



Desenvolvimento de sistema de teste de caixas de controlo electrónico

NELSON ANDRÉ MAIA ROCHA

Julho de 2011

isep



instituto
superior de
engenharia do
porto



Departamento de Engenharia Electrotécnica

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA DE TESTE DE CAIXAS DE CONTROLO ELECTRÓNICO

Nelson André Maia Rocha

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Junho de 2011



Desenvolvimento de sistema de teste de caixas de controlo electrónico

BOSCH Termotecnologia S.A.

Nelson André Maia Rocha 1011034

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Área de Especialização de Automação e Sistemas

Orientador Interno: Prof. João Paulo Baptista

Orientador Externo: Eng.ª Cláudia Paiva

Fevereiro de 2011

«Dedico este trabalho à minha esposa e família»

Agradecimentos

Este trabalho não poderia ser desenvolvido sem o apoio de algumas pessoas, às quais deixo aqui os meus sinceros agradecimentos:

À Eng.^a Cláudia Paiva da BOSCH Termotecnologia (Orientadora Externa e Group Leader do departamento onde exerço funções), pela orientação e aconselhamento que desenvolveu ao longo de todo o projecto, assim como de toda a equipa com a qual tenho o prazer de diariamente trabalhar, pelo apoio ao nível da minha inserção no ambiente e organização da empresa.

Ao Eng.^a João Paulo Baptista do ISEP (Orientador Interno) pela orientação e aconselhamento que desenvolveu ao longo de todo o projecto. A sua ajuda e dedicação no desenvolvimento da Tese foram essenciais para concluir este projecto com sucesso.

Um agradecimento especial à minha esposa, Isabel Ribeiro, pelo apoio dado e pelas horas familiares que me dispensou, sem as quais não seria possível embarcar neste projecto.

A todos o meu sincero muito obrigado.

Resumo

O objectivo desta Tese/Dissertação é conceber um sistema para a BOSCH Termotecnologia S.A., na qual exerço as funções de Engenheiro de Qualidade de Fornecedores de peças electrónicas, que permita testar funcionalmente dois tipos de PCBA (*Printed Circuit Board Assembled*) utilizados em dois modelos de esquentador estanque com denominação *Celsius* e *Celsius Plus*, produzidos nesta empresa para mercados de todo o Mundo. Os PCBA foram desenvolvidos internamente pelo departamento de ENG (Departamento de Desenvolvimento) e são actualmente peças de compra cujo fornecedor está localizado na China.

Em primeiro lugar foi efectuado um estudo das necessidades da empresa relativamente aos projectos necessários para melhorar os processos de investigação de falhas e melhoria de Qualidade dos fornecedores de peças electrónicas, no contexto do departamento onde este projecto se insere. A conclusão chegada foi que existe uma grande necessidade de investigar avarias nas PCBA de compra do fornecedor asiático de forma rápida e precisa, de modo a que seja possível trabalhar mais activamente e rapidamente na melhoria de Qualidade do mesmo, melhorando, por exemplo, os seus processos produtivos.

Em segundo lugar concebeu-se a solução a realizar. Optou-se por um conjunto hardware e software desenvolvido de raiz, que inclui um jig (gabarit anti-erro – *Poke Yoke*) dotado de agulhas para o teste FCT (*Functional Circuit Test*), um hardware de aquisição de dados analógicos e digitais adquirido para o projecto, um hardware de interface entre o PC (*Personal Computer*) e o hardware de aquisição de dados, e um software desenvolvido em LabVIEW versão 8.6 (*Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench*).

Palavras-chave: FCT, LabVIEW, VI, PCBA, Celsius.

Abstract

The target of this Thesis/Dissertation is to develop for BOSCH Termotecnologia S.A., company where I am a Supplier Quality Engineer for electronic parts, a system capable of testing the functionality of two PCBA (Printed Circuit Board Assembled) used in two room sealed water heaters named *Celsius* and *Celsius Plus*, produced by BOSCH Termotecnologia S.A. for worldwide markets. The PCBAs were developed by ENG (Research and Development department) and currently these parts are being produced in a supplier with factory located in China.

At first all company needs were evaluated concerning the projects that could be implemented for failure investigation and supplier quality improvement in respect to electronic boards. It was reached the conclusion that we needed a quick and precise failure investigation on the PCBAs supplied by this Chinese supplier in order to promptly react and actively work with the supplier in quality improvement of their production process and product.

In second place the application was designed and implemented. For that it was designed and developed a hardware and software, which includes a full-proof jig with a *Poke Yoke* design, test needles for the FCT (Functional Circuit Test), analog and digital data acquisition hardware, an interface hardware between the computer and the data acquisition hardware and a software developed using LabVIEW version 8.6 (Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench).

Key Words: FCT, LabVIEW, VI, PCBA, Celsius.

Índice

1.1	APRESENTAÇÃO DO PROJECTO	1
1.2	ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO	1
1.3	ESTUDO E TECNOLOGIAS UTILIZADAS	1
1.4	APRESENTAÇÃO DA ORGANIZAÇÃO	2
1.5	CONTEXTO	9
2.1	ESQUENTADOR CELSIUS	11
2.2	PCBA CELSIUS	14
2.2.1	<i>Condição de funcionamento mecânico</i>	15
2.2.2	<i>Condições de funcionamento eléctrico</i>	15
2.2.3	<i>Condições de funcionamento climático</i>	15
2.2.4	<i>Interface com utilizador / funções</i>	16
2.2.5	<i>Entradas</i>	16
2.2.6	<i>Saídas</i>	16
2.2.7	<i>Funções do Hardware / Software</i>	17
2.2.7.1	Reset	17
2.2.7.2	Caudal de água	17
2.2.7.3	Exaustão de gases de combustão	17
2.2.7.4	Medição de temperatura de água	18
2.2.7.5	Limitador de temperatura de água	18
2.2.7.6	Regulação de temperatura	18
2.2.7.7	Comunicação / Diagnóstico	18
2.2.7.8	Programação <i>on board</i>	18
2.2.7.9	Ignição	19
2.2.7.10	Detecção de chama	19
2.2.7.11	Sequência de arranque	19
2.3	ESQUENTADOR CELSIUS PLUS	19
2.4	PCBA CELSIUS PLUS	21
2.4.1	<i>Condições de funcionamento mecânico</i>	21
2.4.2	<i>Condições de funcionamento eléctrico</i>	21
2.4.3	<i>Condições de funcionamento climático</i>	22
2.4.4	<i>Interface com utilizador / funções</i>	22
2.4.5	<i>Entradas</i>	22
2.4.6	<i>Saídas</i>	22
2.4.7	<i>Funções do Hardware / Software</i>	23
2.4.7.1	Caudal de água	23
2.4.7.2	Regulação de temperatura	23
2.4.7.3	Códigos de erro	23
2.5	HARDWARE	24
2.5.1	<i>Requisitos do sistema</i>	24
2.5.2	<i>Aquisição de dados</i>	25
2.6	SOFTWARE	28

2.6.1	LabVIEW 8.6.....	28
3.1	INTERFACE ENTRE DAQ E PCBA	30
3.1.1	230Vac	31
3.1.2	MV1/MV2	32
3.1.3	VMod1/VMod2.....	34
3.1.4	Spark.....	36
3.1.5	ION.....	38
3.1.6	FAN	39
3.2	JIG DE AGULHAS	39
3.3	CABLAGEM	43
4.1	MODO DE PROGRAMAÇÃO.....	45
4.2	SEQUÊNCIA DE TESTE	46
4.3	INSTRUMENTOS VIRTUAIS (VI's) DA PCBA CELSIUS.....	50
4.3.1	<i>Instrumento virtual principal</i>	50
4.3.2	<i>Diagrama de blocos</i>	51
4.3.3	<i>Sub-VI's</i>	70
4.4	INSTRUMENTOS VIRTUAIS (VI's) DA PCBA CELSIUS PLUS	72
4.4.1	<i>Instrumento virtual principal</i>	72
4.4.2	<i>Diagrama de blocos</i>	73
4.4.3	<i>Sub-VI's</i>	76
4.5	RELATÓRIO DE TESTE.....	76
4.5.1	<i>Formato do relatório</i>	76
4.5.2	<i>Criação do relatório</i>	78
5.1	CAPACIDADE DE DETECÇÃO DE AVARIAS	83
5.2	REPETIBILIDADE	84
7.1	APRECIÇÃO FINAL.....	89
7.2	TRABALHO FUTURO	89

Índice de Figuras

Figura 1 – Slogan do Grupo Bosch.....	2
Figura 2 - Fábrica da Vulcano (BOSCH Termotecnologia S.A.) em Aveiro.....	3
Figura 3 - Logotipo da marca BOSCH.....	4
Figura 4 - Logotipo da marca Vulcano.....	4
Figura 5 - Logotipo da marca JUNKERS.....	4
Figura 6 - Foto de um modelo de esquentador Clássico da marca Vulcano.	5
Figura 7 - Foto de um modelo de esquentador Compacto, da marca Vulcano (modelo com alimentação por hidrogerador).	6
Figura 8 - Foto de um modelo de esquentador ventilado da marca Vulcano.....	7
Figura 9 - Foto de um modelo de esquentador estanque (Celsius Plus) da marca JUNKERS....	8
Figura 10 - Foto de um modelo de esquentador <i>High Output</i> da marca BOSCH.	9
Figura 11 – Esquema gráfico do Esquentador Celsius.....	12
Figura 12 – Esquema funcional do aparelho Celsius.	13
Figura 13 - Foto de um PCBA Celsius completo e com os botões montados.....	14
Figura 14 - Foto de um PCBA Celsius sem tampa.	15
Figura 15 – Imagem da interface com o utilizador do aparelho Celsius.	16
Figura 16 – Foto do aparelho Celsius Plus sem frente.	20
Figura 17 – Foto do PCBA Celsius Plus.....	21
Figura 18 – Imagem da interface com o utilizador do aparelho Celsius Plus.....	22
Figura 19 – Hardware de aquisição de dados visto por cima.....	27
Figura 20 – Hardware de aquisição de dados visto de frente.....	27
Figura 21 – Logótipo do software de programação (marca registada).....	28
Figura 22 – Exemplo de sub-VI dentro de outro VI.	29
Figura 23 – Esquemático do circuito de actuação 230Vac.....	31
Figura 24 – Esquemático dos circuitos de leitura de actuação da válvula de gás.....	33
Figura 25 – Esquemático dos circuitos de leitura de modulação da válvula de gás.	35
Figura 26 – Esquemático do circuito de leitura da tensão de ignição.....	37
Figura 27 – Esquemático do circuito de detecção de chama (ionização).	38
Figura 28 – Esquemático do circuito de verificação de funcionamento do relé.....	39
Figura 29 – Imagem do jig (com a tampa aberta).	40
Figura 30 – Imagem do jig com uma caixa Celsius colocada na única posição possível.	41
Figura 31 – Conector RAST do PCBA Celsius e Celsius Plus.	41
Figura 32 – Agulhas do jig (fechado) em contacto com o pcb – baixa tensão.	42

Figura 33 – Agulhas do jig (fechado) em contacto com o pcb – alta tensão.....	42
Figura 34 – Painel superior com as agulhas de teste.	43
Figura 35 – Painel superior com a cablagem (em fase de testes).	44
Figura 36 – Cablagem em fase de testes.	44
Figura 37 – Exemplo da estrutura case e sequência de programação.....	45
Figura 38 – Fluxograma da sequência de teste.	49
Figura 39 – Painel frontal Main_Celsius.vi.	50
Figura 40 – Código DAQ_1.....	52
Figura 41 – Código DAQ_2.....	52
Figura 42 – Código DAQ_3.....	53
Figura 43 – Código DAQ_4.....	53
Figura 44 – Código DAQ_5.....	54
Figura 45 – Inicialização.....	54
Figura 46 – Criação de nome do relatório.....	55
Figura 47 – Verificar tensão alimentação.....	56
Figura 48 – Verificar versão de software.....	57
Figura 49 – Inicialização de variáveis.....	57
Figura 50 – Verificar se ventilador está ligado.....	58
Figura 51 – Detectar erro C4.....	59
Figura 52 – Abrir limitador de temperatura.....	59
Figura 53 – Detectar Erro E9.....	60
Figura 54 – Falha no sensor de temperatura de entrada.....	60
Figura 55 – Detectar Erro E2.....	61
Figura 56 – Falha no sensor de temperatura de entrada.....	61
Figura 57 – Detectar erro A7.....	62
Figura 58 – Simular Ionização.....	63
Figura 59 – Detectar erro F7.....	63
Figura 60 – Medir tensão de ignição.....	64
Figura 61 – Detectar erro EA.....	65
Figura 62 – Verificar tensão de válvula de gás.....	65
Figura 63 – Verificar modulação máxima da válvula de gás.....	66
Figura 64 – Verificar modulação mínima da válvula de gás.....	67
Figura 65 – Detectar erro FA.....	67
Figura 66 – Resultado final.....	68
Figura 67 – Criação de relatório final.....	69

Figura 68 – Inicialização de variáveis para início de próximo teste	69
Figura 69 – Fim do teste	70
Figura 70 – mudança estado.vi.....	71
Figura 71 –Comm_RS232.vi.....	71
Figura 72 – Instrumentos virtuais Celsius.....	72
Figura 73 – Painel frontal Main_Celsius_PLUS.vi.	72
Figura 74 – Verificar LCD e aumentar temperatura.	74
Figura 75 – Reduzir temperatura.	74
Figura 76 – Criar nome do relatório.	75
Figura 77 – Criar relatório final.....	75
Figura 78 – Instrumentos virtuais Celsius Plus.	76
Figura 79 – Relatório em ficheiro excel.....	77
Figura 80 – Relatório em ficheiro html.....	77
Figura 81 – Comparação de tamanho de ficheiros Excel e html.	78
Figura 82 – Abrir relatório.	78
Figura 83 – Variáveis para construção de relatório.....	79
Figura 84 – Preenchimento do relatório.	80
Figura 85 – Cor verde no fundo.....	80
Figura 86 – Cor vermelha no fundo.....	81
Figura 87 – Relatório final com resultado positivo.....	81
Figura 88 – Relatório final com resultado negativo.	82
Figura 89 – Falha no circuito de actuação do ventilador.	83
Figura 90 – Falha no circuito de tensão da válvula magnética 1 da válvula de gás.	83
Figura 91 – Falha no circuito de geração de onda PWM da válvula de gás.	84
Figura 92 – Falha no circuito de tensão de ignição.	84
Figura 93 – Teste de repetibilidade 1.	85
Figura 94 – Teste de repetibilidade 2.	85
Figura 95 – Teste de repetibilidade 3.	85
Figura 96 – Teste de repetibilidade 4.	86
Figura 97 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 1.	86
Figura 98 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 2.	87
Figura 99 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 3.	87
Figura 100 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 4.	87

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tabela de entradas e saídas das caixas de controlo electrónico	24
Tabela 2 – Características da placa de aquisição NI USB-6251	26
Tabela 3 – Tabela de entradas e saídas da placa de aquisição de dados.....	28
Tabela 4 – Tabela de limitações da placa de aquisição de dados.	30

Acrónimos

ASCII	<i>American Standard Code for Information Interchange</i> - é uma codificação de caracteres de sete bits baseada no alfabeto inglês
DB-9	É um tipo comum de conector, usado principalmente em computadores. Quando a porta série do PC começou a usar conectores de 9 pinos, ela foi baptizada de DB-9.
ENG	Departamento de Investigação e Desenvolvimento da empresa BOSCH Termotecnologia S.A.
FCT	<i>Functional Circuit Test</i> – Teste Funcional ao Circuito Electrónico.
JIG	Ferramenta ou gabarit de apoio ao trabalho anti-erro (Poke Yoke).
LabVIEW	<i>Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench</i> – Software de instrumentação utilizado neste projecto.
LCD	<i>Liquid Crystal Display</i> - Ecrã de cristais líquidos.
LED	<i>Light-Emitting Diode</i> – Díodo emissor de luz.
NTC	<i>Negative Temperature Coefficient</i> – É um termistor com coeficiente de temperatura negativo, ou seja, a sua resistência diminui com o aumento da temperatura.
TT	<i>Termotechnology</i> – Divisão Termotecnologia do Grupo Bosch
Tx	<i>Data Transmission</i> – Transmissão de dados
Rx	<i>Data Receive</i> – Recepção de Dados
PC	<i>Personal Computer</i> – Computador pessoal, de secretária ou portátil.

PCBA	<i>Printed Circuit Board Assembled</i> – Placa de Circuito Impresso Montada com os seus componentes eléctricos e mecânicos. É a electrónica para a qual se desenvolveu este projecto.
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i> – Controlador lógico programável
Poke Yoke	É um dispositivo à prova de erros destinado a evitar a ocorrência de defeitos em processos de fabricação e/ou na utilização de produtos. Este conceito faz parte do Sistema de Produção Toyota e foi adaptado ao Sistema de Produção Bosch.
PUQ	<i>Purchasing Quality</i> – Qualidade de Compras, inserido no Departamento de Compras da empresa BOSCH Termotecnologia S.A.
PUR	<i>Purchasing</i> – Departamento de Compras da empresa BOSCH Termotecnologia S.A.
Piezo	Peça usada em esquentadores Clássicos capaz de gerar energia eléctrica através de fricção entre dois materiais.
RF	<i>Rádio Frequency</i> – Ondas de radiofrequência.
USB	<i>Universal Serial Bus</i> – Barramento Série Universal. É um tipo de ligação de periféricos sem a necessidade de desligar o computador, com elevada velocidade de transmissão de dados.
VI	<i>Virtual Instrument</i> – Instrumento Virtual do software <i>LabVIEW</i> . É onde se efectua a programação orientada ao objecto.
UUT	<i>Unit Under Test</i> – Unidade em teste
DAQ	<i>Data Aquisition</i> – Aquisição de Dados

1 Introdução

1.1 Apresentação do Projecto

A tese de Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Área de Especialização em Automação e Sistemas foi elaborada no âmbito de um projecto desenvolvido na **BOSCH Termotecnologia S.A.** O projecto teve uma duração aproximada de dois anos e foi desenvolvido no *PUQ (Purchasing Quality – Qualidade de Compras)*, que se insere no Departamento *PUR (Purchasing – Departamento de Compras)*

Teve como orientadores o Professor Eng^o João Paulo Baptista por parte do Instituto Superior de Engenharia do Porto e Eng^a Cláudia Paiva por parte da BOSCH Termotecnologia S.A.

1.2 Organização do Relatório

Este relatório é composto por uma apresentação da organização, do projecto e seu contexto, um estudo dos requisitos necessários para o realizar e é apresentada a solução final de hardware e software desenvolvida. A solução final é descrita pormenorizadamente e é feita uma apresentação das suas funcionalidades. Por último serão apresentadas as conclusões do sucesso obtido com este projecto.

1.3 Estudo e Tecnologias Utilizadas

A presente Tese/Dissertação abrange uma área importante da instrumentação e medidas presentes na indústria. Tradicionalmente, neste domínio, recorre-se a equipamentos de instrumentação com recurso a software *LabVIEW*. Neste contexto irão ser analisados os meios de aquisição de dados necessários para a aplicação a construir. A solução a adoptar no projecto deverá assegurar que o *FCT* é rápido,

eficaz e capaz de ser manuseado por qualquer operador seguindo apenas uma Instrução de Trabalho redigida para o efeito.

1.4 Apresentação da Organização

O Grupo BOSCH está normalmente associado à indústria automóvel e electrodomésticos. Contudo, a BOSCH não é apenas famosa pela tecnologia das soluções do ramo automóvel e produtos domésticos. BOSCH é também um grande fabricante de outros produtos e serviços, incluindo tecnologia dos metais, tecnologia de embalagem, ferramentas eléctricas, termotecnologia, sistemas de segurança e redes de banda larga [1].

O grupo BOSCH é detido em 92% pela Fundação Robert Bosch e tem a seu cargo as actividades filantrópicas e sociais tal como estipulou o seu fundador, alargando os seus objectivos para corresponder à sociedade moderna. A Fundação utiliza os seus fundos para apoio a actividades inter-culturais, de carácter social e investigação médica.



Figura 1 – Slogan do Grupo Bosch

Em Portugal, o Grupo Bosch emprega cerca de 3500 colaboradores em seis empresas detidas a 100% pelo Grupo Bosch, tais como, BOSCH Termotecnologia S.A. (anteriormente designada por Vulcano aquando da aquisição pelo Grupo), Blaupunkt – Auto Rádio Portuguesa, Robert Bosch Unipessoal, Robert Bosch Travões, Motometer Portuguesa, Robert Bosch Security Systems. Existe ainda a BSHP electrodomésticos resultante de uma associação na qual a Bosch e a Siemens detêm quotas iguais [3].

A organização onde este projecto se insere é, como já foi referido, a BOSCH Termotecnologia S.A., a qual se designava por Vulcano antes da sua aquisição pelo

Grupo Bosch. A Vulcano iniciou a sua actividade em Aveiro em 1977, e foi em 1983 que a marca Vulcano foi introduzida no mercado Português, a qual se tornou líder do mercado em apenas dois anos, 1985. Em 1988 obtém a Certificação do Sistema de Qualidade e passa a integrar a divisão Termotécnica da Bosch, aquando da aquisição da maior parte do capital pelo Grupo. Em 1992 é atingida a liderança Europeia de esquentadores a gás, em 1995 iniciou a produção de caldeiras e em 1999 é produzido o esquentador 1 milhão. Em 2002 torna-se o Centro de Competência com responsabilidade Mundial no Grupo Bosch do produto esquentador, estando sob a sua tutela a concepção, desenvolvimento e produção de novos aparelhos. Em 2007 iniciou a produção de soluções solares de aquecimento de água e foi atingido um grande marco na produção de Aveiro: produção da caldeira número 1 milhão e do esquentador número 15 milhões.



Figura 2 - Fábrica da Vulcano (BOSCH Termotecnologia S.A.) em Aveiro.

Presentes em todos os produtos produzidos na empresa BOSCH Termotecnologia S.A. estão, entre várias outras, as marcas BOSCH, VULCANO, JUNKERS, destinadas a mercados alvo tais como mercado Ibérico, Europeu, Americano, etc.

BOSCH

Figura 3 - Logótipo da marca BOSCH



Figura 4 - Logótipo da marca Vulcano



Figura 5 - Logótipo da marca JUNKERS

Actualmente a BOSCH Termotecnologia S.A. produz Painéis Solares, Caldeiras murais a gás e Esquentadores a gás.

O seu core business é, como já referido acima, Esquentadores a gás. Como tal, são apresentadas de seguida as suas gamas de mercado para estes aparelhos domésticos de aquecimento de água [3] [4]:

- Clássicos;

Com capacidade de 5L/min. e acendimento automático ou por piezo (peça capaz de gerar energia eléctrica através da descarga de alta tensão provocada pela força exercida entre um material metálico e um material piezoeléctrico).



Figura 6 - Foto de um modelo de esquentador Clássico da marca Vulcano.

- Compactos;

Com capacidades de 11L/min., 14L/min. e 18L/min., com acendimento automático e controlo electrónico com ou sem LCD (Liquid Crystal Display). Alimentação a baterias ou hidrogerador.



Figura 7 - Foto de um modelo de esquentador Compacto, da marca Vulcano (modelo com alimentação por hidrogerador).

- Ventilados;

Com capacidades de 11L/min., 14L/min. e 17L/min., com acendimento automático e controlo electrónico com LCD. Alimentação por fonte de alimentação ligada a rede 230VAC.



Figura 8 - Foto de um modelo de esquentador ventilado da marca Vulcano.

- Estanques;

Aparelhos cuja caixa de controlo electrónico é o âmbito deste projecto.

Com capacidades de 11L/min., 14L/min. e 17L/min, com acendimento automático, controlo electrónico com LCD e ventilado. Pode estar ou não dotado de controlo remoto RF (Rádio Frequency) com LCD, dependendo do modelo (Celsius ou Celsius Plus) permitindo o controlo de temperatura comodamente à distância, inclusive durante o próprio banho uma vez que se trata de um controlo remoto à prova de água. A alimentação da sua electrónica faz-se directamente à rede 230VAC.



Figura 9 - Foto de um modelo de esquentador estanque (Celsius Plus) da marca JUNKERS.

- High Output (Alta potência)

Sem dúvida o aparelho topo de gama em termos de potência e capacidade. Com capacidades de 24L/min., 27L/min. e 30L/min. (modelo com tecnologia de condensação), com acendimento automático e controlo electrónico com LCD. Tem como opcional o controlo remoto RF com LCD A alimentação da sua electrónica faz-se directamente à rede 110VAC / 230VAC, dependendo do mercado em questão.



Figura 10 - Foto de um modelo de esquentador *High Output* da marca BOSCH.

1.5 Contexto

O departamento PUQ, transversal a toda a Divisão TT (divisão Termotécnica do Grupo Bosch) é o departamento responsável, em cada fábrica, pelo trabalho activo de acompanhamento e desenvolvimento dos seus fornecedores de peças com o objectivo de atingir a Qualidade Perfeita. Dentro das suas responsabilidades estão garantir a aprovação, controlo e libertação de peças conforme as especificações para a sua utilização na linha de produção dos aparelhos, controlos estes da responsabilidade da equipa de Controladores de Qualidade. A equipa de Engenharia, composta por Engenheiros Mecânicos e Engenheiros Electrotécnicos, é responsável pelo desenvolvimento e acompanhamento dos fornecedores através da utilização de ferramentas de Qualidade, visitas e Auditorias regulares ao Processo dos mesmos.

O acompanhamento diário de problemas de qualidade existentes nas linhas de produção assim como no mercado (cliente final) é uma actividade muito importante para que seja possível reagir rapidamente na contenção e correcção dos mesmos.

Desta forma, e uma vez que um problema de qualidade num PCBA nem sempre tem uma análise simples, surgiu a necessidade de desenvolver um equipamento de teste automático que seja capaz de testar todas as características de funcionamento das caixas de controlo electrónico dos aparelhos Celsius e Celsius Plus. Trata-se de uma unidade de controlo electrónico produzida na China, com um tempo de transporte entre o fornecedor e a Bosch de dois a três meses, fazendo acentuar ainda mais a necessidade de reacção rápida aos problemas. Com este equipamento será então possível analisar de forma rápida e eficaz as unidades de controlo electrónico com problemas de qualidade detectados na linha de produção ou no cliente final, e com o resultado da análise poder reagir imediatamente ao problema.

2 Análise de Requisitos

2.1 Esquentador Celsius

O esquentador estanque Celsius alia a última tecnologia com o máximo de conforto para o utilizador. A modulação electrónica garante a máxima estabilidade de temperatura de água, através da medição da temperatura à entrada e à saída de água do aparelho, com recurso a sondas de temperatura (NTC) e a um sensor de caudal de água, para medição da quantidade de água solicitada. Com base nestes dois parâmetros, o esquentador efectua a modulação automática da chama obtendo-se economia no consumo de gás.

