

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Sistema de Monitorização e Diagnóstico do Power
Train de um Veículo Eléctrico de Competição**

Rui Pedro Moreira Santos

Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Automação

Orientador: Prof. Dr. Armando Luís Sousa Araújo

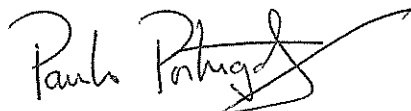
Julho 2011

A Dissertação intitulada

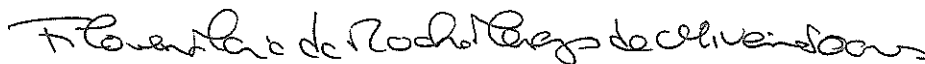
**“Sistema de Monitorização e Diagnóstico do Power Train de um Veículo Eléctrico de
Competição**

foi aprovada em provas realizadas em 21-07-2011

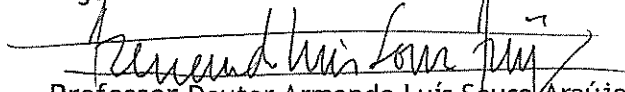
o júri



Presidente Professor Doutor Paulo José Lopes Machado Portugal
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de
Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



Professora Doutora Filomena Maria Rocha Menezes Oliveira Soares
Professora Associada Departamento de Electrónica Industrial da Escola de
Engenharia da Universidade do Minho



Professor Doutor Armando Luís Sousa Araújo
Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

O autor declara que a presente dissertação (ou relatório de projeto) é da sua
exclusiva autoria e foi escrita sem qualquer apoio externo não explicitamente
autorizado. Os resultados, ideias, parágrafos, ou outros extractos tomados de ou
inspirados em trabalhos de outros autores, e demais referências bibliográficas
usadas, são corretamente citados.



Autor - Rui Pedro Moreira Santos

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Resumo

Este documento reporta o trabalho efectuado pelo Autor na Dissertação do Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores. A dissertação apresenta o sistema associado à monitorização e diagnóstico de um veículo eléctrico de competição, VEC.

O sistema adquire e monitoriza os dados mais relevantes associados ao funcionamento do veículo. Para além dos aspectos referidos o trabalho apresenta simulações de falhas. O diagnóstico do veículo usa o método sem recurso ao modelo do sistema, uma vez que é computacionalmente mais rápido.

Em paralelo foi desenvolvida uma interface de comunicação com o sistema de telemetria usado no VEC. Assim, apresentam-se ainda as características do sistema de telemetria, os processos usados para efectuar o diagnóstico e a monitorização, bem como a interface usada e as suas funções.

Abstract

This report presents the work done by the Author during his Dissertation in the Master in Electrical and Computer Engineer course on FEUP. This Thesis presents the system used to monitoring and diagnosis a racing electric vehicle (VEC).

The system acquires and monitors the most relevant data associated to the vehicle operation. Also the work presents vehicle fault simulation.

To make VEC diagnosis Author used a method without model, since it is computationally faster than methods witch are model based. The used method was developed after fault simulation has been studied.

In parallel Author developed an interface that communicates with the vehicle telemetry system, via wireless. Thereby, the Thesis also presents telemetry system features, monitoring and diagnosis processes as well as the created interface and its features.

Agradecimentos

Os mais sinceros agradecimentos aos meus pais e familiares pelo apoio prestado ao longo do meu percurso académico, nomeadamente nos 5 anos do curso.

Também queria agradecer ao meu orientador, o Prof. Dr. Armando Luís Sousa Araújo, pelo apoio prestado e pela ajuda fornecida no desenvolvimento deste projecto.

Aos meus amigos e colegas de trabalho no veículo eléctrico de competição, João Queirós, Tiago Ramos e Tiago Rocha, um especial agradecimento pelo apoio prestado.

Um grande obrigado a todos os meus amigos, em especial ao Pedro Burmester Campos e Eduardo Mota por todo o apoio prestado ao longo dos últimos 5 anos.

À minha namorada, Sofia Alves, fico eternamente agradecido pelo apoio e paciência prestados durante o meu percurso universitário.

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	ix
Lista de figuras	xii
Lista de tabelas	xv
Abreviaturas e Símbolos	xvi
Capítulo 1	17
Introdução.....	17
1.1 - Enquadramento.....	18
1.2 - Objectivos gerais	18
1.3 - Motivação.....	18
1.4 - Relevância do tema	19
Capítulo 2	21
Estado da Arte.....	21
2.1 - Aquisição.....	21
2.1.1 - Sensores.....	22
2.1.2 - Condicionadores de Sinal e SAD <i>hardware</i>	25
2.2 - Monitorização	29
2.3 - Diagnóstico e Optimização	30
2.4 - Conclusão	35
Capítulo 3	37
Sistema de Aquisição de Dados	37
3.1 - Parâmetros a monitorizar.....	37
3.2 - Sistema de telemetria.....	39
3.3 - Sistema de monitorização e diagnóstico	44

3.4 - Conclusão	46
Capítulo 4	47
Diagnóstico de Falhas.....	47
4.1 - Tipos de falhas	47
4.1.1 - Importância das falhas a detectar	49
4.2 - Processos para o diagnóstico das falhas	54
4.2.1 - Detecção de Curto-circuitos	54
4.2.2 - Detecção de Sobrecorrentes	56
4.2.3 - Detecção de Circuito-aberto (Falta de fase).....	57
4.2.4 - Detecção de Subtensões (Quebra de tensão)	59
4.2.5 - Detecção de Desequilíbrios entre fases.....	60
4.2.6 - Detecção de Sobretensões	61
4.3 - Conclusão	62
Capítulo 5	63
Simulação da detecção de falhas.....	63
5.1 - Simulação do barramento do motor	63
5.2 - Diagnóstico do barramento do motor	66
5.2.1 - Detecção de Curto-circuitos	67
5.2.2 - Detecção de Sobrecorrentes	69
5.2.3 - Detecção de Circuito-aberto (Falta de fase).....	70
5.2.4 - Detecção de Subtensões (Quebra de tensão)	72
5.2.5 - Detecção de Desequilíbrios entre fases.....	74
5.2.6 - Detecção de Sobretensões	75
5.3 - Simulação do barramento da bateria	76
5.4 - Diagnóstico do barramento da bateria.....	78
5.4.1 - Detecção de Curto-circuitos	78
5.4.2 - Detecção de Sobrecorrentes	79
5.4.3 - Detecção de Sobretensões	80
5.5 - Conclusão	81
Capítulo 6	83
Monitorização	83
6.1 - Monitorização.....	83
6.2 - <i>Human-Machine Interface</i>	86
6.3 - Princípio de funcionamento da HMI	90
6.4 - Conclusão	102
Capítulo 7	103
Testes ao sistema de Monitorização e Diagnóstico	103
7.1 - Teste com dados do VEC.....	103
7.2 - Conclusão	109
Capítulo 8	111
Conclusões	111
Bibliografia	113
Apêndice	117

1.1 - Definições e principais tecnologias existentes	117
--	-----

Lista de figuras

Figura 1 - Componentes de um sistema de aquisição de dados [5].....	22
Figura 2 - Forças G num veículo	23
Figura 3 - Triangulação para cálculo da posição GPS [22]	24
Figura 4 - Sistema de aquisição modular [23]	25
Figura 5 - Exemplo de Sistema de aquisição distribuído	27
Figura 6 - Exemplo de Sistema de aquisição não distribuído	28
Figura 7 - Painel HMI de um veículo eléctrico [42]	30
Figura 8 - Eficiência vs. Performance entre veículos eléctricos [44]	32
Figura 9 - Algoritmo para localização de falha num motor eléctrico [46]	34
Figura 10 - Exemplo de rede neuronal [48]	35
Figura 11 - Disposição dos sensores no veículo.....	42
Figura 12 - Sistema de Telemetria	43
Figura 13 - Trama a ser enviada a 100 Hz (55 bytes)	46
Figura 14 - Trama a ser enviada a 10 Hz (40 bytes).....	46
Figura 15 - Tipos de falhas em ordem ao tempo [49]	48
Figura 16 - Curto-circuito entre fases - falhas em motores eléctricos [50].....	50
Figura 17 - Falta de fase - falhas em motores eléctricos [50].....	51
Figura 18 - Desequilíbrio entre fases - falhas em motores eléctricos [50]	52
Figura 19 - Sobrecarga - falhas em motores eléctricos [50]	54
Figura 20 - Aspecto de motor trifásico sem falhas [50]	54
Figura 21 - Fluxograma do algoritmo de detecção de curto-circuitos	55
Figura 22 - Fluxograma do algoritmo de detecção de sobrecorrentes	57

Figura 23 - Fluxograma do algoritmo de detecção de Falta de fase	58
Figura 24 - Fluxograma do algoritmo de detecção de Subtensões	59
Figura 25 - Fluxograma do algoritmo de detecção de desequilíbrios entre fases	61
Figura 26 - Fluxograma do algoritmo de detecção de Sobretensões.....	62
Figura 27 - Ilustração geral dos blocos a simular no barramento do motor	64
Figura 28 - Fontes trifásicas sinusoidais utilizadas para na alimentação do motor	64
Figura 29 - Blocos utilizados na medição de tensões entre fases e cálculo dos valores eficazes da tensão e corrente	65
Figura 30 - Blocos utilizados no diagnóstico de falhas no barramento do motor	66
Figura 31 - Gráfico que ilustra a ausência de falhas por curto-circuito.....	67
Figura 32 - Interruptor (<i>Breaker</i>) introduzido entre as fases 1 e 2 do motor	68
Figura 33 - Gráfico que ilustra a uma falha por curto-circuito entre a fase 1 e a fase 2 aos 2s.....	68
Figura 34 - Gráfico que ilustra a uma sobrecorrente nas fases do motor.....	69
Figura 35 - Interruptor (<i>Breaker</i>) e resistência introduzidos na fase 1 do motor	70
Figura 36 - Gráfico que ilustra a Falta da Fase 1.....	71
Figura 37 - Gráfico que ilustra a Falta da Fase 2.....	71
Figura 38 - Gráfico que ilustra a Falta da Fase 3.....	72
Figura 39 - Fonte de tensão controlado que provou uma falha por subtensão na fase 1	72
Figura 40 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 1	73
Figura 41 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 2	73
Figura 42 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 3	73
Figura 43 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 1	74
Figura 44 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 2	74
Figura 45 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 3	75
Figura 46 - Gráfico que ilustra sobretensões em todas as fases.....	76
Figura 47 - Blocos a simular no barramento da bateria	77
Figura 48 - Blocos que efectuem a verificação de falhas no barramento da bateria	77
Figura 49 - Blocos que efectuem a descarga da bateria	78
Figura 50 - Curto-circuito no barramento DC da bateria	79
Figura 51 - Sobrecorrente no barramento DC da bateria	80

Figura 52 - Blocos que provocam uma sobretensão à bateria	81
Figura 53 - Sobretensão aos terminais da bateria	81
Figura 54 - Menu Inicial da interface	88
Figura 55 - Formato dos dados gravados no ficheiro “DE”	89
Figura 56 - Formato dos dados gravados no ficheiro “DEM”	89
Figura 57 - Formato dos dados gravados no ficheiro “DT”	89
Figura 58 - Menu Inicial da interface	91
Figura 59 - Menu Inicial da interface que permite a escolha do veículo a monitorizar	91
Figura 60 - Menu de Recepção e Tratamento de Dados - “Data Collection”	93
Figura 61 - Menu Inicial da interface que permite a escolha da visualização dos dados do veículo	95
Figura 62 - Menu “Car Data”, separador “Electric Data”	96
Figura 63 - Menu “Car Data”, separador “Electric Data (Average)”	97
Figura 64 - Menu “Car Data”, separador “Mechanical Data”	98
Figura 65 - Menu “Options”, separador “Time Properties”	99
Figura 66 - Menu “Options”, separador “Data Base Properties”	99
Figura 67 - Menu “Options”, separador “Add Car Data”	100
Figura 68 - Menu “Options”, separador “Create Data Tables”	101
Figura 69 - Menu “Options”, separador “Parameters”	101
Figura 70 - Valores monitorizados com o VEC parado.....	104
Figura 71 - Valores monitorizados durante o arranque do VEC	106
Figura 72 - Valores monitorizados durante o percurso do VEC	107
Figura 73 - Valores monitorizados durante a paragem do VEC	108
Figura 74 - Valores das tensões e correntes nos barramentos.....	109

Lista de tabelas

Tabela 1 - Lista de parâmetros contidos na tabela “Cars”	86
Tabela 2 - Lista de parâmetros contidos na tabela “DE”	86
Tabela 3 - Lista de parâmetros contidos na tabela “DEM”	86
Tabela 4 - Lista de parâmetros contidos na tabela “DT”	87

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

<i>CAN</i>	<i>Controller Area Network</i>
<i>EV</i>	<i>Electric Vehicle</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia Universidade do Porto
<i>GPRS</i>	<i>General Packet Radio Service</i>
<i>HMI</i>	<i>Human Machine Interface</i>
SAD	Sistema de aquisição de dados
<i>SOC</i>	<i>State of Charge</i>
<i>USB</i>	<i>Universal Serial Bus</i>
VEC	Veículo eléctrico de Competição

Lista de símbolos

ω	Frequência angular
α	Ângulo
U	Tensão
I	Corrente
P	Potência
T	Binário

Capítulo 1

Introdução

Os veículos eléctricos apareceram em meados do século XIX, uma vez que proporcionavam um controlo simples, ao contrário dos motores a combustão interna da altura.

