysis and Negotiation," em *Requirements Engineering - A Good Practice Guide*, England, John Wiley & Sons Ltd., 2006, pp. 111-140.
- [43] I. Sommerville e P. Sawyer, "Requirements Elicitation," em *Requirements Engineering - A Good Practice Guide*, England, John Wiley & Sons Ltd., 2006, pp. 63-110.
- [44] Microsoft, "Securing ASP.NET Web Sites," 2016. [Online]. Available: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/91f66yxt\(v=vs.100\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/91f66yxt(v=vs.100).aspx). [Acedido em 18 Abril 2016].
- [45] Wikipédia, "C++," 2015. [Online]. Available: <https://pt.wikipedia.org/wiki/C%2B%2B>. [Acedido em 12 Agosto 2015].
- [46] Microsoft, "Getting Started with the .NET Framework," 2015. [Online]. Available: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/vstudio/hh425099.aspx>. [Acedido em 13 Agosto 2015].
- [47] Microsoft, "Overview of the .NET Framework," 2015. [Online]. Available: <https://msdn.microsoft.com/en-us/library/zw4w595w%28v=vs.110%29.aspx>. [Acedido em 14 Agosto 2015].
- [48] Microsoft, "Learn About ASP.NET Web Pages," 2015. [Online]. Available: <http://www.asp.net/web-pages>. [Acedido em 14 Agosto 2015].
- [49] Microsoft, "Introducing ASP.NET Web Pages - Getting Started," 2015. [Online]. Available: <http://www.asp.net/web-pages/overview/getting-started/introducing-aspnet-web-pages-2/getting-started>. [Acedido em 13 Agosto 2015].
- [50] Microsoft, "Edições do SQL Server - Express Edition," 2015. [Online]. Available: <http://www.microsoft.com/pt-pt/server-cloud/products/sql-server-editions/sql-server-express.aspx>. [Acedido em 14 Agosto 2015].
- [51] W3C, "HTML5," 28 Outubro 2014. [Online]. Available: <http://www.w3.org/TR/html/>. [Acedido em 14 Agosto 2015].
- [52] Wikipédia, "Cascading Style Sheets," 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets. [Acedido em 14 Agosto 2015].
- [53] The jQuery Foundation, "jQuery API," 2015. [Online]. Available: <http://api.jquery.com/>. [Acedido em 14 Agosto 2015].
- [54] Microsoft, "Microsoft ASP.NET Identity 2.0," 2016. [Online]. Available: [https://msdn.microsoft.com/en-us/library/mt173608\(v=vs.108\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/mt173608(v=vs.108).aspx). [Acedido em 24 Abril 2016].
- [55] Bootstrap, "Bootstrap," 2016. [Online]. Available: <http://getbootstrap.com/>. [Acedido em 21 Abril 2016].
- [56] Google Developers, "Charts," 2013. [Online]. [Acedido em 20 Novembro 2013].

Referências

- [57] XDSOFT, "DateTimePicker," 2015. [Online]. Available: <http://xdsoft.net/jqplugins/datetimetypepicker/>. [Acedido em 25 Agosto 2015].
- [58] JQChart Inc., "Charts and Gauges for JQuery and ASP.NET," 2015. [Online]. Available: <http://www.jqchart.com/>. [Acedido em 25 Agosto 2015].
- [59] SAP, "SAP Crystal Reports, developer version for Microsoft Visual Studio," 2015. [Online]. Available: <http://www.sap.com/solution/sme/software/analytics/crystal-visual-studio/index.html>. [Acedido em 28 Agosto 2015].
- [60] OWASP, "OWASP Zed Attack Proxy Project," 2015. [Online]. Available: https://www.owasp.org/index.php/OWASP_Zed_Attack_Proxy_Project. [Acedido em 2 Setembro 2015].
- [61] Nielsen Norman Group, "Jakob Nielsen," 2015. [Online]. Available: <http://www.nngroup.com/people/jakob-nielsen/>. [Acedido em 30 Agosto 2015].
- [62] Oracle Corporation, "MySQL," 2016. [Online]. Available: <http://www.mysql.com/>. [Acedido em 19 Abril 2016].
- [63] K. J. Astrom e B. Wittenmark, *Computer-Controlled Systems Theory and Design*, Sweden: Prentice Hall, 1997.
- [64] The MathWorks, Inc., "System Identification Toolbox," 2015. [Online]. Available: <http://www.mathworks.com/products/sysid/>. [Acedido em 18 Agosto 2015].
- [65] K. L. Priddy e P. E. Keller, "Data Normalization," em *Artificial Neural Networks: An Introduction*, Bellingham, Washington, Spie Press, 2005, pp. 15-20.
- [66] A. M. Mota, *Identificação de Sistemas*, DETUA, 2000.
- [67] B. P. Lathi, *Sinais e Sistemas Lineares*, Porto Alegre: Bookman Companhia Ed, 2007.
- [68] J. L. Couto, "Controle de sistemas," 2004. [Online]. Available: <http://www.ebah.pt/content/ABAAABbeUAK/control-sistemas>. [Acedido em 28 Agosto 2015].
- [69] A. Mattedi, "Estabilidade de Sistemas de Controle Lineares," 2004. [Online]. Available: <http://www.ebah.pt/content/ABAAABj1sAI/control-i-estabilidade-sistemas>. [Acedido em 24 Agosto 2015].
- [70] Microsoft, "Vantagens de usar DLLs," 2016. [Online]. Available: <https://msdn.microsoft.com/pt-BR/library/dtba4t8b.aspx>. [Acedido em 04 Fevereiro 2016].

IX. ANEXOS

ANEXO I - PROTÓTIPOS DE BAIXA FIDELIDADE (PBF)

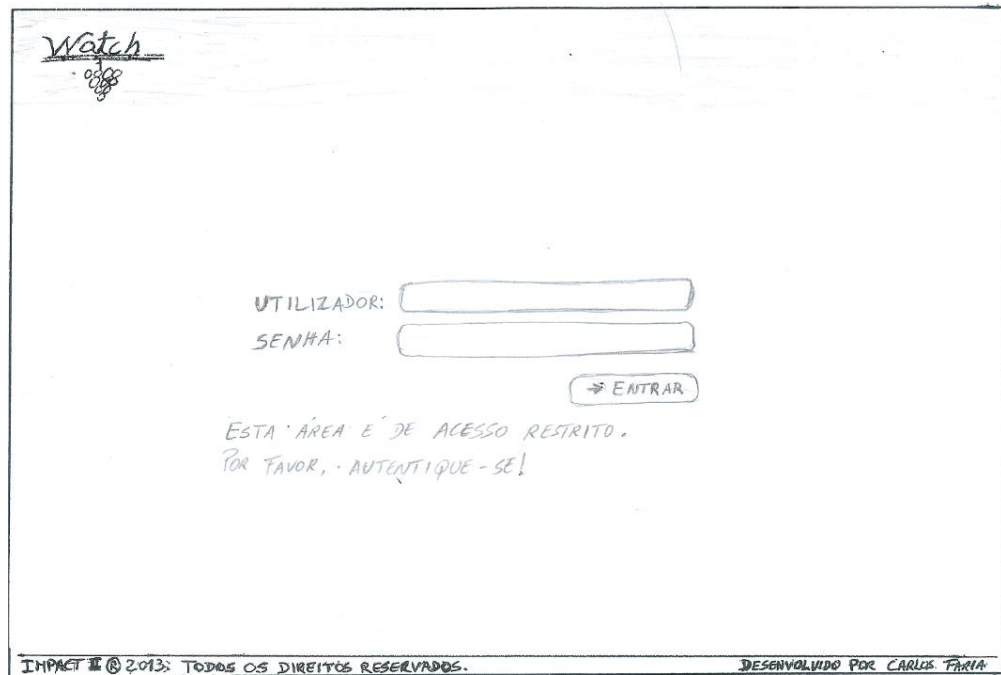


Figura 65 - Interface de Autenticação.

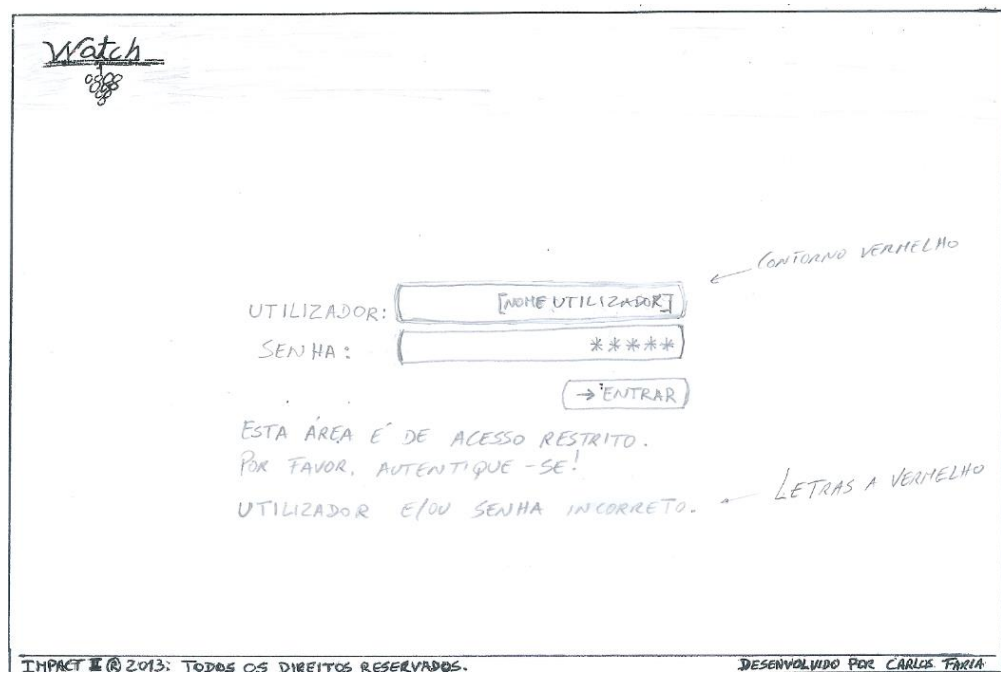


Figura 66 - Interface de Autenticação - Mensagem de erro.

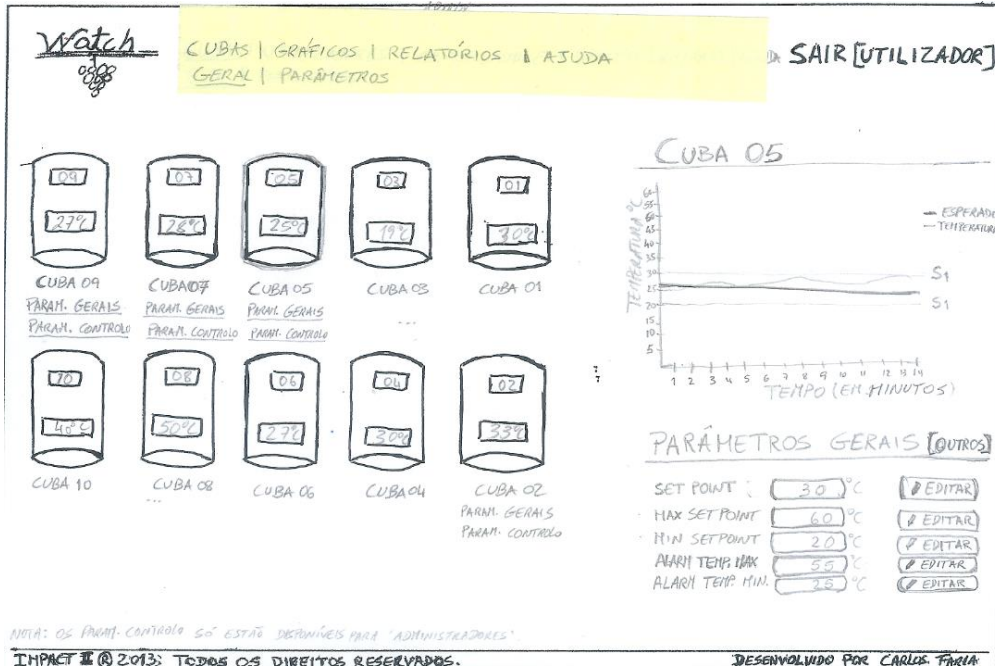


Figura 67 - Interface de Gestão de Cubas - Geral.

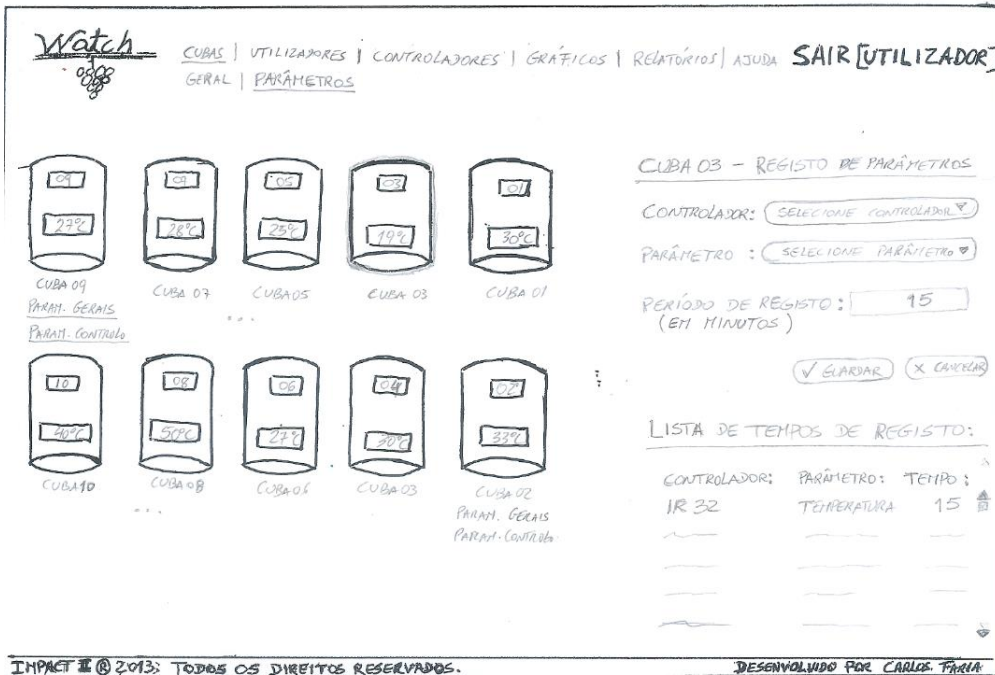


Figura 68 - Interface de Gestão de Cubas - Parâmetros.