O esquentador estanque Celsius é adequado para instalações em locais com deficientes condições de exaustão e/ou más condições de admissão de ar, porque: possuem uma câmara de combustão estanque, não necessitando de utilizar o ar interior da divisão onde o esquentador está instalado para o funcionamento do aparelho; incorporam um ventilador mecânico que força a saída dos gases queimados; a admissão de ar novo é feita a partir do exterior do edifício, através de condutas independentes ou de uma chaminé dupla concêntrica [3].

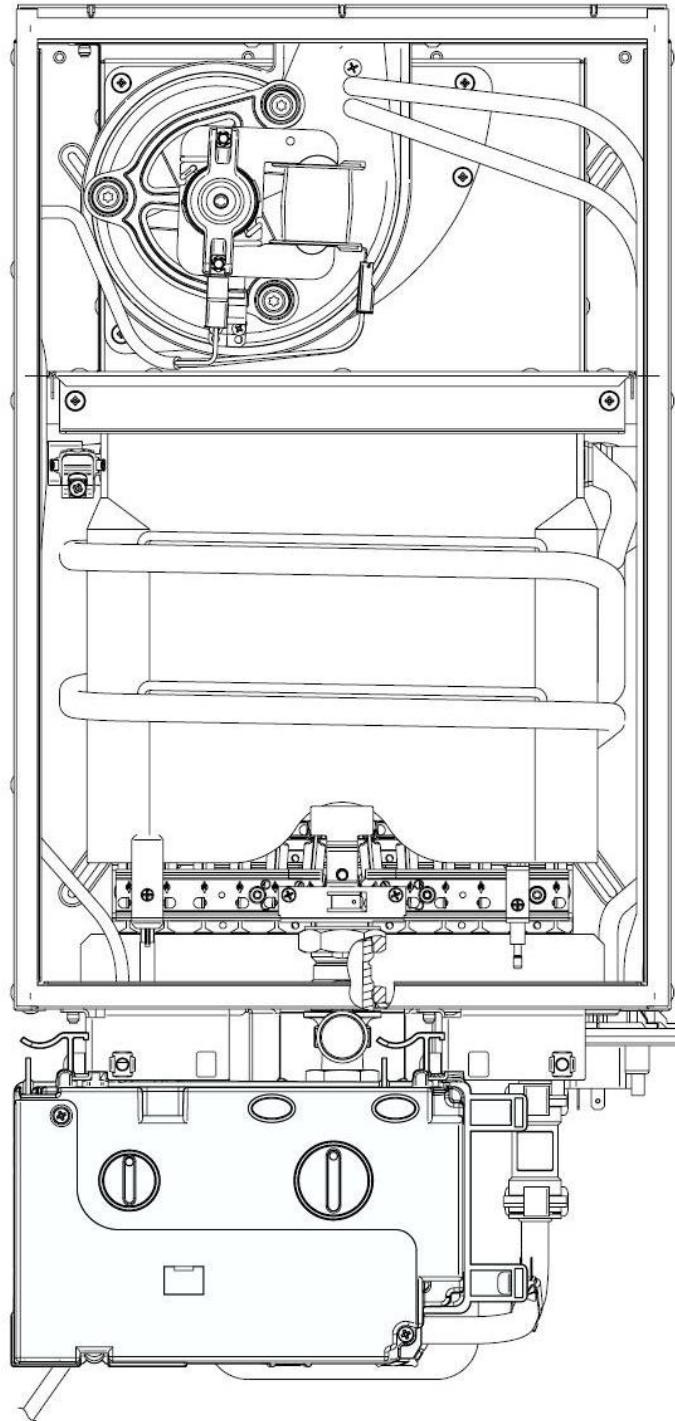


Figura 11 – Esquema gráfico do Esquentador Celsius

Abaixo figura com o esquema funcional do aparelho Celsius, retirada do manual de utilização do aparelho.

2.2 PCBA Celsius

Abaixo imagens do PCBA Celsius. Na Figura 13 é apresentado um PCBA com tampa, com o botão ON/OFF e botão de selecção de temperatura montados. Na figura 14 é apresentado o PCBA Celsius tal como é fornecido à Bosch (sem botões) mas sem a tampa de entradas e saídas, mostrando todas as respectivas ligações para o exterior.



Figura 13 - Foto de um PCBA Celsius completo e com os botões montados.

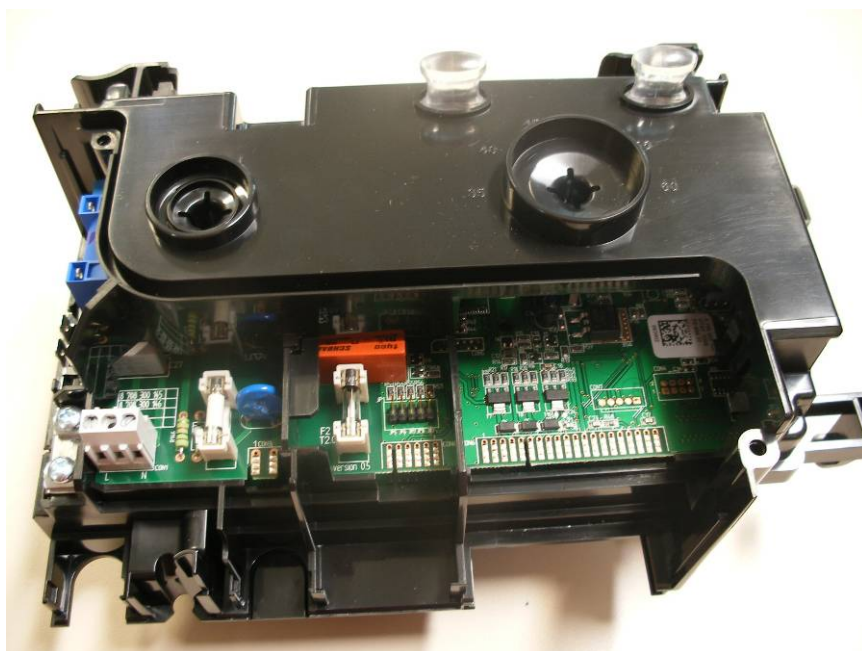


Figura 14 - Foto de um PCBA Celsius sem tampa.

A análise de requisitos apresenta a caixa electrónicas Celsius como uma “caixa negra” onde apenas são referidas as condições de funcionamento, entradas e saídas, e interface com o utilizador. Por razões óbvias de confidencialidade a lista de componentes, esquemático do pcb e software interno não serão apresentados.

2.2.1 Condição de funcionamento mecânico

O PCBA Celsius é montado em esquentador na posição vertical, virado para a frente.

2.2.2 Condições de funcionamento eléctrico

O PCBA Celsius é alimentado electricamente à tensão da rede de 230 VAC +10/-15%, com frequência de 50 ± 3 Hz ou 60 ± 3 Hz.

2.2.3 Condições de funcionamento climático

O PCBA Celsius deve funcionar em temperatura ambiente de 0°C a 60°C e deve cumprir com índice de protecção IPX4D, montado em aparelho.

2.2.4 Interface com utilizador / funções

A interface com o utilizador é feita através de botões e *led's* indicadores de estado.



Figura 15 – Imagem da interface com o utilizador do aparelho Celsius.

As funções existentes para interface com o utilizador são o botão ON/OFF que serve para ligar e desligar o aparelho, botão selector de temperatura para que o utilizador possa escolher a temperatura desejada de água quente, led vermelho indicador de erro que ao mesmo tempo é também o botão de *reset*, e por último o led verde indicador de presença de chama que é também o botão para entrar em modo de configuração.

2.2.5 Entradas

O PCBA Celsius tem como entradas a alimentação alternada da rede eléctrica (fase, neutro e terra – 230VAC), sinal do pressóstato, sinal do sensor de caudal de água, sinal da sonda de ionização, sinal do limitador de temperatura do tubo de água da câmara de combustão, sinal Tx do emissor/receptor RF do controlo remoto, sinal do sensor de temperatura de água de entrada (fria) e sinal do sensor de temperatura de água de saída (quente).

2.2.6 Saídas

O PCBA Celsius tem como saídas a tensão 230VAC para o ventilador, alta tensão (<20KV) para a ignição, tensão de alimentação 24VDC para válvula de gás, modulação da válvula de gás e sinal Rx para o emissor/receptor RF do controlo remoto.

2.2.7 Funções do Hardware / Software

Abaixo são apresentadas as funções de hardware e software do PCBA Celsius de uma forma genérica.

2.2.7.1 Reset

Em caso de bloqueio não volátil (quando a unidade electrónica detecta um erro cujo desbloqueio se pode fazer apenas através de reset manual), o Led vermelho começa a piscar. No caso do erro ter ocorrido devido ao limitador de temperatura, o Led pisca com uma frequência de 2Hz. Se a caixa electrónica entrar em modo de segurança, o que acontece se a temperatura de saída for inferior a 45°C e se a temperatura de saída for inferior a (temperatura seleccionada – 5°C) e se a temperatura de saída não mudar $\pm 2^\circ\text{C}/\text{min.}$, o Led pisca 1.5s ON e 0.5s OFF. Em caso de um destes erros ocorrer, é necessário pressionar o botão de reset durante 1s.

2.2.7.2 Caudal de água

A sequência de arranque do aparelho acontece assim que o caudal de água for superior a 3.2l/min e o aparelho desliga-se assim que o caudal de água baixe dos 2.7l/min. O Caudal é obtido pela fórmula $Q=f/6.8$, onde Q é o caudal em l/min e f é a frequência do sinal gerado pela turbina.

2.2.7.3 Exaustão de gases de combustão

O pressóstato é o componente que informa a caixa electrónica sobre a correcta exaustão dos gases de combustão. O pressóstato fecha o seu contacto interno assim que detectar uma pressão diferencial no sentido da exaustão, esta pressão diferencial é medida nas tomadas de pressão do venturi montado no ventilador. O sinal do pressóstato é constantemente medido pela caixa electrónica: se o ventilador não foi activado mas o sinal medido no pressóstato indica que existe pressão diferencial, a caixa electrónica não arranca o aparelho.

2.2.7.4 Medição de temperatura de água

A temperatura de água é medida através de NTC's de $12K\Omega$, uma no tubo de entrada de água fria e outra no tubo de saída de água quente da câmara de combustão.

2.2.7.5 Limitador de temperatura de água

O limitador de temperatura, com contacto normalmente fechado, abre o seu contacto se a temperatura ultrapassar os 104°C nos tubos da câmara de combustão. Este limitador de temperatura é utilizado para detectar presença de chama na câmara de combustão quando não existe caudal de água e também para evitar que a água atinja a sua temperatura de ebulição dentro dos tubos de cobre.

2.2.7.6 Regulação de temperatura

A temperatura desejada é visualizada na escala presente no painel de plástico da caixa electrónica e é seleccionada através da posição do selector rotativo de temperatura, o qual actua directamente num potenciómetro.

A temperatura de água é regulada através da válvula de gás modulada para assegurar que a temperatura de água desejada esteja disponível à saída do esquentador, com uma estabilidade de $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

2.2.7.7 Comunicação / Diagnóstico

O sistema permite o acesso à memória do micro controlador principal através do conector de comunicação, usando comunicação série.

2.2.7.8 Programação *on board*

A programação de software do micro controlador é feita directamente no circuito através do conector de comunicação.

2.2.7.9 Ignição

A ignição da chama do aparelho é gerada no circuito de ignição onde o componente principal é o transformador de ignição. A ignição é feita com uma tensão inferior a 20KV à frequência de 7 Hz.

2.2.7.10 Detecção de chama

A chama na câmara de combustão é detectada através de uma sonda de ionização. A ionização é a transferência de iões entre a sonda e a terra do aparelho através da chama, provocando essa ionização uma corrente superior a 8 μ A. A sonda de ionização é permanentemente verificada durante o funcionamento do esquentador e se a corrente é detectada quando o sistema deverá estar em repouso (sem aquecimento de água), o sistema entra em bloqueio e apresenta sinalização de erro.

2.2.7.11 Sequência de arranque

Quando existe pedido de água quente (caudal de água superior ao caudal de arranque definido em 2.2.7.2), o micro controlador principal arranca o ventilador e espera pelo sinal do pressóstato. Depois de detectar o sinal do pressóstato a unidade electrónica inicia a ignição e abre a válvula de gás. Se durante as fases de arranque (ignição) o sinal de ionização não for detectado a unidade electrónica entra em bloqueio. A fase de arranque consiste em 3 tentativas de ignição (com válvula de gás aberta) com intervalos de purga (válvula de gás fechada, ventilador ligado). A fase de arranque consiste então em 6s de ignição, 3s de purga, 6s de ignição, 3s de purga e por fim 6s de ignição. Sempre que não há necessidade de água quente e sempre que o sistema entre em bloqueio, é realizada uma purga durante 60s.

2.3 Esquentador Celsius Plus

O esquentador estanque Celsius Plus, para além de todas as características definidas no ponto 2.1, utiliza ainda um inovador sistema de regulação automática do caudal de água de forma a garantir a temperatura de saída de água seleccionada de forma

rápida, evitando assim o desperdício de água fria. Esta inovação permite obter uma dupla economia: gás e água. Graças a um controlo remoto via rádio, sem fios e à prova de água, torna-se possível seleccionar a temperatura de água à saída do aparelho tendo como resultado o Máximo conforto do utilizador.

No ergonómico painel digital frontal, o utilizador pode regular facilmente a temperatura de água pretendida, assim como obter informações sobre possíveis anomalias no funcionamento.

O Celsius Plus possibilita ainda a pré-programação de uma temperatura no painel frontal e no controlo remoto (podem ser registados até 6 comandos por aparelho), podendo por exemplo cada elemento da família ter a sua temperatura programada, bastando pressionar uma tecla para a seleccionar.

De seguida é apresentada fotografia do aparelho Celsius Plus sem a frente metálica, onde se podem observar os principais componentes.



Figura 16 – Foto do aparelho Celsius Plus sem frente.

2.4 PCBA Celsius Plus

O PCBA Celsius Plus é semelhante ao PCBA Celsius com a diferença exterior nos botões de selecção de temperatura e LCD, os quais estão presentes nesta versão.



Figura 17 – Foto do PCBA Celsius Plus.

A análise de requisitos apresenta a caixa electrónica Celsius Plus como uma “caixa negra” onde apenas são referidas as condições de funcionamento, entradas e saídas, e interface com o utilizador. Por razões óbvias de confidencialidade a lista de componentes, esquemático do pcb e software interno não serão apresentados.

2.4.1 Condições de funcionamento mecânico

O PCBA Celsius é montado em esquentador na posição vertical, virado para a frente.

2.4.2 Condições de funcionamento eléctrico

O PCBA Celsius é alimentado electricamente à tensão da rede de 230 VAC +10/-15%, com frequência de 50 ± 3 Hz ou 60 ± 3 Hz.

2.4.3 Condições de funcionamento climático

O PCBA Celsius deve funcionar em temperatura ambiente de 0°C a 60°C e deve cumprir com índice de protecção IPX4D, montado em aparelho.

2.4.4 Interface com utilizador / funções

A interface com o utilizador é feita através de botões, led indicador de estado e LCD.



Figura 18 – Imagem da interface com o utilizador do aparelho Celsius Plus.

As funções existentes para interface com o utilizador são o botão ON/OFF que serve para ligar e desligar o aparelho, botões selectores de temperatura para que o utilizador possa escolher a temperatura desejada de água quente, led vermelho indicador de erro que ao mesmo tempo é também o botão de *reset*, botão para entrar em modo de configuração e por último o LCD. Este apresenta indicação de presença de chama no queimador, temperatura de água à saída e código de erro em situação de bloqueio.

2.4.5 Entradas

O PCBA Celsius Plus tem, para além das entradas do PCBA Celsius mencionadas em 2.2.5, a entrada do sensor de hall do motor passo-a-passo da válvula de água.

2.4.6 Saídas

O PCBA Celsius Plus tem adicionalmente às saídas do PCBA Celsius mencionadas em 2.2.6 a saída modulada para o motor passo-a-passo da válvula de água.

2.4.7 Funções do Hardware / Software

As funções de hardware e software do PCBA Celsius Plus, de uma forma genérica, são as mesmas do PCBA Celsius apresentadas em 2.2.7. De seguida são apresentadas as diferenças e as funções adicionais às apresentadas em 2.2.7.

2.4.7.1 Caudal de água

O Caudal é obtido pela fórmula $Q=f/4$, onde Q é o caudal em l/min e f é a frequência do sinal gerado pela turbina.

2.4.7.2 Regulação de temperatura

A temperatura é seleccionada através dos botões “+” e “-“. A temperatura programada de fábrica é 42°C, mas pode ser alterada pressionando o botão de programação durante 5s. Aparecerá no LCD a mensagem “Pr” e a temperatura pode então ser alterada. Sempre que o PCBA é ligado a temperatura de *setpoint* é a última temperatura seleccionada antes deste se ter desligado.

Para assegurar à saída a temperatura de água desejada de forma mais eficiente e de acordo com o caudal de água pedido, o PCBA regula o caudal de água à entrada através da válvula motorizada controlada por um motor passo a passo

2.4.7.3 Códigos de erro

Se ocorrer um erro durante o funcionamento do aparelho o led vermelho acende e ao mesmo tempo surge no LCD um código de erro.

2.5 Hardware

2.5.1 Requisitos do sistema

O Hardware a desenvolver deverá simular todas as entradas das caixas de controlo electrónico e deverá ser capaz de ler todas as saídas para efectuar a devida validação do bom funcionamento das unidades.

Como referido acima, as caixas de controlo electrónico Celsius e Celsius Plus têm várias entradas e saídas, que são representadas na tabela abaixo.

Designação	Nome	Entrada / Saída
Alimentação	230Vac	Entrada
NTC água fria	TIN	Entrada
NTC água quente	TOUT	Entrada
Sinal de água	WFS	Entrada
Válvula de gás 1	MV1	Saída
Válvula de gás 2	MV2	Saída
Modulação gás 1	VMod1	Saída
Modulação gás 2	VMod2	Saída
Ignição	Spark	Saída
Ionização	ION	Entrada
Limitador Temp.	Tlimit	Entrada
Reset	Reset	Entrada
Pressóestado	PSW	Entrada
Ventilador	Fan	Saída
Comunicação	COMM	Entrada / Saída

Tabela 1 – Tabela de entradas e saídas das caixas de controlo electrónico

Conhecendo os requisitos do sistema, é então possível dimensionar o Hardware necessário para o desenvolvimento do sistema de teste funcional.

2.5.2 Aquisição de dados

Há uma grande variedade de hardware disponível que pode ser ligado a um computador ou acessível através de uma rede. Estes dispositivos oferecem uma enorme gama de possibilidades de aquisição de dados a um custo significativamente mais baixo do que se utilizar dispositivos dedicados.

Para o desenvolvimento do sistema de teste de caixas de controlo electrónico foi considerada a utilização de, pelo menos, um sistema de aquisição de dados tendo em consideração o número de entradas / saídas analógicas e digitais das caixas electrónicas Celsius e Celsius Plus. A placa de aquisição deverá simular todos os sinais de entrada das unidades electrónicas e ler os sinais de saída das mesmas. Os valores lidos serão comunicados a um computador em tempo real, via porta universal série (USB). O Software fará também em tempo real o tratamento dos dados e a devida validação da conformidade dos sinais enviados pelas caixas electrónicas.

Dependendo de cada aplicação, o dispositivo de aquisição utilizado para a implementar pode incluir entradas ou saídas analógicas, entradas ou saídas digitais, contadores, temporizadores, filtros, etc. A grande diversidade de placas e de dispositivos disponíveis pode incluir qualquer uma destas características ou uma combinação delas.

Para este projecto foram considerados vários sistemas de aquisição de dados da National Instruments [5], actual fornecedor da Bosch de software de desenvolvimento e soluções de hardware. Para a escolha do sistema de aquisição de dados foram considerados os requisitos descritos em 2.5.1, os quais fizeram a escolha do sistema tender para as placas de aquisição de dados com entradas e saídas digitais e analógicas, com ligação a computador via USB.

A placa de aquisição de dados escolhida foi a NI USB-6251 cuja especificação é apresentada na tabela abaixo.

Geral	Nome	USB-6251
	Família de produto	Aquisição de dados multifunções
	Interface	USB
	Sistema Operativo	Windows
	Custo	1,349 €
Entradas Analógicas	Canais	16
	Resolução	16 bits
	Taxa de amostragem	1.25MS/s
	Tensão máxima	10V
	Gama máxima de Tensão	-10V, 10V
	Precisão	1.92mV
Saídas Analógicas	Canais	2
	Resolução	16 bits
	Tensão máxima	10V
	Gama máxima de Tensão	-10V, 10V
	Precisão	2.08mV
	Drive de corrente por saída	5mA
I/O Digitais	Canais bidireccionais	24
	Frequência máxima do relógio	1MHz
	Níveis lógicos	TTL
	Corrente máxima por saída	24mA
Contadores	Contadores	2
	Frequência máxima da fonte	80MHz
	Gerador de impulsos	Sim
	Resolução	32 bits
	Níveis lógicos	TTL
Dimensões físicas	Comprimento	26.67 cm
	Largura	17.09 cm
	Altura	4.45 cm
	Conectores I/O	Terminais com parafuso

Tabela 2 – Características da placa de aquisição NI USB-6251

As imagens de seguida apresentadas mostram o equipamento de aquisição de dados.



Figura 19 – Hardware de aquisição de dados visto por cima



Figura 20 – Hardware de aquisição de dados visto de frente

O factor decisivo para a escolha deste hardware de aquisição de dados foi o facto de este apresentar 2 saídas analógicas, as quais serão utilizadas para simular os valores em tensão dos NTC de entrada e saída de água do esquentador Celsius e Celsius Plus. Todas as restantes entradas e saídas são mais do que suficientes para a aplicação a desenvolver.

A tabela seguinte apresenta a distribuição das entradas / saídas da placa de aquisição de dados e respectivos portos.

Designação	Nome	DAQ USB 6251	Porto
Alimentação	230Vac	Saída Digital	P0.3
NTC água fria	TIN	Saída Analógica	AO 0
NTC água quente	TOUT	Saída Analógica	AO 1
Sinal de água	WFS	Saída Digital	P2.5
Válvula de gás 1	MV1	Entrada Analógica	AI 1
Válvula de gás 2	MV2	Entrada Analógica	AI 2
Modulação gás 1	VMod1	Entrada Analógica	AI 3
Modulação gás 2	VMod2	Entrada Analógica	AI 4
Ignição	Spark	Entrada Analógica	AI 5
Ionização	ION	Saída Digital	P0.0
Limitador Temp.	Tlimit	Saída Digital	P0.1
Reset	Reset	Entrada Digital	P0.4
Pressóestato	PSW	Saída Digital	P0.2
Ventilador	Fan	Entrada Digital	P0.5

Tabela 3 – Tabela de entradas e saídas da placa de aquisição de dados

2.6 Software

Escolhido o Hardware pelas razões descritas em 2.5.2, o Software será desenvolvido em LabVIEW versão 8.6, sendo esta ferramenta de programação fornecida pelo mesmo fornecedor National Instruments [6].



Figura 21 – Logótipo do software de programação (marca registada)

2.6.1 LabVIEW 8.6

O LabVIEW é uma linguagem de programação gráfica originária da National Instruments, sendo que a primeira versão surgiu em 1986. Os principais campos de aplicação do LabVIEW são a realização de medições e a automação. A programação é feita de acordo com o modelo de fluxo de dados, o que oferece a esta linguagem vantagens para a aquisição de dados e para a sua manipulação [7].

Os programas em LabVIEW são chamados de instrumentos virtuais, ou mais simplesmente VI's (*Virtual Instruments*). São compostos pelo painel frontal, que contém a interface com o utilizador, e pelo diagrama de blocos que contém o código gráfico do programa. O LabVIEW é, então, uma linguagem de programação gráfica, que usa ícones em vez de linhas de comandos para criar as suas aplicações. Contrasta com as linguagens de programação baseadas em linhas de comando, em que as instruções determinam a ordem de execução do programa. O LabVIEW usa o fluxo de dados dentro do programa, em que o fluxo de dados por meio dos nós no diagrama de blocos determina a ordem de execução dos VI's dentro das funções. Cada VI pode conter vários sub-VI, o que significa que os VI's podem ser incluídos dentro de outros VI's e serem ligados facilmente através dos nós de ligação, como mostra a figura seguinte em que o VI "232 com" é neste caso um sub-VI do programa.

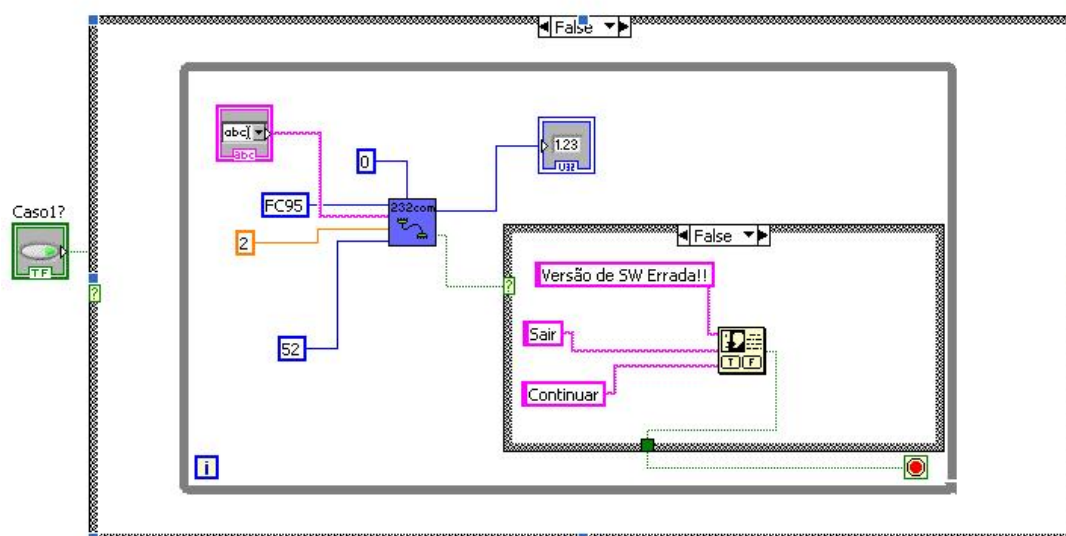


Figura 22 – Exemplo de sub-VI dentro de outro VI.

O fluxo de dados é definido de acordo com as ligações feitas pelo programador. Cada VI pode conter entradas e/ou saídas e a sua execução começa quando todas as entradas estão disponíveis. Os resultados do processamento são então colocados nas saídas assim que a execução do sub-VI tenha terminado. Desta forma, a ordem

pela qual as tarefas são executadas é definida em função dos dados. Em linguagem de programação LabVIEW, a ordem “esquerda para a direita” não existe. Uma grande vantagem destas regras de fluxo de dados é a facilidade com que podem ser criados processos paralelos: os sub-VI sem interdependência dos respectivos dados são processados em paralelo.