No entanto, devido ao desenvolvimento dos motores a combustão interna e do baixo preço dos combustíveis fósseis no início do século XX, a aposta nos veículos eléctricos ficou bastante reduzida.

Com o aparecimento das crises petrolíferas, nomeadamente a crise de 2008, o interesse em desenvolver veículos eléctricos foi renovado, levando muitos fabricantes de veículos a apresentar os seus protótipos, bem como a começar a sua produção em série. Recentemente em Portugal, já são comercializados alguns veículos automóveis totalmente eléctricos, como é o caso do *Mitsubishi i MiEV*, e do *Nissan Leaf*. Durante o ano de 2011 também a *Renault* prevê comercializar o *FLUENCE ZE*, *KANGOO ZE*.

Com vista a obter a máxima eficiência de um veículo eléctrico, é importante efectuar o estudo do mesmo. Um sistema de aquisição de dados capaz de obter o maior número de dados do Powertrain de um veículo eléctrico poderá, assim, permitir a optimização do veículo, levando-o a funcionar no estado óptimo.

No entanto, a aquisição de dados também poderá ser utilizada para efectuar o diagnóstico de falhas de um veículo eléctrico. Esse diagnóstico pode evitar a ocorrência de graves danos no veículo e nos seus ocupantes.

1.1 - Enquadramento

Este documento enquadra-se no âmbito da Unidade Curricular da Dissertação. O trabalho a realizar encontra-se integrado no desenvolvimento de um Veículo Eléctrico de Competição (VEC), sendo que, os dados obtidos deverão permitir a monitorização e detecção de falhas do veículo. O projecto VEC consiste na transformação de um Fiat Uno 45 S, com motor a combustão, num veículo eléctrico preparado para competir na categoria FEUP1, prova organizada pelo Desafio Único, na qual todos os veículos são Fiat Uno.

No desenvolvimento deste projecto encontram-se agregadas 4 teses de mestrado do curso de Engenharia Electrotécnica e de Computadores. O estudante Tiago Ramos encontra-se responsável pelo sistema de tracção do veículo, o estudante Tiago Rocha ficou encarregue do sistema de alimentação do VEC. A telemetria do veículo encontra-se a cargo do estudante João Queirós, enquanto o sistema de monitorização e diagnóstico encontra-se a cargo do autor desta tese.

O veículo está dotado de um motor eléctrico síncrono trifásico de ímanes permanentes de 22 KW de potência. A controlar o motor eléctrico é utilizado um controlador SEVCON GEN4-80.

1.2 - Objectivos gerais

O trabalho desenvolvido no âmbito desta Unidade Curricular tem como objectivo desenvolver um sistema de monitorização e detecção de falhas de um veículo eléctrico de competição.

Para o desenvolvimento deste projecto, vários objectivos foram definidos com vista a atingir as metas propostas.

Os objectivos definidos foram:

- Estudo dos dados a monitorizar;
- Estudo do Sistema de Aquisição de Dados;
- Tratamento dos dados provenientes do sistema de aquisição;
- Visualização dos dados numa HMI, a funcionar num computador;
- Estudo e implementação de sistema de diagnóstico de falhas, em *Soft Real-Time*, a funcionar na HMI utilizada para efectuar a monitorização do VEC;
- Estudo de possíveis optimizações a fazer num veículo de competição.

1.3 - Motivação

A possibilidade de ingressar no projecto ligado aos veículos eléctricos foi uma das principais razões da escolha deste projecto. O desenvolvimento deste projecto permite um estudo de toda a estrutura de um veículo eléctrico, quer a nível do sistema eléctrico e

electrónico, quer a nível do sistema mecânico. Para além disso, este, também permite a detecção de falhas do veículo. A motivação deste ponto advém da necessidade de preservar todos os componentes do veículo, bem como da segurança dos passageiros.

O facto de a plataforma utilizada ser de um veículo eléctrico de competição, também é importante, uma vez que muitas das novas tecnologias utilizadas nos veículos de hoje advém do estudo de veículos de competição, veículos estes que se encontram preparados para funcionar em condições extremas, a nível mecânico.

1.4 - Relevância do tema

Actualmente, devido ao aumento do preço dos combustíveis fósseis, vários fabricantes de veículos começam a investir na propulsão eléctrica. O grande desenvolvimento dos veículos movidos a energias fósseis deveu-se ao estudo dos dados adquiridos do seu *Powertrain* [1].

O mesmo nível de desenvolvimento também será exigido para um veículo eléctrico. A recolha dos dados e o seu estudo terá como objectivo efectuar a monitorização e a detecção de falhas do *Powertrain*.

Assim, um veículo eléctrico deverá possuir um sistema de diagnóstico, dado que este permite antecipar qualquer problema que venha a ocorrer e, por conseguinte, evitar danos ou acidentes.

A recolha de dados de um veículo, eléctrico ou movido a combustíveis fósseis, tem um papel fundamental no seu desenvolvimento e prevenção de falhas.

Neste caso, tratando-se do desenvolvimento de um veículo de competição, os dados recolhidos para a monitorização do veículo poderão ser utilizados para efectuar optimizações, quer a nível de conforto do piloto, quer a nível de prestações do veículo.

Capítulo 2

Estado da Arte

Neste capítulo serão abordadas tecnologias e processos utilizados para efectuar a aquisição, monitorização e diagnóstico de um veículo eléctrico. Serão referidos os tipos de sensores e sistema de processamento de dados, sistemas de *Human-Machine Interface* e programas que os permitam desenvolver, bem como os métodos e estratégias utilizados para efectuar o diagnóstico do veículo.

2.1 - Aquisição

A aquisição de dados do Powertrain de um veículo eléctrico poderá fornecer informações bastante úteis para a detecção e prevenção de falhas, bem como a possibilidade de optimização do sistema. Para efectuar a aquisição dos dados será necessário recorrer ao uso de vários equipamentos e tecnologias, nomeadamente a um sistema de aquisição de dados, SAD.

Os sistemas de aquisição de dados já existem há vários anos - pelo menos desde 1957 - criados pela divisão de processamento de dados da IBM [2], não se sabendo, no entanto, quem inventou o primeiro. Nos anos seguintes, outras empresas apareceram e criaram os seus sistemas de aquisição de dados [3] [4].

Inicialmente os SAD eram constituídos por vários equipamentos. Estes podiam possuir vários ADC (*analog to digital converter*), *multiplexer*, *Sample-and-Hold*, entre outros. No entanto, devido à elevada procura e concorrência que estes começaram a ter, os SAD rapidamente evoluíram. O sistema inicial começou assim a sofrer diversas alterações, de modo a satisfazer os vários requisitos impostos pelo mercado. Estes começaram a incorporar vários componentes num único chip, a possuir elevada capacidade processamento e armazenamento, baixo custo, tamanho reduzido, entre outros [3].

Actualmente, um SAD é, normalmente, constituído por transdutores e sensores, condicionadores de sinal, DAQ (*Data Acquisition*) hardware e um computador com *software*

apropriado para a leitura e apresentação dos dados (também se pode utilizar um *PLC* (*Programmable Logic Controller*) ou um *Data Logger* como ilustrado na Figura 1).

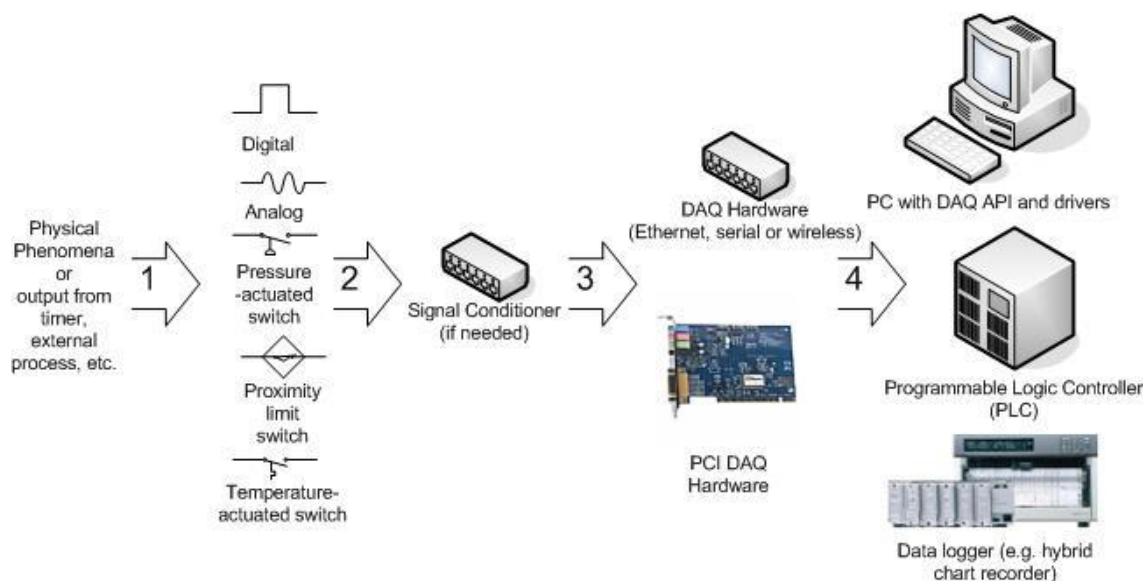


Figura 1 - Componentes de um sistema de aquisição de dados [5]

2.1.1 - Sensores

Sensores são dispositivos que medem dados físicos e os convertem em sinais eléctricos que possam ser lidos por SADs.

Num veículo eléctrico existem vários tipos de dados a adquirir, sendo que os de maior relevância são a corrente, tensão e temperatura nas baterias, no motor e no seu controlador, a inclinação do veículo, binário desenvolvido pelo motor, a posição global do veículo - GPS - e as acelerações e velocidade a que este se encontra sujeito [6] [7] [8].

Existem vários tipos de sensores que permitem obter os dados pretendidos, nomeadamente termístores, termopares e RTDs (termorresistência), utilizados para medir temperaturas, potenciómetros e encoders ópticos, para medir a posição, acelerómetros e inclinómetros, para medir acelerações e inclinações, respectivamente [9].

A tensão e corrente podem ser medidas através de sensores de *Hall*. Para medir a corrente no sensor de *Hall*, o fluxo gerado, a partir da corrente que passa no condutor eléctrico, é balanceado pelo fluxo criado a partir de uma corrente introduzida no enrolamento secundário, com o auxílio de circuitos electrónicos. Esta é uma representação da corrente a medir. Nos sensores de Hall que medem a tensão, é retirada uma corrente muito pequena - limitada por resistências em série - a partir da tensão a medir, sendo depois encaminhada para o primário do sensor. O fluxo gerado a partir da corrente que passa no condutor eléctrico é balanceada pelo fluxo criado a partir de uma corrente introduzida no

enrolamento secundário, e com o auxílio de circuitos electrónicos é possível gerar uma segunda corrente que é uma representação da tensão a medir [10].

Existem sensores que permitem efectuar a leitura de correntes desde 0.1A até aos 20 KA e de tensões entre os 10V e os 6.4KV, quer para valores AC como DC. Os valores medidos podem atingir uma precisão de 0.2% até 2.7% [11].

Existem vários dispositivos que permitem medir a aceleração num veículo. Um acelerómetro é um dispositivo que mede a aceleração segundo um eixo ou uma linha recta. Estes sensores permitem medir a aceleração segundos três eixos - X, Y e Z (Figura 2). Podem ser sensores de baixo consumo e que permitam medir até ± 100 G para cada eixo. Possuem uma precisão de 0.4% até aos 10%. Normalmente a sua tensão de alimentação não é superior a 5 VDC [12] [13] [14].