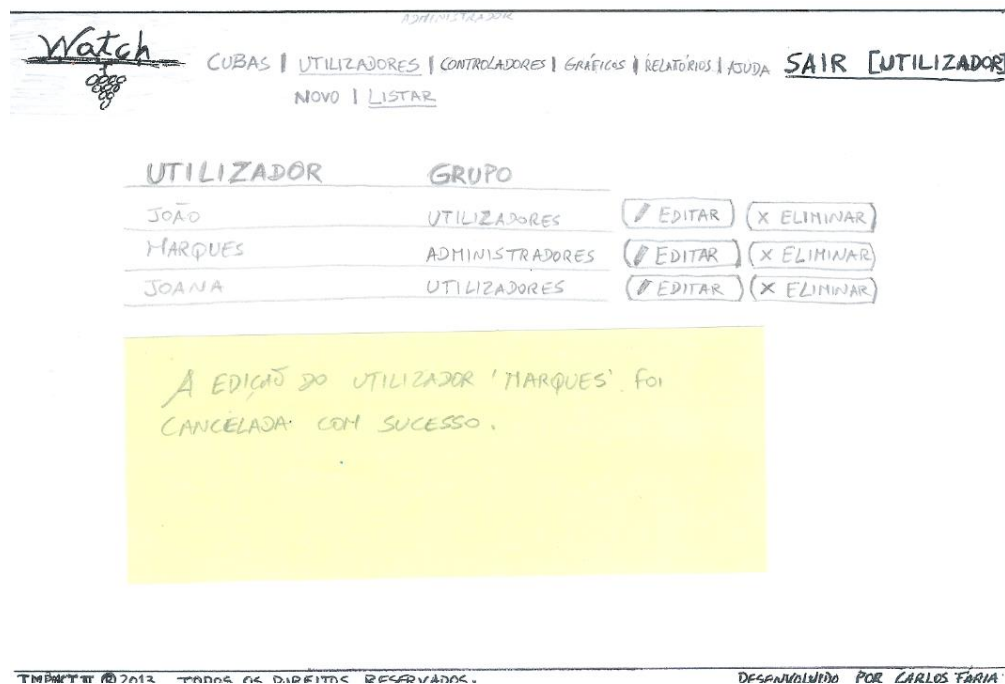


Figura 69 - Interface de Gestão de Utilizadores - Listar/Edição.

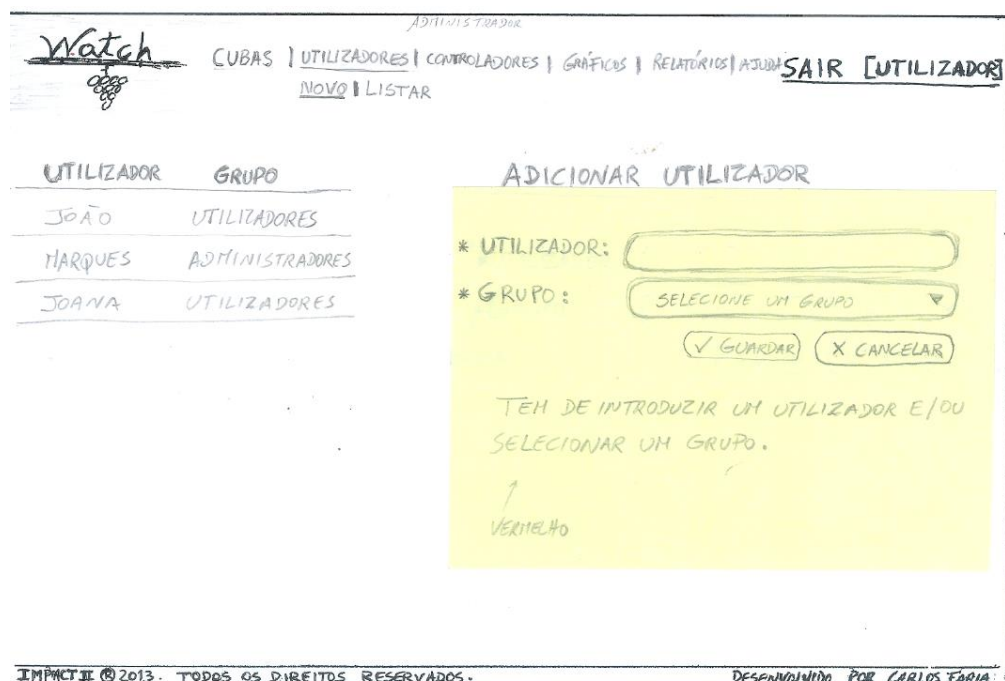


Figura 70 - Interface de Gestão de Utilizadores - Adicionar.

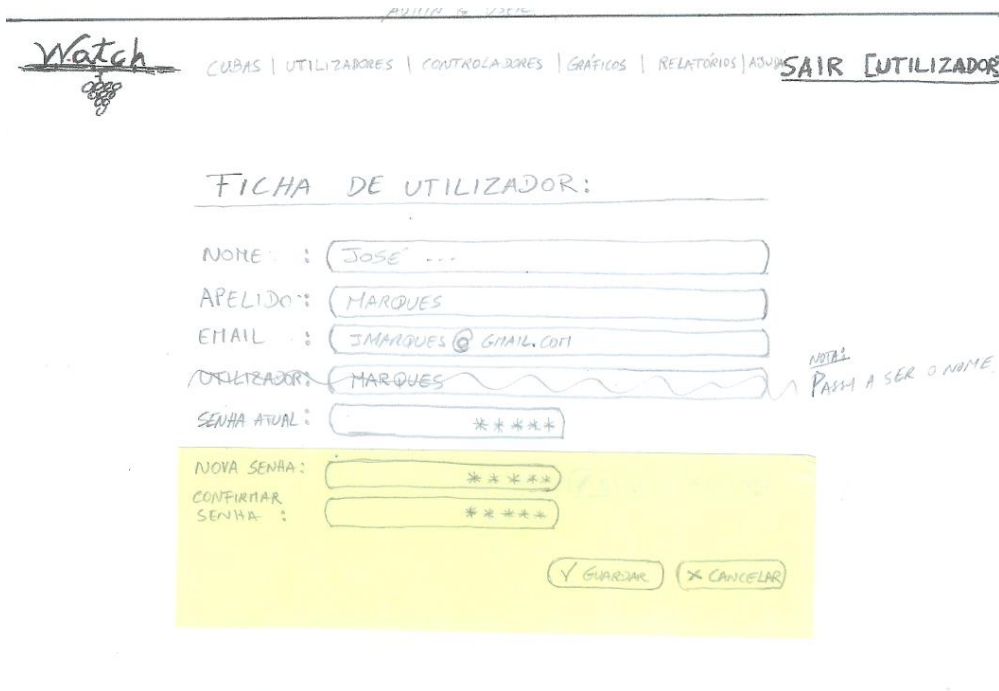


Figura 71 - Interface de Gestão de Utilizadores - Ficha de Utilizador.

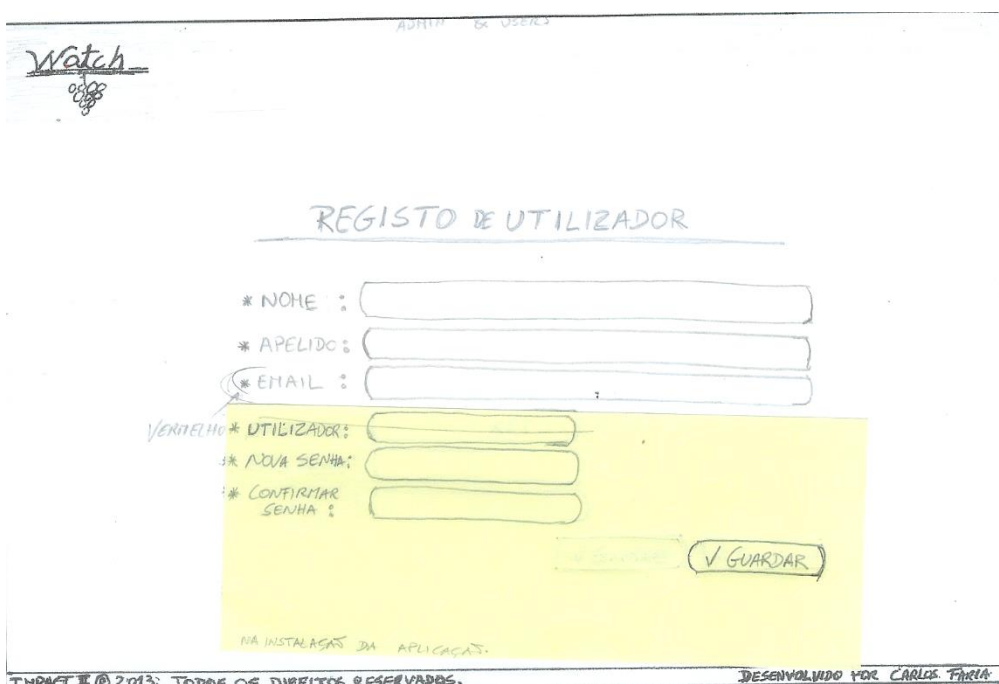


Figura 72 - Interface de Gestão de Utilizadores - Registo de Utilizador.

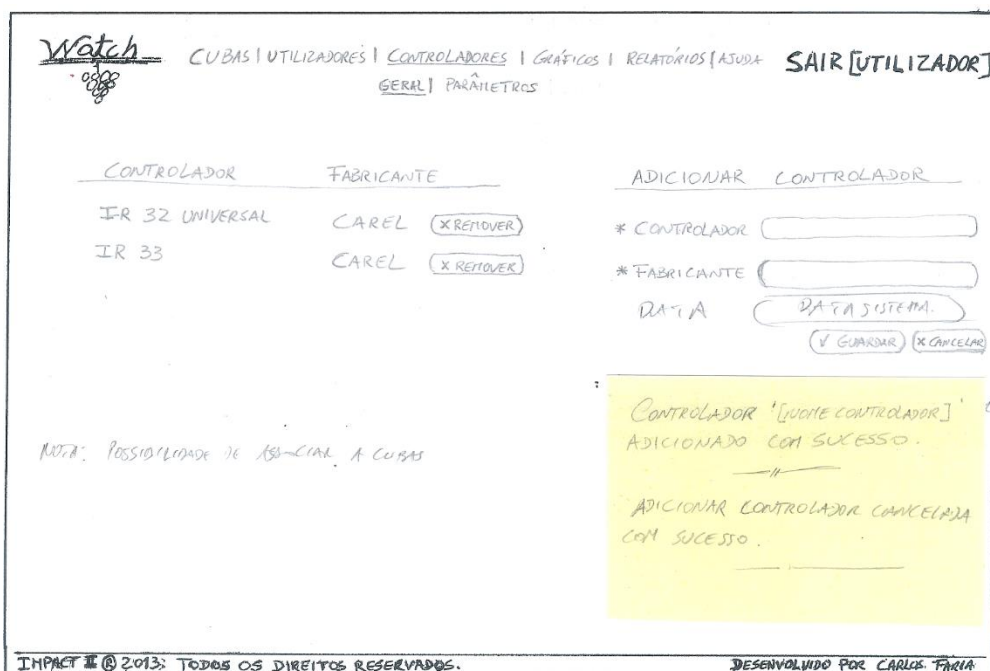


Figura 73 - Interface de Gestão de Controladores - Geral/Adicionar.

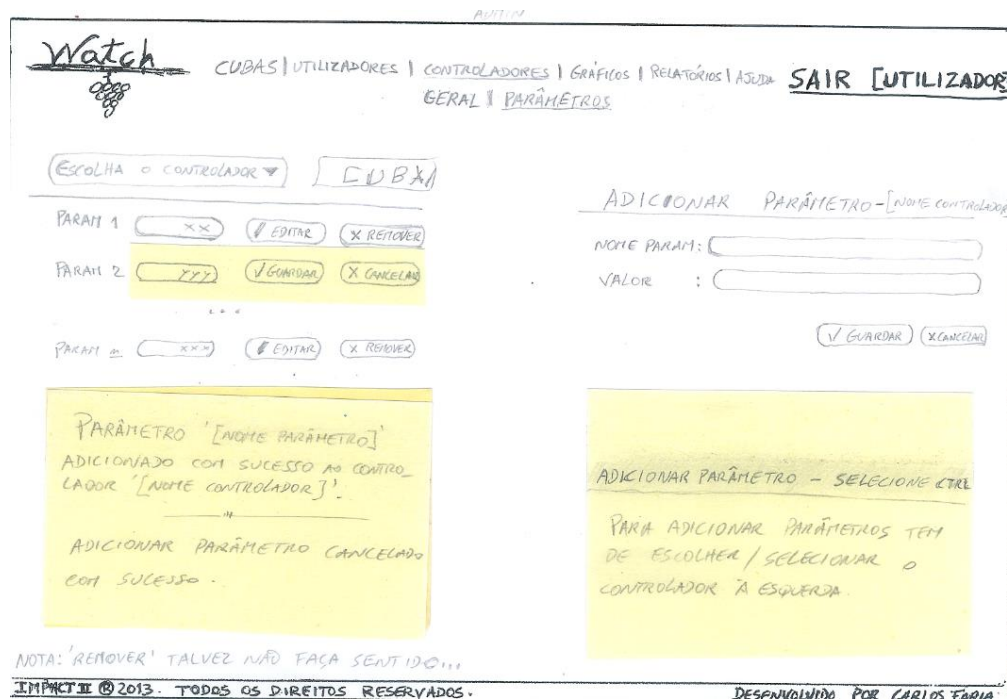


Figura 74 - Interface de Gestão de Controladores - Parâmetros.

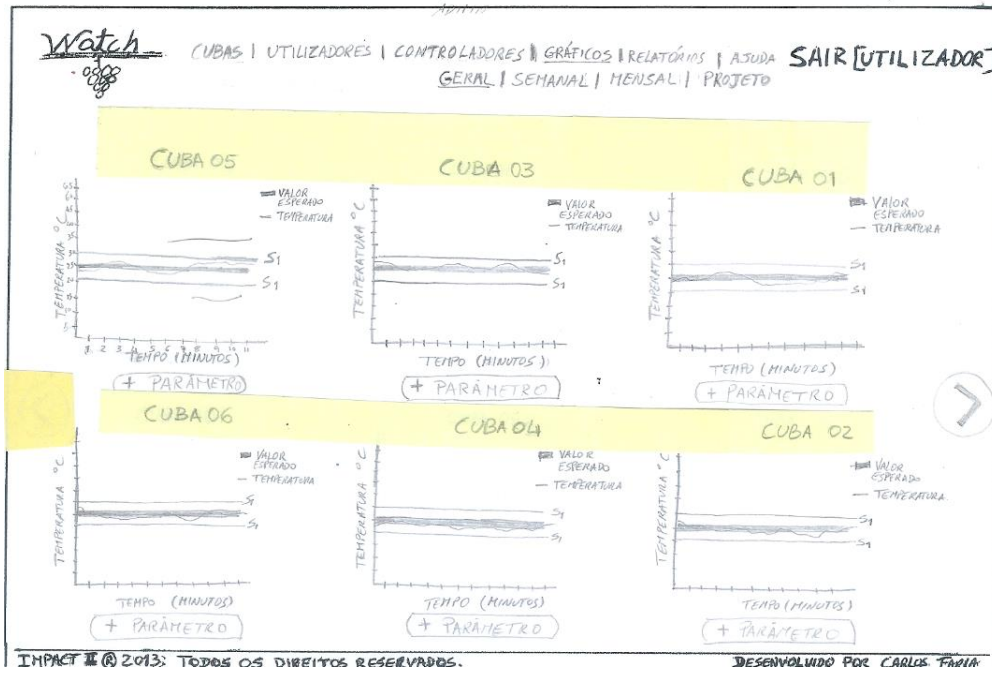


Figura 75 - Interface de Visualização de Gráficos - Geral.