O *front panel* (instrumento virtual principal) do LabVIEW é um meio confortável para construção de programas com uma boa interface gráfica. O programador não necessita de escrever qualquer linha de código, a apresentação gráfica dos processos aumenta a facilidade de leitura e de utilização.

3 Hardware desenvolvido

3.1 Interface entre DAQ e PCBA

Apesar das características e vantagens da placa de aquisição de dados, apresentadas acima, existem algumas limitações nesta aplicação. As limitações estão relacionadas com a potência máxima nos portos de entrada e saída da placa de aquisição de dados que não permitem a actuação ou leitura directa de alguns sinais da unidade em teste. A tabela seguinte mostra quais os sinais que necessitam de adaptação de potência.

Designação	Nome	DAQ USB 6251	Sinal referente a:
Alimentação	230V_DAQ	Saída Digital	0 - 230Vac
Válvula de gás 1	MV1	Entrada Analógica	0 - 24Vdc
Válvula de gás 2	MV2	Entrada Analógica	0 - 24Vdc
Modulação gás 1	VMod1	Entrada Analógica	18Vdc
Modulação gás 2	VMod2	Entrada Analógica	18Vdc
Ignição	Spark	Entrada Analógica	10 - 20KV
Ionização	ION	Saída Digital	Ligação à terra da rede eléctrica
Ventilador	Fan	Entrada Digital	0 - 230Vac

Tabela 4 – Tabela de limitações da placa de aquisição de dados.

Para resolver as limitações foi necessário criar um hardware de interface entre a placa de aquisição de dados e a unidade em teste. O esquemático do hardware desenvolvido foi desenhado utilizando o software de desenho de circuitos Eagle.

3.1.1 230Vac

Para activar a alimentação da unidade de controlo em teste foi construído um circuito utilizando um relé com bobina 12Vdc / contacto 230Vac, um transistor NPN 2N2222, uma resistência 12k Ω / 0.25W e um díodo 1N4004.

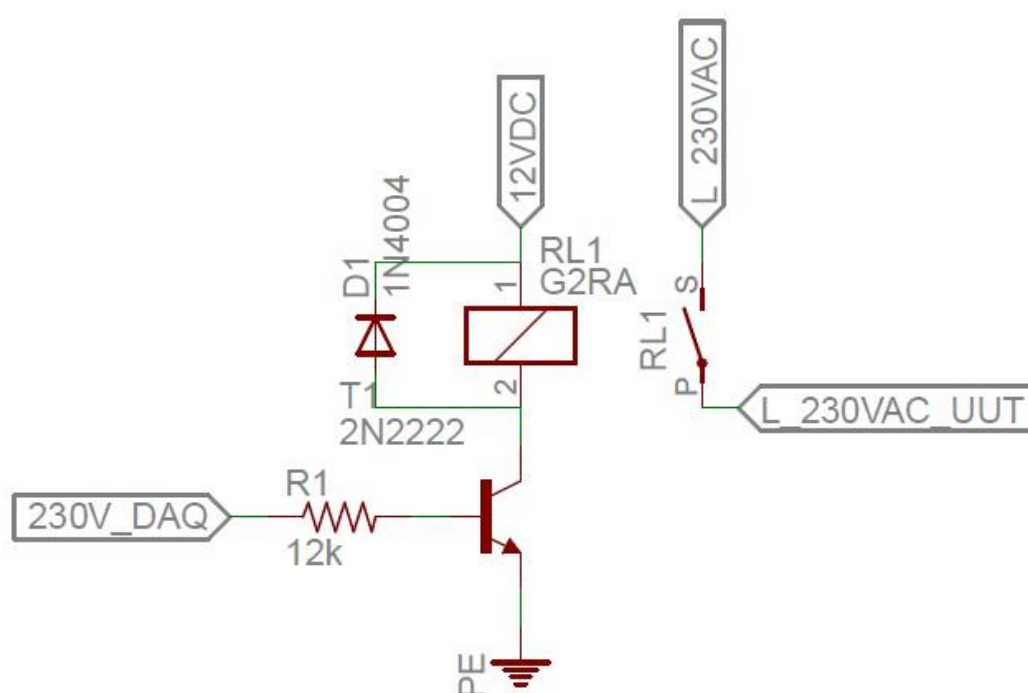


Figura 23 – Esquemático do circuito de actuação 230Vac.

Neste circuito, a resistência da bobina do relé RL1, sendo na ordem das centenas de ohm, é suficiente para a limitação de corrente no transistor, não sendo necessário dimensionar uma resistência para o emissor do mesmo. O díodo polarizado inversamente em paralelo com a bobina do relé serve para evitar danos no transistor devido à corrente inversa gerada pela bobine quando se desliga o relé.

De seguida são apresentados os cálculos realizados para o dimensionamento deste circuito.

$$R_{RL1} = 320\Omega$$

$$\beta_{T1} = 100$$

$$I_C = \frac{12 - 0.3}{320} = 37mA$$

$$I_b = \frac{37}{100} = 0.37mA$$

$$R_1 = \frac{5 - 0.7}{0.37} \approx 12k\Omega$$

3.1.2 MV1/MV2

Os valores de tensão gerados pela unidade de controlo electrónico para actuar as duas bobinas da válvula de gás são 0Vdc (OFF) ou 24Vdc (ON).

Uma vez que o DAQ tem como tensão máxima admissível nos portos analógicos 10Vdc, é necessário adaptar as tensões entre a unidade de controlo e o DAQ. Para isso foi construído um circuito divisor de tensão com resistências de 0.25W para que 24Vdc vindos da unidade em teste sejam convertidos em 5Vdc para leitura no DAQ, ou seja, aos níveis de tensão 0-24Vdc gerados na unidade em teste correspondem os níveis de tensão 0-5Vdc no DAQ.

Neste caso a placa de aquisição de dados necessita de ler alimentação ON ou OFF da válvula de gás, e para isso poderia ter sido utilizado um circuito diferente recorrendo a um transístor NPN e ligado a uma entrada digital do DAQ, mas desta forma é possível ler a tensão aplicada à válvula de gás e com isto fazer uma validação do circuito de 24Vdc da unidade de controlo electrónico.

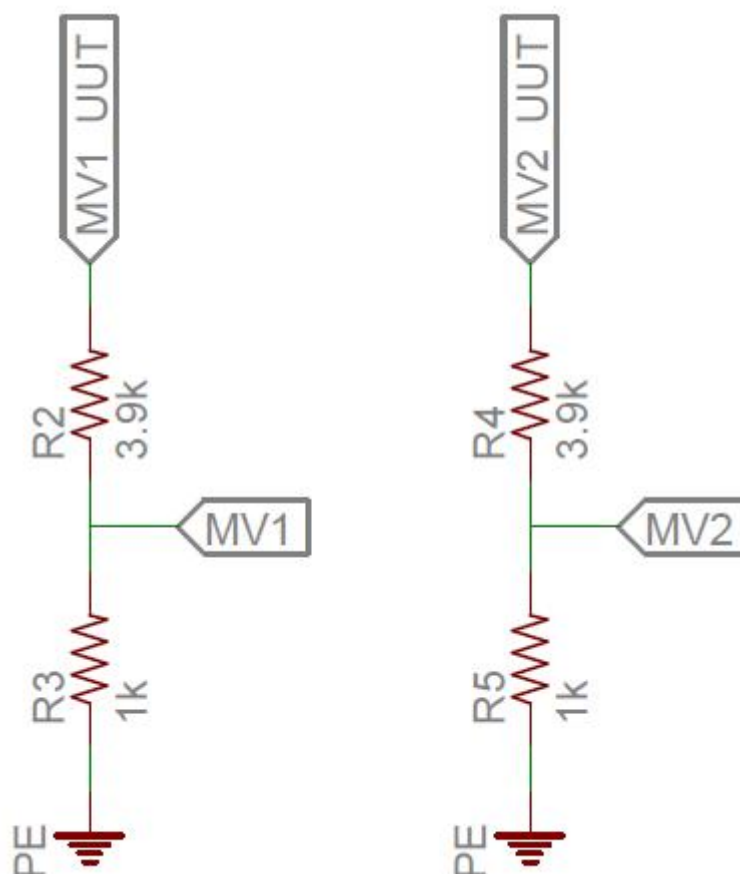


Figura 24 – Esquemático dos circuitos de leitura de actuação da válvula de gás.

Neste circuito, MVx_UUT (magnetic valve x _ unit under test) são os sinais gerados pela unidade de controlo electrónico em teste, MVx (magnetic valve x) são os sinais analógicos de entrada no DAQ.

De seguida são apresentados os cálculos realizados para o dimensionamento e calibração deste circuito.

$$\begin{cases} R_{3/5} = 1k\Omega \\ MVx_UUT = 24V \\ MVx = 5V \\ R_{2/4} = ? \end{cases}$$

$$5 = \frac{1}{1+R} \times 24 \Leftrightarrow R_{2/4} = 3.8k\Omega \approx 3.9k\Omega$$

$$\begin{cases} R_{3/5} = 1k\Omega \\ R_{2/4} = 3.9k\Omega \\ MVx_UUT = 24V \\ MVx = \frac{1}{1+3.9} \times 24 = 4.9V \end{cases}$$

3.1.3 VMod1/VMod2

Para se obter a modulação de gás no queimador do aparelho a caixa de controlo electrónico Celsius actua sobre as bobinas da válvula de gás com uma tensão analógica de 0Vdc a 18Vdc.

Tal como no circuito apresentado anteriormente, uma vez que o DAQ tem nos portos analógicos uma tensão máxima admissível de 10Vdc, é necessário adaptar as tensões entre a unidade de controlo e o DAQ. Para isso foi construído um circuito divisor de tensão com resistências de 0.25W para que 18Vdc vindos da unidade em teste sejam convertidos em 5Vdc para leitura no DAQ, ou seja, aos níveis de tensão 0-18Vdc gerados na unidade em teste correspondem os níveis de tensão 0-5Vdc no DAQ.

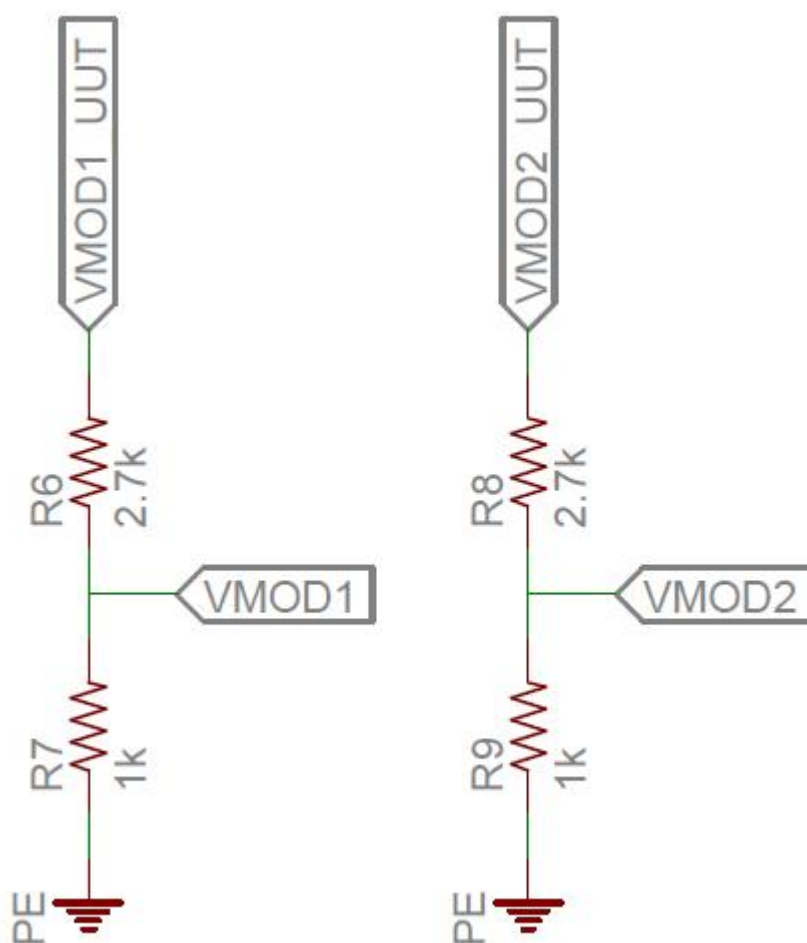


Figura 25 – Esquemático dos circuitos de leitura de modulação da válvula de gás.

Neste circuito, VMODx_UUT (valve modulation x _ unit under test) são os sinais gerados pela unidade de controlo electrónico em teste, VMODx (valve modulation x) são os sinais analógicos de entrada no DAQ.

De seguida são apresentados os cálculos realizados para o dimensionamento e calibração deste circuito.

$$\begin{cases} R_{7/9} = 1k\Omega \\ VMODx_UUT = 18V \\ VMODx = 5V \\ R_{6/8} = ? \end{cases}$$

$$5 = \frac{1}{1+R} \times 18 \Leftrightarrow R_{6/8} = 2.6k\Omega \approx 2.7k\Omega$$

$$\begin{cases} R_{7/9} = 1k\Omega \\ R_{6/8} = 2.7k\Omega \\ VMODx_UUT = 18V \\ VMODx = \frac{1}{1+2.7} \times 18 = 4.86V \end{cases}$$

3.1.4 Spark

A tensão de ignição (*Spark*) é a tensão gerada pela unidade de controlo electrónico para uma vela de ignição, constituída por dois eléctrodos de aço a uma distância de 10mm, que está localizada dentro da câmara de combustão do aparelho e tem a função de ignição de gás.

O circuito foi desenhado utilizando parte do circuito elevador de tensão da unidade de controlo electrónico, mas invertido. Ou seja, na unidade em teste a tensão de ignição é gerada num circuito que contem, entre outros componentes, um transformador elevador de tensão (transformador de ignição), controlado pelo microcontrolador principal. Para o dimensionamento deste circuito foram retirados duma caixa electrónica Celsius o transformador de ignição e o condensador de 1 μ F.

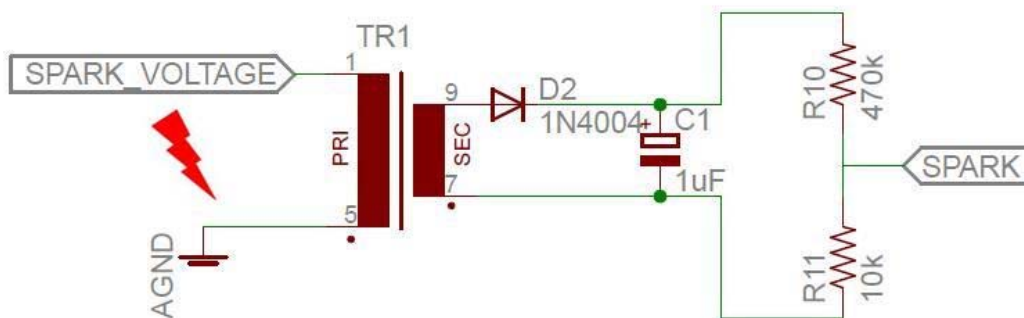


Figura 26 – Esquemático do circuito de leitura da tensão de ignição.

O transformador de ignição tem uma razão de transformação de $N=85$ e como já referido no capítulo 2.2.7.9 gera uma tensão inferior a 20kV. Com base nestes valores, para uma tensão de 20kVac no secundário do transformador surge uma tensão de cerca de 230Vac no primário. O condensador C1 tem a função de armazenagem de energia e com isto estabilizar o valor de tensão a medir. O díodo tem a função de rectificação de meia onda da tensão que surge aos terminais do primário do transformador.

De seguida são apresentados os cálculos realizados para o dimensionamento e calibração deste circuito.

$$\begin{cases} N_{TR1} = 85 \\ R_{11} = 10k\Omega \\ SPARK = 5V \rightarrow V_{PRI} = 230V (\approx V_{SEC} = 20kV) \\ R_{10} = ? \end{cases}$$

$$5 = \frac{10}{10 + R_{10}} \times 230 \Leftrightarrow R_{10} = 450k\Omega \approx 458k\Omega (390k + 68k)$$

$$SPARK = \frac{10}{458 + 10} \times 230 = 4.91V$$

$$I_{R10} = \frac{225}{458k} = 0.491mA \rightarrow P_{R10} = 225 \times 0.491m = 0.11W$$

$$I_{R11} = \frac{5}{10k} = 0.5mA \rightarrow P_{R11} = 5 \times 0.5m = 0.0025W$$

No dimensionamento deste circuito foram calculadas as suas correntes para determinar se os componentes foram devidamente dimensionados.

3.1.5 ION

A ionização é detectada se existir uma corrente na ordem de unidade de μA a circular para a terra da alimentação (simulando a realidade onde essa corrente de facto circula para a estrutura metálica do aparelho que se encontra ligada à terra da alimentação). Para simular a detecção de presença de chama, o DAQ vai fechar internamente (por software) um circuito cuja saída é a entrada do sinal ION da unidade em teste. Fechando este circuito passa a existir fluxo de corrente da unidade em teste para a terra da alimentação.



Figura 27 – Esquemático do circuito de detecção de chama (ionização).

3.1.6 FAN

Para verificação de activação do ventilador de exaustão de gases de combustão, sendo que este funciona à tensão da rede 230Vac, é necessário verificar o seu estado através de um relé com bobina a 230Vac.

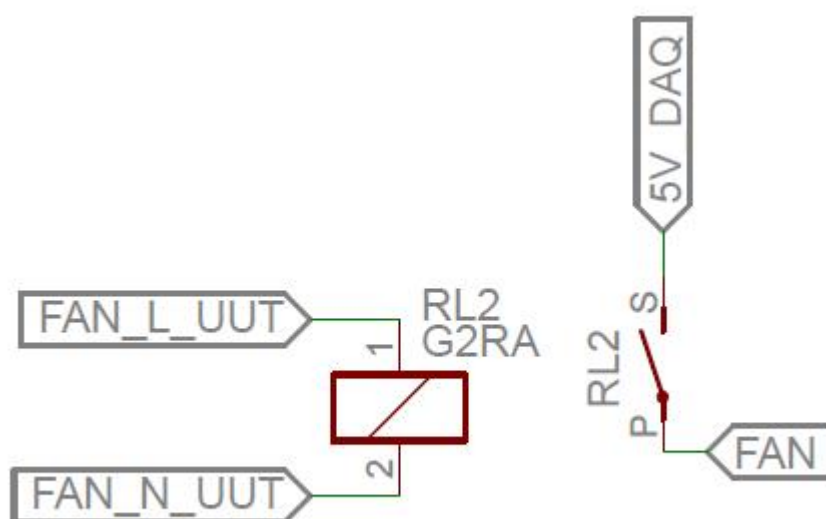


Figura 28 – Esquemático do circuito de verificação de funcionamento do relé.

A bobina do relé está ligada à saída de ventilador 230Vac da unidade em teste, quando o ventilador é alimentado o relé fecha o seu contacto fazendo alterar o estado da entrada digital FAN do DAQ para o estado lógico “1”.

3.2 Jig de agulhas

Para a realização do teste funcional das caixas de controlo electrónico foi construído um jig de agulhas tendo em consideração a segurança do utilizador, função anti-erro (poke yoke de posição) e robustez geral para uma boa durabilidade.

O jig é constituído por uma base de madeira com local dedicado à colocação da unidade em teste (anti-erro), painel superior em acrílico onde estão montadas as

agulhas distribuídas de acordo com os conectores da unidade em teste e a cablagem respectiva. A segurança do utilizador é garantida pelo fecho em alavanca, o qual faz com que todos os contactos de alta e baixa tensão fiquem dentro duma zona fechada, onde o utilizador não pode aceder.

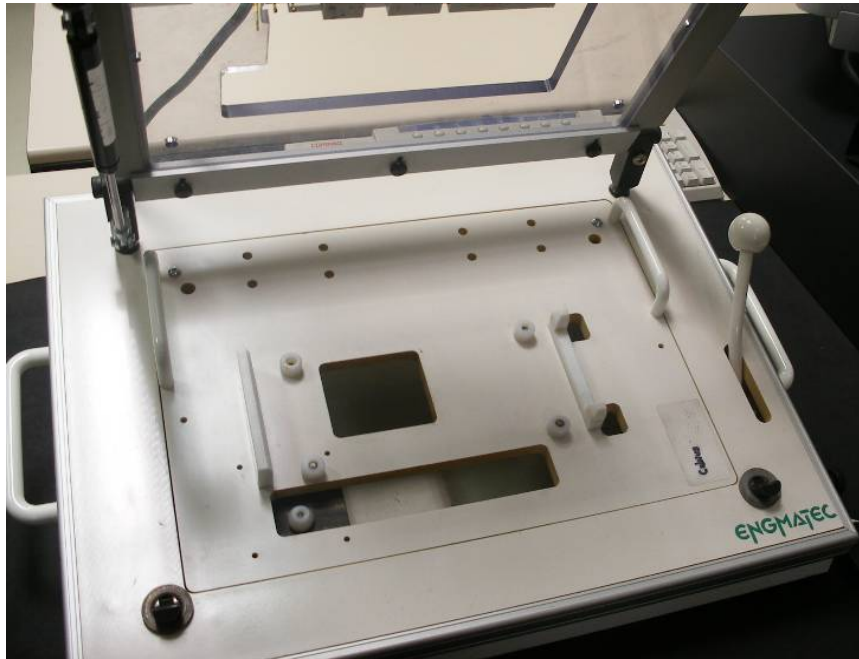


Figura 29 – Imagem do jig (com a tampa aberta).

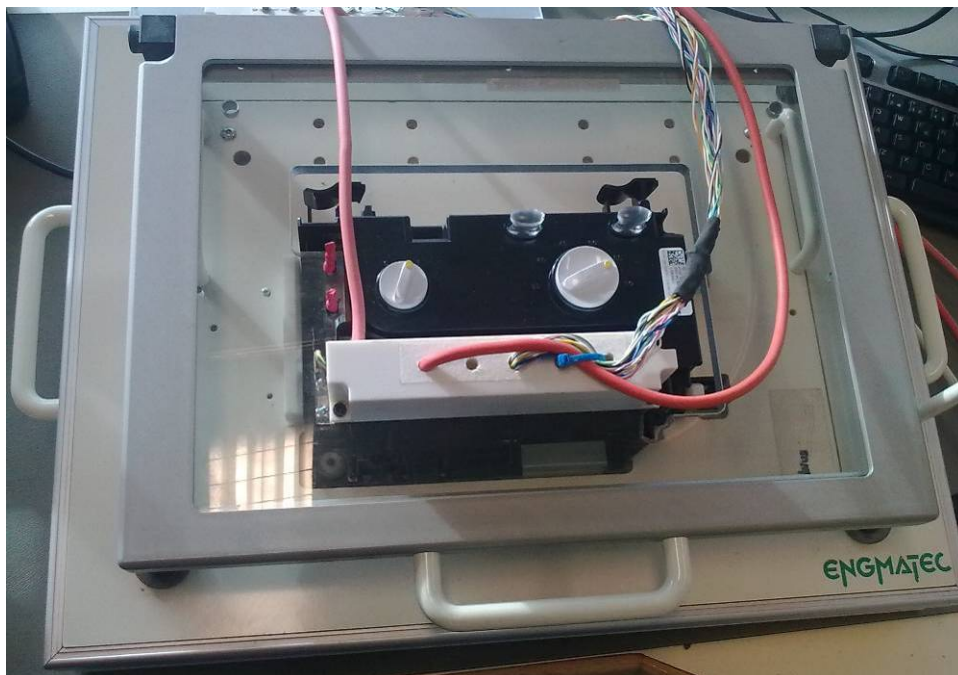


Figura 30 – Imagem do jig com uma caixa Celsius colocada na única posição possível.

A razão da utilização de agulhas de contacto deve-se ao facto de todos os contactos de potência e baixa tensão (sinal) da caixa electrónica estarem disponíveis numa só face, estando os contactos de sinal distribuídos de forma a permitir ligação de conector RAST (ver imagem abaixo), e pelo facto de os contactos eléctricos por agulhas serem eficazes e de rápida ligação (existem, para a produção de placas electrónicas, inúmeras aplicações de teste com o uso de agulhas de contacto, estando provada a sua eficácia). O jig tem tantas agulhas quanto o número de entradas e saídas da caixa electrónica Celsius, já descritas anteriormente em 2.5.1.

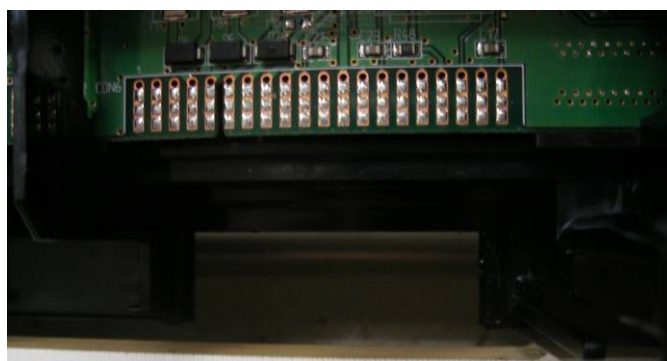


Figura 31 – Conector RAST do PCBA Celsius e Celsius Plus.



Figura 32 – Agulhas do jig (fechado) em contacto com o pcb – baixa tensão.

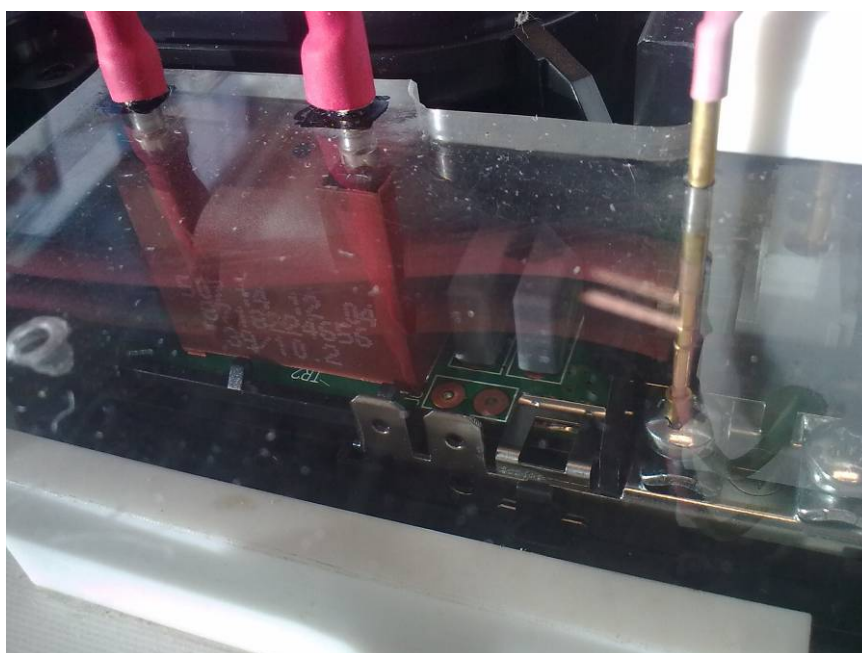


Figura 33 – Agulhas do jig (fechado) em contacto com o pcb – alta tensão.