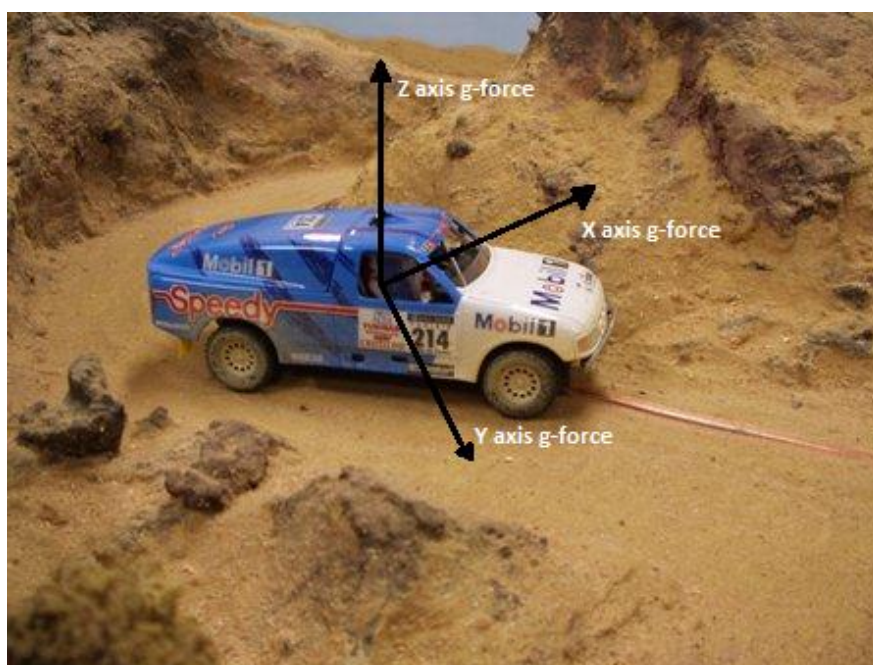


Figura 2 - Forças G num veículo

Um sensor de inclinação permite medir a inclinação ou a diferença de ângulo em relação à força da gravidade. Existem sensores que permitem medir a inclinação segundo os eixos X, Y e segundo o eixo Z. Conseguem medir inclinações de $\pm 90^\circ$ segundo X, $\pm 180^\circ$ segundo Y e Z. Possuem um baixo consumo e tensão de alimentação. Possuem precisão de cerca de 0.1° e uma resolução de 0.025° [15] [16] [14].

Existem vários tipos de sensores de temperatura como, por exemplo, termístores, termopares e RTDs (termorresistência). OS RTDs e os termístores são sensores em que a resistência se altera com a variação da temperatura, permitindo assim obter uma relação

entre a temperatura e a tensão aplicada no sensor. Um termopar é um sensor que utiliza dois tipos de materiais ligados numa das extremidades. Quando a junção dos dois materiais sofre uma variação de temperatura é produzida uma tensão. O valor dessa tensão pode ser relacionado com a temperatura. Existem termopares capazes de medir temperaturas desde os -270°C até aos 2320°C [17]. Também podem ser encontrados sensores de temperatura em circuitos integrados, sendo que a sua gama de valores pode ir dos -55°C até aos 150°C [18] [19].

O GPS - Sistema de posicionamento global - é um sistema de navegação baseado em satélites. Um GPS quando recebe a informação das posições de vários satélites consegue calcular a sua posição em relação a estes. Para determinar a sua posição em duas dimensões (latitude e longitude), um GPS precisa de receber informação de pelo menos três satélites como se pode observar na Figura 3. Caso o objectivo seja receber a sua posição em três dimensões (latitude, longitude e altitude) o sistema terá que receber informação de pelo menos quatro satélites. O sinal de GPS utilizado pelos civis actua à frequência de 1575.42 MHz em banda UHF. Existem sensores que permitem uma precisão de 5 metros. No entanto, grande parte dos produtos oferece em média uma precisão média de 10 a 15 metros.

As taxas de actualização das suas coordenadas são superiores a 1 Hz [20] [21].

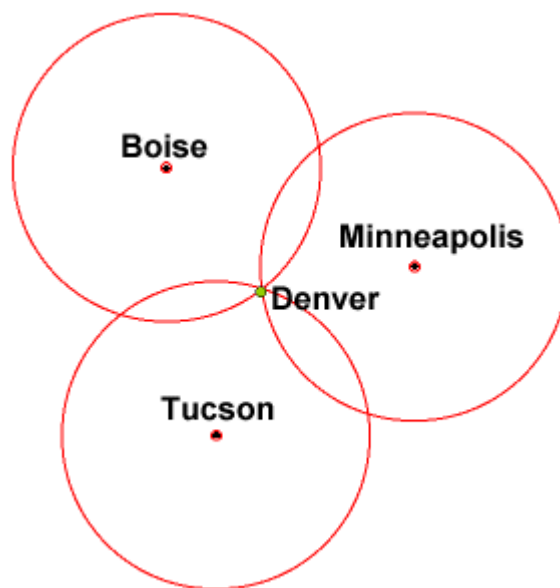


Figura 3 - Triangulação para cálculo da posição GPS [22]

2.1.2 - Condicionadores de Sinal e SAD *hardware*

Num sistema de aquisição de dados os condicionadores de sinal podem possuir uma elevada importância. Estes maximizam a precisão do sistema, permitem o bom funcionamento dos sensores e garantem a segurança de funcionamento do equipamento.

As principais funções de um condicionador de sinal são:

- Amplificação de sinal;
- Atenuação do sinal - utilizado quando o sinal a medir possui uma amplitude superior à que o ADC suporta;
- Filtro de ruído;
- Isolamento contra sobretensão e tensões de pico;
- Amostragem em simultâneo - quando é necessário adquirir mais de dois sinais no mesmo instante de tempo;
- Multiplexagem;

Os sistemas de condicionamento de sinal podem ser modulares ou integrados. Um sistema modular é composto por um chassis com vários *slots*, sendo que neles podem ser colocados vários tipos de módulos, conforme o necessário, como se pode observar na Figura 4. Já num sistema integrado, os módulos são fixos, ou seja, não é possível a construção de um sistema que corresponda apenas às exigências necessárias [9].



Figura 4 - Sistema de aquisição modular [23]

Os circuitos de condicionamento podem ser compostos por cartas - que interagem com SADs proprietários - ou por microcontroladores e circuitos que executam as funções anteriormente referidas, sendo que, neste caso, o projecto do sistema terá de ser mais elaborado.

O uso de microcontroladores poderá diminuir o número de requisitos impostos a um sistema de aquisição que transfira os dados para um PC. Actualmente, existem

microcontroladores com uma frequência de funcionamento superior a 40MHz, elevada memória, vários canais para funcionar como ADC, diversos temporizadores e possuindo custos de aquisição bastante mais baixos do que um SAD proprietário (com as cartas incluídas). Além disso, grande parte destes componentes já integra interfaces de comunicação como CAN, USART, SPI, USB, entre outros [24] [25].

As cartas que interagem com os SAD proprietários são sistemas mais simples e rápidos de interligar. Existem diversos tipos de cartas como, por exemplo, cartas para aquisição de tensões, correntes, temperaturas, cartas de comunicação, cartas digitais, entre outras. Estas possuem diversas especificações. Na escolha de uma carta interessa saber a gama de valores que esta suporta, o número de canais, a taxa de aquisição de amostragem, o tipo de isolamento contra sobretensões, a sua alimentação e como será feita a transmissão de dados. Existem cartas que permitem a leitura de tensões até aos 10KV. No entanto, num veículo eléctrico a gama de tensões deverá andar na ordem dos 300V. Também permitem a aquisição de correntes elevadas, bem como de temperaturas. Estes sistemas podem atingir taxas de amostragem superiores a 1MHz, diversos canais para aquisição dos dados provenientes dos diversos sensores, resoluções inferiores a 0,1% e permitir o uso de diversos protocolos de comunicação, como o CAN, Ethernet, USB, Wireless [26] [27] [28] [29] [30] [31] [32].

Normalmente, as cartas e os SAD proprietários são um sistema único, ou seja, funcionam como condicionador de sinal e SAD, sendo o próximo passo a ligação a um PC.

Assim, um sistema de aquisição de dados pode ser dividido em duas topologias, distribuído e não distribuído.

Num sistema distribuído os sinais obtidos pelos sensores serão processados por vários microcontroladores ou cartas, ou seja, cada microcontrolador ou carta terá a seu cargo o tratamento de um número reduzido de sinais, permitindo uma obtenção de taxas de aquisição consideravelmente elevadas. Após a aquisição e tratamento dos dados estes poderão ser enviados para um PC, através do uso de um protocolo de comunicações, ou directamente para um SAD.

A figura seguinte ilustra o esquema de um sistema de aquisição de dados distribuído. Neste, o processamento da informação é efectuado em vários microcontroladores e depois enviado para um computador.

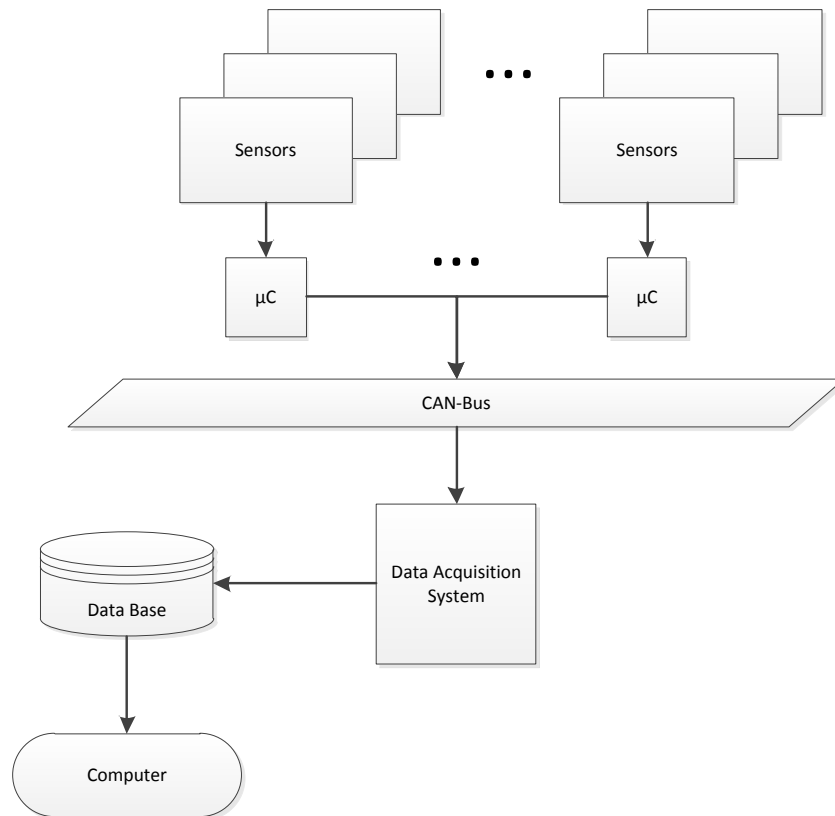


Figura 5 - Exemplo de Sistema de aquisição distribuído

Num sistema não distribuído, como o ilustrado na Figura 6, a aquisição dos dados é efectuada apenas por um microcontrolador ou por cartas, sendo que o tratamento dos sinais obtidos é efectuado apenas por um microcontrolador. Apesar de ser um sistema mais simples e económico, também apresenta taxas de aquisição mais baixas [33].

Com o uso de um sistema não distribuído são levantados os seguintes problemas [33]:

- Na aquisição de tensões, na casa das centenas de volts, a grande diferença de potencial é perigosa para uma só unidade de aquisição de dados;
- A elevada quantidade de dados a adquirir, em tempo-real por apenas um microcontrolador, é mais demorada;
- Para se efectuar com precisão a estimativa do estado da carga (SOC), por exemplo, deverá existir uma elevada taxa de amostragem da corrente, o que é mais complicado para um SAD não distribuído de baixo custo.