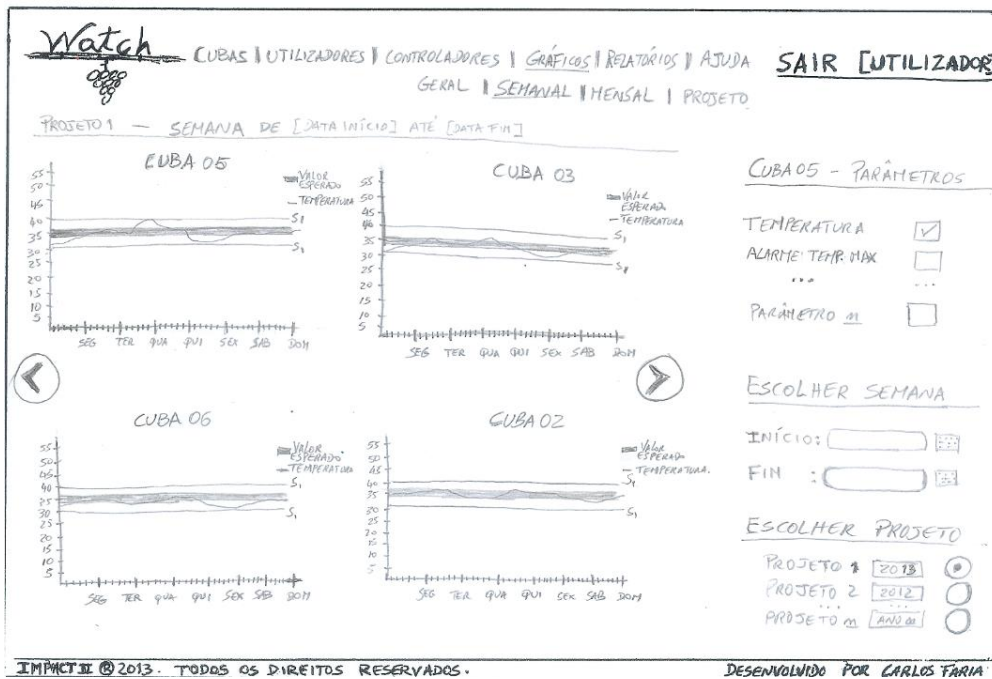


Figura 76 - Interface de Visualização de Gráficos - Semanal.

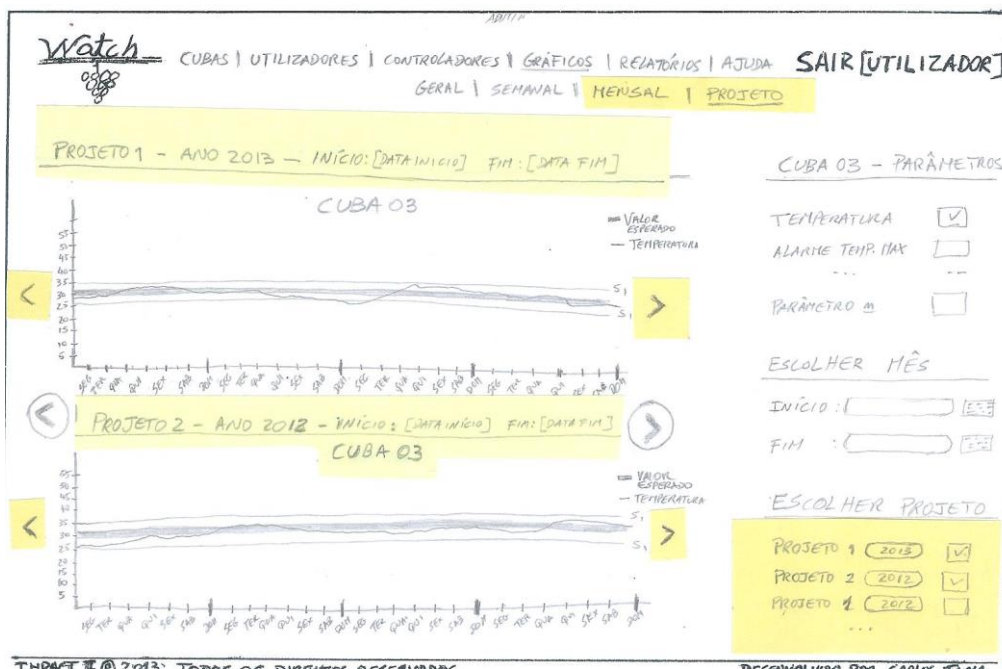


Figura 77 - Interface de Visualização de Gráficos - Projeto.

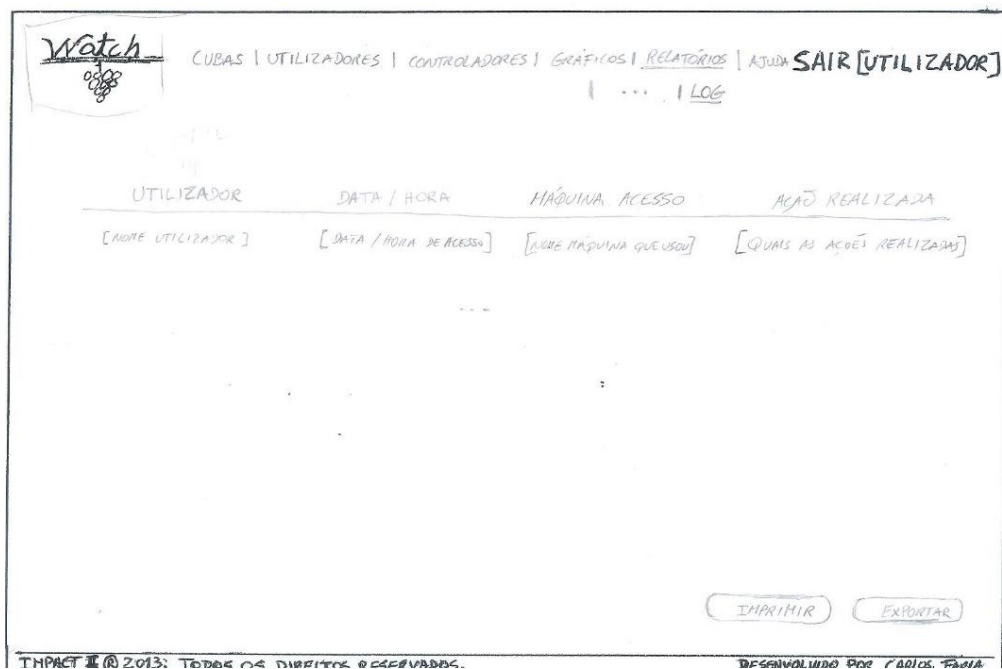


Figura 78 - Interface de Visualização de Relatórios.

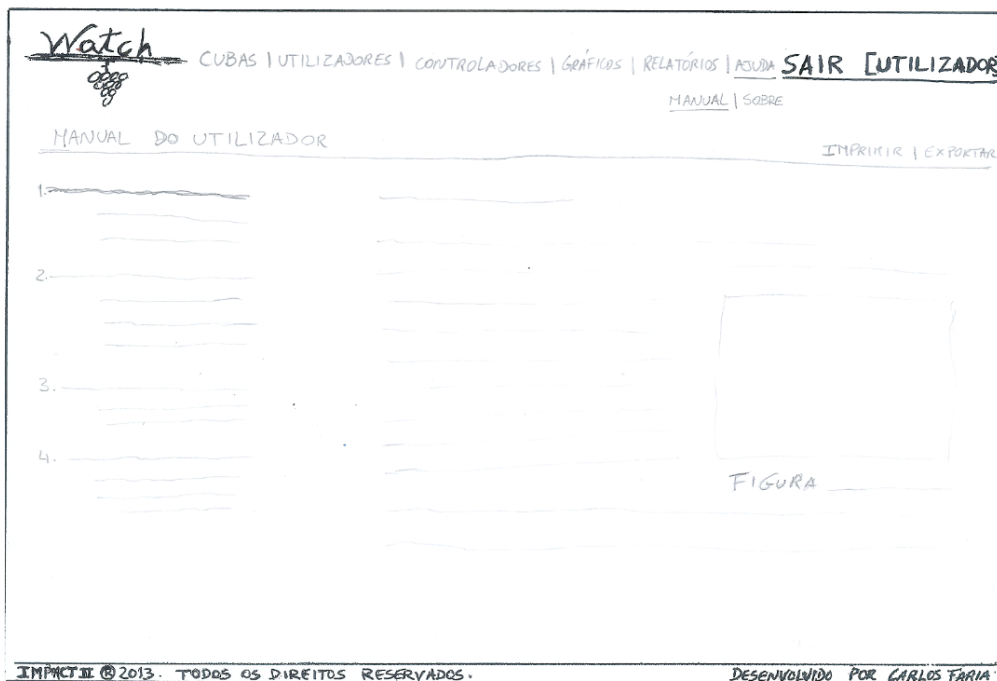


Figura 79 - Interface de Visualização de Ajuda - Manual.

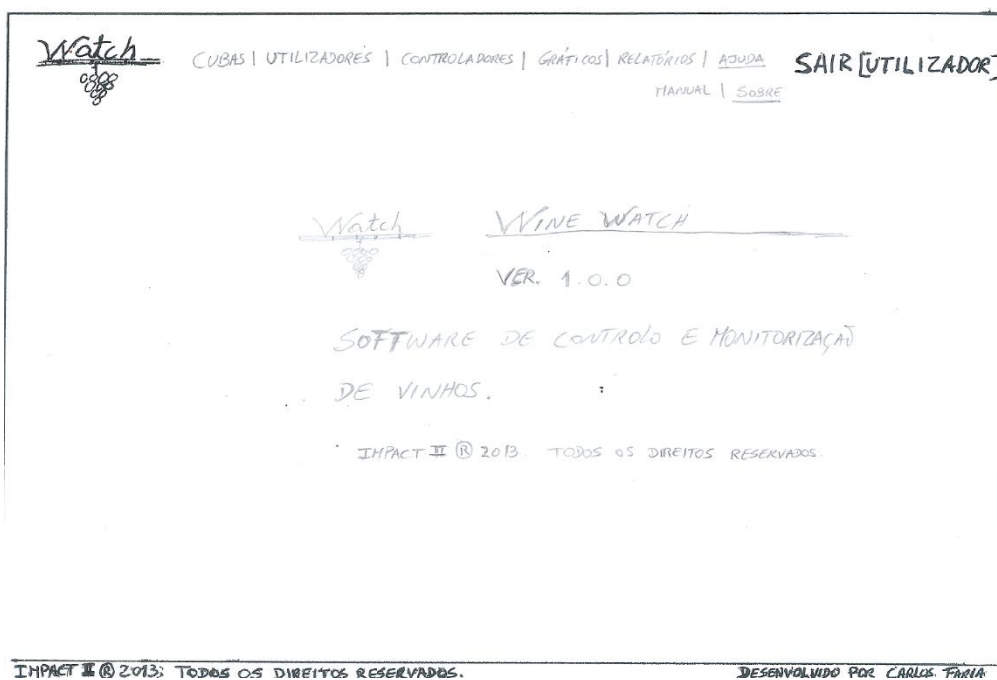


Figura 80 - Interface de Visualização de Ajuda - Sobre.

ANEXO II – ANÁLISE DE REQUISITOS & INTERFACE (TAREFAS)

Tarefas:

1. Iniciar a aplicação pela 1ª vez e adicionar um utilizador.
2. Alterar os dados do utilizador “Marques” e eliminar o utilizador “Joana”.
3. Definir o “*SetPoint*” para a cuba 05.
4. Ver os parâmetros de controlo para a cuba 05 (e se fosse para a cuba 08?).
5. Definir o intervalo de tempo de registo de temperatura para ser de 15 em 15 minutos.
6. Adicionar um controlador.
7. Adicionar parâmetros a um controlador.
8. Visualizar, graficamente, os parâmetros registados para todas as cubas.
9. Visualizar o gráfico da 1ª cuba (Cuba01).
10. Adicionar um parâmetro ao gráfico da Cuba 08.
11. Selecionar a semana que inicia a 01 de Janeiro de 2013 e termina a 07 de Janeiro de 2013 de modo a visualizar os gráficos com as temperaturas registadas.
12. Visualizar os gráficos para todas as cubas para o mês de fevereiro de 2013.
13. Visualizar os gráficos para todas as cubas comparando parâmetros das mesmas cubas em projetos/colheitas diferentes.
14. Visualizar o registo de acessos e alterações ao sistema (registo LOG).
15. Exportar, para PDF, o registo de acessos/alterações ao sistema.
16. Utilizar o manual de utilizador.
17. Ver a ficha de utilizador.
18. Sair do sistema.

ANEXO III – SUGESTÕES E FALHAS APÓS ANÁLISE DOS PBF

Interface	Problema	Sugestão
Autenticação	Nome do utilizador.	Substituir pelo Email
Autenticação	Local da apresentação da mensagem de erro.	Deverá ser apresentada num local mais visível.
Utilizadores→Listar	A edição fazer-se na lista apresentada.	Apresentar formulário de editar fora da lista.
Utilizadores→Listar	Falta de utilizador com permissões de convidado.	Acrescentar a permissão de convidado ao sistema.
Ficha de Utilizador	Não é necessário o nome de utilizador.	Retirar o nome de utilizador (substituído por email)
Controladores→Geral	Como associar às cubas?	Acrescentar uma funcionalidade de associar controladores a cubas.
Controladores→Parâmetros	Falta maneira de associar uma cuba.	Adicionar uma lista de cubas para associar aos controladores.
Gráficos→Geral	Existência de filtro predefinido.	Deve ser apresentado o registo de temperatura sem limitações.
Gráficos	Num conjunto enorme de dados dificuldade de ver o evoluir da temperatura.	Possibilitar o maximizar de uma área específica do gráfico.
Não definida	Falta um meio de registo de observações.	Comtemplar um sistema de notas.
Não definida	Falta de registo de informação sobre um projeto.	Incluir o registo de dados essenciais à identificação de um projeto.
Não definida	Inexistência de alertas para desvios de temperatura.	Sistema automático de alertas para desvios de temperatura.

ANEXO IV – PROTÓTIPOS DE ALTA FIDELIDADE (PAF)

MCVM

Use as suas credenciais para se autenticar.

Esta aplicação é de acesso restrito. Por favor, autentique-se!

Email:
carlosmaria@gmail.com

Senha:

IMPACT | © 2015 - Todos os direitos reservados. Desenvolvido por Carlos Maria

Figura 81 – Interface de Autenticação.

MCVM

Projetos ▾ Cubos ▾ Castas ▾ Gráficos ▾ Notas ▾ Contas ▾ Dispositivos ▾ Relatórios ▾ Ajuda ▾

Sair | carlosmaria@gmail.com | Registrar

Lista Projeto

Projeto 1	<input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Eliminar"/>
Projeto 2	<input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Eliminar"/>
Projeto 3	<input type="button" value="Editar"/>	<input type="button" value="Eliminar"/>

Adicionar Projeto

O Projeto "Projeto 3" foi adicionado com sucesso.

Novo Projeto? Adicione aqui:

IMPACT | © 2015 - Todos os direitos reservados. Desenvolvido por Carlos Maria

Figura 82 – Interface de Gestão de Projetos – Adicionar Projeto.