Nas imagens acima pode-se ver que as agulhas são pressionadas contra o pcb da caixa de controlo de electrónico, quando o jig se encontra fechado. Mas não é necessário fazê-lo apenas contra pistas do pcb, pode ser feito o contacto de agulhas directamente com componentes específicos, como o caso dos contactos de alta tensão: agulhas de alimentação 230VAC (sobre os parafusos do conector), contacto

Terra (sobre o parafuso de ligação de terra) e tensão de ignição (directamente sobre os pinos do transformador).

A imagem seguinte mostra o painel superior do jig com as agulhas de teste e sua disposição.

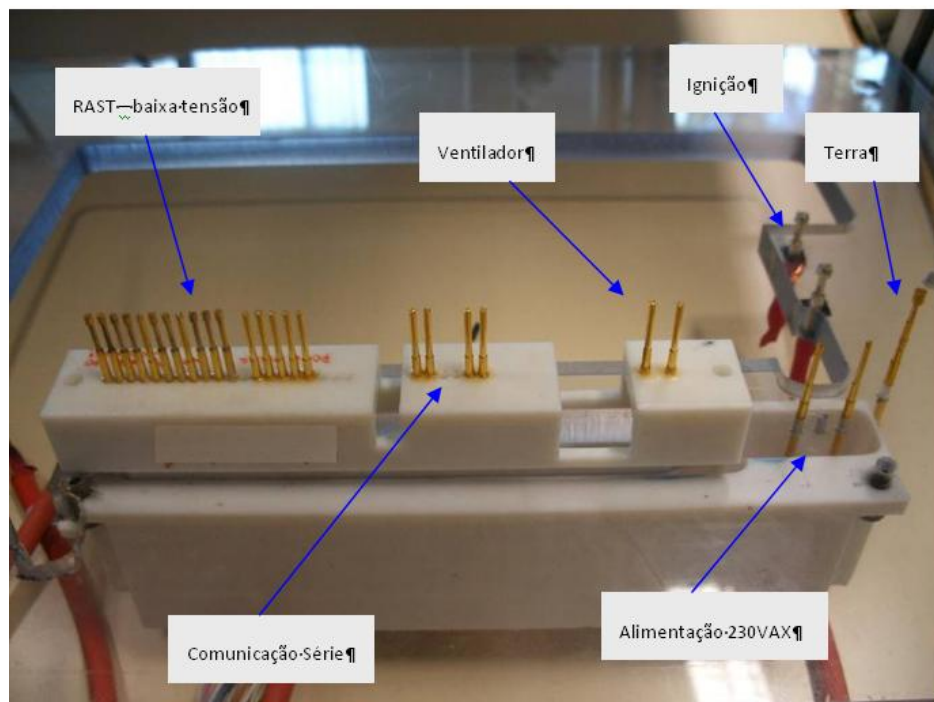


Figura 34 – Painel superior com as agulhas de teste.

3.3 Cablagem

A cablagem foi construída com base nas entradas e saídas da caixa de controlo electrónico Celsius, as quais estão descritas em 2.5.1.

Na fase inicial de desenvolvimento, foi construída uma cablagem utilizando fio multifilar reaproveitado de cabo DB25 de porta paralela para os fios de baixa tensão, uma cablagem 3x0.75mm² com isolamento em PVC (Policloreto de vinil) para o sinal

de 230VAC do ventilador, uma cablagem 3x0.75mm² com isolamento em silicone para a alimentação 230VAC e uma cablagem 2x1mm² com isolamento em silicone para a alta tensão de ignição.

Abaixo as imagens da cablagem em fase de desenvolvimento.

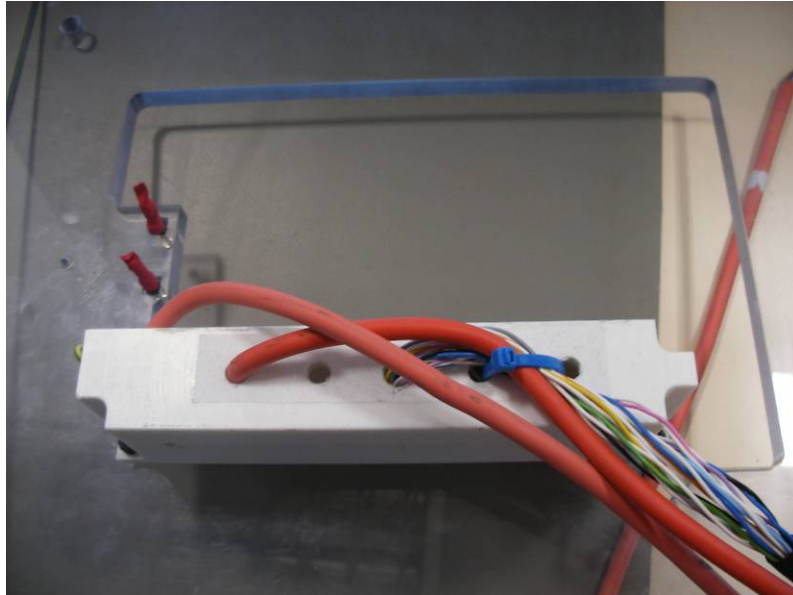


Figura 35 – Painel superior com a cablagem (em fase de testes).

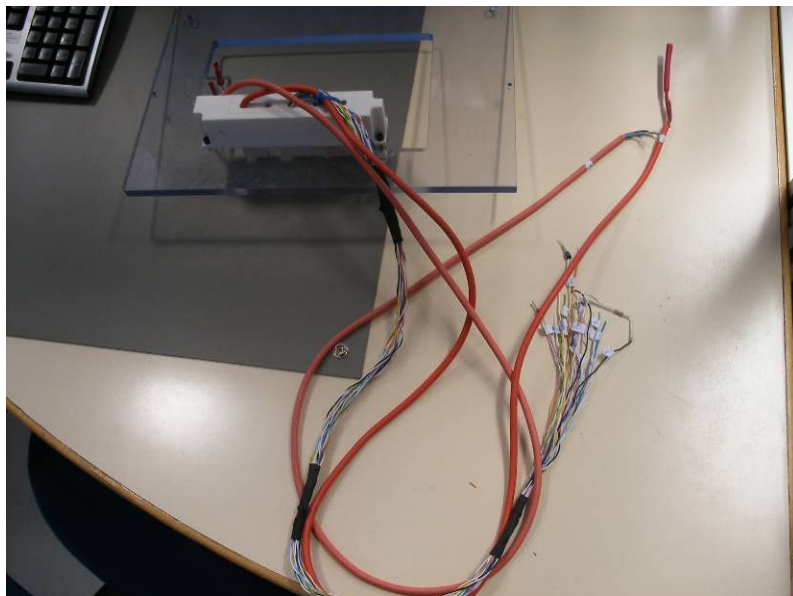


Figura 36 – Cablagem em fase de testes.

4 Software desenvolvido

4.1 Modo de programação

Foi adoptado o modo de programação em máquina de estados, o que significa que existe uma sequência programada de passos a serem executados e respectivas validações. Neste caso o programa principal (Main.vi) consiste essencialmente num *loop while* com *shift register* contendo uma estrutura *case* com vários sub-diagramas de código, onde em cada um deles existe uma constante a indicar qual o sub-diagrama a ser executado de seguida mediante a validação do teste realizado ou da decisão do utilizador, caso solicitada. Esta forma de programação não implica que os sub-diagramas sejam executados numa sequência numérica, cada sub-diagrama pode chamar um outro dependendo da validação feita anteriormente, como se tratasse de uma condição *if*. A imagem seguinte mostra um exemplo de um dos sub-diagramas, o qual chama o próximo dependendo da validação feita.

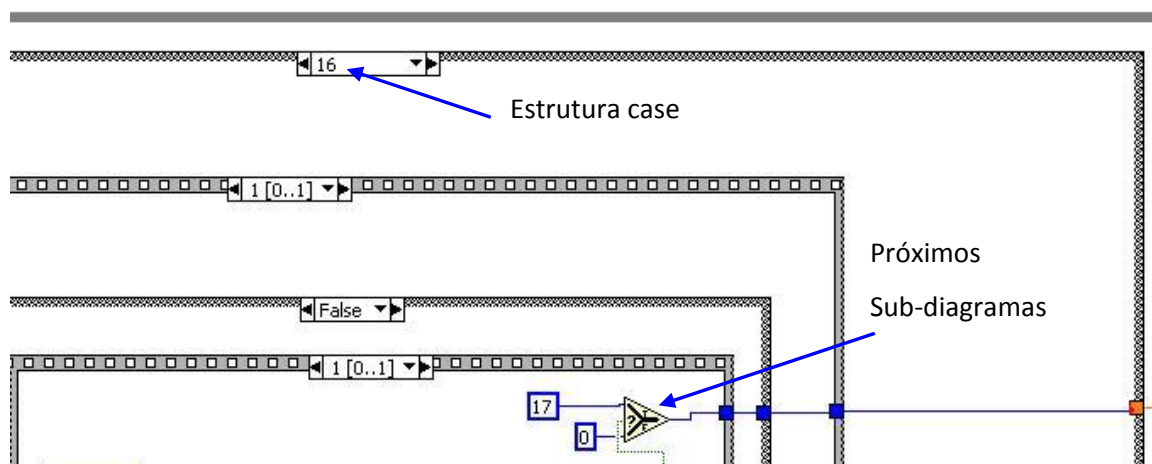
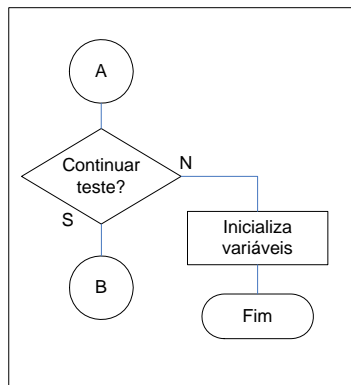
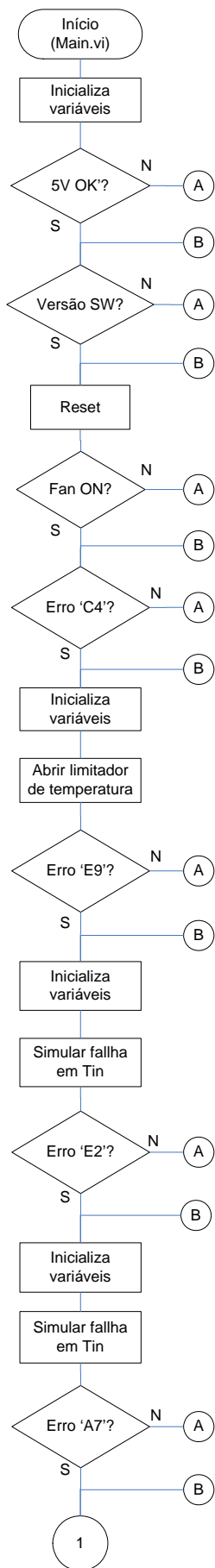


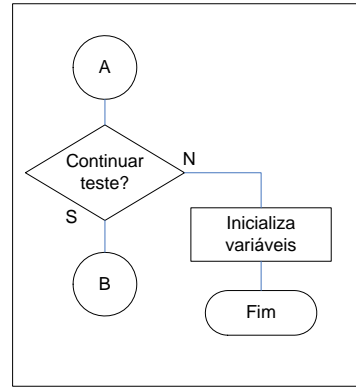
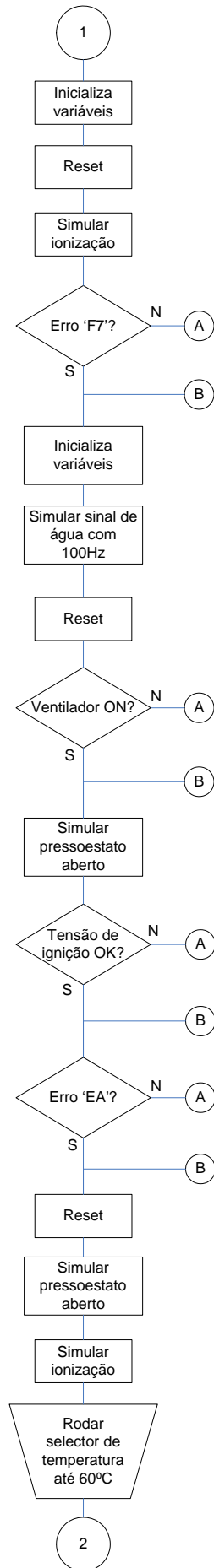
Figura 37 – Exemplo da estrutura case e sequência de programação.

4.2 Sequência de teste

A sequência de teste foi criada tendo em consideração a sequência de arranque do aparelho e o teste funcional de todas as entradas e saídas da placa electrónica incluindo a simulação de todas as possíveis mensagens de erro da mesma.

A sequência de teste apresenta-se na figura abaixo em forma de fluxograma.





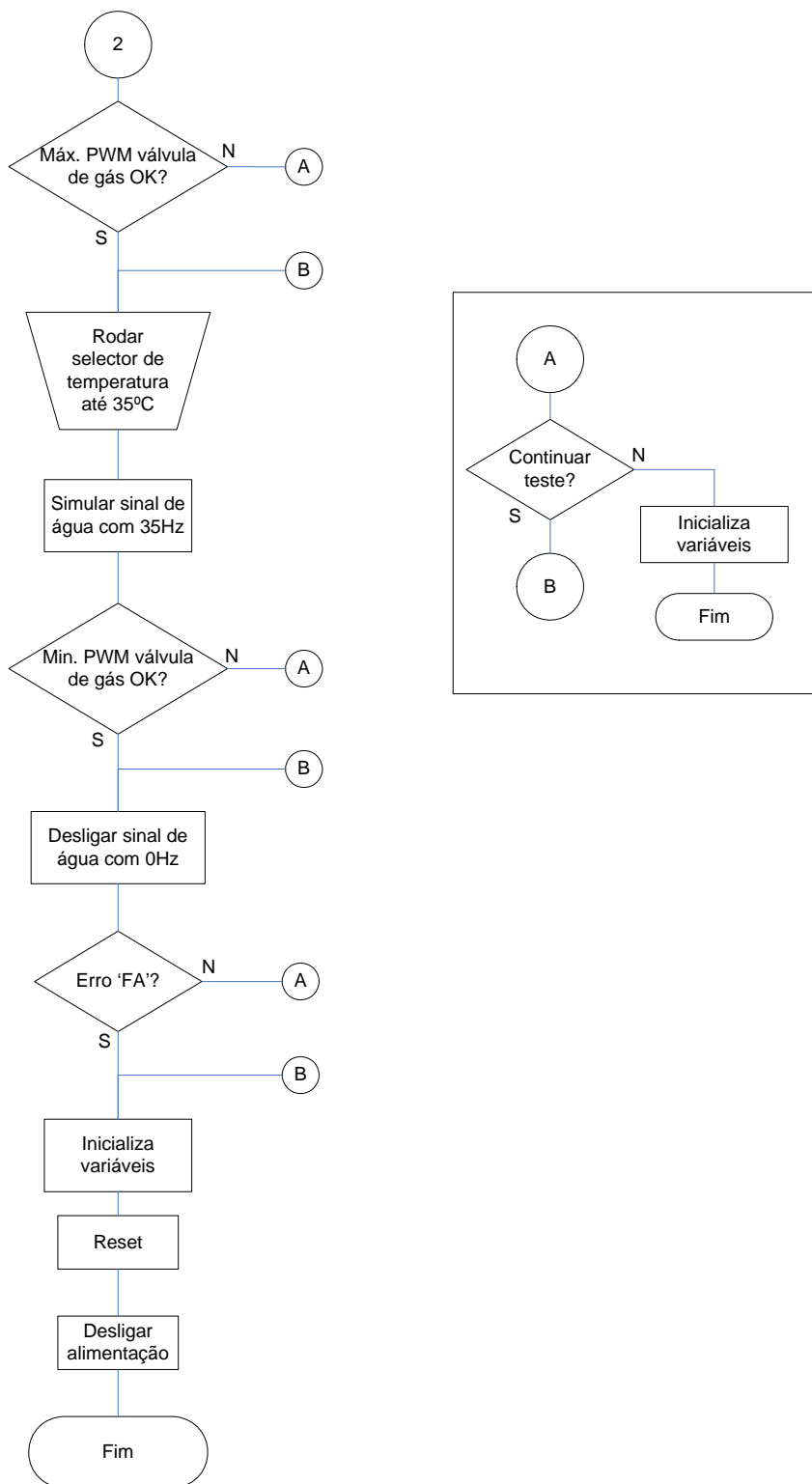


Figura 38 – Fluxograma da sequência de teste.

4.3 Instrumentos Virtuais (VI's) da PCBA Celsius

Os instrumentos virtuais (vi) desenvolvidos vão ser apresentados de seguida.

4.3.1 Instrumento virtual principal

O instrumento virtual principal da aplicação Main_Celsius.vi é simples e composto apenas pelos botões e caixas de texto necessárias à interface com o utilizador.

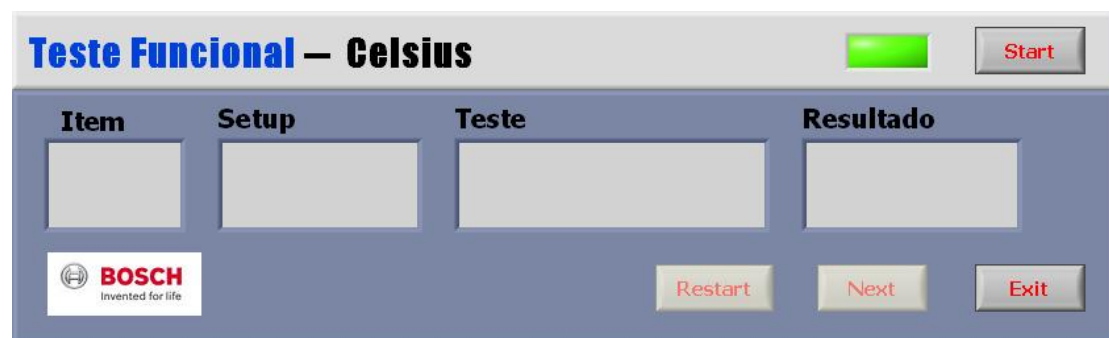


Figura 39 – Painel frontal Main_Celsius.vi.

Este é o painel frontal do instrumento virtual principal Main_Celsius.vi, os botões existentes ficam disponíveis para o utilizador os seleccionar mediante os passos de teste que o solicitem.

As caixas de texto e botões existentes têm as seguintes funções:

Item – apresenta o número do passo de teste em questão;

Setup – apresenta quais as condições geradas para a unidade em teste;

Teste – descreve o que está a testar em cada passo (item);

Resultado – apresenta o resultado do teste realizado ao fim de cada item;

Start – botão que inicia o teste funcional à unidade em teste;

Restart – botão que pode ser utilizado pelo utilizador mediante o passo de teste que o permita;

Next – botão que permite ao utilizador avançar para o próximo passo de teste no caso do passo actual lhe solicitar uma validação;

Exit – botão que permite ao utilizador abandonar o teste a decorrer e consequentemente parar o programa;

Indicador – mostra ao utilizador o resultado de cada passo de teste de uma forma visual.

4.3.2 Diagrama de blocos

O diagrama de blocos da aplicação principal (Main_Celsius.vi) consiste em dois *loop while*: Um deles, o do código principal, com *shift register* contendo uma estrutura *case* com vários sub-diagramas de código, onde em cada um deles existe uma constante a indicar qual o sub-diagrama a ser executado de seguida mediante a validação do teste realizado ou da decisão do utilizador. A estrutura *case* contém sub-diagramas numerados até 107 embora não existam 107 sub-diagramas, pois alguns deles são sub-diagramas de teste em fase de desenvolvimento, entretanto eliminados; O outro *loop while* a correr em paralelo com o principal, contém o código de controlo de entradas e saídas da placa de aquisição de dados, controladas pelo *loop while* do código principal.

De seguida são apresentadas imagens do código presente nas principais estruturas do diagrama de blocos de acordo com a sequência de teste, começando pelo código relativo ao controlo da placa de aquisição de dados, dividido em várias imagens pois esta parte do código foi “escrito” principalmente na vertical.

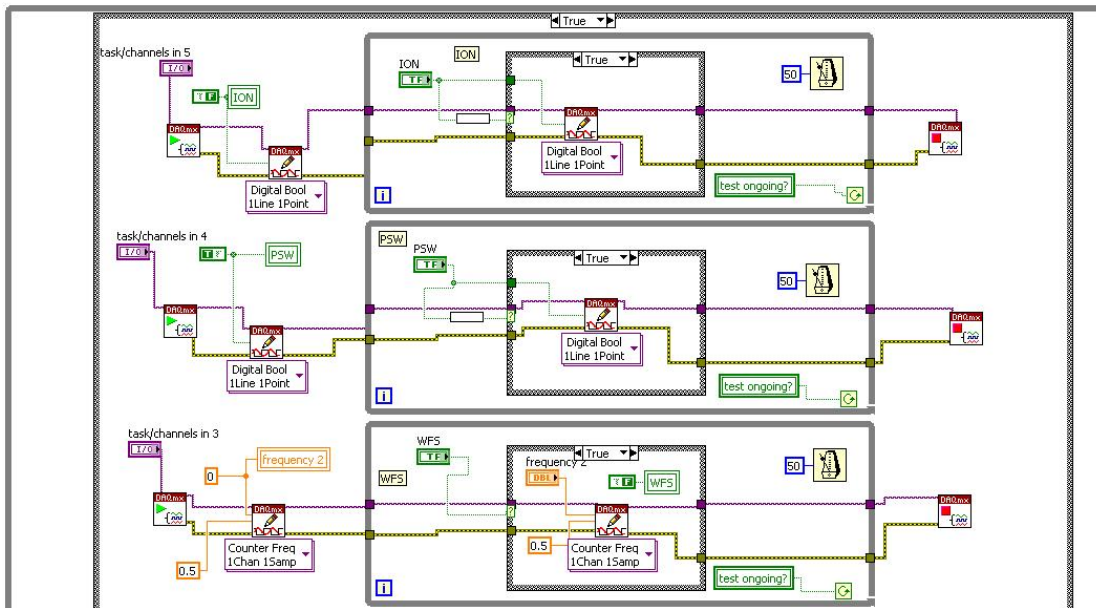


Figura 40 – Código DAQ_1

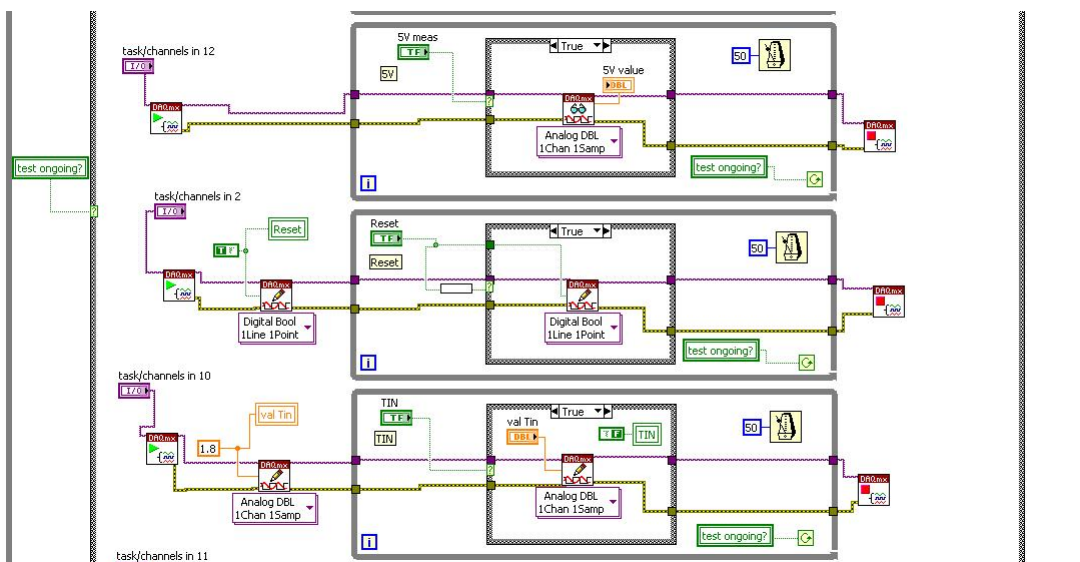


Figura 41 – Código DAQ_2

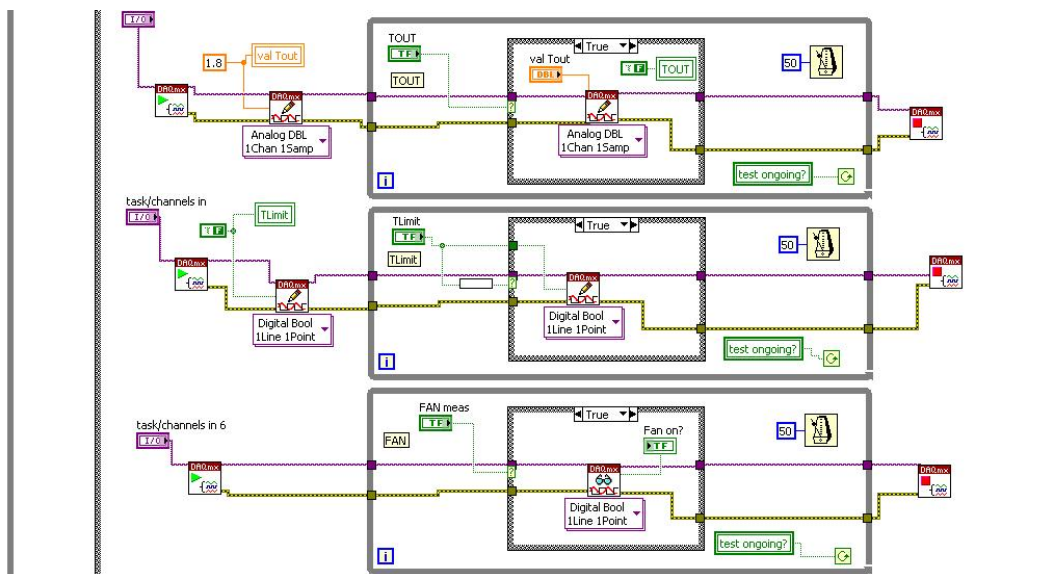


Figura 42 – Código DAQ_3

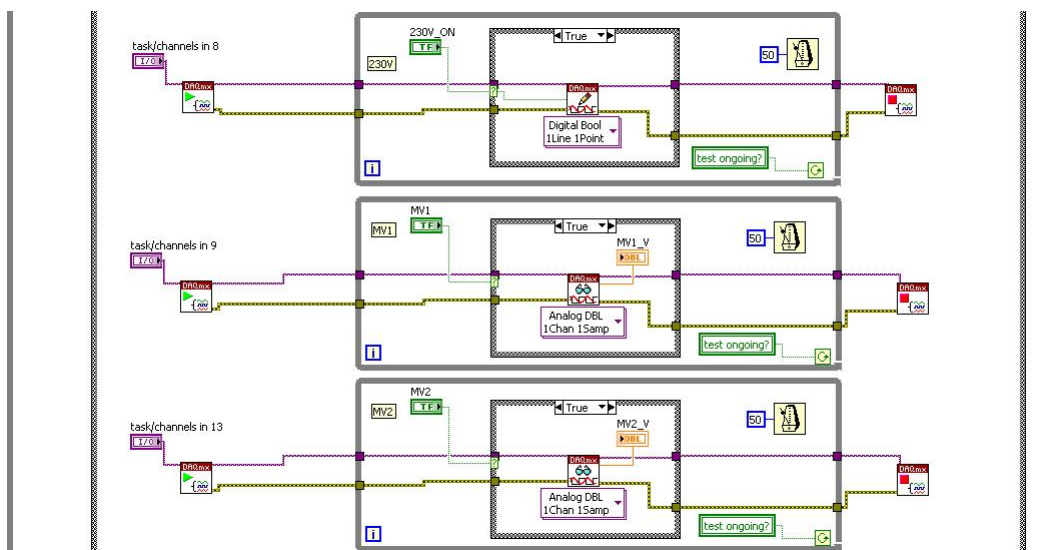


Figura 43 – Código DAQ_4

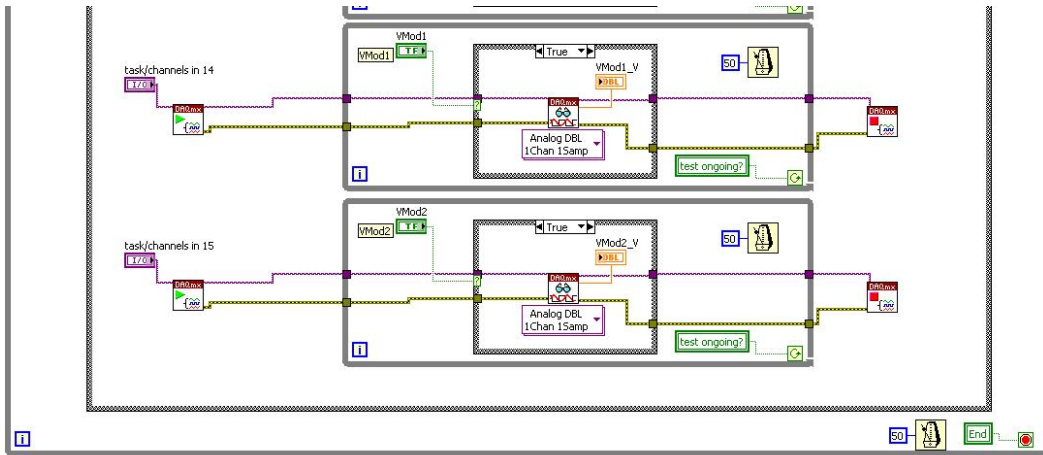


Figura 44 – Código DAQ_5

Nas imagens acima verifica-se que os vi's de leitura e/ou escrita de dados no DAQ estão inseridos em vários *loop while* dentro dum só *loop while* a correr em paralelo com o principal. As tarefas do DAQ são iniciadas quando o ciclo principal altera a variável “test ongoing?” para *true*, depois as várias tarefas ficam activas dentro do seu próprio ciclo e controladas de acordo com o solicitado no ciclo de programa principal.