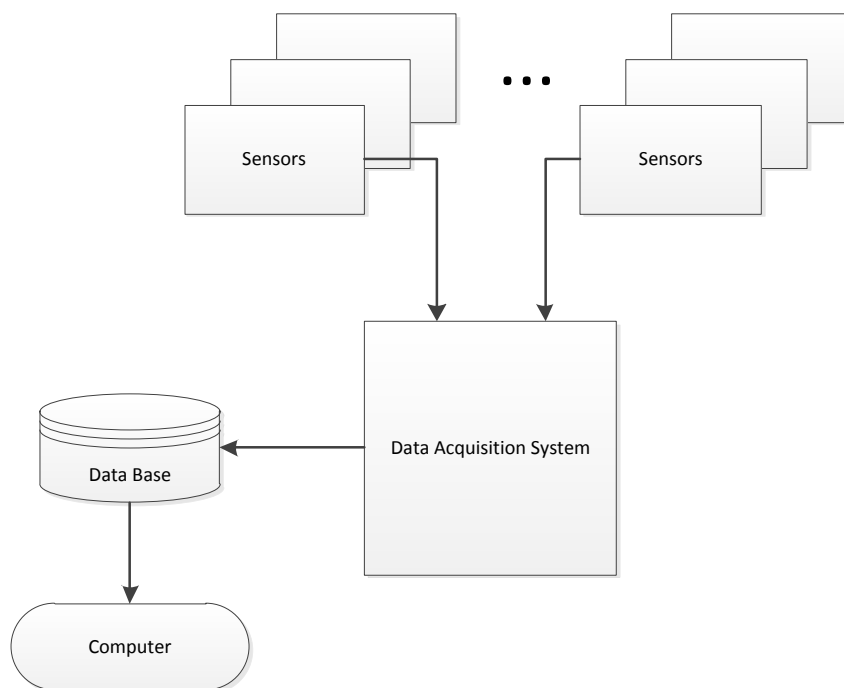


Figura 6 - Exemplo de Sistema de aquisição não distribuído

O armazenamento dos dados gerados pode ser feito num *Data Logger*, embutido no sistema de aquisição de dados, ou num PC, recorrendo-se para tal a uma base de dados.

Como já referido, a transmissão de dados pode ser efectuada através do recurso a um dos vários tipos de protocolos de comunicação existentes, como por exemplo *CAN*, *Ethernet*, *FlexRay*, comunicação Série, *GPRS*, *3G*, etc. Actualmente, a maioria dos veículos utiliza o *CAN* (*Controller Area Network*) como protocolo de comunicação. A razão do uso deste protocolo provém do baixo custo de implementação, da imunidade ao ruído, da possibilidade de operar em ambientes hostis e da grande robustez e confiabilidade [34].

O USB é largamente utilizado nos actuais computadores, pois como já referido, é um sistema *Plug and Play* com elevadas taxas de transmissão de dados [35]. No entanto, a transmissão por USB só pode ser efectuada através de cabo.

Como solução à transmissão de dados sem fios aparece o *GPRS*. Este, apesar de possuir taxas de transmissão inferiores ao USB, permite a comunicação através de um telemóvel. Deste modo os dados recolhidos podem ser enviados para a internet, ou para um telemóvel, ou seja, estes poderão ser acedidos a partir de qualquer computador com ligação à internet, ou com um cartão de telemóvel, em qualquer parte do mundo [36]. No entanto, o uso do *GPRS* é limitado pelos custos de utilização, ou seja, como este serviço se encontra indexado a um operador telefónico, possui custos de utilização taxados pela quantidade de dados enviados.

Também poderá ser utilizado o protocolo *ZigBee* para efectuar a transmissão de dados, sem fios, para um computador.

2.2 - Monitorização

Actualmente, com o elevado nível de processamento existente, o computador tornou-se uma mais-valia para efectuar a monitorização e o tratamento de dados.

Este permite a construção de interfaces homem-máquina, que em muito facilitam a compreensão e interacção com o sistema, o elevado armazenamento de dados, troca de informação via internet, entre outros.

Para idealizar um sistema de monitorização é necessário satisfazer pelo menos os seguintes requisitos:

- Armazenamento dos dados;
- Acesso aos dados armazenados;
- Processamento dos dados;
- Criação de uma interface gráfica;
- Performance do sistema;
- Possibilidade de difusão da informação via internet;

Com vista ao armazenamento de todos os dados recolhidos, o uso de uma base de dados torna-se imperativo num sistema de monitorização. As bases de dados podem estar contidas num computador ou num servidor, sendo que no primeiro caso, o acesso aos dados, deverá ser efectuado apenas através do computador onde esta se encontra instalada, e no segundo caso deverá permitir o acesso aos dados via internet, mediante os níveis de segurança necessários. Dentro dos níveis de segurança existentes destaca-se a autenticação do utilizador para possibilidade de acesso aos dados [37] [38].

Vários programas podem ser utilizados com vista ao processamento dos dados e à criação de uma interface gráfica. Estes programas permitem o acesso directo às bases de dados, quando se encontram correctamente configurados, e através de vários tipos de linguagem de programação - *VisualBasic*, C++, Java, etc. - permitem a criação de um ambiente gráfico que possibilite a interacção com o homem. Estes programas também permitem efectuar cálculos de diversos níveis - somas, multiplicações, integrais, etc. - logo a sua aptidão para efectuar o processamento dos dados adquiridos [39] [40].

Os diversos programas desenvolvidos deverão ter, no entanto, que responder a questões ligadas ao seu desempenho. Estes sistemas poderão ser desenhados para funcionar em *Hard Real-Time*, não permitindo atrasos significativos no processamento, *Soft Real-Time*, permitindo algum atraso proveniente do processamento dos dados. O uso de tratamento de dados em tempo real não permite obter um elevado nível de detalhe, já que este depende muito da capacidade de processamento do computador. O sistema pode, no entanto, não

funcionar em tempo real. Neste caso, os dados recolhidos poderão ser processados com um maior nível de detalhe.

Possuindo-se uma ligação rápida à internet, torna-se possível a visualização dos dados, em tempo real ou não, a partir de qualquer computador ligado à rede. Existem vários programas que permitem a criação de páginas Web, que podem ser utilizadas como uma interface HMI.

A utilização de HMI e de base de dados em rede possui diversas vantagens, como é o caso da possibilidade de aceder aos dados a partir de qualquer parte do mundo e a não necessidade de instalar qualquer programa para o processamento dos mesmos, ou seja, todo o processo é feito e monitorizado através de um *browser*, no PC, ligado à internet [40] [41]. No entanto, este método possui desvantagens, como é o caso da segurança a ter, uma vez que em rede os dados podem ser violados por *hackers*, e a velocidade disponível da internet, dado que se a rede for demasiado lenta não será possível a visualização dos dados em tempo real.



Figura 7 - Painel HMI de um veículo eléctrico [42]

A Figura 7 ilustra um painel HMI de um veículo eléctrico. Neste pode-se observar os dados mais importantes a mostrar ao seu utilizador.

2.3 - Diagnóstico e Optimização

Um dos principais motivos da recolha de dados de um veículo eléctrico provém do objectivo de optimizar e efectuar o diagnóstico de falhas do mesmo.

Num veículo eléctrico existem vários tipos de optimização que podem ser feitos, destacando-se os seguintes:

- Optimização da performance em pista;
- Optimização da autonomia;
- Optimização do tempo de carga das baterias;

- Optimização do tempo de vida das baterias;
- Optimização das perdas eléctricas;

A optimização da performance do veículo em pista pode ser vista como a tentativa de disponibilizar a maior potência e binário possível às rodas sem a ocorrência de deslizamento. Neste processo a autonomia poderá não ser relevante. Para se efectuar a optimização da performance do veículo, é necessário recolher os dados da tensão e corrente no motor eléctrico e no seu controlador, bem como conhecer as características de ambos. Através destes dados é possível o cálculo do binário e da potência que o motor eléctrico se encontra a debitar.

Proporcionar uma maior autonomia a um veículo eléctrico é um enorme desafio nos dias de hoje. Mantendo o mesmo *pack* de baterias o objectivo é possuir um programa que consiga efectuar a gestão de todos os recursos electrónicos existentes, tentando manter uma relação equilibrada entre potência necessária, autonomia e conforto. Por exemplo, um dos equipamentos de maior consumo energético é o ar-condicionado. Assim, saber os consumos de cada componente eléctrico e conseguir actuar de maneira autónoma nos mesmos, poderá traduzir-se numa maior autonomia para o veículo eléctrico.

Uma das maiores desvantagens dos veículos eléctricos advém do excessivo tempo de carga das baterias, bem como do seu tempo de vida. Actualmente, uma carga completa das baterias utilizadas, demora cerca de 6 a 8 horas. No entanto, com o aumento da corrente de carga, este valor poderia diminuir. Mas, este aumento da corrente de carga da bateria, poderá baixar o tempo de vida desta, ou em determinados casos levar à degradação imediata desta.

A monitorização da tensão, corrente e temperatura numa bateria permite estimar o estado da carga da bateria e a sua capacidade de carga. Após a obtenção destes dados e utilizando-se o modelo electroquímico e o modelo térmico da bateria, pode-se determinar o estado da carga (*SOC - State of Charge*), o estado de condição da bateria (*SOH - State of Health*), estado de funcionamento (*SOF - State of Function*), temperatura interna da célula, resistência interna, entre outros parâmetros [43].

Todos estes parâmetros têm uma elevada importância na obtenção de um compromisso entre o rápido carregamento das baterias e sua durabilidade.

A diminuição das perdas eléctricas num EV permite obter uma optimização de performance, da autonomia e do tempo de carga das baterias. Num veículo eléctrico existem perdas no motor, no seu controlador, nas baterias, e no trânsito de potência entre estes equipamentos. A diminuição das perdas poderá levar o veículo eléctrico a uma maior

eficiência energética no carregamento, bem como à obtenção de uma maior autonomia. Se as perdas no controlado e no motor forem significativas, a performance do veículo também será afectada.

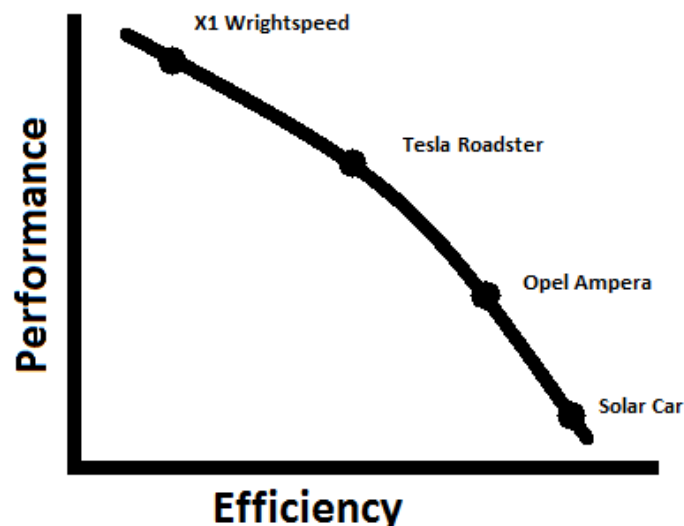


Figura 8 - Eficiência vs. Performance entre veículos eléctricos [44]

Como se pode observar na Figura 8, a performance e a eficiência são inversamente proporcionais. Uma grande performance leva a uma baixa eficiência, o contrário também se pode observar.

Mas, um veículo eléctrico também pode incorrer em diversas falhas. Assim, um bom diagnóstico de falhas poderá evitar problemas de maior.

A prevenção de falhas permite evitar a deterioração dos componentes, quebras de performance, danos maiores ao veículo, bem como a perda de vida dos seus ocupantes.

Assim, um diagnóstico rápido e correcto permite uma diminuição do tempo de reparação e promove o bom funcionamento do veículo.

Existem principalmente quatro tipos de falhas [45]:

- Falhas aditivas do processo;
- Falhas multiplicativas do processo;
- Falhas nos sensores;
- Falhas nos actuadores;

As falhas aditivas do processo ocorrem quando uma entrada desconhecida é adicionada ao sistema e provoca alterações na saída deste, independentemente das entradas conhecidas.

As falhas multiplicativas são todas aquelas que promovem alterações, abruptas ou graduais, nos parâmetros dos componentes. Estas falhas causam alterações na saída em

função da magnitude das entradas. A deterioração dos componentes eléctricos é uma das causas das falhas multiplicativas.

Falhas nos sensores ocorrem quando existe uma grande discrepância entre os valores lidos e os valores reais. As falhas nos sensores podem ser aditivas ou multiplicativas.

Falhas nos actuadores ocorrem quando há discrepância entre a ordem dada ao actuador e o seu valor final. Também podem ser falhas aditivas - no caso de o actuador somar sempre o mesmo erro à entrada - ou multiplicativas - por exemplo, no caso de o actuador falhar.

Assim, para a detecção de falhas é importante realizar as seguintes tarefas:

- Detectar a falha - o sistema deve perceber que algo de errado está a acontecer no sistema;
- Isolar a falha - identificar o local exacto de onde provém a falha;
- Identificar a falha - determinar que tipo de falha é e qual a sua magnitude;

O diagnóstico de falhas pode ser efectuado através do recurso ao método sem modelo [45]. Este método utiliza a redundância física (utilização de vários sensores com vista a eliminar as falhas nos mesmos - elevado custo), sensores especiais, verificação dos limites lidos (o sistema considera que existe uma falha assim que um dos sensores retornar um valor fora de um determinado limite), análise do espectro (se o espectro obtido diferir do previsto, existe uma grande probabilidade de ter ocorrido uma falha) e raciocínio lógico para efectuar a detecção (*If (sintoma and sintoma) then conclusão*), como se pode observar na Figura 9.