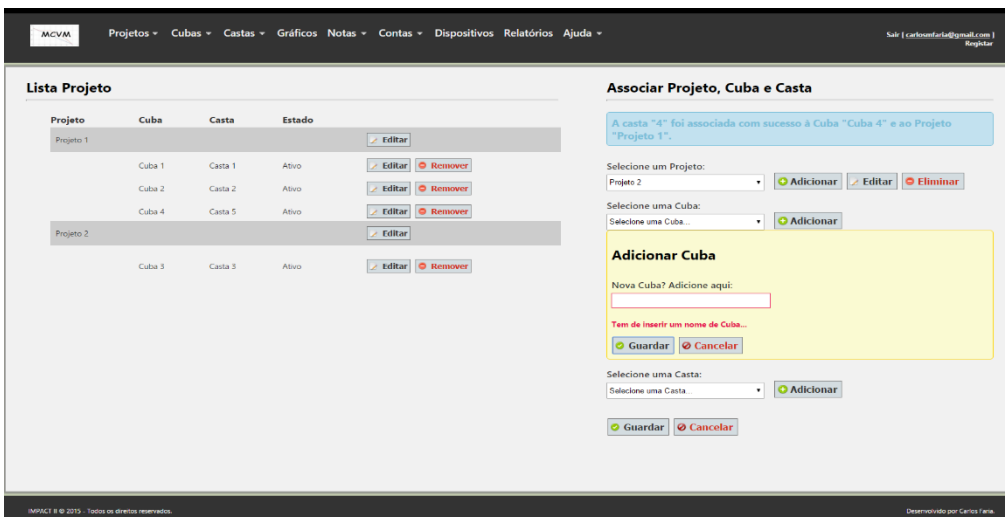


Figura 83 – Interface de Gestão de Projetos – Associar.

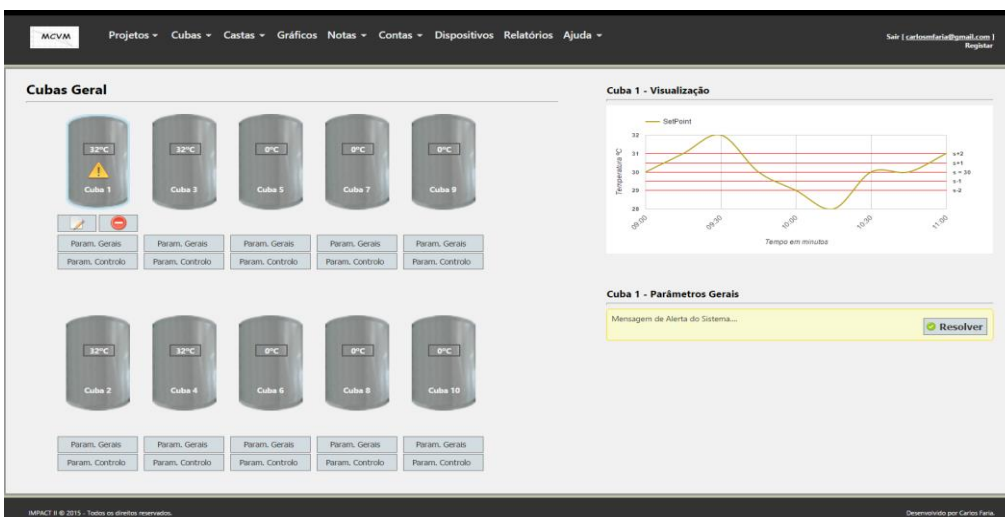


Figura 84 – Interface de Gestão de Cubas - Geral.

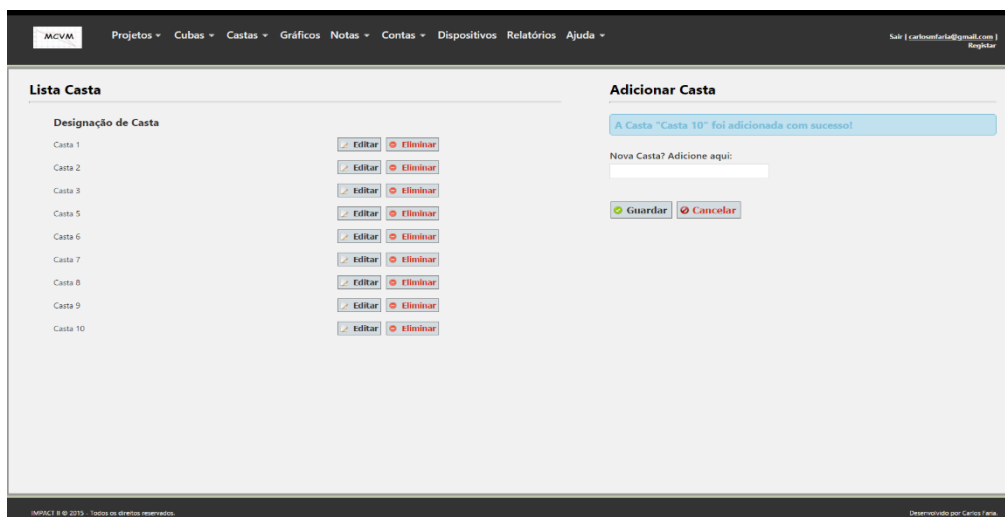


Figura 85 – Interface de Gestão de Castas.

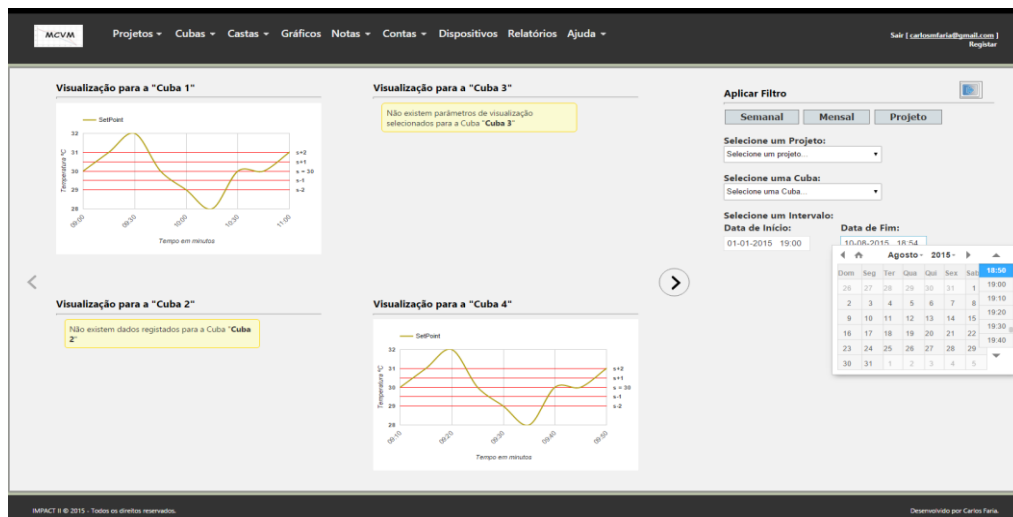


Figura 86 – Interface de Visualização de Gráficos.

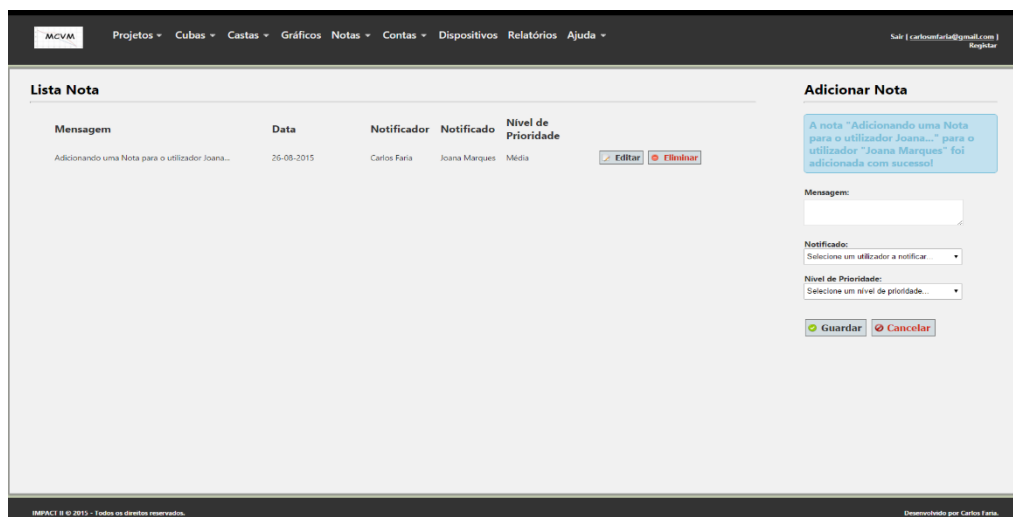


Figura 87 – Interface de Gestão de Notas.

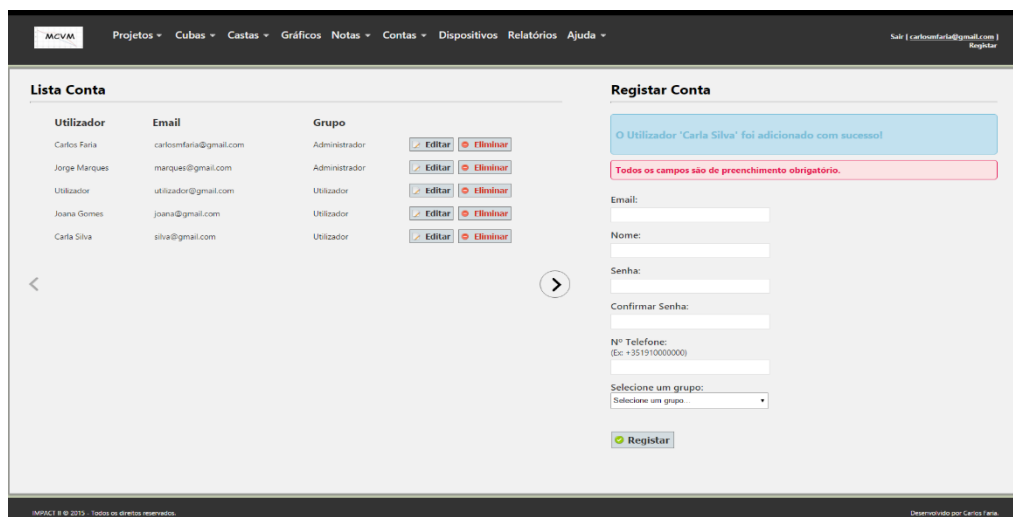


Figura 88 – Interface de Gestão de Contas.

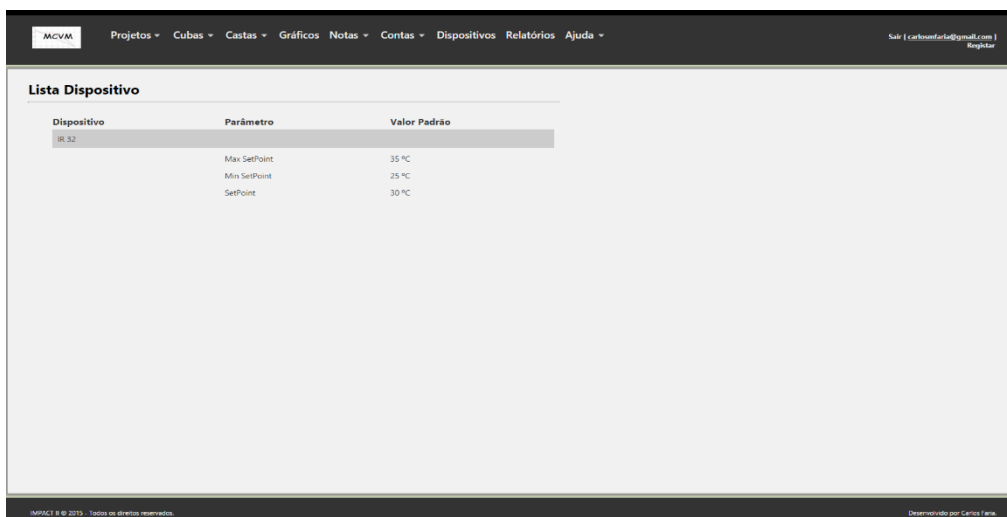


Figura 89 - Interface de Gestão de Dispositivos.

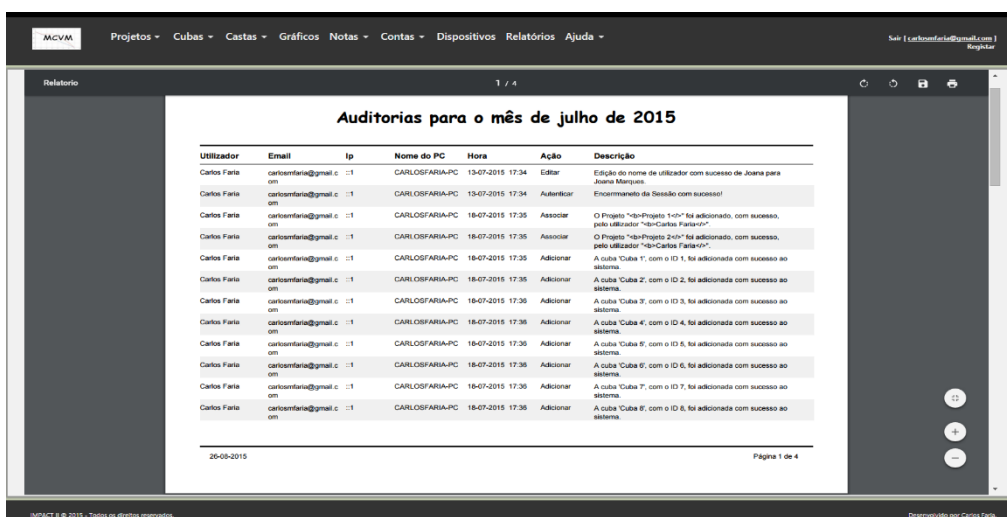


Figura 90 - Interface de Visualização de Relatórios.