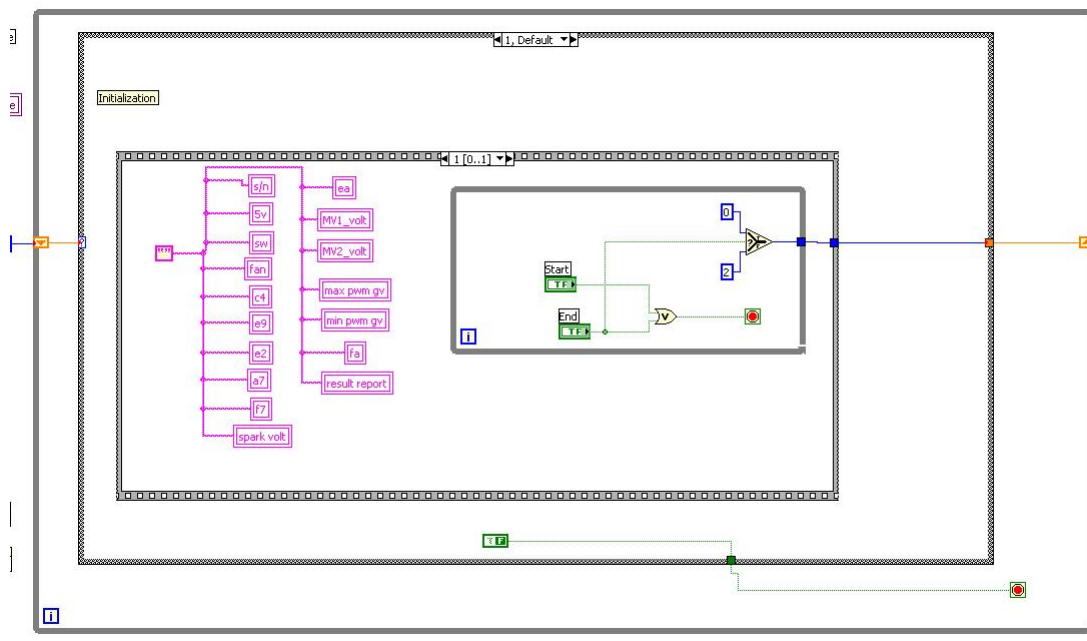


Figura 45 – Inicialização

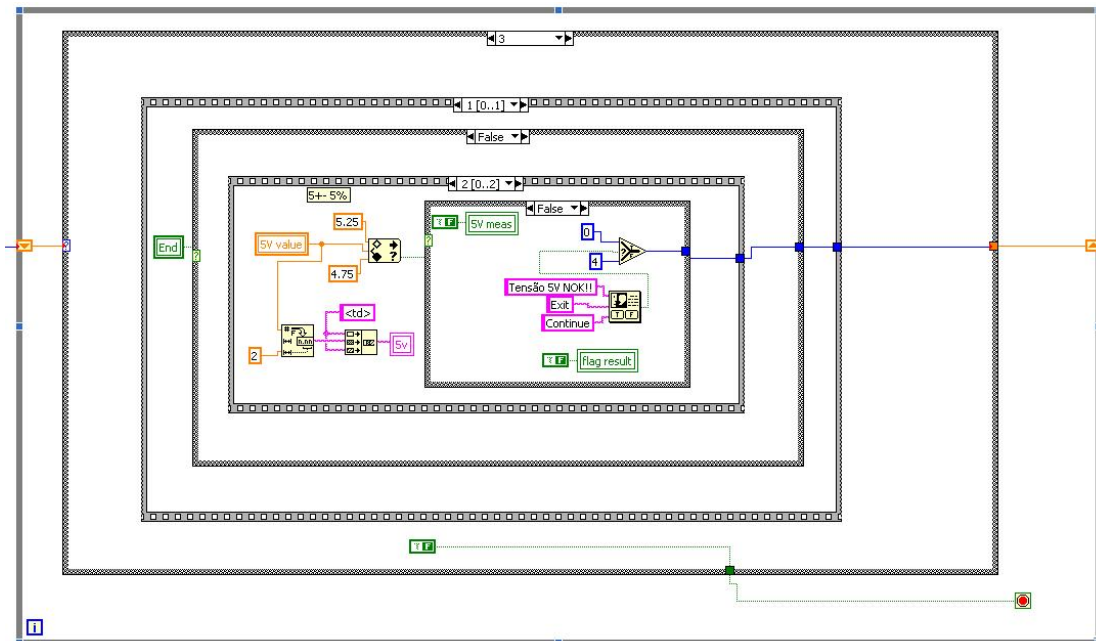


Figura 47 – Verificar tensão alimentação

No ciclo acima é feita a validação da tensão de alimentação, medindo a tensão 5VDC gerada pela unidade em teste. Foi determinado que basta medir a tensão 5VDC para validar a conformidade da alimentação interna da placa, pois esta é gerada com regulador de tensão 7805 após rectificação para 24VDC proveniente da saída do transformador de alimentação 230VAC/30VAC.

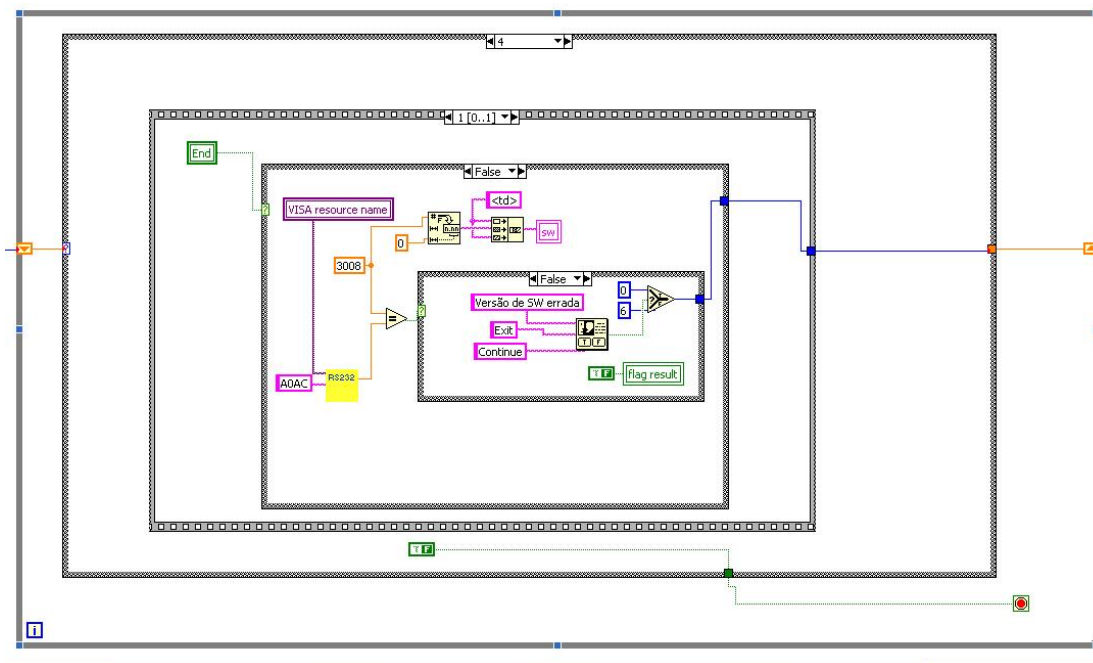


Figura 48 – Verificar versão de software

A verificação de software da unidade em teste através de comunicação série é feita num vi dedicado desenvolvido para o efeito, que será explicado no próximo capítulo.

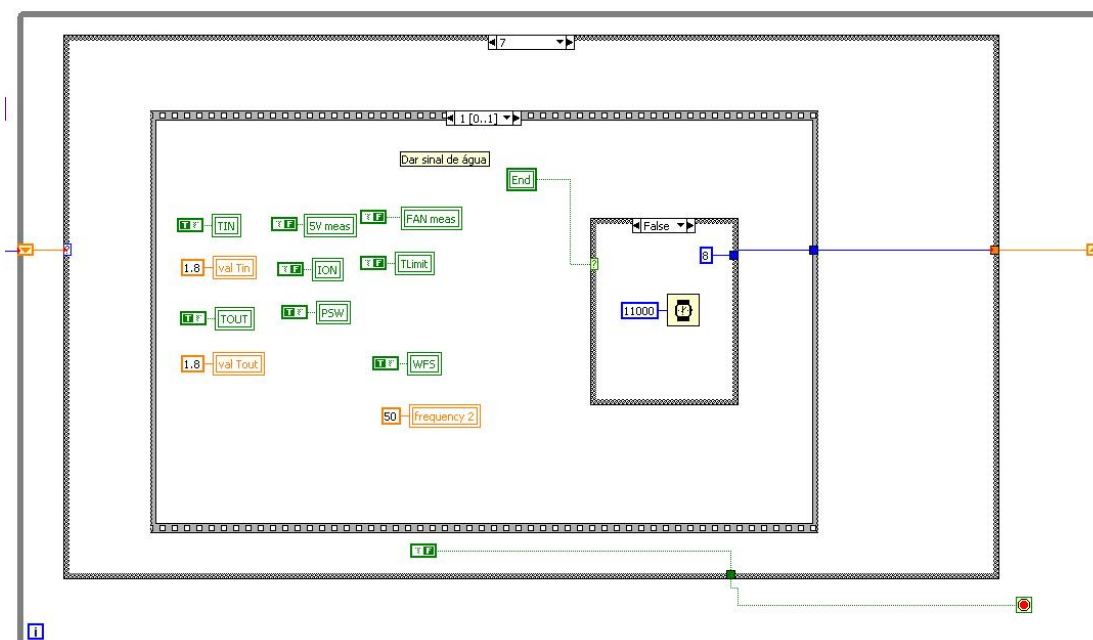


Figura 49 – Inicialização de variáveis

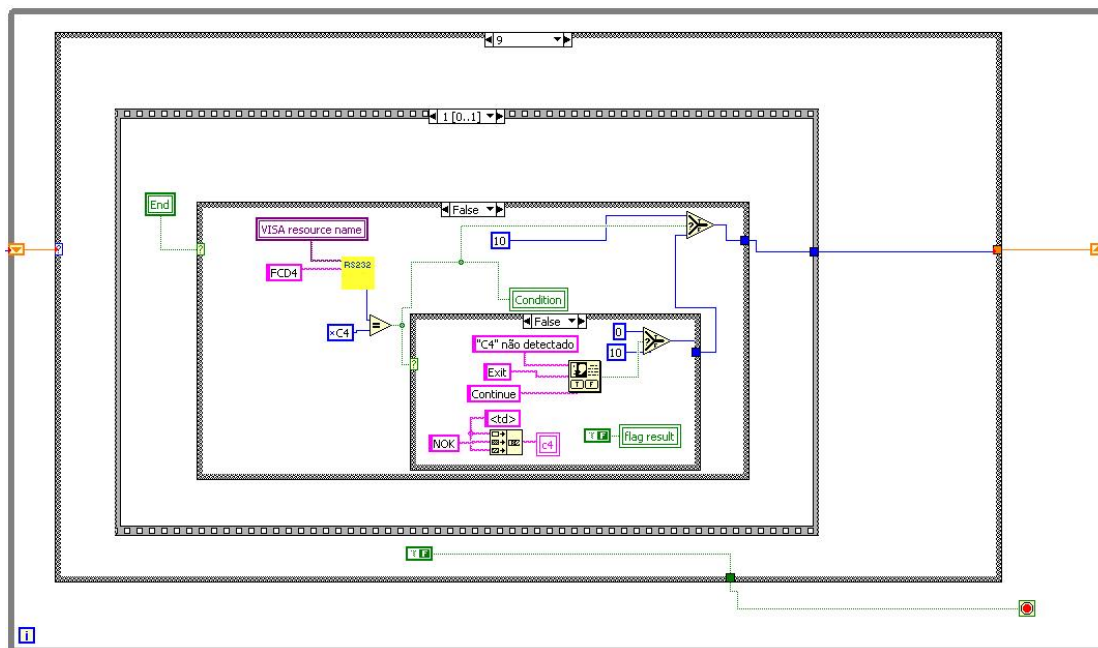


Figura 51 – Detectar erro C4

Este erro surge quando a caixa de controlo electrónico activa o ventilador mas não recebe resposta de actuação do pressóestado.

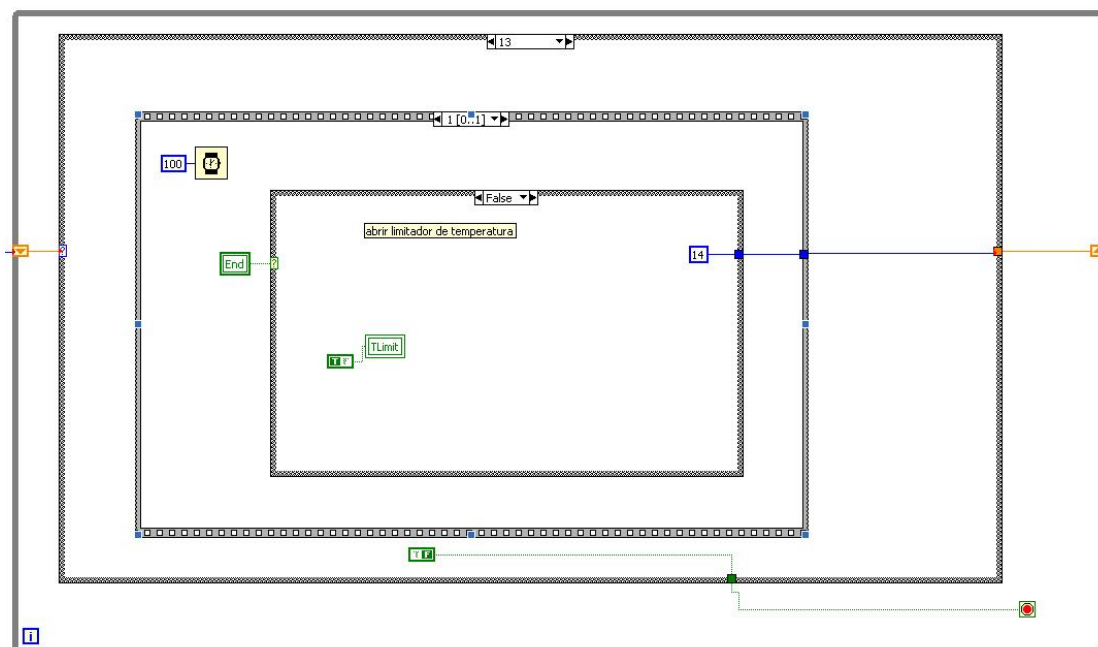


Figura 52 – Abrir limitador de temperatura

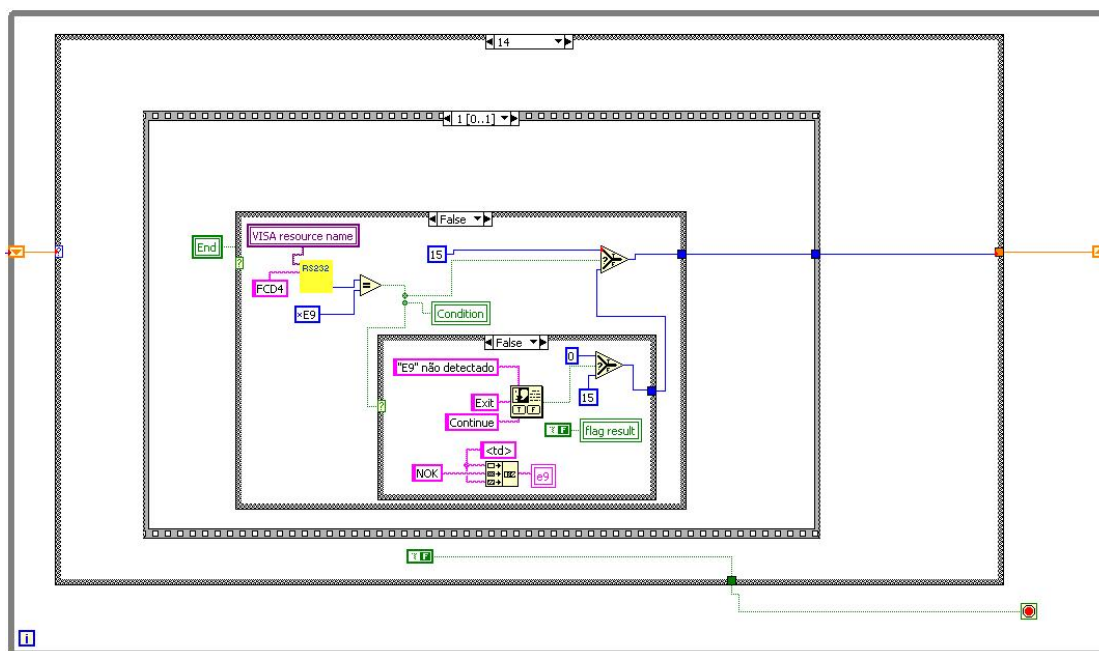


Figura 53 – Detectar Erro E9

Este erro é gerado quando a caixa de controlo electrónico detecta o circuito de limitação de temperatura aberto.

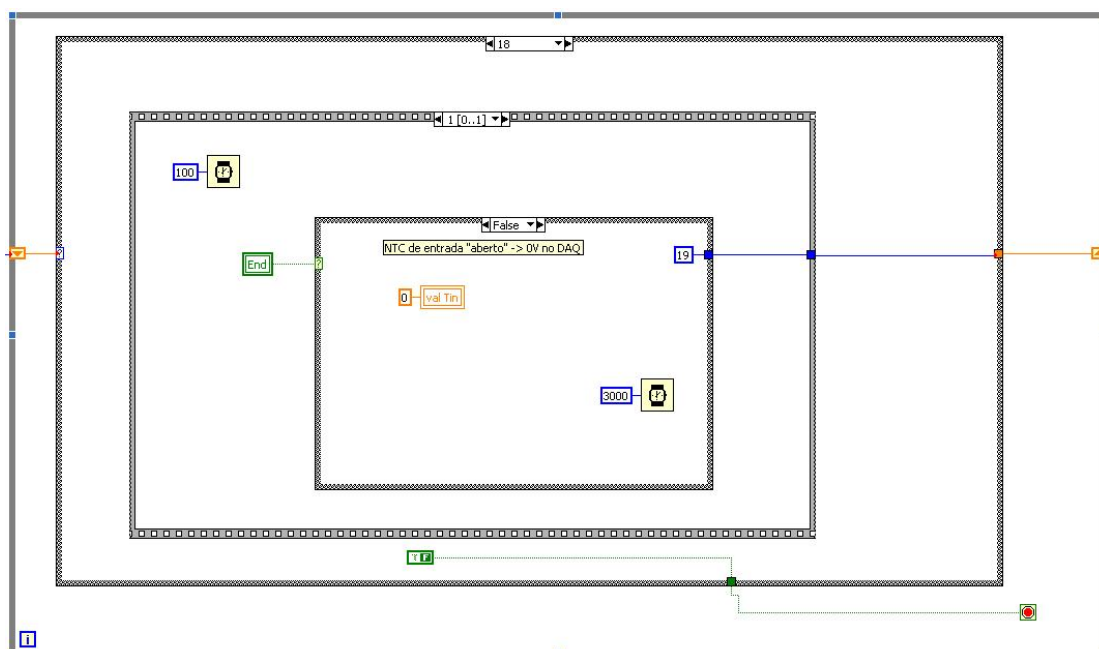


Figura 54 – Falha no sensor de temperatura de entrada

No ciclo acima é simulada uma falha no NTC de entrada de água.

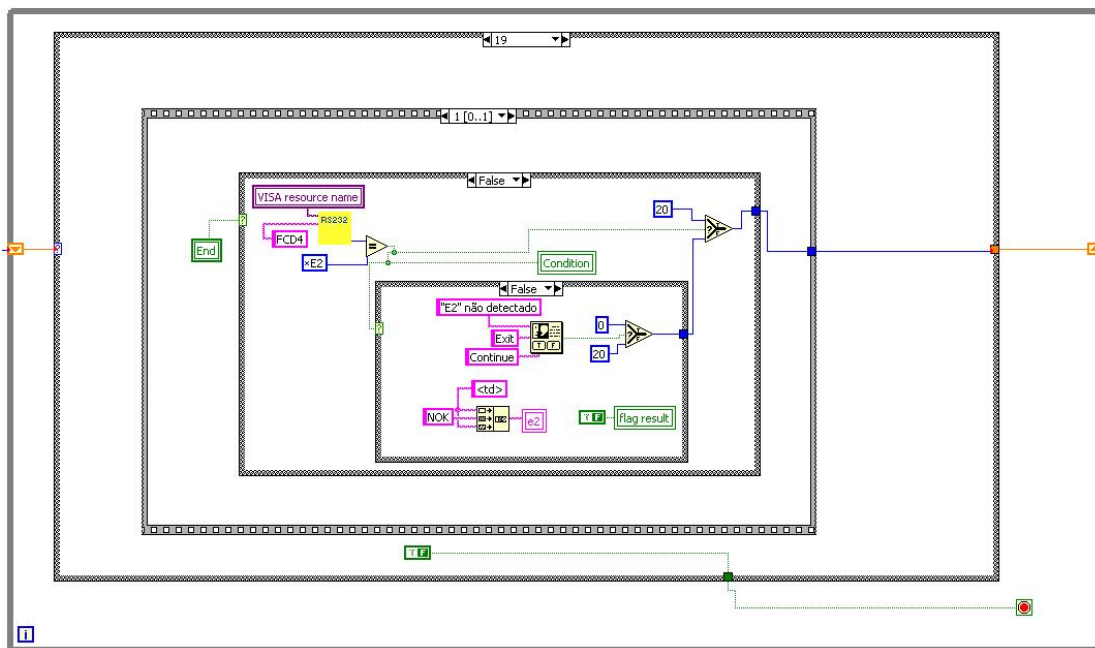


Figura 55 – Detectar Erro E2

Detecção de erro gerado pela unidade em teste relativo à falha do sensor de temperatura de entrada de água.