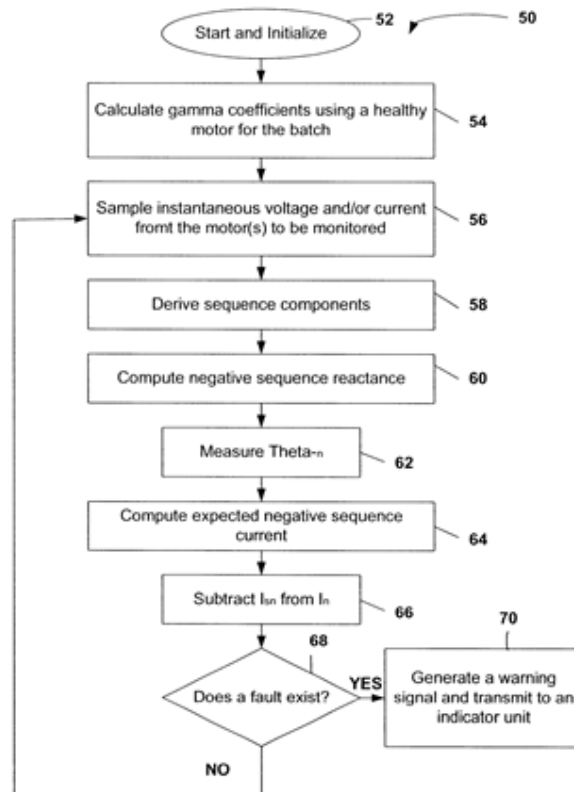


Figura 9 - Algoritmo para localização de falha num motor eléctrico [46]

No entanto, também se pode utilizar o modelo matemático do sistema para efectuar o seu diagnóstico. Neste método, um modelo matemático do sistema recebe as mesmas entradas que este, e irá fazer a comparação dos valores que calculou com os valores lidos pelos sensores. À diferença de valores entre os dois é dado o nome de resíduos, e caso o valor dos resíduos seja diferente de zero pode significar a ocorrência de falhas no sistema [45].

Existem quatro métodos de gerar resíduos, com vista à detecção de falhas:

- Filtro de *Kalman*;
- *Diagnostic observers*;
- Relação de paridade;
- Estimação de parâmetros;

Por exemplo, a detecção de falhas em motores de veículos eléctricos pode ser efectuada sem o uso de sensores e *hardware* extra. Assim, o diagnóstico do motor será feito através do recurso aos sensores e unidade de processamento existentes no seu inversor. Para efectuar o diagnóstico, pode-se utilizar o modelo da “*reference frame theory*” que através da escolha de um referencial permite a monitorização de qualquer falha, num motor eléctrico, desde que esta se reflecta na corrente do mesmo.

O diagnóstico é feito com o veículo parado, conseguindo-se assim inúmeras vantagens, como por exemplo, a rápida convergência do método, elevada robustez e imunidade ao ruído causado pela vibração do veículo em andamento, a não necessidade de utilizar sensor de velocidade ou qualquer outro sensor e *hardware* extra, o que torna este sistema de diagnóstico de falhas do motor uma solução de baixo custo [47].

Em alguns casos, sempre que não é possível o recurso ao modelo do sistema, são utilizadas redes neuronais, Figura 10. As redes neuronais são constituídas por diversos neurónios capazes de efectuar a aprendizagem do funcionamento do sistema. Assim, fornecendo a uma rede neuronal as entradas e respectivas saídas do sistema, este poderá ter um comportamento idêntico. Uma rede neuronal pode efectuar a monitorização de um sistema, caso o controlador desse sistema falhe, a rede neuronal, se bem construída e treinada, terá a capacidade de controlar o sistema até que o controlador seja reparado.

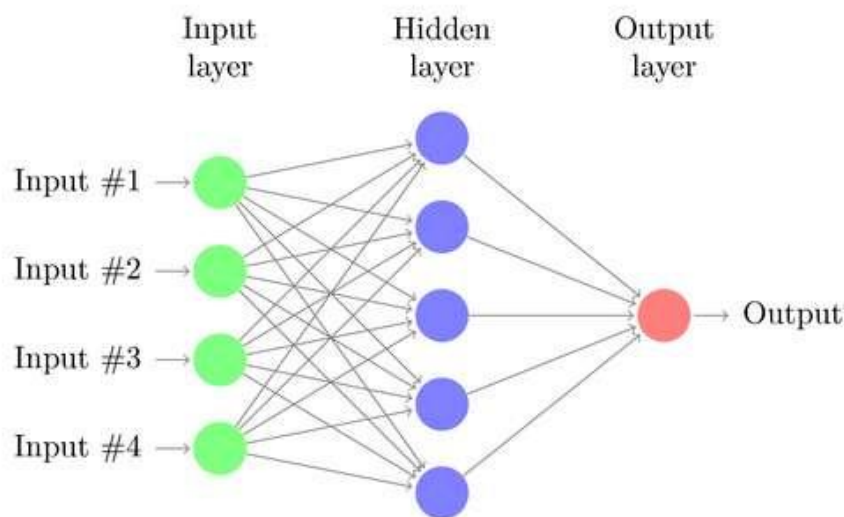


Figura 10 - Exemplo de rede neuronal [48]

2.4 - Conclusão

Existem várias tecnologias e processos para efectuar a aquisição, monitorização e diagnóstico de um veículo eléctrico. A escolha de qual a estratégia a seguir dependerá dos objectivos escolhidos para o desenvolvimento do projecto.

Capítulo 3

Sistema de Aquisição de Dados

Neste capítulo serão abordados todos os conteúdos referentes ao sistema de aquisição de dados, criado pelo estudante João Queirós. Todos os componentes utilizados na criação de um sistema de telemetria para um veículo eléctrico de competição serão, neste capítulo, abordados. Assim, em paralelo a este projecto, encontra-se a ser desenvolvido um sistema de telemetria, responsável pela recolha e envio de dados a analisar.

Neste capítulo também serão abordados os parâmetros a adquirir, bem como a comunicação entre o sistema de telemetria e o sistema de monitorização e diagnóstico, desenvolvido pelo autor deste documento.

3.1 - Parâmetros a monitorizar

Como já foi referido, existem vários dados passíveis de serem monitorizados num veículo eléctrico. Para a escolha desses dados tiveram que ser ponderados os principais objectivos do projecto. Assim, para cada componente, foram escolhidos os principais dados a recolher, dados esses que permitirão efectuar o diagnóstico do componente.

No entanto, também é necessário a aquisição de dados que permita a obtenção do estado do veículo eléctrico.

A seguinte lista indica os componentes que devem ser monitorizados, bem como os dados a serem recolhidos em cada componente:

- Motor eléctrico:
 - Tensão de cada uma das fases do motor;
 - Corrente de cada uma das fases do motor;
 - Velocidade do motor;
 - Temperatura do motor.
- Baterias:

- Tensão no barramento das baterias;
- Corrente no barramento das baterias;
- Temperatura das baterias.
- Inversor/controlador:
 - Temperatura de funcionamento.
- Veículo eléctrico:
 - Velocidade das rodas;
 - Aceleração do veículo segundo os eixos XX' , YY' e ZZ' ;
 - Acelerações nas rodas da frente do veículo segundo os eixos XX' , YY' e ZZ' ;
 - Temperatura dos pneus da frente;
 - Temperatura no interior do veículo.

Outros dados poderiam ter sido escolhidos para efectuar a monitorização do veículo. No entanto, quando maior o número de sensores maiores são os custos do sistema de aquisição de dados. No entanto, é importante referir que tipos de dados devem ser adquiridos, em acréscimo aos que vão ser recolhidos. Assim, poder-se-ia ter recolhido também a posição do veículo (GPS), os valores das vibrações a que o motor se encontra sujeito, com vista à identificação de possíveis falhas, a medição do binário nas rodas, o que é importante para um veículo de competição.

A justificação dos parâmetros a monitorizar provém dos objectivos propostos para o desenvolvimento deste projecto, ou seja, a monitorização e o diagnóstico de um veículo eléctrico de competição.

Os valores da tensão e da corrente são os que possuem a maior importância para a detecção de falhas nos componentes do veículo. As falhas eléctricas repercutir-se-ão nos espectros da tensão e da corrente.

Estes dois parâmetros permitirão assim detectar curto-circuitos, circuito-abertos, desequilíbrios entre fases e quedas de tensão, no barramento entre a bateria e o inversor e entre o inversor e o motor (no barramento entre a bateria e o inversor apenas são detectados curto-circuitos e circuitos-abertos, já que não fará sentido a detecção dos restantes parâmetros).

Também serão detectadas subtensões, sobretensões e sobrecorrentes. A detecção destas terá como propósito garantir que o equipamento se mantenha dentro dos valores aconselhados pelos fabricantes do motor, inversor/controlador e das baterias.

No entanto, os três principais componentes eléctricos (bateria, inversor e motor) vão também possuir sensores de temperatura. Estes sensores terão como função monitorizar a temperatura dos mesmos durante o seu funcionamento, permitindo assim lançar um alerta

quando estes valores estiverem perto de valores proibitivos, valores esses que poderão indicar a existência de falhas ou a possibilidade de estas estarem na iminência de ocorrer.

Por exemplo, se a temperatura de um motor eléctrico for superior à aconselhada pelo fabricante, os isolamentos que envolvem os enrolamentos podem sofrer danos e provocar um curto-circuito entre fases, danificando assim o motor.

Ocorrências semelhantes também poderão acontecer para as baterias e para o inversor, uma vez que grande parte dos componentes electrónicos não foram desenvolvidos para funcionarem a temperaturas elevadas, concluindo-se assim, que quando a temperatura destes aumenta acima dos valores especificados, os mesmos se encontram em risco de ficarem danificados.

3.2 - Sistema de telemetria

O sistema de telemetria é constituído por sensores, condicionadores de sinal e um Data Logger e visa a monitorização de todo o veículo. Este fará a recolha dos dados e o seu processamento, enviando-os em seguida para um computador que irá fazer a interpretação dos dados.

A comunicação dos sensores para o Data Logger será feita com recurso ao protocolo de comunicação CAN. Este, como já referido, é largamente utilizado no mundo automóvel, devido a sua imunidade ao ruído e ao baixo custo de implementação, ao qual se junta o facto de ser uma sistema aberto, ou seja, todo o protocolo é de livre acesso a quem o quiser implementar. Sobre estes argumentos, vários fabricantes de microcontroladores projectaram os seus componentes de processamento para permitir, também, a implementação do CAN como um dos protocolos de comunicação.

O sistema funcionará como um sistema distribuído, permitindo assim a redistribuição do processamento dos dados ao nível dos sensores. Como já referido, este sistema, apesar de mais dispendioso, permite a obtenção de taxas de aquisição superiores.

Assim, o sistema de telemetria será composto por:

- Sensores de corrente;
- Sensores de tensão;
- Sensores de temperatura;
- Sensores de velocidade;
- Acelerómetros - Sensores de aceleração.
- Microcontroladores *dsPIC30F4012* da *Microchip*
- Cartão de memória *SD* de 2 Gb
- Módulo *wireless XBee PRO®*

O sensor de corrente utilizado é o *CSLA2EL* da *Honeywell*. Este permite a leitura de correntes entre os 0A e $\pm 550A$, com uma precisão de $4.3 \times N$ mV, onde N é o número de passagens do cabo pelo interior do sensor.

Para medir a tensão, o sensor de tensão utilizado foi o *LV 25-P*. Este permite a leitura de tensões entre os 0V e $\pm 110V_{rms}$, podendo no entanto, efectuar a leitura de valores até aos 500V.

A medição das acelerações a que o veículo se encontra sujeito está a cargo de dois sensores. O sensor *MMA3202KEG* fará a medição das acelerações nos eixos XX e YY. Este consegue efectuar a medição de 100G no eixo dos XX e 50G no eixo dos YY. O sensor *MMA1260EGR2* fará a aquisição das acelerações segundo o eixo dos ZZ. Este permite a medição de acelerações até $\pm 1.5G$, sendo que em repouso (na horizontal), este já indica uma aceleração constante de 1G, relativa à aceleração da gravidade.

A aquisição dos dados provenientes dos sensores e processamento dos dados fica a cargo do microcontrolador *dsPIC30F4012* da *Microchip*. Este microcontrolador possui um ADC com uma resolução de 10 bits e interface com o protocolo de comunicação CAN. A velocidade de processamento da *dsPIC* é de 14.318 MHz.