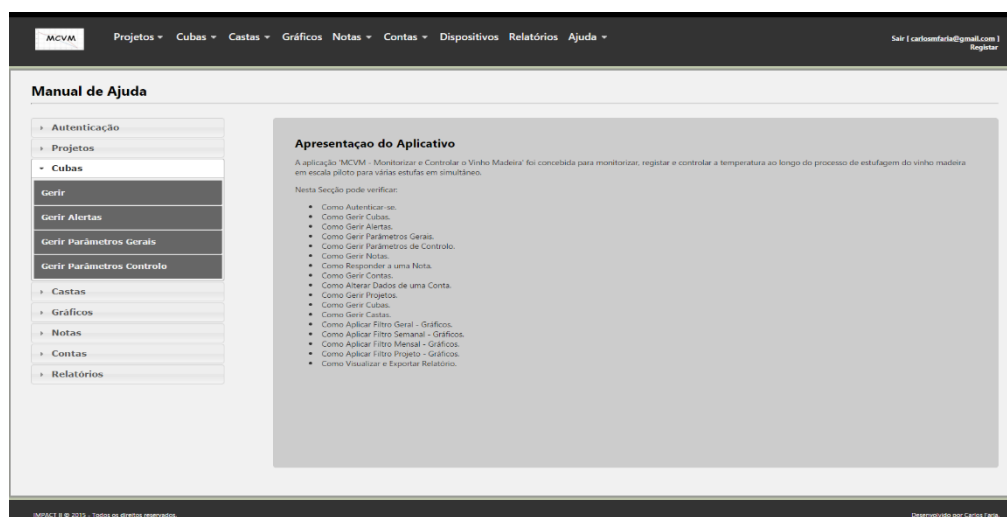
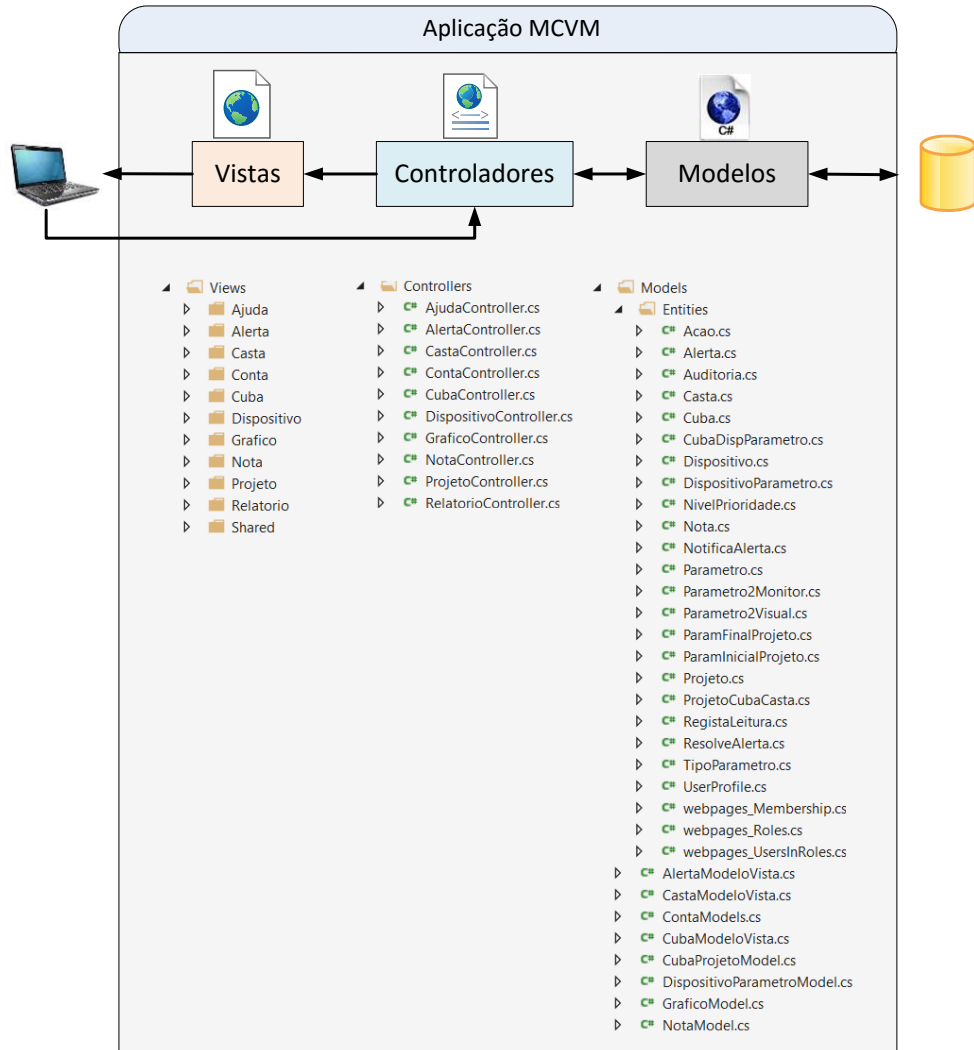
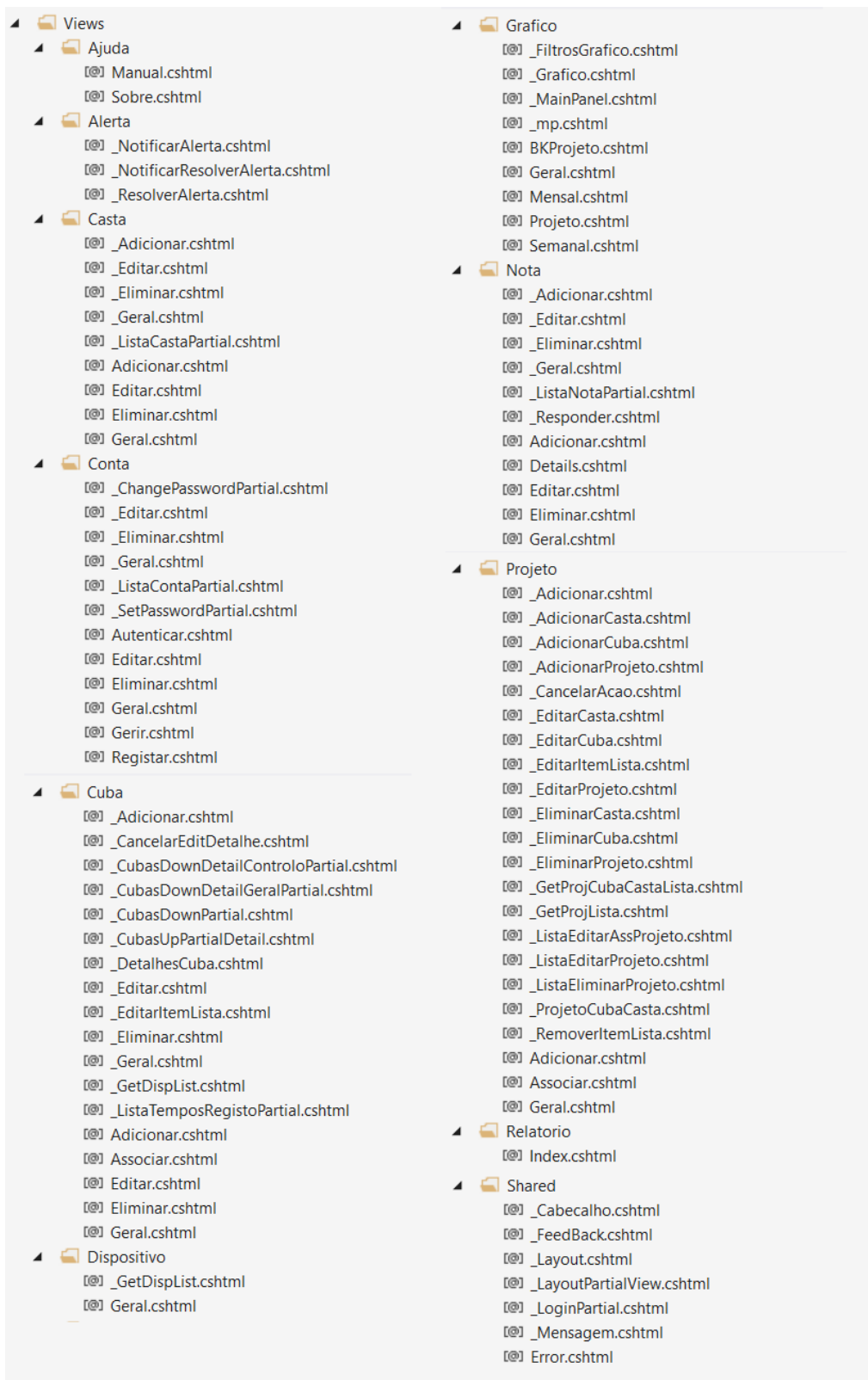


Figura 91 - Interface de Visualização da Ajuda.

ANEXO V – COMPOSIÇÃO ARQUITETURAL DO SISTEMA DE MONITORIZAÇÃO





ANEXO VI – AVALIAÇÃO DA APLICAÇÃO (TAREFAS)

Tarefa(T)

1. Iniciar a aplicação pela 1ª vez (**Email:** admin@mcvm.pt; **Senha:** admin).
2. Registrar-se no sistema como administrador.
3. Adicionar os seguintes utilizadores:

#	Email	Nome	Senha	Grupo
1	marques@gmail.com	Marques	Marques2020	Utilizador
2	joana@gmail.com	Joana	Joana2020	Administrador

4. Alterar os dados do utilizador “Joana” de acordo com a Tabela seguinte.

#	Nome	Grupo
2	Joana Gomes	Utilizador

5. Eliminar o utilizador “Marques”.

6. Adicionar:

#	Projeto	Cuba	Casta
1	Projeto 1	Cuba 1	Casta 1
2	Projeto 2	Cuba 2	Casta 2
3		Cuba 3	Casta 3
4		Cuba 4	Casta 4
5		Cuba 5	Casta 5

7. Associar Castas às Cubas e estas aos Projetos:

#	Projeto	Cuba	Casta
1	Projeto 1	Cuba 1	Casta 1
2	Projeto 1	Cuba 2	Casta 2
3	Projeto 1	Cuba 3	Casta 3
4	Projeto 2	Cuba 4	Casta 4
5	Projeto 2	Cuba 5	Casta 5

8. Definir o “SetPoint” das cubas 01 e 03 para 32°C.
9. Visualizar os parâmetros de controlo da Cuba 02.
10. Visualizar os parâmetros gerais da Cuba 04.
11. Visualizar o gráfico de temperatura registada para todas as cubas.
12. Visualizar o gráfico de temperatura só para a 1ª cuba (cuba01) entre 20-08-2014 00:00 e 30-11-2014 00:00.
13. Fazer *Zoom* na área do Gráfico sobre as 09:00.
14. Visualizar os gráficos para todas as cubas para o mês de Junho de 2014.
15. Visualizar os gráficos das Cubas associadas ao Projeto 1.
16. Visualizar o registo de acessos e alterações ao sistema (registo LOG).
17. Deixar a seguinte “Nota”:

#	Mensagem	Notificado	Prioridade
1	Mensagem de Teste de Notas...	Joana	Média

18. Autenticar-se com as credenciais do utilizador “Joana” e responder à “Nota”.

#	Mensagem	Prioridade
1	Resposta à Mensagem de Teste...	Alta

19. Utilizar o manual de utilizador e executar uma tarefa à escolha.
20. Sair do sistema.

Heurística (H)

1. Visibilidade do estado do sistema.
2. Equivalência entre o sistema e o mundo real.
3. Liberdade e controle do utilizador.
4. Consistência e padrões.
5. Prevenção de erros.
6. Reconhecimento ao invés de lembrança.
7. Flexibilidade e eficiência de uso.
8. Estética e desenho minimalista.
9. Auxílio aos utilizadores a reconhecer, diagnosticar e recuperar-se de erros.
10. Ajuda e documentação.

Níveis de gravidade (NG)

1. Não é encarado necessariamente como problema de usabilidade.
2. Problema estético. Não necessita ser corrigido a não ser que haja tempo disponível.
3. Problema menor de usabilidade. Baixa prioridade para a sua correção.
4. Problema maior de usabilidade. Alta prioridade para a sua correção.
5. Problema grave de usabilidade. Imperativo corrigir o mais rápido possível.

ANEXO VII – RESULTADOS DOS TESTES DE AVALIAÇÃO HEURÍSTICA

#	Problema Identificado	T	Heurística	NG	Solução
1	Ao selecionar um “Grupo” já devia estar selecionado a permissão de “Administrador”.	1	H5, H9	1	Predefinir a opção “Administrador” como sendo a opção selecionada na lista de permissões apresentada.
2	Mensagem de erro em “background”.	2	H1, H5, H8	3	Limpar variáveis após ter sido apresentada a mensagem.
3	Menu “Associar” pouco identificativo.	5	H8	3	Alterar o nome para “Associar Cubas e Castas”.
4	O submenu “Geral” em todos os menus é redundante e vago.	5	H6, H7, H8	3	Alterar para “Ver Lista” ou “Listar”.
5	Menu com dois submenus (Geral Adicionar).	5	H7, H8	2	Apresentar logo a lista com o adicionar à direita eliminando os dois submenus.
6	Ao “Editar Projeto” retorna lista errada à esquerda.	5	H5	4	Retornar a lista de “Projeto, Cuba e Casta” no evento “OnSuccess”.
7	Falta de informação sobre qual é a temperatura apresentada na parte superior de cada estufa.	6	H1, H2, H10	3	Colocar uma <i>label</i> .

#	Problema Identificado	T	Heurística	NG	Solução
8	Título das estufas redundante.	6	H8	3	Retirar um dos títulos.
9	Título dos parâmetros (Detalhes Geral/Controlo) não perceptível.	7 8	H4, H8	2	Colocar ":" nos itens e retirar do título.
10	Não apresenta todos os gráficos quando utiliza a paginação.	10	H1, H2, H4, H5	5	Chamar o <i>plugin</i> do <i>Google Charts</i> nas vistas parciais.
11	Falta de ajuda, próximo do gráfico, em como realizar e retirar o <i>zoom</i> .	12	H1, H6, H10	3	Colocar informação junto aos gráficos.
12	Área de trabalho com <i>scroll</i> .	15	H4, H8	3	Ajustar a altura da área de trabalho para corresponder à altura disponível no ecrã.
13	Falta de filtros no relatório de auditorias.	15	H7	2	Disponibilizar alguns filtros como, por exemplo, por data e por ação.
14	<i>Label</i> inadequado.	16	H4, H6, H8	3	Alterar o <i>label</i> para "Notificado".
15	Reencaminhamento cíclico para responder a uma nota.	17	H3, H4, H5	4	Após responder uma nota cancelar o reencaminhamento para responder essa nota.
16	Falta da imagem "definir" no texto da ajuda.	18	H4, H8, H10	3	Adicionar ou importar as imagens em falta.

ANEXO VIII – RESULTADOS DOS TESTES DE AVALIAÇÃO DOS UTILIZADORES

#	Problema Identificado	T	NG	Solução
1	Indicativo do País pouco visível.	2	2	Adicionar o indicativo do País automaticamente ao número de telefone.
2	Contornos dos campos com erro pouco visível.	3	2	Realçar mais os campos assinalados com erro de inserção de dados.
3	Confusão ao inserir uma estufa e muda de <i>interface</i> .	5	3	Indicar e seleccionar mais claramente a ação anterior do utilizador.
4	Mensagem de <i>feedback</i> errada em Projetos→Associar	6	3	Alterar o teor da mensagem para corresponder ao estado do sistema.
5	Ordenação da lista de estufas pelo código.	6	3	Alterar a ordenação para corresponder ao nome da estufa.
6	Na lista remover associação é apresentado os códigos em vez da designação da estufa.	6	2	Substituir a apresentação dos códigos pelos nomes das estufas.
7	Confusão da temperatura atual com o <i>setpoint</i> .	7	3	Apresentar uma <i>label</i> designativa do valor.
8	Botão de mostrar filtros pouco visível.	11	4	Colocar uma <i>label</i> de modo a tornar o botão mais perceptível.
9	Falta ajuda de como ampliar uma área do gráfico.	12	3	Colocar uma <i>label</i> informativa de como ampliar uma área do gráfico.
10	Erro ao seleccionar data.	13	2	Atualizar sempre a data com o valor seleccionado isoladamente da hora.