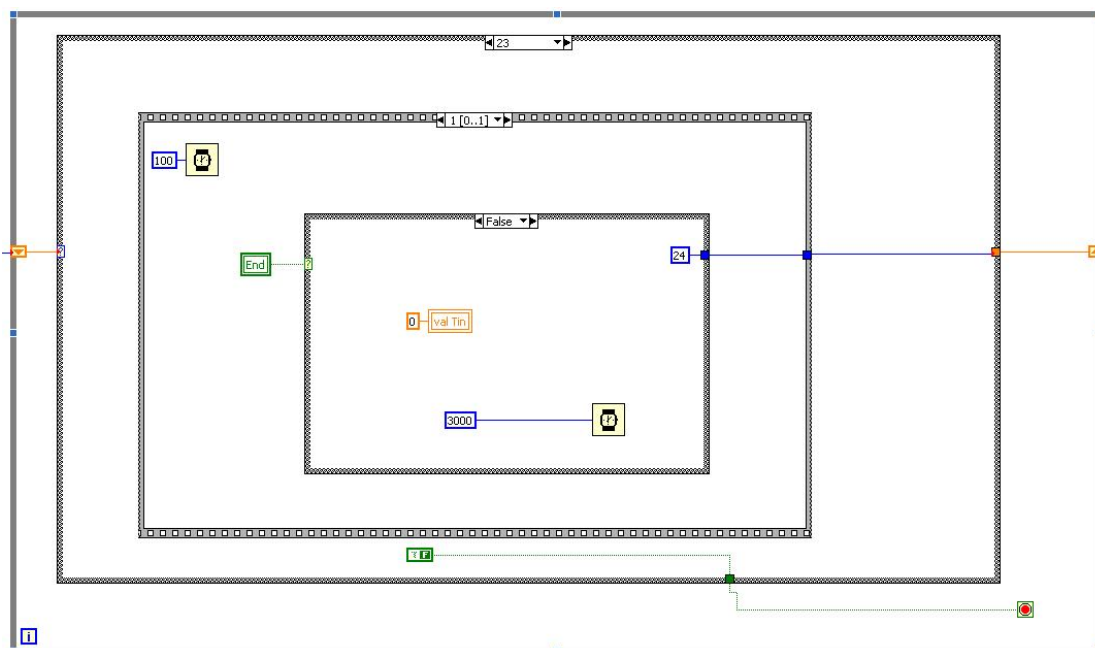


Figura 56 – Falha no sensor de temperatura de entrada

Este erro é gerado de novo pois existem dois códigos de erro para esta falha. Na primeira vez que a caixa de controlo electrónico detecta falha no sensor de temperatura de entrada de água alerta o utilizador com o erro E2, este erro desaparece quando a unidade electrónica volta a detectar um sinal de temperatura dentro de parâmetros normais. Quando esta falha é detectada mais do que uma vez então a unidade electrónica identifica outro código de erro, que só desaparece após uma operação de reset manual feito pelo utilizador.

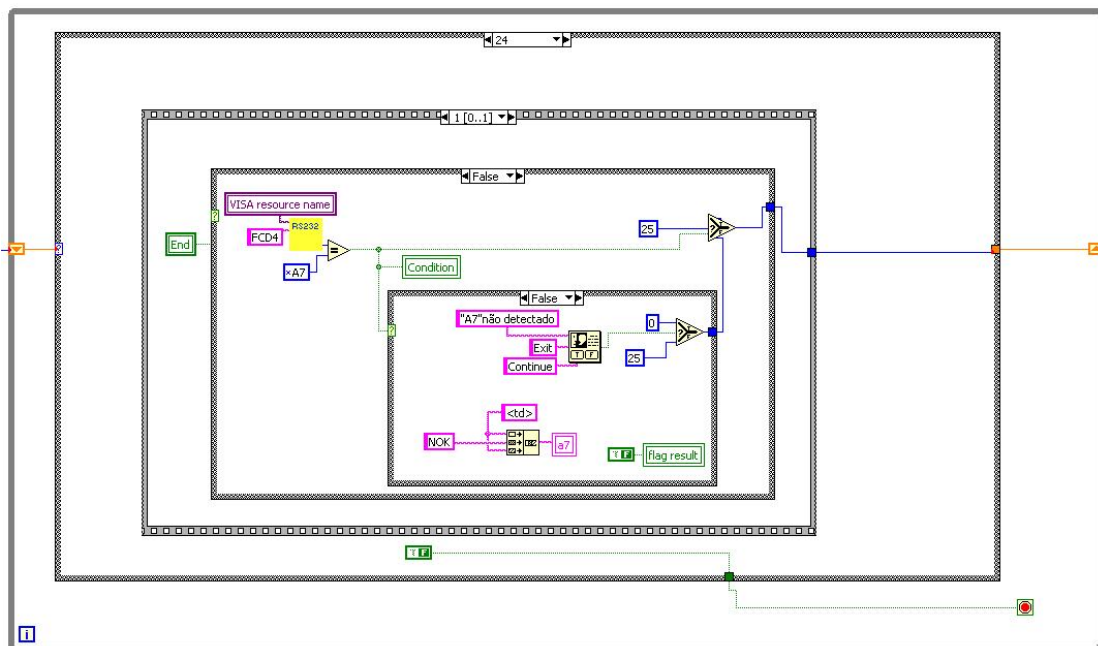


Figura 57 – Detectar erro A7

No ciclo acima é lido na memória da unidade em teste se o código de erro actual é A7.

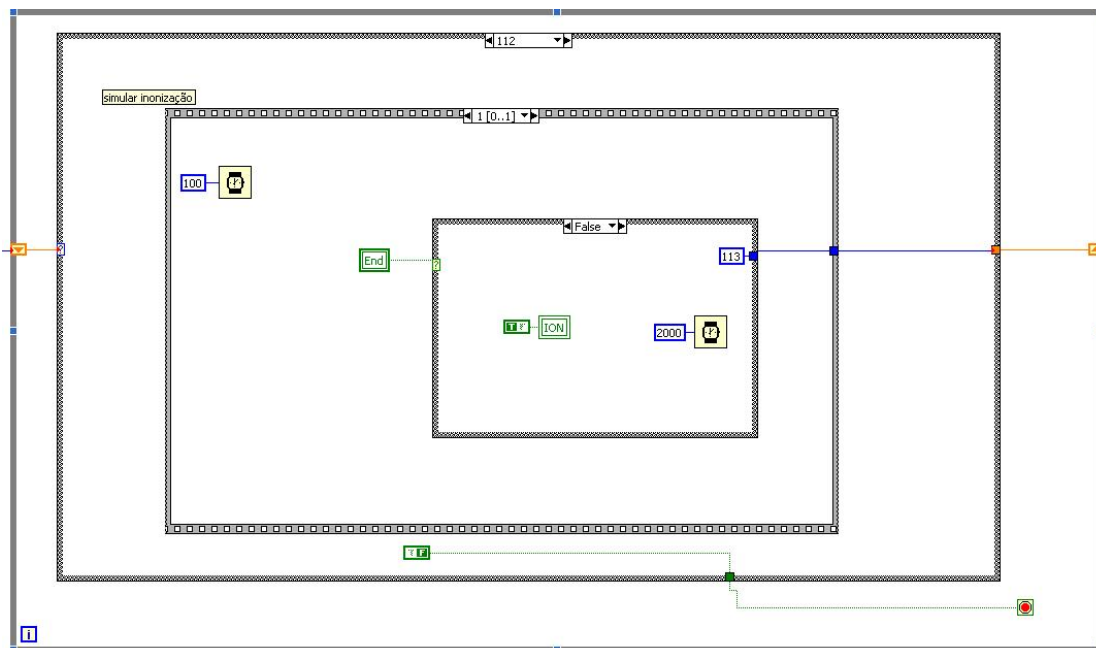


Figura 58 – Simular Ionização

Neste ciclo é simulada a presença de chama (ionização).

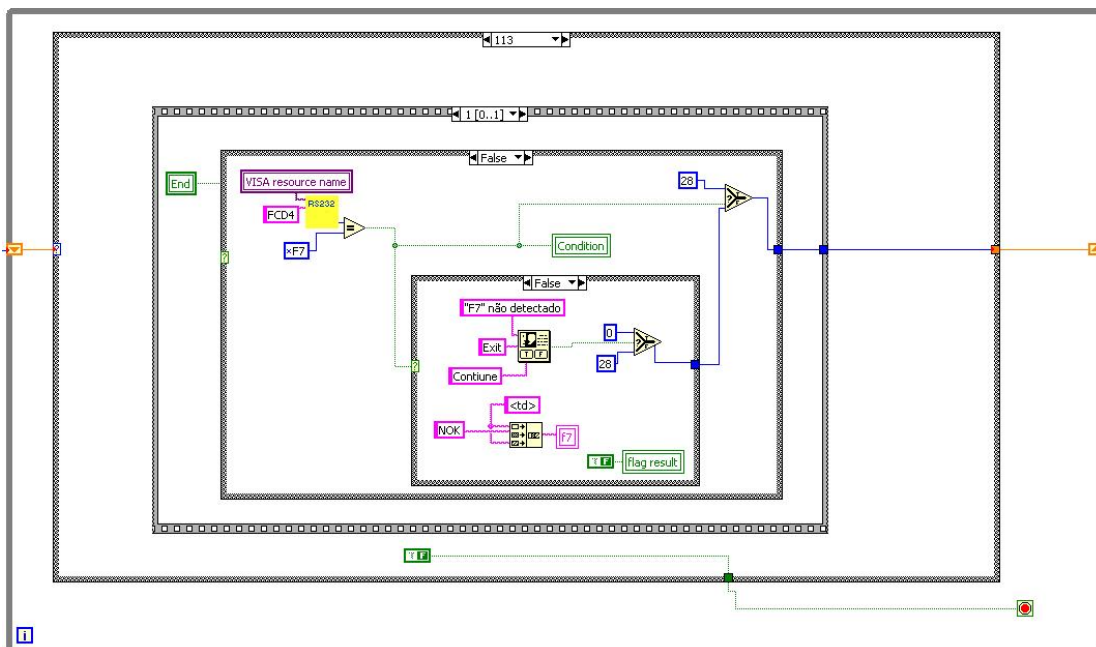


Figura 59 – Detectar erro F7

No ciclo anterior a este foi simulada a presença de chama sem que todos os parâmetros mínimos estivessem cumpridos, logo o código de erro gerado é o de presença de chama quando unidade electrónica se encontrava em standby.

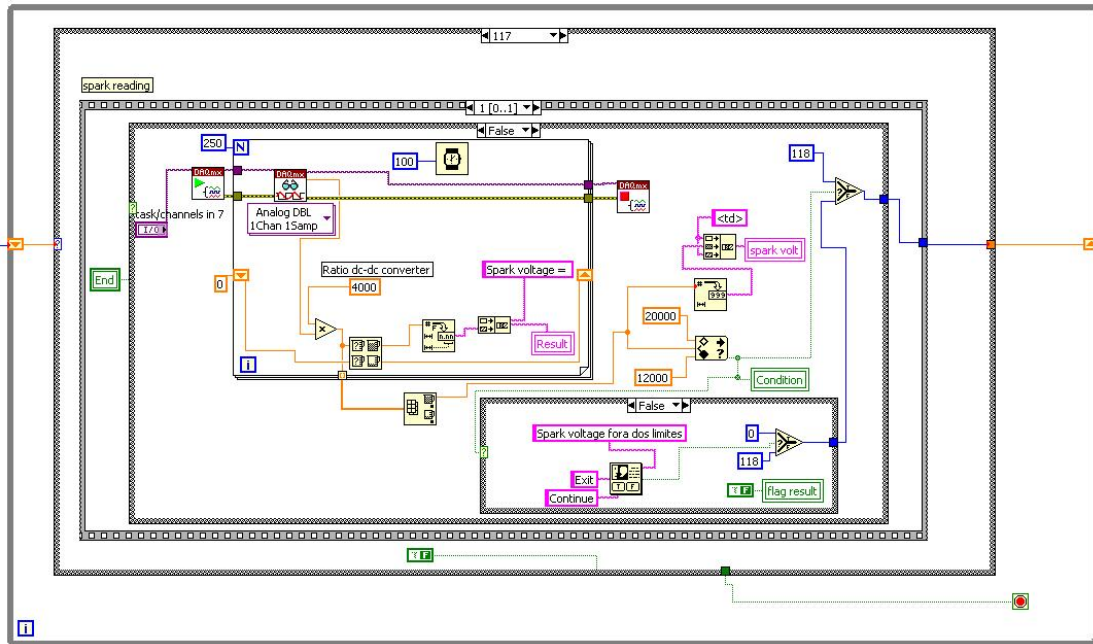


Figura 60 – Medir tensão de ignição

Antes deste ciclo acima é feita a inicialização de variáveis e de todos os parâmetros necessários à sequência de arranque para que a unidade em teste inicie o ciclo de ignição.

Neste passo é medida a tensão de ignição e validada a sua conformidade entre 12kV e 20kV.

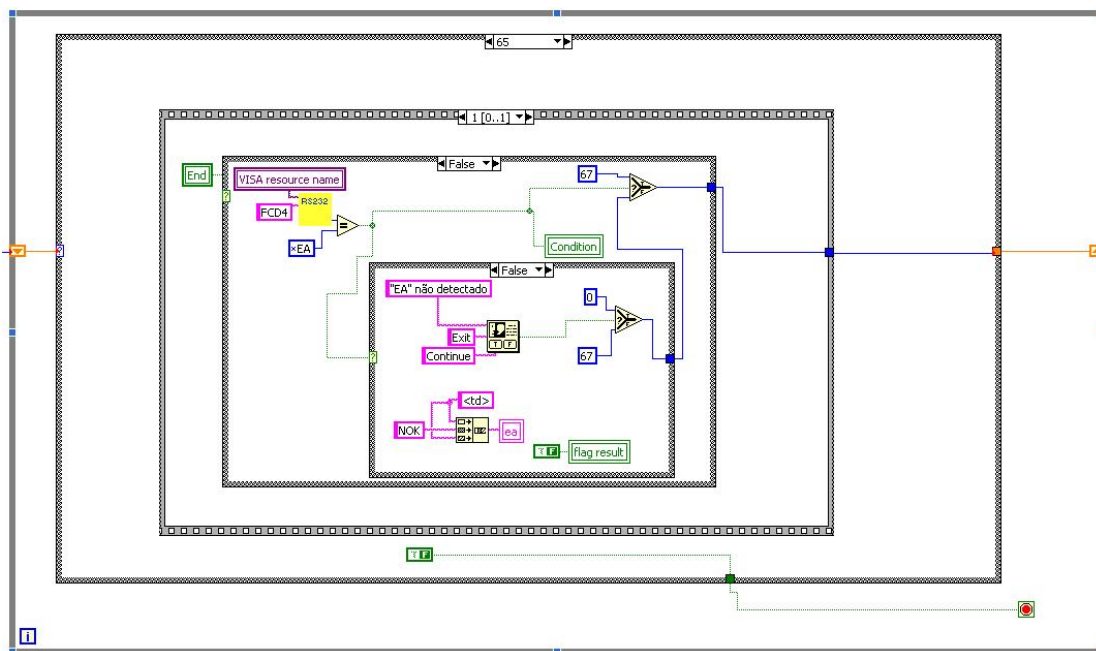


Figura 61 – Detectar erro EA

Este erro surge quando após 3 tentativas de ignição o sinal de ionização (chama) não é detectado. Após o início do ciclo anterior (de ignição) não foi simulada a chama, como tal deve surgir na unidade em teste o erro relativo ao *timeout* de segurança.

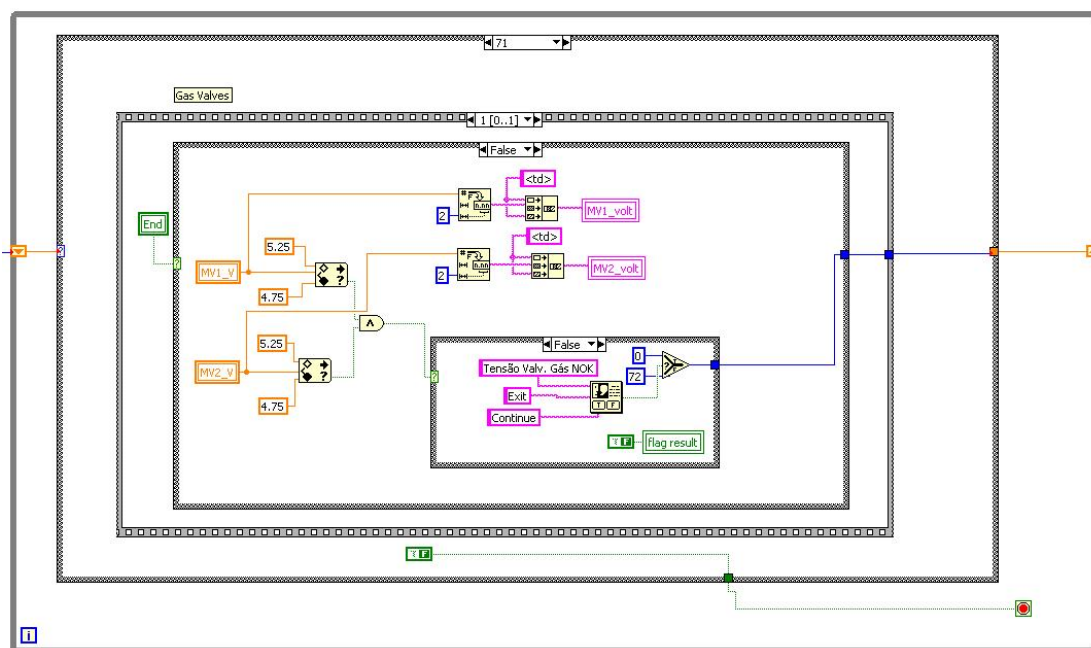


Figura 62 – Verificar tensão de válvula de gás

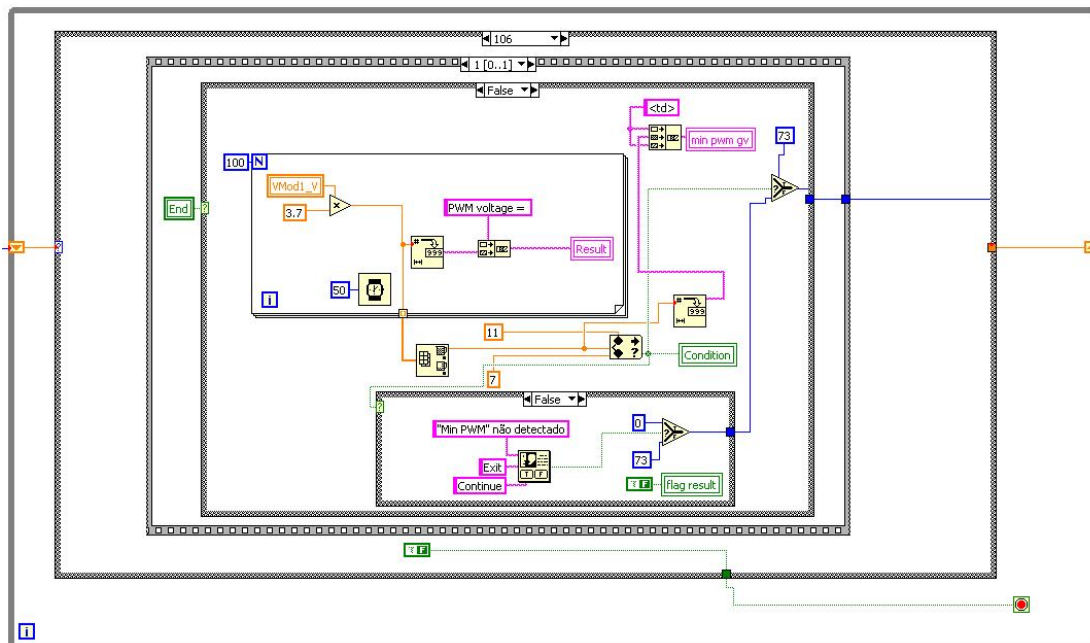


Figura 64 – Verificar modulação mínima da válvula de gás

Antes deste ciclo o operador a utilizar o equipamento de teste é solicitado a colocar a *setpoint* de temperatura no mínimo, para que neste ciclo se possa verificar a modulação mínima do sinal da válvula de gás.

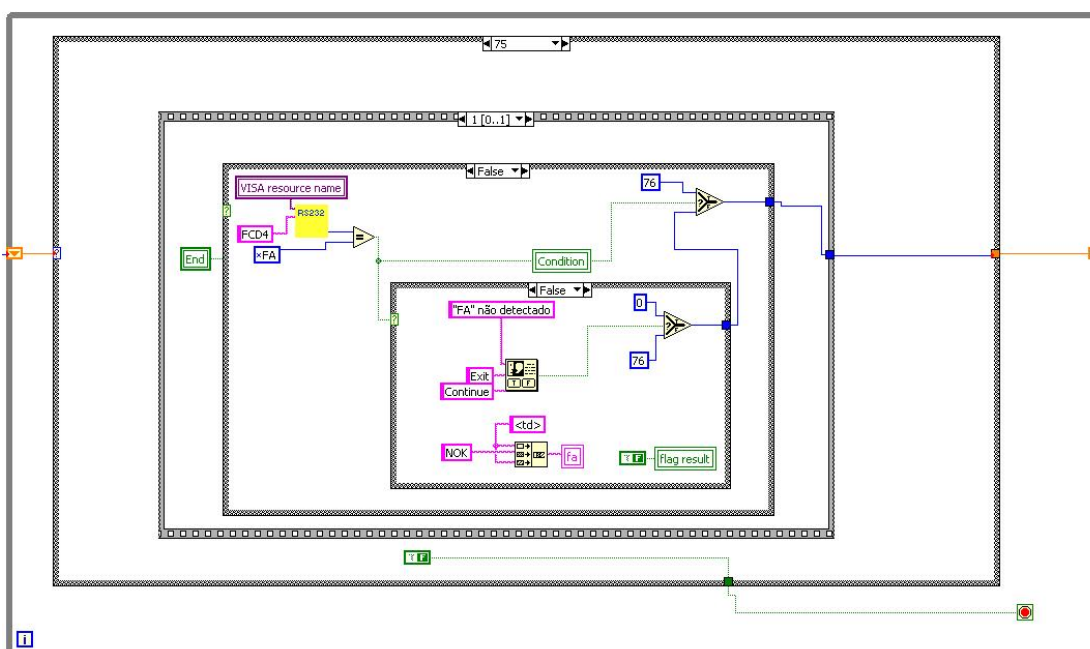


Figura 65 – Detectar erro FA

O erro FA surge quando todos os sinais necessários ao arranque são simulados mas não existe sinal de água. Ou seja, antes deste ciclo é colocado o sinal de água a 0Hz, mantendo todos os outros sinais inalterados.

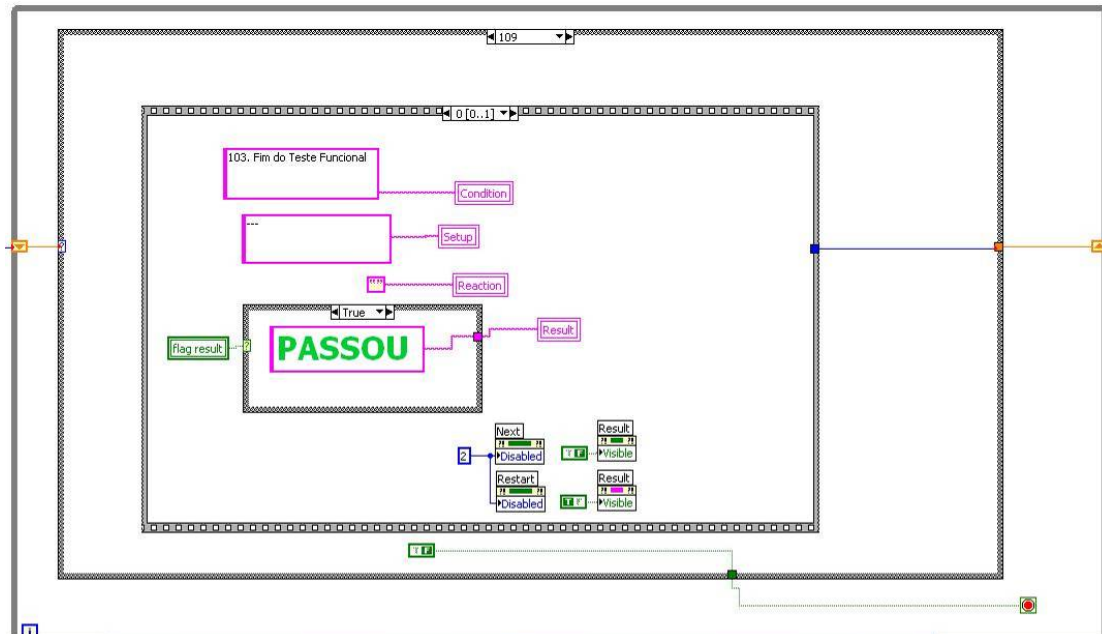


Figura 66 – Resultado final

Depois de todas as simulações e respectivos resultados é verificada a variável de resultado que é mantida e atualizada ao longo de todo o programa. Esta variável tem o valor *true* se os resultados forem positivos ou *false* se os resultados forem negativos.

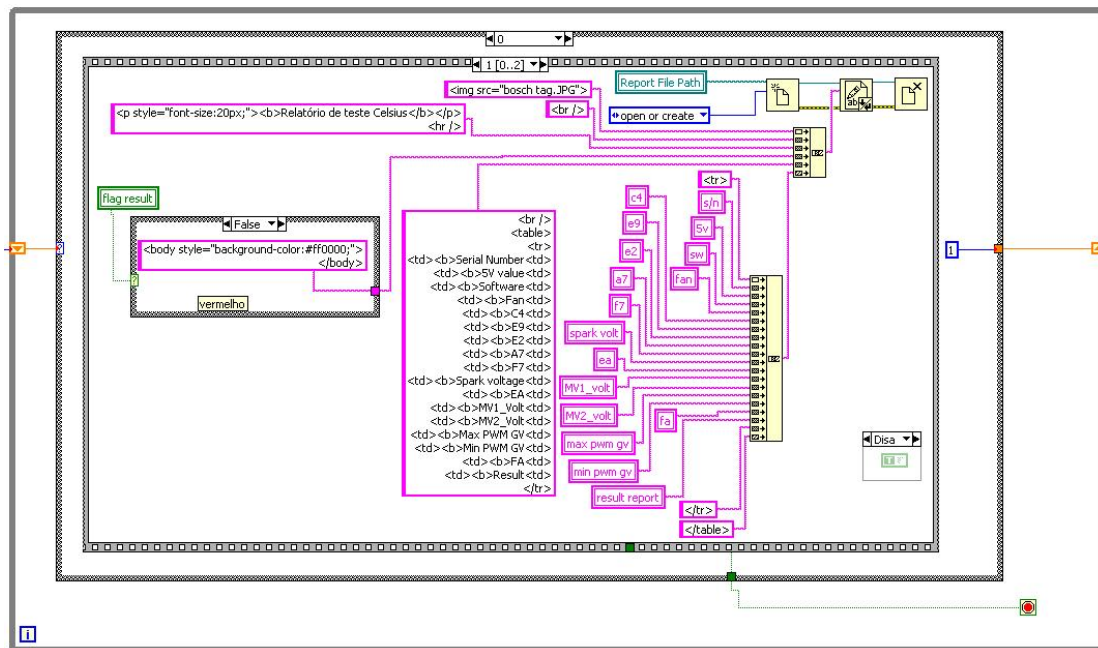


Figura 67 – Criação de relatório final.

Neste ciclo é criado o relatório em ficheiro html com os resultados de todos os testes.