O armazenamento dos dados será feito num cartão *SD* de 2 Gb. Este possuirá a capacidade de armazenar dados durante 182 horas, admitindo que vão ser registados 3.13 Kb de dados por segundo. O microcontrolador responsável pela escrita dos dados no cartão *SD* é uma *dsPIC30f4013*. A escolha de um microcontrolador diferente prende-se com o facto de este possuir uma memória superior, ou seja, de 48Kbytes.

A aquisição da velocidade do motor será efectuada com recurso a um sensor já presente no motor utilizado no VEC. Este sensor fornece o valor da velocidade através da forma de onda de um seno ou co-seno. Através da detecção do *zero crossing detections* (detecção de quando o valor do seno ou co-seno é zero) é possível calcular a velocidade do motor. Assim, a cada dois zeros detectados, significa que o seno/co-seno já percorreu 360°. Calculando o tempo (T) que este demorou a percorrer os 360° consegue-se calcular a frequência, uma vez que:

$$f = \frac{1}{T} \quad (3.01)$$

Através do valor da frequência é possível calcular o valor da velocidade em rotações por minuto, dado que 1Hz é igual a 60 RPM, vem que:

$$RPM = f \times 60 \quad (3.02)$$

Devido ao facto de não existir um sensor de velocidade nas rodas, a velocidade vai ser calculada tendo em conta a velocidade engrenada no veículo. Assim, se o veículo estiver engrenado numa terceira, a velocidade será calculada com uma relação de 1 para 1/1.344 do motor para o veio secundário da caixa de velocidades, e do veio secundário da caixa para as rodas com uma relação de 1 para 1/3.733, relação imposta pelo diferencial.

Se a velocidade do motor for de 6000 RPM a velocidade nas rodas (em RPM) será calculada da seguinte forma:

$$\text{Rotação das rodas} = 6000 \text{ RPM} \times \frac{1}{1.344} \times \frac{1}{3.733} = 1195 \text{ RPM} \quad (3.03)$$

Em seguida converte-se as rotações nas rodas do veículo para Km/h, usando-se para tal um raio de 0.27178 metros e a equação do perímetro de uma circunferência, em que o perímetro é igual a $2 \times \pi \times \text{raio da roda}$.

$$\text{Velocidade veículo} = 1195 \times 2 \times \pi \times \frac{0.27178}{1000} = 2.04 \text{ Km/min} \quad (3.04)$$

$$\text{Velocidade do veículo} = 2.04 \times 60 = 122.44 \text{ Km/h} \quad (3.05)$$

Até à conclusão do projecto ainda não se encontravam instalados os sensores de temperatura, bem como os condicionadores de sinal. No entanto, devido à facilidade de interligação do equipamento num barramento CAN, o programa desenvolvido encontra-se preparado para efectuar a monitorização das temperaturas no veículo e nos seus equipamentos.

A Figura 11 ilustra o esquema dos componentes eléctricos no veículo. Assim, pode-se observar que os sensores vão ser colocados nos barramentos entre a bateria e o inversor e entre este e o motor, bem como em locais chave como é o caso da carroçaria e pneus.

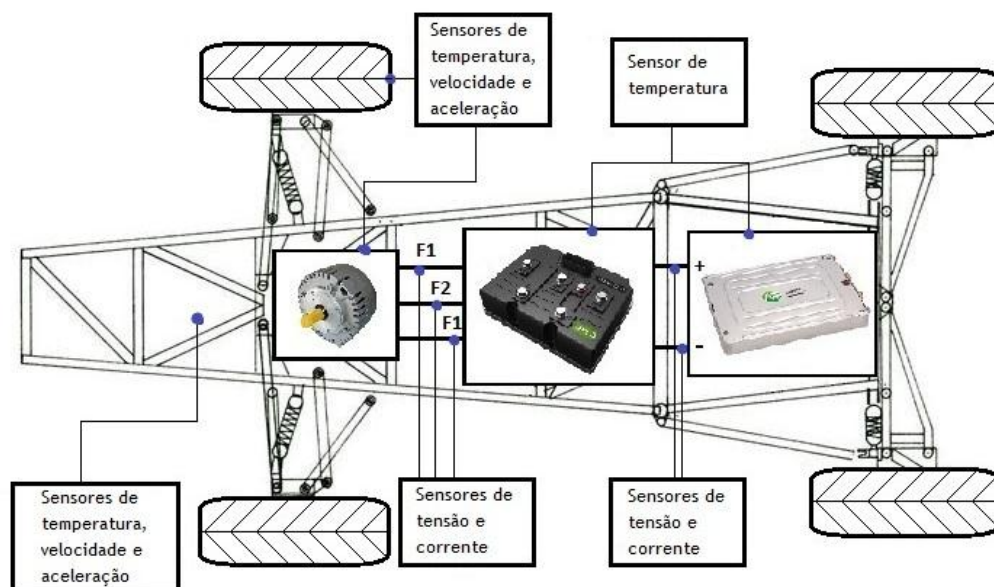


Figura 11 - Disposição dos sensores no veículo

O centro de processamento do sistema estará encarregue de enviar todos os dados para um computador. Como o computador não se encontrará dentro do veículo é necessário que a comunicação entre o sistema de telemetria e monitorização seja feita via *wireless*.

Para tal, irá recorrer-se ao protocolo Zigbee. Este protocolo será implementado em dois módulos *XBee PRO®*, da marca Digi.

A comunicação dos dados contidos no barramento CAN, do veículo, para o módulo XBee será feita com recurso a um conversor CAN_RS232, a *dsPICDEM MC1*. Este conversor é necessário porque o módulo *wireless* apenas possui uma interface de RS232-TTL.

Este módulo *XBee* irá operar à frequência de 868 MHz, sendo esta a banda livre permitida em Portugal, segundo a ANACOM.

A taxa de envio de dados situa-se nos 24kbps, e o seu alcance máximo, em campo aberto e com antenas dipolo, é de 40 Km.

Do lado do computador será acoplado um módulo idêntico ao que fica no veículo, no entanto este fará a conversão de TTL para USB. Este módulo também estará encarregue de formatar os dados de modo a que o sistema de aquisição consiga efectuar a sua leitura correctamente.

A figura seguinte ilustra o esquema de todo o sistema de telemetria.

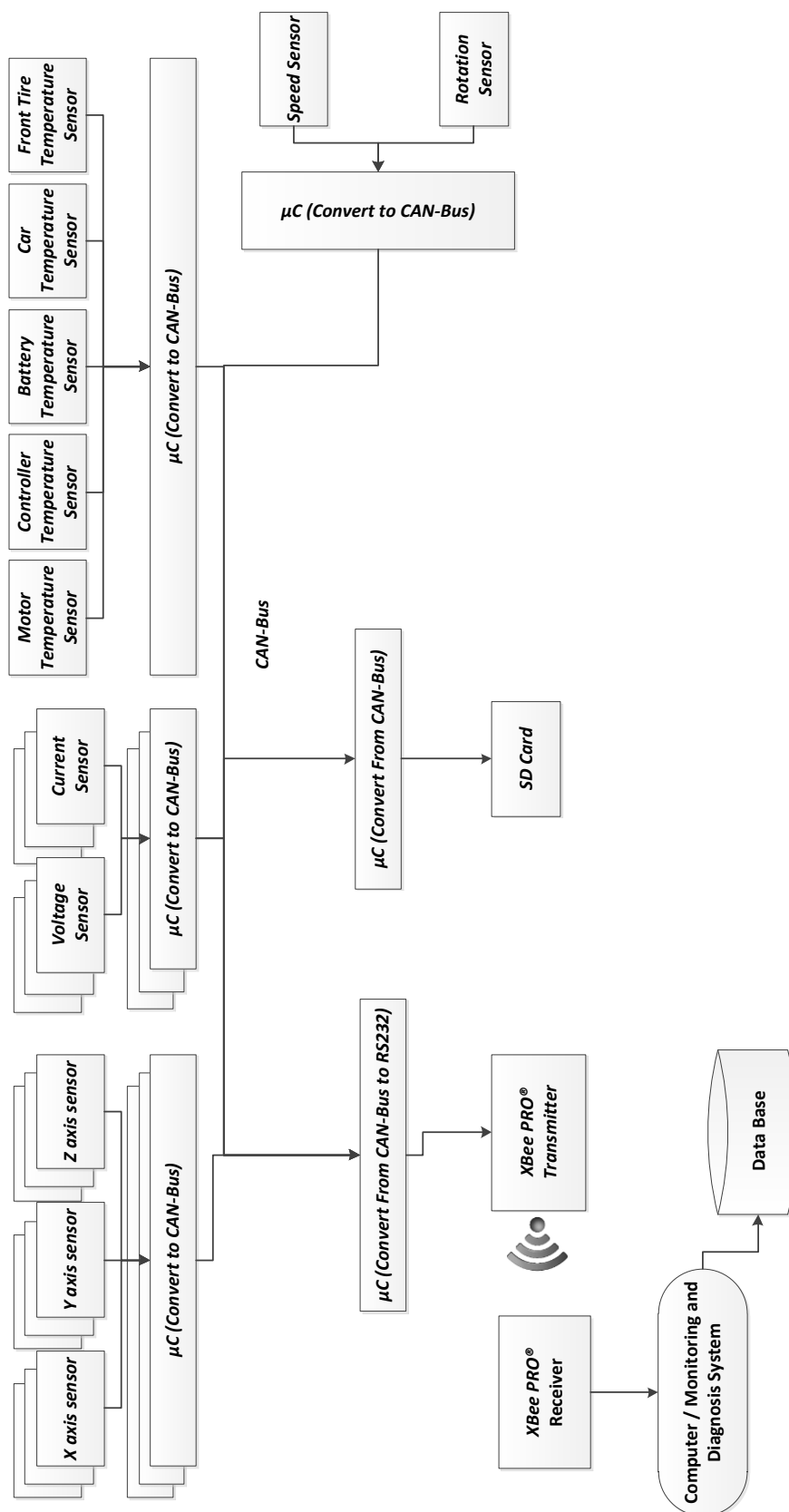


Figura 12 - Sistema de Telemetria

3.3 - Sistema de monitorização e diagnóstico

Como já referido, o sistema de monitorização irá funcionar com recurso a um programa instalado num computador. Devido aos recursos utilizados pelo sistema operativo, que se encontram a funcionar no computador, este não conseguirá atingir taxas de aquisição demasiado elevadas, sob o risco da perda de vários dados durante o processamento.

Assim sendo, após vários testes efectuados, concluiu-se que a taxa máxima a que poderão ser enviados dados será de 100 Hz.

Na realidade, o sistema conseguiria adquirir dados a uma taxa superior, no entanto o processamento de todos os dados seria impossível, uma vez que o sistema terá que fazer a monitorização e detecção de falhas em tempo real.

O programa foi projectado para gerar um evento sempre que o *buffer* da porta série se encontre com informação. Assim, a uma taxa de recepção de dados de 100 Hz o programa terá que ser capaz de mostrar os dados desejados e efectuar a detecção de falhas.

De todos os dados que irão ser recolhidos no veículo, pode constatar-se que alguns não sofrerão variações rápidas, pelo que não se justifica a sua aquisição a taxas tão elevadas. Os parâmetros possuidores de alterações mais lentas serão a velocidade, a temperatura e a aceleração do veículo. Estes serão actualizados com uma frequência de 10 Hz.

No entanto, existem parâmetros que poderão alterar a sua condição rapidamente, como é o caso da tensão, corrente e aceleração nas rodas. Destes três parâmetros, a tensão e corrente nos barramentos dos componentes poderão atingir frequências bastante elevadas. Assim, para poder ser recolhida informação relevante ao projecto, optou-se por uma estratégia diferente da simples recolha e envio de todos os dados para o computador. Como frequência da tensão e da corrente no barramento do motor pode atingir o valor de 400 HZ, ou seja, uma frequência superior à que é utilizada para enviar os dados para o computador, optou-se pela aquisição do valor eficaz de ambos os sinais. O valor eficaz é obtido através da seguinte fórmula:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_2 - T_1} \int_{T_1}^{T_2} f(t)^2 dt} \quad (3.06)$$

Através dos valores eficazes da tensão e corrente, será possível efectuar a detecção de falhas do veículo, bem como efectuar os cálculos necessários para a monitorização deste.

Este método, apesar de permitir a detecção das falhas previstas, possui algumas limitações. O valor eficaz calcula o valor quadrático médio de uma onda, ou seja, caso exista uma pequena perturbação intermitente, esta não produzirá qualquer alteração significativa no valor eficaz final calculado.