ANEXO IX – SINAIS DE ENTRADA

#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal
1	0,0815	48	0,1293	95	0,3736	142	0,3110	189	0,4681	236	0,0117	283	0,1000
2	0,0906	49	0,1419	96	0,0520	143	0,1755	190	0,0487	237	0,0297	284	0,0960
3	0,0127	50	0,1509	97	0,2275	144	0,2566	191	0,5576	238	0,0319	285	0,1809
4	0,0913	51	0,0552	98	0,1878	145	0,2009	192	0,4654	239	0,0424	286	0,1220
5	0,0632	52	0,1359	99	0,0048	146	0,0380	193	0,2921	240	0,0508	287	0,1235
6	0,0098	53	0,1310	100	0,1348	147	0,1200	194	0,2615	241	0,0257	288	0,1719
7	0,0278	54	0,0325	101	0,0649	148	0,0617	195	0,2681	242	0,0787	289	0,1611
8	0,0547	55	0,0238	102	0,3177	149	0,0920	196	0,1838	243	0,2403	290	0,1153
9	0,0958	56	0,0997	103	0,1245	150	0,1200	197	0,3051	244	0,0088	291	0,0366
10	0,0965	57	0,1919	104	0,2114	151	0,0000	198	0,3065	245	0,2787	292	0,0480
11	0,0158	58	0,0681	105	0,0663	152	0,0000	199	0,4906	246	0,2191	293	0,1773
12	0,0971	59	0,1171	106	0,2408	153	0,0000	200	0,4769	247	0,1466	294	0,0057
13	0,0957	60	0,0448	107	0,1052	154	0,0000	201	0,3866	248	0,1736	295	0,0980
14	0,0485	61	0,2254	108	0,2616	155	0,0000	202	0,2272	249	0,0712	296	0,0336
15	0,0800	62	0,0765	109	0,2757	156	0,0000	203	0,4869	250	0,1377	297	0,1957
16	0,0142	63	0,1518	110	0,2993	157	0,0000	204	0,3197	251	0,2889	298	0,1425
17	0,0422	64	0,2097	111	0,1802	158	0,0000	205	0,2104	252	0,1640	299	0,1001
18	0,0916	65	0,2673	112	0,0335	159	0,0000	206	0,5634	253	0,1563	300	0,0942
19	0,0792	66	0,2878	113	0,0916	160	0,0000	207	0,5256	254	0,0695	301	0,0000
20	0,0959	67	0,1642	114	0,3653	161	0,0000	208	0,3301	255	0,1467	302	0,0000
21	0,0656	68	0,0416	115	0,0610	162	0,0000	209	0,3735	256	0,1872	303	0,0000
22	0,0036	69	0,0448	116	0,3303	163	0,0000	210	0,3522	257	0,2037	304	0,0000
23	0,0849	70	0,0773	117	0,2153	164	0,0000	211	0,0208	258	0,1187	305	0,0000
24	0,0934	71	0,2522	118	0,3985	165	0,0000	212	0,0301	259	0,1102	306	0,0000
25	0,0679	72	0,0763	119	0,0313	166	0,0000	213	0,0471	260	0,2964	307	0,0000
26	0,0758	73	0,2443	120	0,1771	167	0,0000	214	0,0230	261	0,0113	308	0,0000
27	0,0743	74	0,0731	121	0,0533	168	0,0000	215	0,0844	262	0,2656	309	0,0000
28	0,0392	75	0,2788	122	0,4809	169	0,0000	216	0,0195	263	0,2740	310	0,0000
29	0,0655	76	0,1050	123	0,0023	170	0,0000	217	0,0226	264	0,2389	311	0,0000
30	0,0171	77	0,0590	124	0,3875	171	0,0000	218	0,0171	265	0,0296	312	0,0000
31	0,1412	78	0,0753	125	0,4087	172	0,0000	219	0,0228	266	0,0786	313	0,0000
32	0,0064	79	0,1848	126	0,4343	173	0,0000	220	0,0436	267	0,1006	314	0,0000
33	0,0554	80	0,1420	127	0,0422	174	0,0000	221	0,0311	268	0,2039	315	0,0000
34	0,0092	81	0,1055	128	0,1999	175	0,0000	222	0,0923	269	0,0410	316	0,0000
35	0,0194	82	0,2492	129	0,1299	176	0,0000	223	0,0430	270	0,2164	317	0,0000
36	0,1647	83	0,1756	130	0,4000	177	0,0000	224	0,0185	271	0,0214	318	0,0000
37	0,1390	84	0,1649	131	0,2157	178	0,0000	225	0,0905	272	0,1308	319	0,0000
38	0,0634	85	0,2752	132	0,4553	179	0,0000	226	0,0980	273	0,0988	320	0,0000
39	0,1900	86	0,0858	133	0,0909	180	0,0000	227	0,0439	274	0,1558	321	0,0000
40	0,0069	87	0,2272	134	0,1319	181	0,3282	228	0,0111	275	0,1430	322	0,0000
41	0,0877	88	0,2261	135	0,0728	182	0,1778	229	0,0258	276	0,1807	323	0,0000
42	0,0763	89	0,1141	136	0,0680	183	0,4468	230	0,0409	277	0,1782	324	0,0000
43	0,1531	90	0,1703	137	0,4346	184	0,1134	231	0,0595	278	0,0668	325	0,0000
44	0,1590	91	0,0303	138	0,2899	185	0,4121	232	0,0262	279	0,1397	326	0,0000
45	0,0374	92	0,0216	139	0,2749	186	0,1101	233	0,0603	280	0,0396	327	0,0000
46	0,0980	93	0,2123	140	0,0725	187	0,2211	234	0,0711	281	0,0061	328	0,0000
47	0,0891	94	0,3117	141	0,4265	188	0,3754	235	0,0222	282	0,1488	329	0,0000

#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal
330	0,0000	377	0,0590	424	0,1332	471	0,1614	518	0,0741	565	0,1538	612	0,2970
331	0,1168	378	0,0226	425	0,0768	472	0,4593	519	0,0768	566	0,0794	613	0,1583
332	0,1727	379	0,0385	426	0,1405	473	0,1132	520	0,0445	567	0,1617	614	0,1439
333	0,0062	380	0,0583	427	0,2200	474	0,1725	521	0,2832	568	0,1510	615	0,2404
334	0,3936	381	0,0252	428	0,2636	475	0,0547	522	0,3139	569	0,0755	616	0,0684
335	0,0669	382	0,0290	429	0,2287	476	0,3457	523	0,2561	570	0,0432	617	0,1494
336	0,0425	383	0,0617	430	0,4377	477	0,4100	524	0,5345	571	0,1581	618	0,2703
337	0,1490	384	0,0265	431	0,2590	478	0,3280	525	0,4395	572	0,1899	619	0,1724
338	0,0792	385	0,0824	432	0,4718	479	0,2554	526	0,5404	573	0,0655	620	0,2536
339	0,1959	386	0,0983	433	0,3189	480	0,3867	527	0,6530	574	0,1343	621	0,3693
340	0,1358	387	0,0730	434	0,4788	481	0,0648	528	0,6809	575	0,0877	622	0,2930
341	0,3807	388	0,0344	435	0,1204	482	0,0679	529	0,1344	576	0,1667	623	0,1234
342	0,3681	389	0,0584	436	0,3381	483	0,0636	530	0,0972	577	0,1538	624	0,3332
343	0,0211	390	0,0108	437	0,1445	484	0,0945	531	0,2785	578	0,0335	625	0,0417
344	0,2951	391	0,2719	438	0,3359	485	0,0209	532	0,0375	579	0,1724	626	0,3130
345	0,1076	392	0,2639	439	0,3476	486	0,0709	533	0,2102	580	0,1980	627	0,3305
346	0,1691	393	0,2453	440	0,0340	487	0,0236	534	0,2121	581	0,1029	628	0,3649
347	0,2191	394	0,0782	441	0,1274	488	0,0119	535	0,3445	582	0,1769	629	0,4454
348	0,3771	395	0,1783	442	0,1120	489	0,0607	536	0,1939	583	0,1176	630	0,4912
349	0,1671	396	0,0068	443	0,3339	490	0,0450	537	0,1574	584	0,0310	631	0,3845
350	0,3932	397	0,1276	444	0,4222	491	0,0459	538	0,2686	585	0,0400	632	0,2907
351	0,1206	398	0,0938	445	0,1722	492	0,0662	539	0,2965	586	0,0814	633	0,4642
352	0,2804	399	0,0484	446	0,3903	493	0,0770	540	0,2080	587	0,1497	634	0,2900
353	0,2665	400	0,0536	447	0,3377	494	0,0350	541	0,1391	588	0,1651	635	0,0085
354	0,2157	401	0,1269	448	0,0034	495	0,0662	542	0,0600	589	0,1580	636	0,0604
355	0,2792	402	0,0283	449	0,3011	496	0,0416	543	0,2344	590	0,0637	637	0,4314
356	0,2666	403	0,1796	450	0,1934	497	0,0842	544	0,1049	591	0,1602	638	0,2421
357	0,0713	404	0,1413	451	0,5496	498	0,0833	545	0,0178	592	0,0270	639	0,4224
358	0,0512	405	0,2088	452	0,0007	499	0,0256	546	0,3020	593	0,0335	640	0,1047
359	0,3996	406	0,2100	453	0,2775	500	0,0613	547	0,0971	594	0,0409	641	0,2761
360	0,0684	407	0,1916	454	0,2546	501	0,4076	548	0,1770	595	0,2036	642	0,3149
361	0,0033	408	0,0101	455	0,2765	502	0,3785	549	0,2751	596	0,1486	643	0,0160
362	0,0561	409	0,0206	456	0,4621	503	0,6090	550	0,1437	597	0,0569	644	0,3074
363	0,0882	410	0,0959	457	0,1935	504	0,1853	551	0,2945	598	0,1485	645	0,1812
364	0,0669	411	0,1593	458	0,4708	505	0,2227	552	0,1579	599	0,0443	646	0,0248
365	0,0190	412	0,1963	459	0,2828	506	0,0835	553	0,2734	600	0,0165	647	0,2448
366	0,0369	413	0,1223	460	0,0215	507	0,6579	554	0,2816	601	0,2552	648	0,0963
367	0,0461	414	0,2460	461	0,1055	508	0,4519	555	0,1769	602	0,1682	649	0,0615
368	0,0982	415	0,2155	462	0,4331	509	0,3356	556	0,0078	603	0,2789	650	0,1027
369	0,0156	416	0,2906	463	0,2841	510	0,4475	557	0,1323	604	0,2090	651	0,0000
370	0,0856	417	0,1594	464	0,0916	511	0,3813	558	0,1697	605	0,1748	652	0,0000
371	0,0645	418	0,0975	465	0,2047	512	0,4531	559	0,1081	606	0,2446	653	0,0000
372	0,0376	419	0,0317	466	0,3644	513	0,3807	560	0,0788	607	0,2637	654	0,0000
373	0,0191	420	0,1833	467	0,1150	514	0,5047	561	0,1643	608	0,2967	655	0,0000
374	0,0428	421	0,3894	468	0,4431	515	0,3657	562	0,0860	609	0,0002	656	0,0000
375	0,0482	422	0,2117	469	0,1457	516	0,6956	563	0,1776	610	0,2596	657	0,0000
376	0,0121	423	0,0454	470	0,5505	517	0,1531	564	0,0782	611	0,1838	658	0,0000

#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal
659	0,0000	706	0,0177	753	0,1991	800	0,2829	847	0,1390	894	0,0000	941	0,3037
660	0,0000	707	0,0663	754	0,0664	801	0,3419	848	0,1516	895	0,0000	942	0,2963
661	0,0000	708	0,0331	755	0,0595	802	0,0660	849	0,0865	896	0,0000	943	0,2975
662	0,0000	709	0,0898	756	0,0124	803	0,3614	850	0,1311	897	0,0000	944	0,0424
663	0,0000	710	0,0118	757	0,0596	804	0,0552	851	0,0220	898	0,0000	945	0,2726
664	0,0000	711	0,4942	758	0,0093	805	0,0587	852	0,1868	899	0,0000	946	0,1853
665	0,0000	712	0,2700	759	0,1011	806	0,3204	853	0,0375	900	0,0000	947	0,0849
666	0,0000	713	0,3535	760	0,1523	807	0,1644	854	0,0532	901	0,1976	948	0,0394
667	0,0000	714	0,4997	761	0,1262	808	0,3269	855	0,1596	902	0,0341	949	0,3294
668	0,0000	715	0,1439	762	0,0180	809	0,3746	856	0,0975	903	0,0516	950	0,0700
669	0,0000	716	0,2073	763	0,0162	810	0,2916	857	0,1538	904	0,0794	951	0,0654
670	0,0000	717	0,2324	764	0,1554	811	0,3700	858	0,0792	905	0,0148	952	0,2664
671	0,0000	718	0,3820	765	0,1810	812	0,1174	859	0,0546	906	0,1368	953	0,3578
672	0,0000	719	0,4091	766	0,1068	813	0,3675	860	0,0074	907	0,0805	954	0,2066
673	0,0000	720	0,0501	767	0,0218	814	0,4853	861	0,1347	908	0,1966	955	0,2811
674	0,0000	721	0,0891	768	0,1652	815	0,4335	862	0,0859	909	0,0804	956	0,0614
675	0,0000	722	0,1798	769	0,0676	816	0,0431	863	0,0903	910	0,1241	957	0,3814
676	0,0000	723	0,0284	770	0,0588	817	0,1832	864	0,1220	911	0,0309	958	0,2164
677	0,0000	724	0,2609	771	0,2239	818	0,1846	865	0,0119	912	0,0763	959	0,2719
678	0,0000	725	0,1679	772	0,0031	819	0,3425	866	0,0632	913	0,0322	960	0,0146
679	0,0000	726	0,0878	773	0,0145	820	0,2990	867	0,1545	914	0,1516	961	0,4855
680	0,0000	727	0,1045	774	0,2004	821	0,3947	868	0,1393	915	0,1742	962	0,4492
681	0,0738	728	0,4526	775	0,1810	822	0,1838	869	0,0251	916	0,0702	963	0,0721
682	0,0063	729	0,3377	776	0,1578	823	0,1030	870	0,0260	917	0,1371	964	0,3150
683	0,0860	730	0,2342	777	0,2189	824	0,0433	871	0,0000	918	0,0588	965	0,1955
684	0,0934	731	0,4561	778	0,2122	825	0,3860	872	0,0000	919	0,1061	966	0,3279
685	0,0984	732	0,0520	779	0,2344	826	0,1028	873	0,0000	920	0,1665	967	0,2393
686	0,0859	733	0,3728	780	0,0864	827	0,1941	874	0,0000	921	0,1195	968	0,2491
687	0,0786	734	0,3681	781	0,2078	828	0,2759	875	0,0000	922	0,0671	969	0,1084
688	0,0513	735	0,2809	782	0,1670	829	0,1145	876	0,0000	923	0,0598	970	0,1532
689	0,0178	736	0,0921	783	0,1190	830	0,3210	877	0,0000	924	0,0905	971	0,0123
690	0,0399	737	0,2986	784	0,0185	831	0,0969	878	0,0000	925	0,0845	972	0,5542
691	0,0134	738	0,1500	785	0,2341	832	0,0304	879	0,0000	926	0,0719	973	0,3922
692	0,0031	739	0,0671	786	0,1013	833	0,1564	880	0,0000	927	0,1117	974	0,5596
693	0,0939	740	0,1063	787	0,1824	834	0,0201	881	0,0000	928	0,1485	975	0,0981
694	0,0301	741	0,1790	788	0,2224	835	0,0588	882	0,0000	929	0,0849	976	0,5527
695	0,0296	742	0,0143	789	0,0314	836	0,0475	883	0,0000	930	0,0859	977	0,4768
696	0,0333	743	0,0485	790	0,0384	837	0,1062	884	0,0000	931	0,0499	978	0,3464
697	0,0467	744	0,0108	791	0,1649	838	0,0183	885	0,0000	932	0,0098	979	0,2640
698	0,0648	745	0,0883	792	0,1456	839	0,0811	886	0,0000	933	0,1161	980	0,1546
699	0,0025	746	0,0027	793	0,2671	840	0,0210	887	0,0000	934	0,1270	981	0,4512
700	0,0842	747	0,1794	794	0,2397	841	0,0225	888	0,0000	935	0,2615	982	0,1372
701	0,0559	748	0,0393	795	0,2203	842	0,1569	889	0,0000	936	0,3828	983	0,0385
702	0,0854	749	0,0187	796	0,0154	843	0,0583	890	0,0000	937	0,3743	984	0,4604
703	0,0348	750	0,0615	797	0,0219	844	0,1207	891	0,0000	938	0,1832	985	0,4027
704	0,0446	751	0,0912	798	0,0266	845	0,1929	892	0,0000	939	0,0962	986	0,4291
705	0,0054	752	0,0203	799	0,2395	846	0,0865	893	0,0000	940	0,3056	987	0,3852