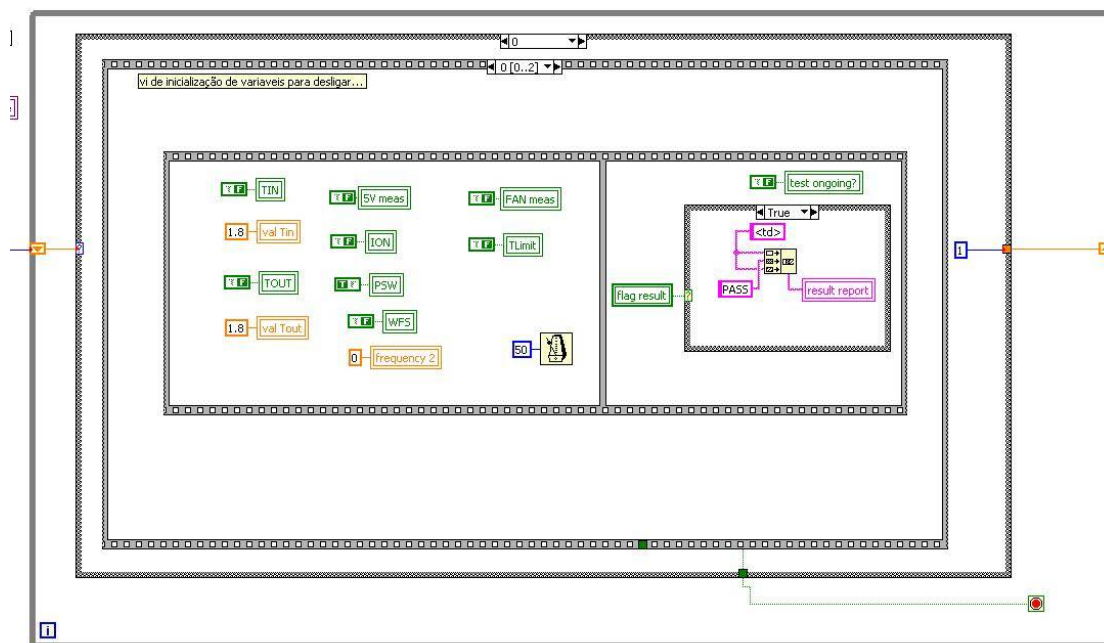


Figura 68 – Inicialização de variáveis para início de próximo teste

No final dum teste completo todas as variáveis são inicializadas para que fiquem prontas para utilização no teste seguinte.

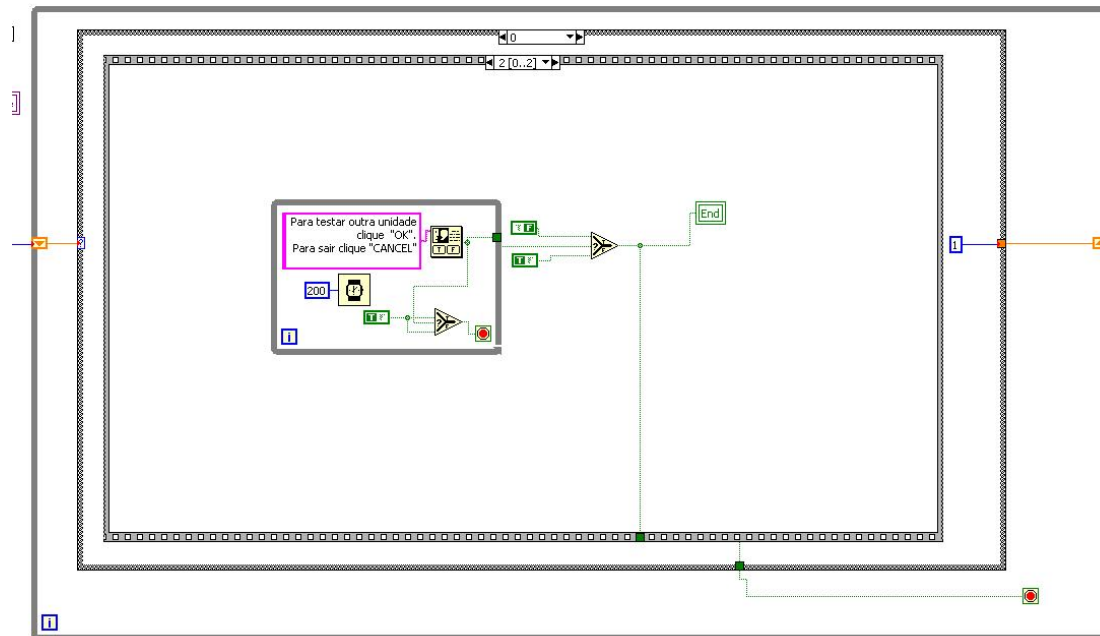


Figura 69 – Fim do teste

Até este ciclo todo o teste foi realizado, o relatório criado e as variáveis inicializadas. É então questionado o utilizador se pretende testar outra unidade ou abandonar o programa.

4.3.3 Sub-VI's

O instrumento virtual principal (Main_Celsius.vi) tem alguns instrumentos virtuais como parte do seu código, ou seja, sub-vi's. São apresentados de seguida os sub-vi's do vi principal.

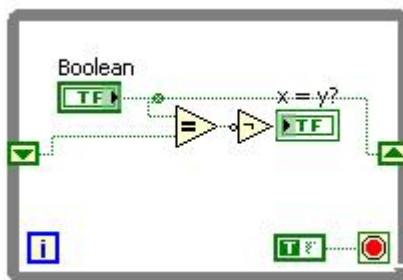


Figura 70 – mudança estado.vi

O instrumento virtual “mudança estado” foi criado com o intuito de verificar qual o estado anterior de uma determinada variável, e muda o seu estado caso o estado anterior seja o mesmo que o estado actual verificado. Nesta aplicação, em que este vi está a ser utilizado apenas no controlo de algumas tarefas do DAQ, permite que as tarefas sejam feitas apenas uma vez quando solicitadas e não constantemente a cada ciclo de processamento.

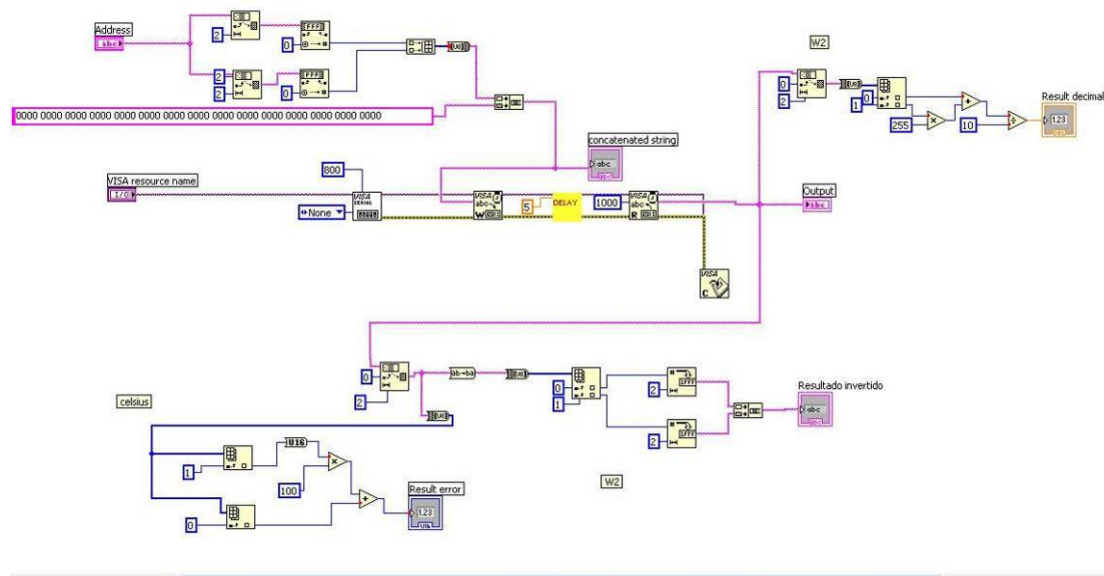


Figura 71 –Comm_RS232.vi

O instrumento virtual “Comm_RS232” usa a comunicação série RS232 através dum conversor RS232-USB ligado a uma porta USB do computador. Este vi tem como entradas o endereço da posição de memória da EEPROM da unidade em teste e o

valor a comparar para poder retornar o valor binário *true* ou *false*. Este mesmo vi é utilizado para ler da unidade em teste a versão de software, códigos de erro e valores decimais de temperatura.

A imagem seguinte foi tirada à pasta onde estão armazenados os três instrumentos virtuais para o teste da caixa de controlo electrónico Celsius.

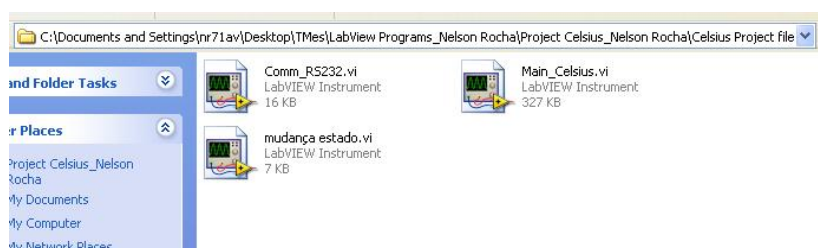


Figura 72 – Instrumentos virtuais Celsius.

4.4 Instrumentos Virtuais (VI's) da PCBA Celsius Plus

4.4.1 Instrumento virtual principal

O instrumento virtual da aplicação Main_Celsius_PLUS.vi é simples e composto apenas pelos botões e caixas de texto necessárias à interface com o utilizador.

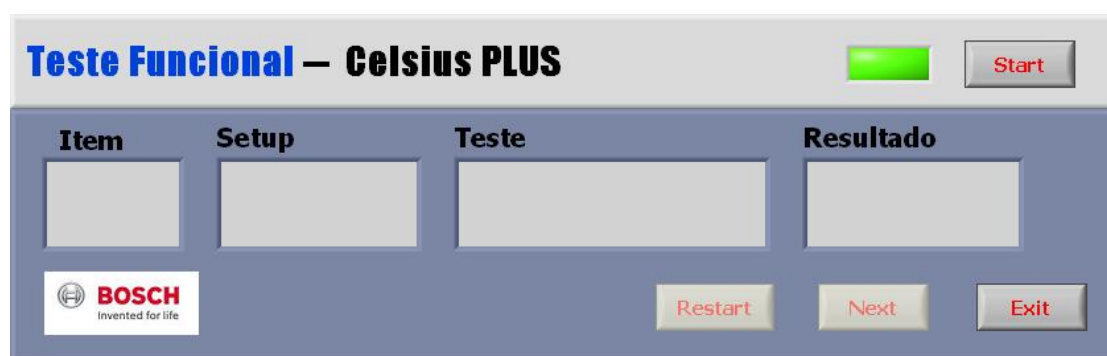


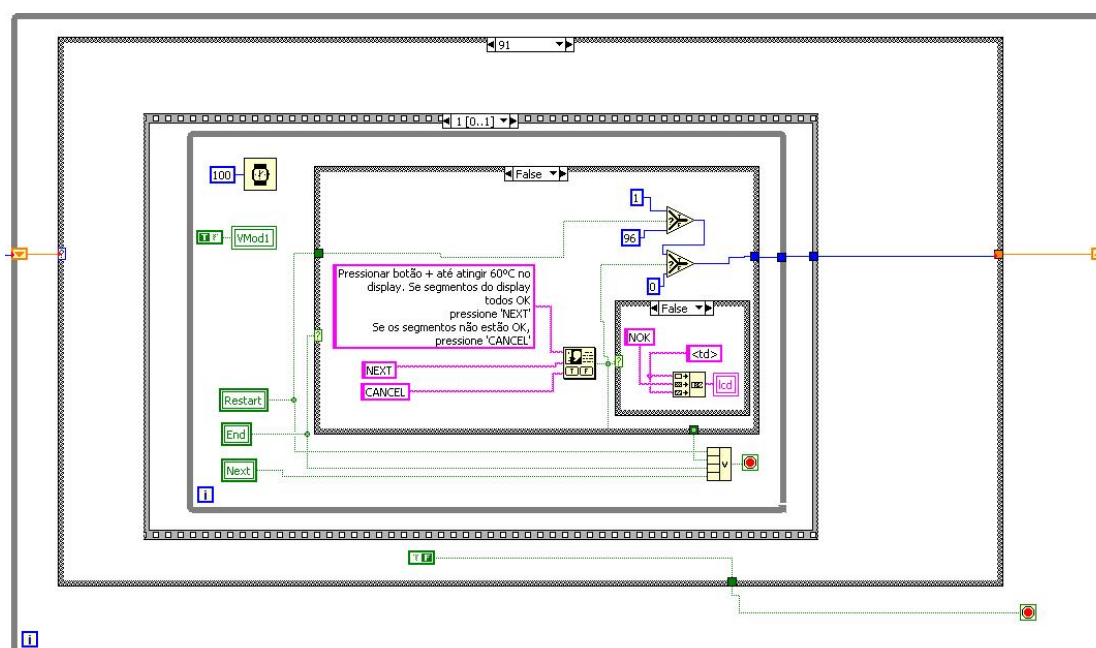
Figura 73 – Painel frontal Main_Celsius_PLUS.vi.

O instrumento virtual principal Celsius Plus tem a mesma disposição de objectos do instrumento virtual principal do teste funcional Celsius, já apresentado em 4.3.1.

4.4.2 Diagrama de blocos

O diagrama de blocos da aplicação principal (Main_Celsius_PLUS.vi), tal como na aplicação Celsius, consiste em dois *loop while*: Um deles, o do código principal, com *shift register* contendo uma estrutura *case* com vários sub-diagramas de código, onde em cada um deles existe uma constante a indicar qual o sub-diagrama a ser executado de seguida mediante a validação do teste realizado ou da decisão do utilizador; O outro *loop while* a correr em paralelo com o principal, contendo o código de controlo de entradas e saídas da placa de aquisição de dados, controladas pelo *loop while* do código principal.

Os sub-diagramas são em grande parte iguais aos da aplicação Celsius como tal foram já apresentados acima. Desta forma de seguida são apresentadas imagens do código presente nas estruturas do diagrama de blocos que são dedicadas à aplicação Celsius Plus.



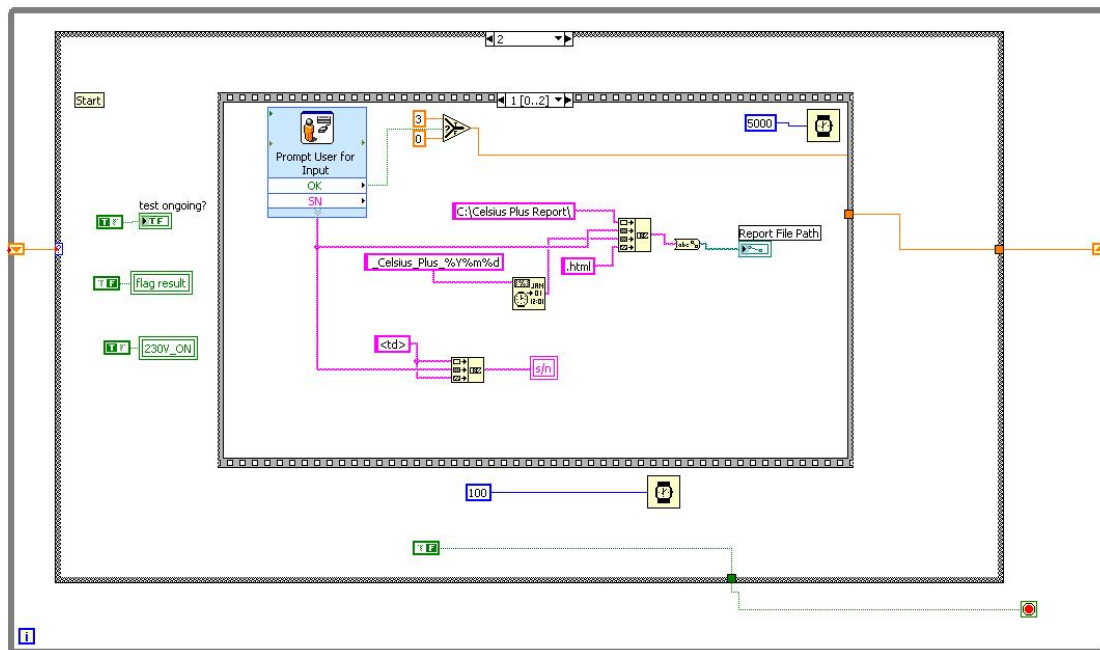


Figura 76 – Criar nome do relatório.

Este sub-diagrama é igual ao do Celsius com a diferença do nome do relatório e da pasta a armazenar o mesmo.

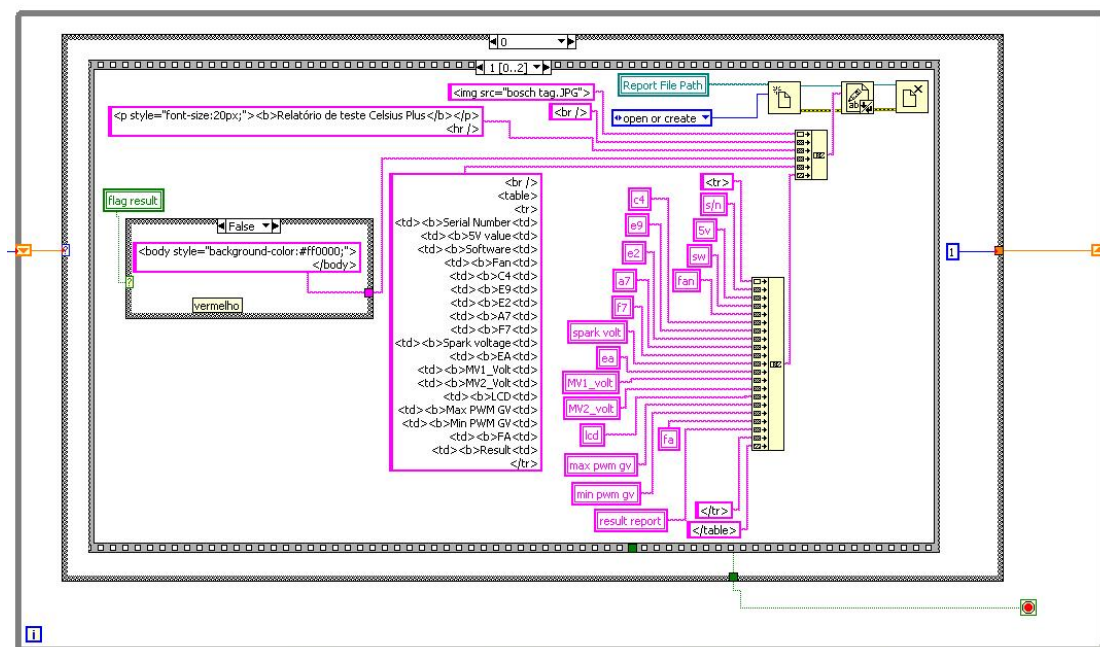


Figura 77 – Criar relatório final.

A criação do relatório final Celsius Plus difere do relatório Celsius apenas no nome a gravar no título e na inclusão duma variável “lcd” não existente no teste da caixa electrónica Celsius, correspondente ao resultado do teste do LCD.

4.4.3 Sub-VI's

O instrumento virtual principal (Main_Celsius_PLUS.vi) tem alguns instrumentos virtuais como parte do seu código, que são exactamente os mesmos existentes no instrumento virtual Main_Celsius.vi, já descritos anteriormente.

A imagem seguinte foi tirada à pasta onde estão armazenados os três instrumentos virtuais para o teste da caixa de controlo electrónico Celsius Plus.

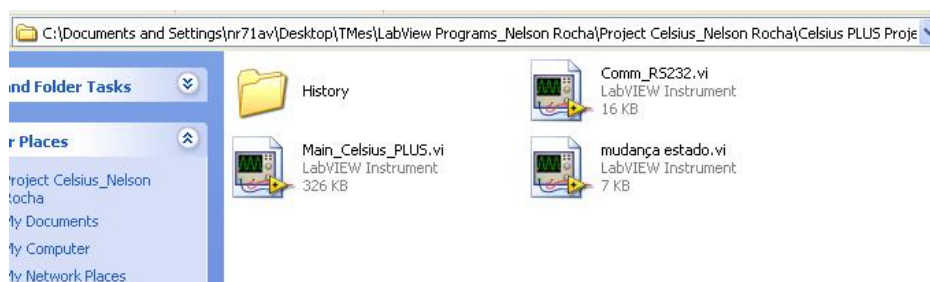


Figura 78 – Instrumentos virtuais Celsius Plus.

4.5 Relatório de teste

O relatório de teste é o ficheiro criado sempre que se realiza um teste funcional a uma caixa de controlo electrónico Celsius ou Celsius Plus. Este ficheiro contém todos os resultados dos testes e medições realizadas durante o teste funcional.

4.5.1 Formato do relatório

Desde o início do desenvolvimento desta Tese que pensei em construir os relatórios de teste em ficheiro Excel, mas foi também desde cedo que me deparei com uma

dificuldade: a versão de LabVIEW 8.6 que tinha disponível, embora versão Professional, não tinha a biblioteca de instrumentos virtuais para a criação de relatórios em MS Office. Como tal, foi necessário desenvolver por programação uma forma de criar o relatório. Após vários dias a tentar chegar a uma solução funcional, descobri que apesar do esforço já realizado, a criação do relatório em ficheiro html [8] se tornaria mais rápida, do ponto de vista de processamento, e o ficheiro criado seria significativamente mais pequeno.

Após a tomada de decisão de criar o relatório em ficheiro html, decidi fazer uma comparação entre este e o ficheiro Excel. As imagens seguintes mostram a diferença do tamanho entre ambos os ficheiros, sendo o ficheiro excel 20 vezes superior, embora com exactamente o mesmo conteúdo.

Serial Number	SV value	Software	Fan	C4	E9	E2	A7	F7	Spark voltage	EA	MV1_Volt	MV2_Volt	Max PWM GV	Min PWM GV	FA	Result	
8707207277	3008	88523_0024	5.01	3008	ON	C4	E9	E2	A7	F7	18365	EA	23.78	23.77	5.59	10.45	FA PASS

Figura 79 – Relatório em ficheiro excel.

Serial Number	SV value	Software	Fan	C4	E9	E2	A7	F7	Spark voltage	EA	MV1_Volt	MV2_Volt	Max PWM GV	Min PWM GV	FA	Result	
8707207277	3008	88523_0024	5.01	3008	ON	C4	E9	E2	A7	F7	18365	EA	23.78	23.77	5.59	10.45	FA PASS

Figura 80 – Relatório em ficheiro html.

Name	Size	Type
8707207277 3008 88523 0024 _Celsius_20110226.xls	20 KB	Microsoft Excel Wor...
8707207277 3008 88523 0024 _Celsius_20110226.html	1 KB	HTML Document

Figura 81 – Comparação de tamanho de ficheiros Excel e html.

4.5.2 Criação do relatório

O relatório é construído à medida que o programa de teste avança. Começa com a criação do caminho (*path*) a armazenar e o nome do ficheiro com o formato: “leitura código de barras_Celsius_data(YYYYMMDD).html”. A imagem seguinte mostra como isto é feito em código LabVIEW.

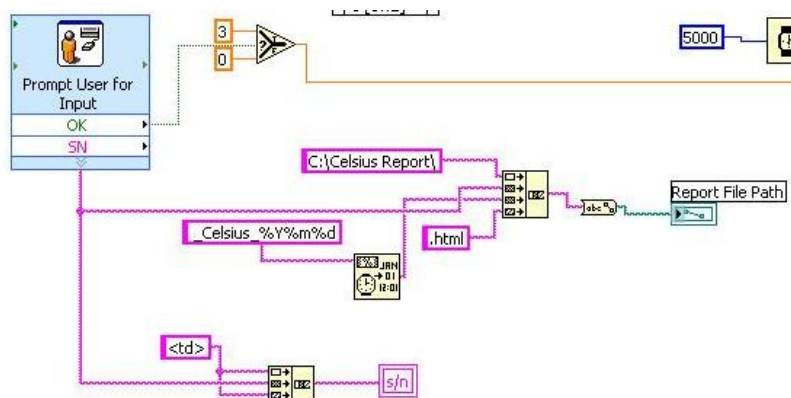


Figura 82 – Abrir relatório.

O código de barras lido directamente da caixa de controlo electrónico Celsius ou Celsius Plus tem o seguinte formato: referência_versão de sw_data de produção_número de série sequencial (exemplo: 8707207278 3008 00901 0121).

Ao longo do teste funcional os resultados dos vários testes e medições são guardados em variáveis para construção do relatório. Na imagem seguinte um exemplo duma variável (*E9*) a ser alterada após validação do teste. Como neste exemplo vemos o tratamento das variáveis em caso de resultado negativo, pode-se

também verificar na mesma imagem outra importante variável, a *flag result* que acompanha todas as validações ao longo do teste funcional armazenando o resultado global do mesmo.

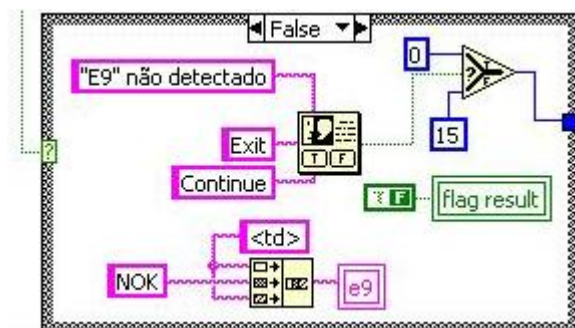


Figura 83 – Variáveis para construção de relatório.

O preenchimento do relatório é um dos últimos passos do programa de teste funcional, pois necessita de todas as variáveis preenchidas ao longo do programa. Neste passo do programa, tal como na imagem de seguida no caso do teste Celsius, é lida a variável *flag result* para determinar qual a cor a preencher no relatório, dependendo do resultado global positivo ou negativo. Desta forma é possível dar uma cor verde no caso de resultado positivo ou cor vermelha no caso de resultado negativo, independentemente do utilizador ter pedido ou não para continuar o teste em caso de falha.