As acelerações, medidas nas rodas, também terão uma taxa de aquisição elevada. O objectivo passa pela avaliação das forças a que as rodas estão sujeitas, por exemplo, quando o veículo passa por cima de um corrector, em pista, as forças geradas nas rodas serão diferentes das adquiridas no interior do veículo.

Já as acelerações a que o veículo se encontra sujeito podem ser recolhidas a uma taxa inferior a 100 Hz, isto porque, como a aceleração é calculada através da variação da velocidade em função do tempo, pode-se esperar que a variação da velocidade do veículo seja reduzida, levando ao cálculo de baixas acelerações.

Como já referido, a comunicação dos dados provenientes do veículo será feita com recurso a módulos *XBee PRO®*. Este módulo irá permitir o envio dos dados através de uma porta USB para o computador.

A escolha do protocolo série deveu-se à sua simplicidade de implementação num computador, uma vez que o computador permite a criação de portas virtuais (COM). A informação destinada a estas portas virtuais passa por uma das portas USB do computador, sendo posteriormente convertida para o protocolo série e enviada para a porta correspondente - por exemplo COM1.

Um dos problemas da comunicação série é a possibilidade de existência de erros, ou seja, a possibilidade da informação sofrer alterações, devido a interferências, como por exemplo o ruído. Esse problema verifica-se principalmente à medida que a distância entre o emissor e o receptor aumenta, sendo necessária a implementação de um método para a detecção de erros, como é o caso do CRC (*Cyclic Redundancy Check*).

No entanto, o módulo de envio estará ligado ao computador (módulo de recepção), ou seja, a distância entre ambos será de uns meros centímetros. Assim, torna-se desnecessária a implementação de um algoritmo de detecção de erros, uma vez que o ruído será, em princípio, inexistente.

A velocidade de comunicação a ser utilizada será de 115200 bit/s. Esta taxa de envio/recepção é suficiente para garantir que todos os dados são enviados em menos de 10 ms (100 Hz), ou seja, o número máximo de dados que cada trama pode possuir será de $0.01 \text{ (s)} \times 115200 \text{ (bit/s)}$, ou seja, 1152 bit (144 bytes).

Para facilitar o processamento dos dados, as tramas deverão possuir um tamanho fixo, ou seja, não existindo dados para enviar a trama contém zeros (0) até preencher o espaço sem informação. A trama também deverá manter a sua estrutura, uma vez que o programa desenvolvido irá proceder à leitura dos dados segundo uma ordem predeterminada. Essa ordem pode ser observada nas figuras seguintes, onde se encontram esquematizadas as tramas a usar.

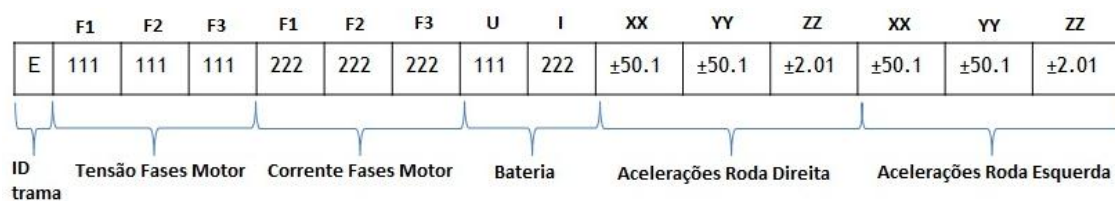


Figura 13 - Trama a ser enviada a 100 Hz (55 bytes)

A trama representada na Figura 13 será enviada a cada 100 Hz. Nesta, como já referido, serão enviadas a tensão e corrente do motor e da bateria, bem como as acelerações nas rodas do veículo.

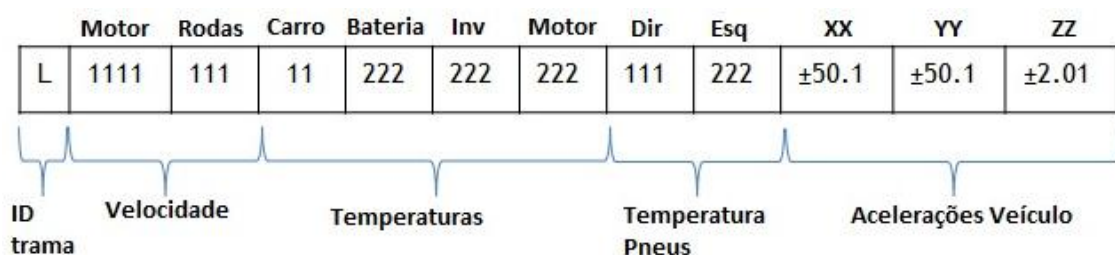


Figura 14 - Trama a ser enviada a 10 Hz (40 bytes)

A trama representada na Figura 14 será enviada com uma periodicidade de 10 Hz. Esta está encarregue de fornecer a velocidade do motor e das rodas, as temperaturas nos diferentes componentes e a aceleração do veículo.

O envio das tramas irá gerar uma incompatibilidade temporal, uma vez que quando a trama representada na Figura 14 for enviada o sistema também deveria proceder ao envio da trama representada na Figura 13. Optou-se assim por descartar o envio da trama com o ID “E” quando se tem que proceder ao envio da trama “L”. Ou seja, a cada 10 Hz a trama “E” foi enviada 9 vezes e a trama “L” foi enviada 1 vez.

3.4 - Conclusão

Neste capítulo procedeu-se à explicação do funcionamento do sistema de telemetria desenvolvido pelo estudante João Queirós. Foram enumerados e explicados os componentes usados para proceder à montagem de todo o sistema.

O estudo do funcionamento da HMI no computador permitiu definir qual a estratégia a seguir para o envio e tratamento dos dados, nomeadamente o uso dos valores eficazes da tensão e corrente.

Capítulo 4

Diagnóstico de Falhas

Neste capítulo serão abordados os temas relativos à detecção de falhas. Serão descritos os tipos de falhas existentes no veículo, e quais os processos utilizados para a sua detecção. Também serão referidos os efeitos que cada falha poderá ter.

Serão ainda apresentados os algoritmos a utilizar para efectuar o diagnóstico do veículo, bem como os cálculos efectuados para atingir as conclusões necessárias.

4.1 - Tipos de falhas

As falhas podem ser divididas em três tipos [49]:

- Falhas abruptas;
- Falhas incipientes;
- Falhas intermitentes.

Esta divisão é feita temporalmente, uma vez que as falhas se encontram dependentes deste parâmetro.

Uma falha abrupta acontece quando, durante o funcionamento de um sistema, este desenvolve subitamente a mesma. A Figura 15 a) ilustra o gráfico de uma falha abrupta em função do tempo.

Uma falha incipiente é uma falha que se vai desenvolvendo com o tempo. Visualizando a Figura 15 b), observar-se-á que a falha vai aumentando até atingir um valor máximo. Assim, esta falha só será detectada quando o seu valor atingir os níveis com a magnitude esperada.

Falhas intermitentes são as mais difíceis de detectar, dado que o sistema poderá apresentar uma falha durante apenas um pequeno período de tempo, voltando depois à normalidade, como demonstrado na Figura 15 c). A detecção deste tipo de falhas requer um sistema de aquisição bastante rápido, permitindo assim detectar a mesma, mesmo que esta

ocorra durante um pequeno período de tempo. Este tipo de falha não será possível de ser detectada com o sistema de detecção de falhas desenvolvido neste projecto, dado que este utiliza baixas taxas de aquisição, e os valores recebidos são os valores eficazes, o que leva a que a falha seja perceptível apenas se a sua amplitude for bastante elevada.

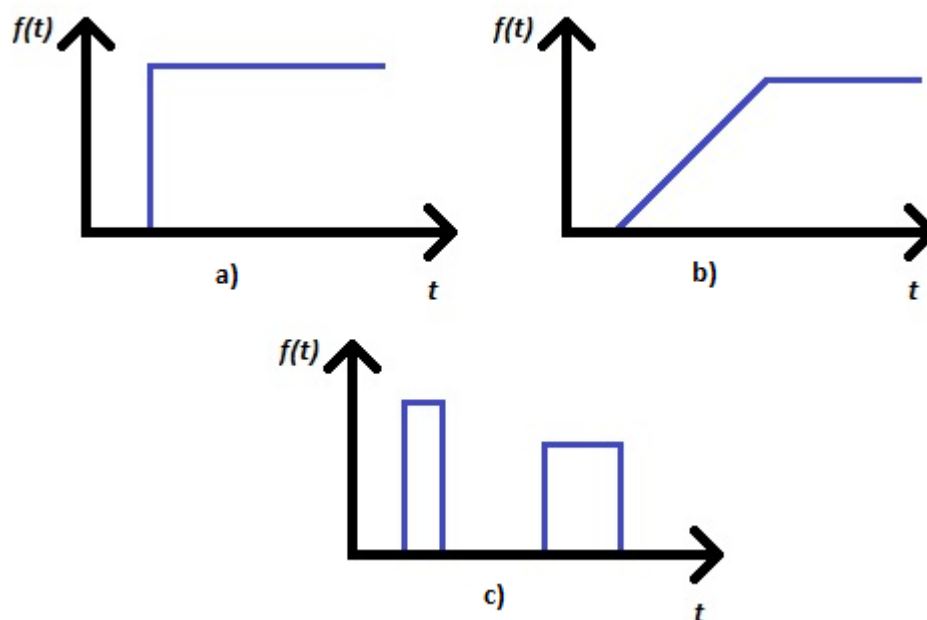


Figura 15 - Tipos de falhas em ordem ao tempo [49]

Como já referido, existem vários processos para a detecção de falhas. O método mais completo é através do uso do modelo de todo o sistema. Neste método todos os dados podem ser comparados com o sistema (através da geração de resíduos) e as conclusões podem ser geradas através da análise dos mesmos. No entanto, este método é computacionalmente bastante pesado, uma vez que é necessário o recurso a todo o modelo matemático do que se quer monitorizar. Assim, este método foi descartado no desenvolvimento do projecto.

Para o desenvolvimento deste projecto, a estratégia a seguir passou pelo recurso ao método sem modelo. Dentro deste método recorreu-se à verificação de limites e ao raciocínio lógico.

A verificação de limites foi utilizada para a detecção de curto-circuitos, sobretensões e sobrecorrentes, enquanto o raciocínio lógico foi utilizado para a detecção das restantes falhas. A detecção de falhas através do raciocínio lógico provém da implementação do método - *If (sintoma) then conclusão*. As regras adoptadas neste método, só foram implementadas após a simulação e teste do modelo no *Simulink*.

Para além dos tipos de falhas em ordem ao tempo, também se pode enumerar estas por falhas aditivas, multiplicativas, nos sensores e nos actuadores.

As falhas aditivas e multiplicativas só serão detectadas caso estas se repercutam no cálculo do valor eficaz dos dados eléctricos a adquirir, ou seja, na tensão e corrente. É importante salientar, uma vez mais, que as falhas intermitentes, ou seja, as falhas que aparecem durante um período de tempo bastante pequeno, não serão detectadas pelo sistema, a menos que a sua amplitude seja de tal forma elevada que altere o valor eficaz dos dados.

A detecção de falhas nos sensores e actuadores não é um processo que possa ser detectado automaticamente, ou seja, caso exista um problema este será detectado, no entanto, devido ao método utilizado, ter-se-ão que efectuar testes *à posteriori* com vista a averiguar o estado dos sensores e actuadores, confirmando assim a origem da falha. Por exemplo, a detecção de um circuito aberto no barramento do motor pode significar que o sensor está danificado, ou que algum componente do inversor deixou de funcionar, ou ainda que um dos enrolamentos do motor possa encontrar-se danificado.

Assim, conclui-se que a detecção de erros deve ser completada através de uma inspecção aos equipamentos eléctricos.

4.1.1 - Importância das falhas a detectar

As falhas a detectar revelam que o sistema poderá estar a funcionar fora dos parâmetros normais/esperados ou que já se encontra faltoso.

Assim sendo, e como já foi referido, as falhas a detectar são:

- Curto-circuitos nas fases do barramento do motor e baterias;
- Circuitos-abertos nas fases do barramento do motor e baterias;
- Desequilíbrios entre as fases do barramento do motor;
- Quedas de tensão nas fases do barramento do motor e baterias;
- Sobretensões e sobrecorrentes nas fases do barramento do motor e baterias;
- Temperaturas superiores ao recomendado no motor, inversor e baterias;

A detecção da presença de curto-circuitos num sistema eléctrico é de extrema importância. Caso esta falha venha a ocorrer, a corrente a passar nos componentes será de tal forma elevada que a segurança dos equipamentos e das pessoas que os operam se encontra comprometida. Na Figura 16 pode observar-se um exemplo de enrolamentos queimados, vítimas de um curto-circuito entre fases num motor eléctrico trifásico. No entanto, o curto-circuito pode ocorrer antes, ou seja, no barramento entre a bateria e o inversor ou entre o inversor e o motor, mas também pode ocorrer dentro do inversor. Qualquer curto-circuito que ocorra num destes dispositivos poderá levar à sua destruição, bem como à possível destruição de todos os equipamentos que se encontram a montante.