Anexos

#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal	#	Sinal
988	0,2514	990	0,4897	992	0,4887	994	0,5114	996	0,3814	998	0,2664	1000	0,5200
989	0,2345	991	0,1905	993	0,4734	995	0,3034	997	0,5705	999	0,0360		

ANEXO X – ALGORITMO PARA GERAÇÃO DE SINAIS DE ENTRADA

```
for i=1:30
    u(i)=rand*0.1;
end
for i=31:60
    u(i)=rand*0.2;
end
for i=61:90
    u(i)=rand*0.3;
end
for i=91:120
    u(i)=rand*0.4;
end
for i=121:150
    u(i)=rand*0.5;
end
for i=151:180
    u(i)=rand*0.0;
end
for i=181:210
    u(i)=rand*0.6;
end
for i=211:240
    u(i)=rand*0.1;
end
for i=241:270
    u(i)=rand*0.3;
end
for i=271:300
    u(i)=rand*0.2;
end
for i=301:330
    u(i)=rand*0.0;
end
for i=331:360
    u(i)=rand*0.4;
end
for i=361:390
    u(i)=rand*0.1;
end
for i=391:420
    u(i)=rand*0.3;
end
for i=421:450
    u(i)=rand*0.5;
end
for i=451:480
    u(i)=rand*0.6;
end
for i=481:500
    u(i)=rand*0.1;
end
for i=501:530
    u(i)=rand*0.7;
end
for i=531:560
    u(i)=rand*0.4;
end
for i=561:590
    u(i)=rand*0.2;
end
for i=591:620
    u(i)=rand*0.3;
end
for i=621:650
    u(i)=rand*0.5;
end
for i=651:680
    u(i)=rand*0.0;
end
for i=681:710
    u(i)=rand*0.1;
end
for i=711:740
    u(i)=rand*0.5;
end
for i=741:770
    u(i)=rand*0.2;
end
for i=771:800
    u(i)=rand*0.3;
end
for i=801:830
    u(i)=rand*0.5;
end
for i=831:870
    u(i)=rand*0.2;
end
for i=871:900
    u(i)=rand*0.0;
end
for i=901:930
    u(i)=rand*0.2;
end
for i=931:960
    u(i)=rand*0.4;
end
for i=961:1000
    u(i)=rand*0.6;
end
```


ANEXO XI - OUTPUT PARA INTERVALO DE AMOSTRAGEM DE QUINZE MINUTOS

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
1	27,1	48	27,8	95	35,5	142	43	189	40,7	236	42,3	283	40,1
2	27,1	49	27,8	96	36,4	143	43,1	190	41,3	237	42,2	284	40
3	27,1	50	28,1	97	36,4	144	43,3	191	41,2	238	42	285	39,9
4	27	51	28,2	98	36,5	145	43,5	192	41,5	239	41,8	286	39,9
5	27	52	28,2	99	36,6	146	43,5	193	42,1	240	41,7	287	39,9
6	27	53	28,2	100	36,6	147	43,3	194	42,4	241	41,5	288	39,8
7	27	54	28,4	101	36,5	148	43,2	195	42,8	242	41,4	289	39,9
8	27	55	28,4	102	36,5	149	43	196	43	243	41,3	290	40
9	27	56	28,3	103	36,8	150	43	197	43,1	244	41,5	291	39,8
10	27	57	28,3	104	36,9	151	42,9	198	43,1	245	41,4	292	39,7
11	27	58	28,6	105	37	152	42,8	199	43,3	246	41,4	293	39,7
12	27	59	28,5	106	37	153	42,6	200	43,8	247	41,5	294	39,7
13	27	60	28,5	107	37,4	154	42,3	201	44,4	248	41,5	295	39,6
14	26,9	61	28,5	108	37,5	155	42,1	202	44,5	249	41,5	296	39,3
15	26,9	62	28,9	109	37,6	156	42	203	44,5	250	41,4	297	39,2
16	26,9	63	28,9	110	37,9	157	41,9	204	44,8	251	41,4	298	39,3
17	26,9	64	28,9	111	38,5	158	41,7	205	45,1	252	41,4	299	39,3
18	26,9	65	29,3	112	38,7	159	41,5	206	45	253	41,4	300	39,2
19	26,9	66	30	113	38,7	160	41,5	207	45,3	254	41,4	301	39,1
20	26,9	67	30,9	114	38,6	161	41,4	208	45,9	255	41,4	302	39
21	26,9	68	31,1	115	38,8	162	41,3	209	46	256	41,3	303	38,9
22	26,9	69	31,1	116	38,8	163	41,2	210	46	257	41,3	304	38,8
23	26,9	70	31,1	117	39,1	164	41	211	46,2	258	41,4	305	38,8
24	26,8	71	31	118	39,3	165	40,8	212	46,1	259	41,4	306	38,7
25	26,8	72	31,5	119	39,8	166	40,6	213	46	260	41,4	307	38,6
26	26,8	73	31,5	120	39,7	167	40,4	214	45,9	261	41,4	308	38,6
27	26,8	74	32	121	39,8	168	40,3	215	45,6	262	41,3	309	38,4
28	26,8	75	32	122	39,7	169	40,2	216	45,4	263	41,4	310	38,2
29	26,8	76	32,4	123	39,9	170	40	217	45,2	264	41,5	311	38,2
30	26,8	77	32,5	124	39,9	171	39,9	218	45,1	265	41,6	312	38
31	26,8	78	32,4	125	40,3	172	39,8	219	44,8	266	41,4	313	37,9
32	26,8	79	32,4	126	40,9	173	39,8	220	44,7	267	41,4	314	37,8
33	26,8	80	32,6	127	41,3	174	39,7	221	44,5	268	41,3	315	37,7
34	26,8	81	32,8	128	41,3	175	39,6	222	44,5	269	41,4	316	37,7
35	26,8	82	32,8	129	41,4	176	39,4	223	44,4	270	41,3	317	37,6
36	26,8	83	33,2	130	41,4	177	39,3	224	44,3	271	41,3	318	37,6
37	27	84	33,5	131	41,5	178	39,2	225	44	272	41,2	319	37,5
38	27,2	85	33,8	132	41,6	179	39,1	226	43,8	273	40,8	320	37,5
39	27,2	86	34,2	133	42,1	180	39	227	43,6	274	40,6	321	37,2
40	27,4	87	34,2	134	42,2	181	38,9	228	43,5	275	40,6	322	37,1
41	27,4	88	34,5	135	42,2	182	39,1	229	43,2	276	40,7	323	37,1
42	27,4	89	35	136	42,1	183	39,1	230	43,1	277	40,8	324	37
43	27,3	90	35,1	137	41,9	184	39,7	231	43	278	40,8	325	36,9
44	27,5	91	35,3	138	42,4	185	39,8	232	42,9	279	40,6	326	36,8
45	27,8	92	35,3	139	42,9	186	40	233	42,9	280	40,6	327	36,7
46	27,8	93	35,2	140	43	187	40	234	42,8	281	40,4	328	36,6
47	27,8	94	35,3	141	42,9	188	40,3	235	42,5	282	40,2	329	36,5

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
330	36,5	377	38,6	424	38,7	471	44,7	518	46,1	565	44,3	612	41,6
331	36,4	378	38,6	425	38,7	472	44,8	519	46	566	44,2	613	41,7
332	36,4	379	38,5	426	38,6	473	45,1	520	45,9	567	43,8	614	41,8
333	36,5	380	38,3	427	38,6	474	45,1	521	45,7	568	43,7	615	41,8
334	36,4	381	38,2	428	38,6	475	45	522	45,8	569	43,5	616	42
335	36,6	382	38,1	429	38,8	476	44,8	523	45,7	570	43,4	617	41,8
336	36,6	383	38	430	39	477	45	524	45,9	571	43,1	618	41,8
337	36,5	384	37,9	431	39,3	478	45,2	525	46	572	43,1	619	42
338	36,5	385	37,8	432	39,8	479	45,2	526	46,1	573	43,1	620	42,2
339	36,5	386	37,6	433	40,4	480	45,1	527	46,1	574	43	621	42,2
340	36,6	387	37,6	434	40,8	481	45,3	528	46,3	575	43	622	42,7
341	36,6	388	37,6	435	41,3	482	45,2	529	46,8	576	42,9	623	42,9
342	37,1	389	37,5	436	41,4	483	45,1	530	46,8	577	42,8	624	43
343	37,6	390	37,5	437	41,7	484	44,9	531	46,7	578	42,8	625	43,1
344	37,6	391	37,3	438	41,7	485	44,7	532	46,8	579	42,4	626	42,9
345	37,8	392	37,6	439	41,9	486	44,6	533	46,6	580	42,3	627	43
346	37,8	393	37,7	440	42,6	487	44,5	534	46,5	581	42,4	628	43,1
347	37,9	394	37,9	441	42,3	488	44,4	535	46,3	582	42,3	629	43,6
348	38,1	395	37,8	442	42,3	489	44,3	536	46,5	583	42,2	630	43,9
349	38,7	396	37,9	443	42,1	490	44	537	46,6	584	42,1	631	44,4
350	38,8	397	37,8	444	42,4	491	43,8	538	46,4	585	41,9	632	44,5
351	39	398	37,7	445	42,9	492	43,6	539	46,3	586	41,7	633	44,6
352	39,1	399	37,6	446	43	493	43,5	540	46,4	587	41,6	634	44,9
353	39,5	400	37,6	447	43	494	43,3	541	46,4	588	41,5	635	45
354	39,7	401	37,6	448	43,3	495	43,1	542	46,3	589	41,5	636	44,8
355	39,9	402	37,6	449	43,2	496	43	543	46,2	590	41,5	637	44,6
356	40	403	37,5	450	43,3	497	43	544	46,1	591	41,4	638	44,9
357	40,4	404	37,5	451	43,3	498	42,9	545	46	592	41,4	639	45
358	40,3	405	37,6	452	43,8	499	42,7	546	46	593	41,4	640	45,1
359	40,2	406	37,6	453	43,8	500	42,3	547	46	594	41,3	641	45,1
360	40,5	407	37,6	454	43,8	501	42,1	548	45,7	595	41	642	45,2
361	40,3	408	37,8	455	43,8	502	42,3	549	45,5	596	41,2	643	45,3
362	40,1	409	37,7	456	44	503	42,7	550	45,6	597	41,1	644	45,2
363	39,9	410	37,7	457	44,5	504	43	551	45,5	598	40,8	645	45,1
364	40	411	37,6	458	44,5	505	43,3	552	45,6	599	40,7	646	45,1
365	39,9	412	37,6	459	44,5	506	43,3	553	45,4	600	40,6	647	44,9
366	39,8	413	37,7	460	44,6	507	43,1	554	45,4	601	40,5	648	45
367	39,7	414	37,6	461	44,6	508	43,6	555	45,5	602	40,6	649	44,7
368	39,6	415	37,8	462	44,5	509	44,3	556	45,5	603	40,6	650	44,6
369	39,4	416	38	463	44,6	510	44,4	557	45,3	604	40,8	651	44,5
370	39,3	417	38,3	464	44,6	511	44,6	558	45,1	605	41	652	44,5
371	39,2	418	38,5	465	44,5	512	44,8	559	45	606	41,3	653	44,4
372	39,1	419	38,3	466	44,5	513	45,1	560	44,8	607	41,3	654	44,1
373	39	420	38,2	467	44,6	514	45,2	561	44,6	608	41,4	655	43,8
374	38,8	421	38,2	468	44,5	515	45,4	562	44,6	609	41,5	656	43,7
375	38,7	422	38,6	469	44,7	516	46	563	44,5	610	41,5	657	43,5
376	38,7	423	38,7	470	44,7	517	46,1	564	44,4	611	41,6	658	43,4

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
659	43,1	706	37,5	753	41	800	39,8	847	41,7	894	36,9	941	36,5
660	43,1	707	37,5	754	41,1	801	40	848	41,5	895	36,8	942	36,8
661	43	708	37,5	755	40,8	802	40,4	849	41,5	896	36,7	943	37,4
662	42,9	709	37,4	756	40,7	803	40,3	850	41,4	897	36,6	944	37,7
663	42,8	710	37,2	757	40,5	804	40,5	851	41,3	898	36,5	945	37,6
664	42,6	711	37,1	758	40,4	805	40,4	852	41,3	899	36,5	946	37,9
665	42,3	712	37,6	759	40,2	806	40,3	853	41,3	900	36,4	947	38
666	42,2	713	37,9	760	39,9	807	40,6	854	41	901	36,4	948	37,9
667	42	714	38,3	761	39,9	808	40,6	855	40,7	902	36,4	949	37,8
668	41,8	715	38,9	762	39,9	809	41	856	40,7	903	36,4	950	38,1
669	41,6	716	39,2	763	39,8	810	41,4	857	40,5	904	36,3	951	38
670	41,5	717	39,3	764	39,8	811	41,7	858	40,5	905	36,2	952	37,9
671	41,4	718	39,5	765	39,7	812	42,1	859	40,3	906	36	953	38,1
672	41,4	719	39,9	766	39,7	813	42	860	40,1	907	35,9	954	38,7
673	41,3	720	40,5	767	39,7	814	42,6	861	40	908	35,8	955	38,8
674	41,2	721	40,5	768	39,5	815	43	862	39,9	909	35,9	956	39
675	40,8	722	40,3	769	39,5	816	43,1	863	39,8	910	35,8	957	38,8
676	40,7	723	40,4	770	39,3	817	43,1	864	39,8	911	35,7	958	39,3
677	40,5	724	40,2	771	39,2	818	43,1	865	39,7	912	35,6	959	39,6
678	40,4	725	40,5	772	39,2	819	43,1	866	39,5	913	35,6	960	39,7
679	40,2	726	40,4	773	39,1	820	43,3	867	39,3	914	35,5	961	39,7
680	40	727	40,3	774	39	821	43,4	868	39,2	915	35,4	962	40
681	39,9	728	40,2	775	39,1	822	43,8	869	39,2	916	35,5	963	40,6
682	39,9	729	40,7	776	39,1	823	43,9	870	39,1	917	35,4	964	40,6
683	39,8	730	41,3	777	39,1	824	43,9	871	39	918	35,4	965	41
684	39,7	731	41,4	778	39,2	825	43,7	872	38,8	919	35,3	966	41,3
685	39,7	732	41,6	779	39,3	826	43,7	873	38,8	920	35,3	967	41,5
686	39,4	733	41,6	780	39,7	827	43,7	874	38,7	921	35,3	968	41,6
687	39,3	734	41,9	781	39,7	828	43,7	875	38,7	922	35,3	969	41,7
688	39,2	735	42,2	782	39,7	829	43,9	876	38,6	923	35,3	970	41,6
689	39,1	736	42,7	783	39,7	830	43,9	877	38,6	924	35,2	971	41,6
690	39	737	42,6	784	39,8	831	43,9	878	38,5	925	35,1	972	41,5
691	38,8	738	42,9	785	39,6	832	43,8	879	38,2	926	34,9	973	41,8
692	38,8	739	42,9	786	39,7	833	43,6	880	38,1	927	34,8	974	42,3
693	38,7	740	42,8	787	39,6	834	43,4	881	38	928	34,7	975	43
694	38,7	741	42,4	788	39,7	835	43,2	882	37,9	929	34,8	976	43
695	38,7	742	42,5	789	39,8	836	43	883	37,8	930	34,6	977	43,1
696	38,6	743	42,3	790	39,7	837	43,1	884	37,7	931	34,6	978	43,5
697	38,5	744	42,2	791	39,5	838	43	885	37,6	932	34,5	979	44
698	38,2	745	42	792	39,5	839	43	886	37,6	933	34,4	980	44,4
699	38,2	746	41,8	793	39,4	840	42,9	887	37,5	934	34,3	981	44,4
700	38	747	41,6	794	39,7	841	42,5	888	37,5	935	34,2	982	44,4
701	38	748	41,6	795	39,8	842	42,3	889	37,5	936	34,6	983	44,5
702	37,8	749	41,5	796	39,9	843	42,2	890	37,3	937	35,3	984	44,4
703	37,7	750	41,4	797	39,9	844	42	891	37,2	938	35,8	985	44,5
704	37,6	751	41,4	798	39,8	845	41,8	892	37,1	939	36,3	986	44,5
705	37,6	752	41,3	799	39,7	846	41,8	893	37	940	36,3	987	44,6