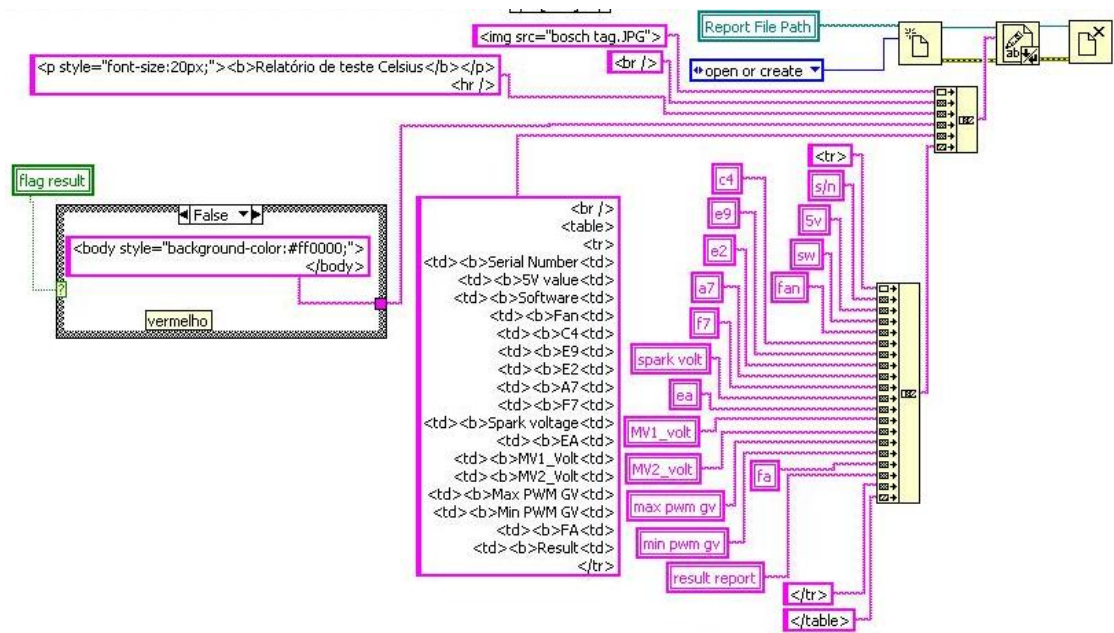


Figura 84 – Preenchimento do relatório.

Ao mesmo tempo é preenchido o cabeçalho standard com uma imagem Bosch, o título global, os nomes dos testes realizados e os resultados de cada teste. Tudo isto é concatenado numa só *string* de informação e escrita no ficheiro html.

Nas imagens seguintes pode-se ver o código para a cor a atribuir ao fundo do relatório final. O código de cores html foi obtido com pesquisas na internet [8].

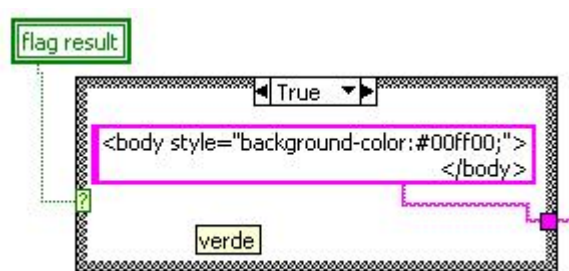


Figura 85 – Cor verde no fundo.

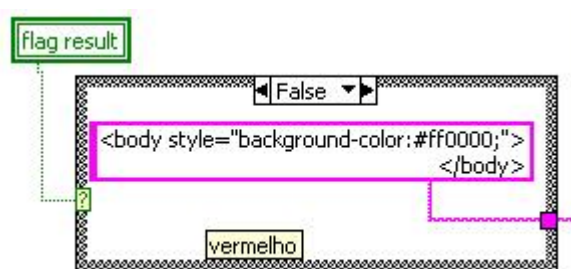


Figura 86 – Cor vermelha no fundo.

O relatório final tem de uma forma simplificada toda a informação sobre os testes realizados e uma validação automática do resultado. De seguida um exemplo de cada relatório, um com resultado positivo e outro com resultado negativo.

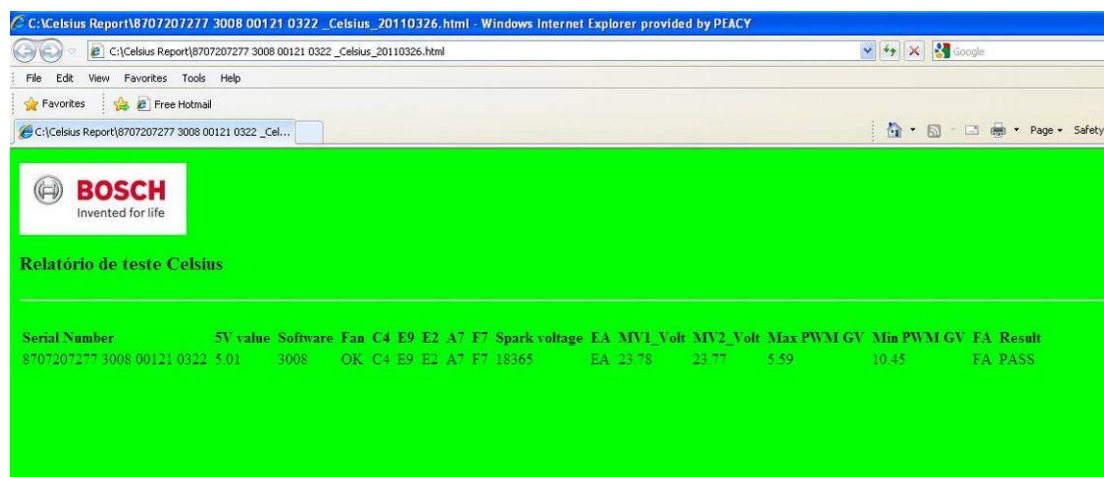


Figura 87 – Relatório final com resultado positivo.

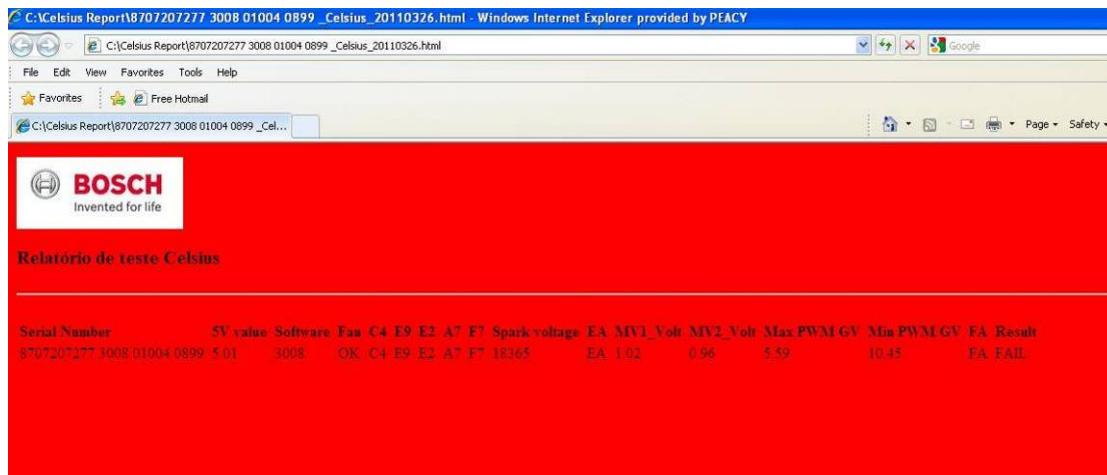


Figura 88 – Relatório final com resultado negativo.

5 Avaliação do Desempenho da Solução Desenvolvida

5.1 Capacidade de detecção de avarias

Para analisar a capacidade de detecção de avarias foram provocados vários defeitos em importantes circuitos da caixa de controlo electrónico.

De seguida alguns exemplos de relatórios com defeitos provocados. Para provocar os defeitos foram retirados alguns componentes de alguns dos importantes circuitos da placa da caixa de controlo electrónico Celsius. Os componentes retirados não podem ser divulgados, tal como o esquemático da placa electrónica, por razões de confidencialidade.




Serial Number	5V value	Software	Fan	C4	E9	E2	A7	F7	Spark voltage	EA	MV1_Volt	MV2_Volt	Max PWM GV	Min PWM GV	FA	Result
8707207277 3008 01213 0633	5.02	3008	NOK	C4	E9	E2	A7	F7	18744	EA	23.78	23.77	5.59	10.45	FA	FAIL

Figura 89 – Falha no circuito de actuação do ventilador.



Serial Number	5V value	Software	Fan	C4	E9	E2	A7	F7	Spark voltage	EA	MV1_Volt	MV2_Volt	Max PWM GV	Min PWM GV	FA	Result
8707207277 3008 01213 0633	5.02	3008	OK	C4	E9	E2	A7	F7	18789	EA	1.09	23.77	5.59	10.45	FA	FAIL


Figura 90 – Falha no circuito de tensão da válvula magnética 1 da válvula de gás.



Relatório de teste Celsius

Serial Number	5V value	Software	Fan	C4	E9	E2	A7	F7	Spark voltage	EA	MV1_Volt	MV2_Volt	Max PWM GV	Min PWM GV	FA	Result
8707207277 3008 01213 0633	5.02	3008	OK	C4	E9	E2	A7	F7	18789	EA	23.78	23.77	0.23	0.11	FA	FAIL

Figura 91 – Falha no circuito de geração de onda PWM da válvula de gás.



Relatório de teste Celsius

Serial Number	5V value	Software	Fan	C4	E9	E2	A7	F7	Spark voltage	EA	MV1_Volt	MV2_Volt	Max PWM GV	Min PWM GV	FA	Result
8707207277 3008 01213 0633	5.01	3008	OK	C4	E9	E2	A7	F7	12	EA	23.78	23.77	5.59	10.45	FA	FAIL

Figura 92 – Falha no circuito de tensão de ignição.

5.2 Repetibilidade

Para verificar a repetibilidade na detecção de defeitos foram realizados ensaios de várias caixas de controlo electrónico, sem defeito ou com defeitos conhecidos. Os resultados foram sempre repetidos, com as unidades em teste sem defeito assim como as unidades em teste com defeitos conhecidos. Abaixo alguns exemplos de testes realizados a caixas de controlo electrónico Celsius. Os testes foram realizados em dias diferentes pois cada relatório de testes realizado à mesma unidade e na mesma data substitui sempre o relatório anterior. Isto acontece apenas em caso de teste da mesma unidade no mesmo dia.

Caixa de controlo electrónico sem defeito, com código de barras 8707207277 3008 00121 0322:

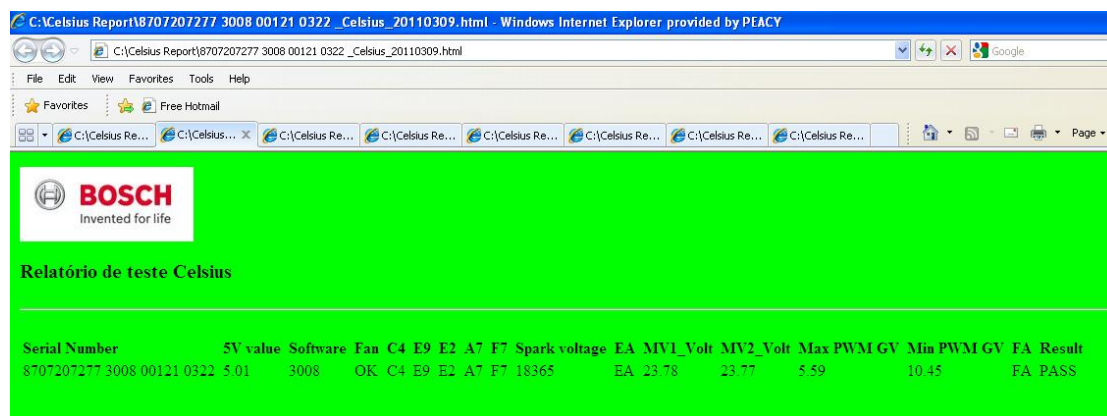


Figura 93 – Teste de repetibilidade 1.

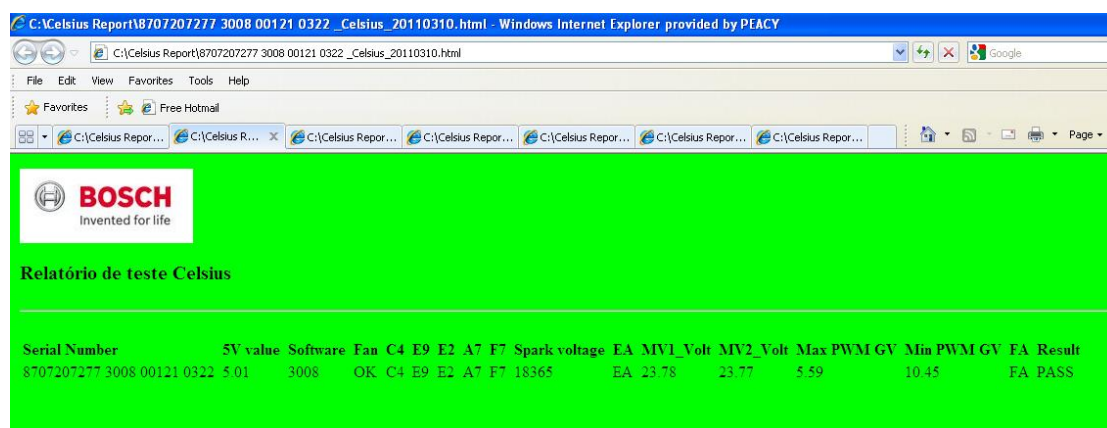


Figura 94 – Teste de repetibilidade 2.

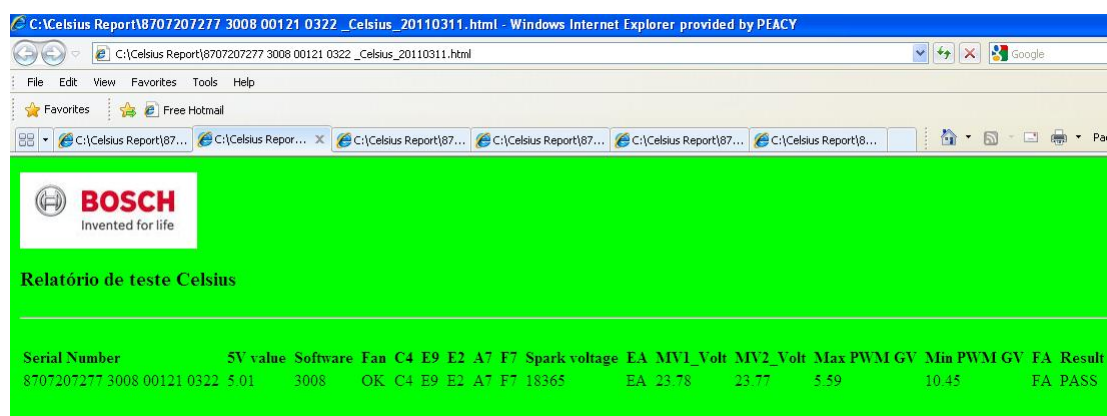


Figura 95 – Teste de repetibilidade 3.

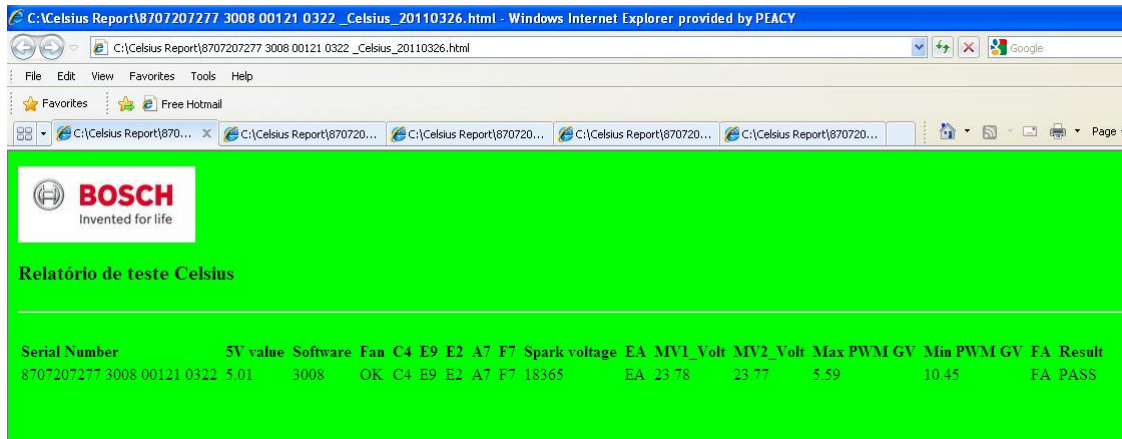


Figura 96 – Teste de repetibilidade 4.

Caixa de controlo electrónico com defeito conhecido no circuito de actuação de ventilador, com código de barras 8707207277 3008 98319 0197:

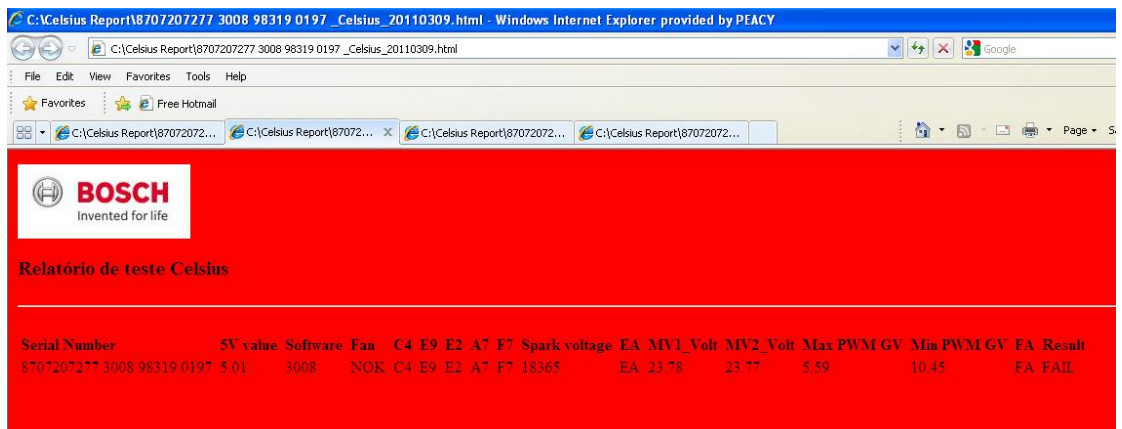


Figura 97 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 1.

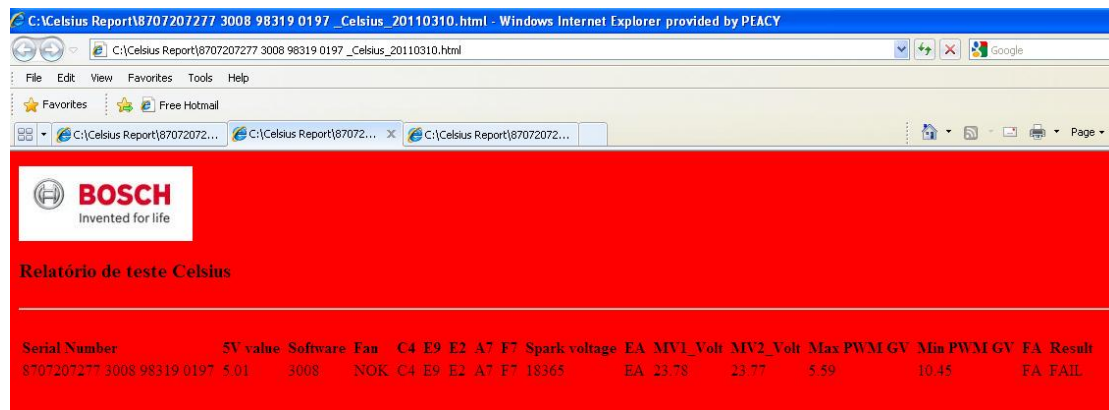


Figura 98 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 2.

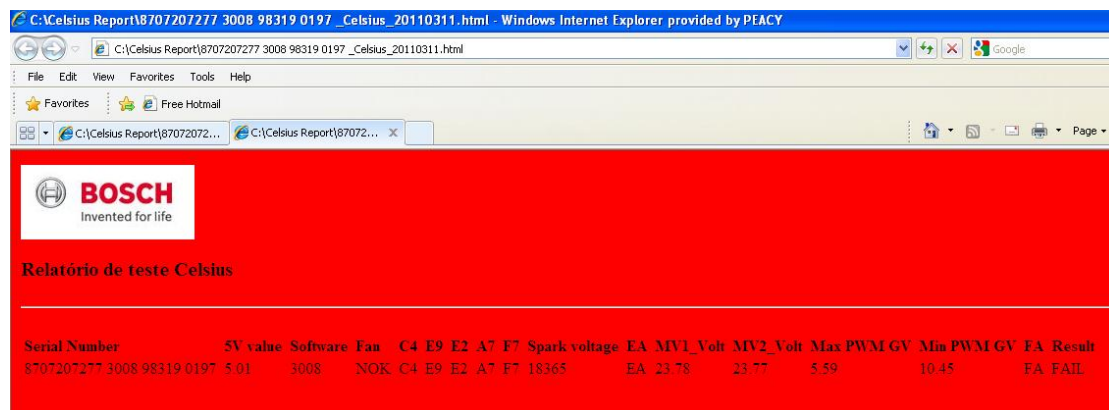


Figura 99 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 3.

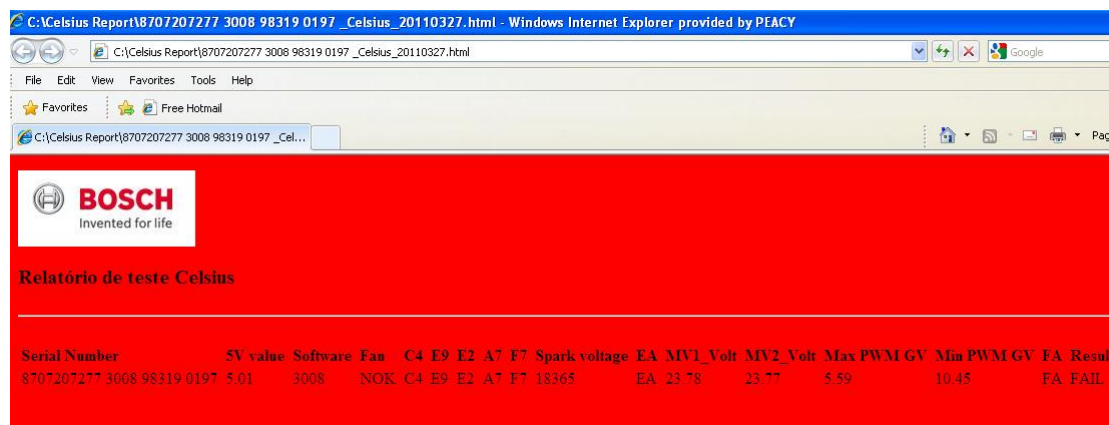


Figura 100 – Teste de repetibilidade com defeito conhecido 4.

6 Custo do projecto

Para além do tempo dedicado a este projecto os custos foram os seguintes:

Licença LabVIEW 8.6 – 3000€ (aprox.)

Placa de aquisição de dados NI-USB6251 – 1400€

Leitor de código de barras USB (já existente) – 150€.

Jig de agulhas – 100€ (aprox.)

Conversor RS232 – USB – 25€

Placas de teste para construção de hardware – 10€

Componentes utilizados no hardware – 10€ (aprox.)

Cablagem – 5€ (aprox.)

Isto significa um custo total aproximado de 4700€, embora o investimento não tenha sido aplicado apenas para este efeito, pois a licença de software e a placa de aquisição de dados podem e estão em utilização para outros fins.

7 Conclusões

7.1 Apreciação Final

Neste trabalho foi realizado o desenvolvimento de um sistema de teste funcional automático capaz de verificar a conformidade com as especificações funcionais de duas das mais importantes caixas de controlo electrónico utilizadas na produção de esquentadores estanque Celsius e Celsius Plus.

De acordo com as necessidades sentidas no departamento onde exerço funções, com a Qualidade Perfeita como principal objectivo, este equipamento de teste funcional permite a investigação de avarias das placas electrónicas permitindo assim uma actuação correctiva e preventiva junto do fabricante das mesmas.

Do ponto de vista pessoal este trabalho foi muito enriquecedor na medida em que me permitiu aprender a programar em software LabVIEW e a utilizar um dos hardwares (DAQ) que melhor potenciam o software, pois antes de iniciar este desenvolvimento nunca tinha utilizado esta ferramenta de programação nem este tipo de hardwares de aquisição de dados. Permitiu-me de igual modo solidificar os meus conhecimentos de análise de circuitos, investigação de avarias e também de desenvolvimento de hardware.

7.2 Trabalho Futuro

Em todos os trabalhos práticos assim como nas funções profissionais de cada um, independentemente de qual o seu ramo de actividade, tudo pode e deve ser melhorado pois é com melhoria contínua que se atingem as metas ambiciosamente definidas. Neste trabalho desenvolvido e descrito nesta Tese existem também

melhorias evidentes a implementar no futuro de forma a dar uma continuidade à melhoria.

Este equipamento de teste permite testar as PCBA Celsius e Celsius Plus, e embora o código de programação seja quase o mesmo para ambas as unidades, foram criadas duas aplicações em separado e alojadas em pastas dedicadas. No futuro podem ser concatenadas as duas aplicações numa só programando o código necessário para que o utilizador possa seleccionar inicialmente qual o PCBA a testar.

Sendo este equipamento para uso interno no departamento, o software é utilizado com o código aberto em modo *debug*, como tal pode ser criado no futuro uma aplicação final executável. Para isso é necessário criar no LabVIEW um instalador com todas as dependências necessárias à instalação como por exemplo as bibliotecas utilizadas, os drivers USB do DAQ, etc. No caso da aplicação ser necessária em máquinas onde não existe uma instalação de LabVIEW pode também ser adicionado ao instalador o *NI Runtime Engine [6]*, que vai permitir emular a máquina LabVIEW e correr o programa mesmo sem ter uma licença LabVIEW instalada e activa.

De uma forma geral, podem ser sempre melhoradas as cablagens e o jig de agulhas.

Numa fase mais avançada, e dependendo da necessidade que justifique o investimento, poderá ser adicionada uma câmara de vídeo ao equipamento de teste. Com isto seria possível ter uma validação completamente automática da informação que aparece no LCD da caixa de controlo electrónico Celsius Plus através da inclusão de código de software de tratamento de imagem. Para isso seria necessário também alterar o jig de agulhas para permitir colocar a câmara.

8 Referências

- [1] Bosch home page <http://www.bosch.com>
- [2] Página web da Bosch Portugal <http://www.bosch.pt>
- [3] Página web da marca Vulcano <http://www.vulcano.pt/>
- [4] Página web da marca Junkers
<http://www.junkers.com/pt/pt/ek/produtos/aguaquente/index.html>
- [5] Página web de placas de aquisição de dados da National Instruments
<http://www.ni.com/dataacquisition/multifunction/>
- [6] Página web de software LabVIEW da National Instruments <http://www.ni.com/labview/>
- [7] Página web do LabVIEW <http://www.ni.com/labview/whatis/>
- [8] Tutorial html online <http://www.html.net/tutorials/html/>