Anexos

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
988	45	990	45,3	992	45,4	994	46	996	46,2	998	46,5	1000	46,3
989	45,2	991	45,3	993	45,9	995	46,1	997	46,3	999	46,6		

ANEXO XII – OUTPUT PARA INTERVALO DE AMOSTRAGEM DE TRINTA MINUTOS

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
1	26,2	48	32	95	40,4	142	44,5	189	41,3	236	39,8	283	40,7
2	26,3	49	32,4	96	40,9	143	44,7	190	41,7	237	39,7	284	40,5
3	26,5	50	32,9	97	40,7	144	44,6	191	41,5	238	39,3	285	40,5
4	26,5	51	33,2	98	40,8	145	44,7	192	42,4	239	39,2	286	40,6
5	26,6	52	33,2	99	41,3	146	44,7	193	43,2	240	38,9	287	40,6
6	26,6	53	33,5	100	40,8	147	44,5	194	43,4	241	38,8	288	40,6
7	26,6	54	33,8	101	40,9	148	44,4	195	43,8	242	38,7	289	41
8	26,6	55	33,7	102	40,5	149	44	196	43,8	243	38,6	290	41
9	26,6	56	33,5	103	41,3	150	43,8	197	44	244	38,7	291	41,2
10	26,8	57	33,7	104	41,2	151	43,7	198	44,2	245	38,6	292	40,7
11	27,2	58	34,2	105	41,4	152	43,4	199	44,5	246	38,7	293	40,5
12	27,2	59	34,2	106	41,3	153	43,1	200	44,6	247	39,1	294	40,5
13	27,3	60	34,3	107	41,4	154	43	201	45,1	248	39,2	295	40,3
14	27,5	61	34,3	108	41,4	155	42,8	202	45,4	249	39,3	296	40,1
15	27,5	62	34,8	109	41,7	156	42,3	203	45,4	250	39,1	297	39,9
16	27,6	63	34,8	110	41,9	157	42	204	45,7	251	39,3	298	40
17	27,6	64	35,3	111	42,3	158	41,7	205	46	252	39,7	299	40
18	27,6	65	35,8	112	42,3	159	41,5	206	45,9	253	39,8	300	40
19	27,7	66	36,4	113	42	160	41,3	207	46,1	254	39,8	301	39,9
20	28	67	37,1	114	41,8	161	41	208	46,2	255	39,7	302	39,8
21	28,2	68	37,5	115	42,4	162	40,7	209	46,4	256	39,7	303	39,7
22	28,2	69	37,1	116	42,1	163	40,4	210	46,5	257	39,9	304	39,3
23	28,1	70	37,1	117	42,8	164	40,1	211	46,7	258	40	305	39,1
24	28,2	71	36,9	118	42,8	165	39,9	212	46,3	259	40	306	39
25	28,4	72	37,5	119	43,1	166	39,8	213	46,1	260	40	307	38,8
26	28,5	73	37,4	120	42,9	167	39,6	214	46	261	40,6	308	38,7
27	28,5	74	37,6	121	43	168	39,3	215	45,4	262	40,3	309	38,6
28	28,5	75	37,6	122	42,9	169	39,1	216	45,1	263	40,8	310	38,4
29	28,5	76	37,9	123	43,2	170	38,9	217	44,7	264	41,2	311	38,1
30	28,5	77	38	124	43	171	38,8	218	44,5	265	41,4	312	38
31	28,5	78	37,8	125	43,4	172	38,7	219	44,4	266	41,3	313	37,8
32	28,9	79	37,8	126	43,7	173	38,6	220	43,8	267	41,1	314	37,6
33	28,9	80	38	127	44,4	174	38,4	221	43,6	268	40,9	315	37,6
34	28,9	81	38,2	128	43,8	175	38,2	222	43,2	269	41,3	316	37,5
35	28,9	82	38,2	129	44,1	176	38	223	43,1	270	40,9	317	37,4
36	28,8	83	38,8	130	43,8	177	37,8	224	42,9	271	41,3	318	37
37	29,2	84	38,8	131	44,4	178	37,7	225	42,8	272	41	319	36,9
38	29,7	85	39,1	132	44,4	179	37,6	226	42,3	273	41,1	320	36,8
39	29,7	86	39,3	133	44,6	180	37,5	227	42,1	274	40,8	321	36,6
40	30,3	87	39,3	134	44,5	181	37,3	228	41,9	275	41,2	322	36,5
41	30,3	88	39,7	135	44,5	182	37,8	229	41,6	276	41,1	323	36,5
42	30,3	89	39,9	136	44,4	183	38,3	230	41,4	277	41,3	324	36,4
43	30,6	90	39,9	137	44	184	39	231	41,3	278	41,3	325	36,3
44	31	91	40	138	44,4	185	39,3	232	40,8	279	41,2	326	36
45	31,9	92	39,9	139	44,5	186	39,9	233	40,5	280	41,3	327	35,8
46	31,7	93	39,8	140	44,6	187	40	234	40,2	281	40,8	328	35,7
47	31,9	94	39,9	141	44,4	188	40,3	235	39,9	282	40,5	329	35,5

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
330	35,4	355	41,8	380	38,6	405	38,2	430	41,6	455	44,8	480	45,9
331	35,4	356	42,3	381	38,6	406	38,6	431	42,3	456	44,9	481	46,1
332	35,4	357	42,5	382	38,3	407	38,8	432	42,9	457	45,3	482	45,9
333	35,8	358	42,2	383	38,1	408	38,9	433	43,1	458	45,3	483	45,4
334	35,7	359	42	384	37,9	409	38,8	434	43,5	459	46	484	45,1
335	36,7	360	42,8	385	37,7	410	38,7	435	43,9	460	46	485	44,9
336	36,6	361	42,6	386	37,6	411	38,7	436	43,9	461	45,6	486	44,6
337	36,5	362	42,3	387	37,6	412	38,8	437	44,1	462	45,3	487	44,5
338	36,7	363	41,9	388	37,6	413	39	438	44,2	463	46	488	44,3
339	36,6	364	41,7	389	37,5	414	39,1	439	44,4	464	46	489	43,8
340	37	365	41,5	390	37,4	415	39,5	440	44,6	465	45,7	490	43,5
341	37,2	366	41,4	391	37	416	39,7	441	44,5	466	45,6	491	43,1
342	37,9	367	41,3	392	37,5	417	40,1	442	44,4	467	45,8	492	43
343	38,8	368	40,9	393	38	418	40,2	443	44,2	468	45,5	493	42,8
344	38,6	369	40,7	394	38,5	419	40,2	444	44,4	469	45,8	494	42,5
345	39	370	40,5	395	38,4	420	40	445	44,6	470	45,8	495	42,2
346	39,1	371	40,3	396	38,6	421	40,3	446	44,5	471	45,9	496	41,8
347	39,2	372	40	397	38,4	422	40,8	447	44,7	472	46	497	41,5
348	39,7	373	39,9	398	38,4	423	41,3	448	44,7	473	46	498	41,4
349	40	374	39,8	399	38,4	424	41	449	44,6	474	46	499	41,4
350	40,4	375	39,5	400	38,1	425	41,3	450	44,6	475	46	500	41,2
351	40,9	376	39,3	401	37,9	426	40,9	451	44,6	476	45,5		
352	41,2	377	39,1	402	38	427	41	452	44,9	477	45,8		
353	41,4	378	38,9	403	37,8	428	41,3	453	44,5	478	45,9		
354	41,6	379	38,8	404	38	429	41,4	454	44,6	479	46		

ANEXO XIII - OUTPUT PARA INTERVALO DE AMOSTRAGEM DE SESSENTA MINUTOS

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
1	27,8	48	38,2	95	42,7	142	44,5	189	42,5	236	38,4	283	41,7
2	28,5	49	38,3	96	43,4	143	44,7	190	43,9	237	38,3	284	41,6
3	29,4	50	38,5	97	43	144	44,5	191	43,4	238	37,9	285	41,5
4	29,4	51	38,8	98	43	145	44,5	192	44,6	239	37,6	286	41,9
5	29,9	52	38,7	99	43	146	44,3	193	45,5	240	37,4	287	42,1
6	30,5	53	38,9	100	42,5	147	44	194	45,6	241	37,4	288	42,4
7	30,5	54	39,2	101	42,5	148	43,9	195	45,7	242	37,2	289	42,5
8	30,4	55	38,8	102	42,2	149	43,3	196	45,7	243	37,3	290	42,7
9	30,6	56	38,5	103	42,5	150	43	197	45,6	244	38,3	291	42,8
10	31,5	57	38,5	104	42,4	151	43	198	45,7	245	37,8	292	42,5
11	32	58	39	105	42,5	152	42,5	199	45,8	246	38,7	293	42,3
12	31,8	59	38,9	106	42,3	153	42,1	200	46,4	247	39,5	294	42,4
13	32,7	60	39	107	42,4	154	41,4	201	47	248	39,6	295	41,6
14	33,1	61	38,8	108	42,3	155	40,9	202	47,1	249	40	296	41,6
15	33,2	62	39,4	109	42,5	156	40,5	203	46,9	250	39,9	297	41,1
16	33,8	63	39,4	110	42,6	157	39,8	204	47,1	251	40,2	298	41,8
17	33,8	64	39,5	111	43	158	39,5	205	47,2	252	41	299	42,3
18	33,8	65	39,8	112	43,1	159	39,4	206	47	253	41,4	300	42
19	34	66	40,7	113	42,7	160	38,8	207	47,2	254	41,7	301	41,8
20	34,5	67	41,1	114	42,5	161	38,5	208	47,6	255	41,6	302	41,3
21	35	68	41,1	115	43,2	162	38,3	209	47,5	256	42,1	303	40,9
22	35,1	69	40,9	116	42,8	163	38	210	47,5	257	42,5	304	40,7
23	35	70	40,7	117	43,6	164	37,6	211	47,4	258	42,5	305	39,9
24	35,2	71	40,5	118	44	165	37,3	212	47,1	259	42,5	306	39,6
25	35,6	72	40,9	119	44,3	166	37,2	213	46,3	260	42,5	307	39,4
26	36	73	40,9	120	44	167	36,8	214	45,7	261	42,7	308	38,9
27	36,1	74	41	121	44,1	168	36,5	215	45,4	262	42,4	309	38,6
28	36,2	75	40,9	122	43,9	169	36,2	216	44,8	263	42,8	310	38,4
29	36,1	76	41,3	123	44,5	170	36,1	217	44,2	264	43,4	311	38,3
30	36,2	77	41,2	124	44,1	171	36	218	43,9	265	44	312	37,8
31	36,1	78	41	125	44,4	172	35,5	219	43,1	266	43,3	313	37,5
32	36,4	79	41	126	45,1	173	35,3	220	42,7	267	43	314	37,3
33	36,2	80	41,2	127	45,6	174	35,1	221	42,4	268	42,7	315	37,1
34	36,2	81	41,5	128	45	175	35	222	41,6	269	42,8	316	36,7
35	36,1	82	41,6	129	44,7	176	34,9	223	41,4	270	42,5	317	36,5
36	35,9	83	42,4	130	44,3	177	34,5	224	41	271	42,6	318	36,2
37	36,3	84	42,7	131	44,8	178	34,3	225	40,8	272	42,4	319	36,1
38	36,8	85	43	132	44,7	179	34	226	40,6	273	42,5	320	36
39	36,8	86	43,9	133	45,5	180	34	227	40,4	274	42,4	321	35,5
40	37,3	87	43,4	134	44,9	181	33,8	228	40	275	42,4	322	35,3
41	37,2	88	43,6	135	44,6	182	36,1	229	39,6	276	42,4	323	35,1
42	37,3	89	43,7	136	44,2	183	37,2	230	39,4	277	42,6	324	34,9
43	37,3	90	43,3	137	44	184	39,3	231	39,3	278	42,7	325	34,8
44	37,7	91	43,3	138	44,2	185	39,4	232	39	279	42,5	326	34,4
45	38,2	92	42,7	139	44,4	186	41	233	38,7	280	42,6	327	34,2
46	37,9	93	42,4	140	44,5	187	41	234	38,6	281	42,4	328	34
47	38,2	94	42,5	141	44,2	188	41,4	235	38,6	282	41,7	329	33,9

#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída	#	Saída
330	33,8	355	44,9	380	38,3	405	39,6	430	43,4	455	45,1	480	44,9
331	33,5	356	45	381	38,3	406	40,7	431	44,2	456	45,1	481	45,4
332	34	357	45,3	382	37,7	407	40,9	432	44,6	457	45,5	482	44,7
333	35	358	44,7	383	37,3	408	41	433	45,4	458	45,5	483	44,2
334	34,9	359	44,3	384	37,3	409	40,8	434	45,5	459	45,6	484	44
335	37,2	360	45,3	385	37,2	410	40	435	45,6	460	45,6	485	43,7
336	37,2	361	44,7	386	37,2	411	40,1	436	45,5	461	44,9	486	42,8
337	37,2	362	44,1	387	37,3	412	40,8	437	45,7	462	44,6	487	42,6
338	37,5	363	43,9	388	37,4	413	41	438	45,6	463	45,3	488	42
339	37,6	364	43,5	389	37,2	414	41	439	45,7	464	45,5	489	41,2
340	38,5	365	43,1	390	37,2	415	41,4	440	45,6	465	45	490	40,9
341	38,9	366	42,6	391	36,8	416	41,8	441	45	466	45	491	40,7
342	40,8	367	42,3	392	38	417	42,4	442	44,8	467	45,5	492	40,2
343	42,4	368	41,6	393	38,7	418	42,6	443	44,3	468	45	493	39,9
344	41,6	369	41,4	394	39,5	419	42,5	444	44,5	469	45,8	494	39,7
345	42,4	370	40,9	395	39,4	420	41,9	445	44,9	470	45,6	495	39,5
346	42,4	371	40,9	396	39,6	421	41,9	446	44,7	471	45,8	496	39,4
347	42,5	372	40,8	397	39,4	422	42,6	447	45,2	472	45,7	497	39
348	43	373	40,2	398	39,4	423	42,8	448	45,5	473	45,8	498	39,2
349	44	374	39,6	399	39,4	424	42,5	449	44,5	474	45,6	499	39,4
350	44	375	39,5	400	39,4	425	42,5	450	45,1	475	45,3	500	38,9
351	44,2	376	39,4	401	39	426	42,3	451	45,1	476	44,6		
352	44,2	377	38,9	402	39,3	427	42,4	452	45,7	477	44,6		
353	44,7	378	38,8	403	38,8	428	42,5	453	45,3	478	44,9		
354	45	379	38,4	404	39,4	429	42,8	454	45,3	479	44,9		