Assim, o sistema terá que efectuar o diagnóstico e caso exista a ocorrência desta falha, deverá ser gerado um alerta, levando ao corte da corrente na bateria.

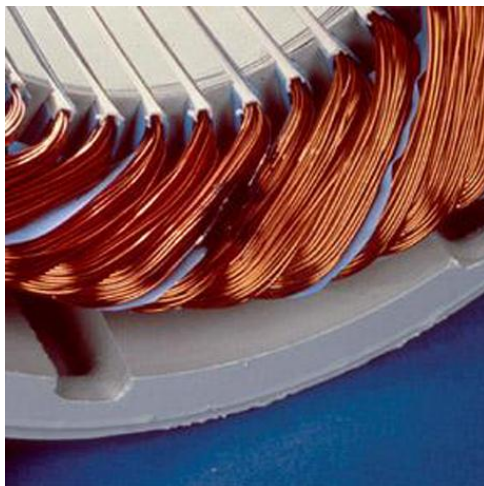


Figura 16 - Curto-circuito entre fases - falhas em motores eléctricos [50]

A existência de um circuito aberto (falta de fase) pode provocar a destruição do motor eléctrico. Um motor eléctrico trifásico é construído para funcionar em equilíbrio, e para tal possui três enrolamentos desfasados 120°. Assim, durante o seu funcionamento a corrente que passa em cada um dos enrolamentos é também equilibrada. Se uma das fases não se encontrar ligada ao motor, as outras fases serão sobrecarregadas com correntes superiores ao normal. Essa sobrecarga de corrente levará ao aquecimento do motor acima do previsto, provocando danos no mesmo. Neste caso, o motor encontra-se a funcionar com alimentação bifásica. Observando a equação 4.01, deduz-se que, se devido a uma falta de fase uma das correntes for nula, o valor da soma das restantes correntes levará que a equação deixe de estar em equilíbrio, condição essencial para o funcionamento do motor. O mesmo se pode dizer para a tensão entre fase e neutro, equação 4.02.

$$i_A + i_B + i_C = 0 \quad (4.01)$$

$$V_{An} + V_{Bn} + V_{Cn} = 0 \quad (4.02)$$

Na Figura 17 é ilustrado o estator do motor depois da ocorrência de um circuito-aberto numa fase. Como se pode observar apenas uma fase não ficou danificada (a fase em falta), sendo que as restantes se encontram destruídas.

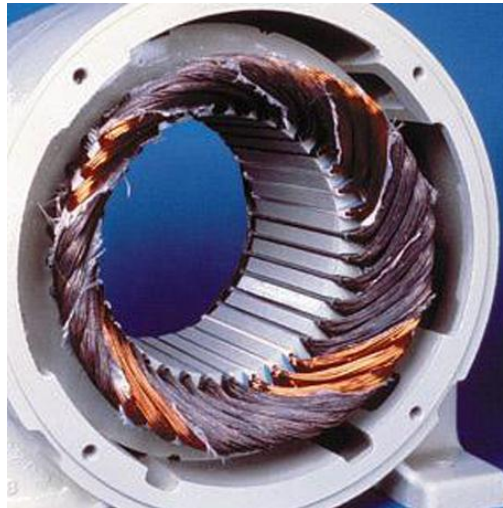


Figura 17 - Falta de fase - falhas em motores eléctricos [50]

A queda de tensão numa fase também pode provocar danos sérios num motor eléctrico. Um motor eléctrico tende a desenvolver a potência eléctrica necessária para mover uma carga. Assim, se ocorrer uma queda de tensão numa fase a corrente deverá aumentar, mantendo assim a potência necessária. Esse aumento de corrente, caso ultrapasse os valores estabelecidos pelo fabricante da corrente máxima, levará a um aquecimento do motor, logo a uma redução do seu tempo de vida. A quebra de tensão também levará a que o motor demore mais tempo a arrancar, uma vez que a velocidade atingida pelo rotor é proporcional a tensão nas fases do motor, como mostra a seguinte equação:

$$V_e = \frac{w N_s}{\sqrt{2}} \phi_f \quad (4.03)$$

Sendo V_e a tensão no motor, w a sua velocidade (rad/s), N_s é o número de enrolamentos de cada enrolamento do estator e ϕ_f é o fluxo entreferro. Como mostra a equação 4.02 caso ocorra uma queda de tensão o equilíbrio entre fases deixará de estar assegurado.

Como já referido um motor em equilíbrio tem um desfasamento de 120° entre fases. No entanto, podem ocorrer problemas se esse desfasamento não se mantiver, ou seja, se o motor não estiver em equilíbrio. Considerou-se assim, que quando se refere ao desequilíbrio entre fases, significa que o motor deixa de ter as fases desfasadas 120° umas das outras.

Caso uma fase esteja desfasada das restantes, serão provocados danos no motor. A tensão nas fases do motor é dada pelas seguintes equações:

$$V_{An} = V_p \sin \theta \quad (4.04)$$

$$V_{Bn} = V_p \sin(\theta - 120^\circ) \quad (4.05)$$

$$V_{Cn} = V_p \sin(\theta - 240^\circ) \quad (4.06)$$

Sendo V_{An} , V_{Bn} e V_{Cn} as tensões em cada uma das fases do motor, se o motor se encontrar equilibrado, os ângulos serão iguais $\theta_a = \theta_b = \theta_c$, ou seja, o desfasamento entre fases será sempre de 120° . No entanto, caso exista um desequilíbrio de uma fase, o desfasamento entre fases deixará de ser de 120° , uma vez que, por exemplo, $\theta_a \neq \theta_b = \theta_c$.

Este desequilíbrio fará com que a tensão entre as fases deixe de ser igual, ou seja, a tensão entre duas fases terá um valor superior ao esperado, enquanto nas restantes esse valor será inferior. Com o aumento da tensão numa fase a corrente irá descer, com vista a manter a potência desejada. O contrário acontece com a descida da tensão numa fase, caso em que a corrente irá subir. O desequilíbrio da tensão, para além de provocar um desequilíbrio na corrente, também provoca a subida da temperatura de funcionamento do motor. Ora, como já visto no ponto anterior (quebra de tensão) o aumento da temperatura tem efeitos bastante adversos para o motor, encurtando o seu tempo de vida ou levando à sua rápida destruição. A Figura 18 ilustra a deterioração de uma fase, dano este provocado pelo desequilíbrio de uma fase, em relação a outras.

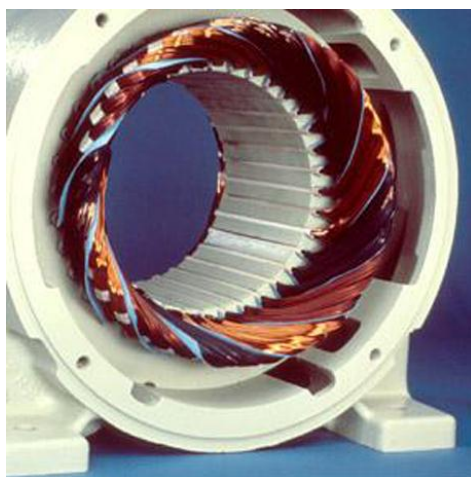


Figura 18 - Desequilíbrio entre fases - falhas em motores eléctricos [50]

Outro problema que pode levar à destruição dos equipamentos eléctricos, nomeadamente do motor, são as sobretensões e sobrecorrentes. As sobretensões num motor também provocam o aumento da corrente admitida por este. O aumento da tensão do motor provoca a saturação do campo magnético do motor. Com o motor em saturação a quantidade de corrente consumida por este será superior ao normal, numa tentativa de magnetizar o material ferroso, levando a que corrente ultrapasse o ponto máximo de magnetização [51].

Todos os problemas acima descritos levaram a sobrecorrentes no motor, inversor e bateria. A estes problemas pode-se incluir o excesso de carga ou travamento do rotor do motor, causas que também levam à existência de sobrecorrentes.

A existência de sobrecorrentes leva a que os equipamentos atinjam temperaturas bastante elevadas, uma vez que as perdas irão aumentar exponencialmente, como mostra a seguinte equação:

$$P_{diss} = R \times i^2 \quad (4.07)$$

Sendo R a resistência do enrolamento, dos semicondutores do inversor, e dos cabos dos barramentos, P_{diss} a potencia dissipada (ou de perdas) e i a corrente. Daqui se pode concluir que se a corrente aumentar, por exemplo, 20% as perdas irão aumentar 44%.

Por sua vez a temperatura do motor ou do inversor, está directamente relacionada com as perdas dissipadas nestes equipamentos. Caso a corrente aumente, a temperatura também irá aumentar. A equação seguinte comprova a relação directa entre temperatura e potência dissipada, sendo que T é a temperatura do equipamento, e R_θ é a resistência térmica do material, valor este fornecido pelo fabricante do equipamento:

$$T = P_{diss} \times R_\theta \quad (4.08)$$

Assim, pode-se concluir que a temperatura do componente tem uma dinâmica igual à da potência dissipada, por exemplo, se a corrente aumentar 20% a temperatura e a potência dissipada aumentaram 44%.

Como a corrente e a temperatura de encontram relacionadas, conclui-se que o que provoca os danos no motor, bateria ou inversor são as elevadas temperaturas que estes podem atingir. Ao atingir temperaturas mais elevadas que o previsto, os componentes e seus revestimentos acabam por queimar e derreter, perdendo assim todas as suas capacidades.

Na Figura 19 os enrolamentos do motor encontram-se todos queimados, sinal de uma sobrecarga do motor, o que terá provocado uma sobrecorrente e consequentemente o aumento da temperatura.

Pode-se assim concluir que a monitorização da temperatura dos equipamentos tem um papel de extrema importância na prevenção e detecção de falhas, uma vez que uma grande parte das falhas tem repercussões na temperatura.

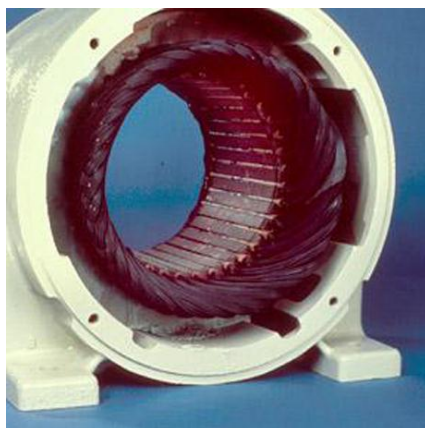


Figura 19 - Sobrecarga - falhas em motores eléctricos [50]

As imagens das Figura 16, Figura 17, Figura 18 e 19 podem ser comparadas com a da Figura 20. Esta ilustra o aspecto do estator de um motor trifásico em condições normais, ou seja, sem qualquer falha ou dano.



Figura 20 - Aspecto de motor trifásico sem falhas [50]

4.2 - Processos para o diagnóstico das falhas

4.2.1 - Detecção de Curto-circuitos

Para efectuar a detecção de curto-circuitos é necessária a monitorização da corrente. Os valores máximos, da corrente, admitidos por cada um dos componentes eléctricos também devem ser conhecidos. Assim, obtendo esta informação, utilizou-se a detecção de falhas através da verificação dos limites da corrente.

As correntes a monitorizar serão nas fases do barramento do motor e no barramento da bateria.

Assim, caso a corrente nas fases do motor ultrapasse o limite de 350 A, um sinal de alerta será mostrado na interface. Este valor foi obtido deduzido a partir dos 255 A de valor eficaz utilizados pelo conversor do motor.

O mesmo acontecerá com a corrente da bateria. Se a corrente no barramento DC ultrapassar os valores previstos também será colocado um alerta na interface. Esse valor será de 500 A, uma vez que é o valor do fusível colocado no controlador do motor, do lado do barramento DC.

Para a detecção de curto-circuitos considera-se que o valor que importa é o menor dos valores máximos dos componentes. Ou seja, com vista a garantir a segurança de todos os componentes, o valor escolhido para a detecção de um curto-circuito é o mínimo dos valores máximos da corrente permitida em cada componente, sendo esse valor de 500A.

O algoritmo para a detecção de curto-circuitos é o seguinte:

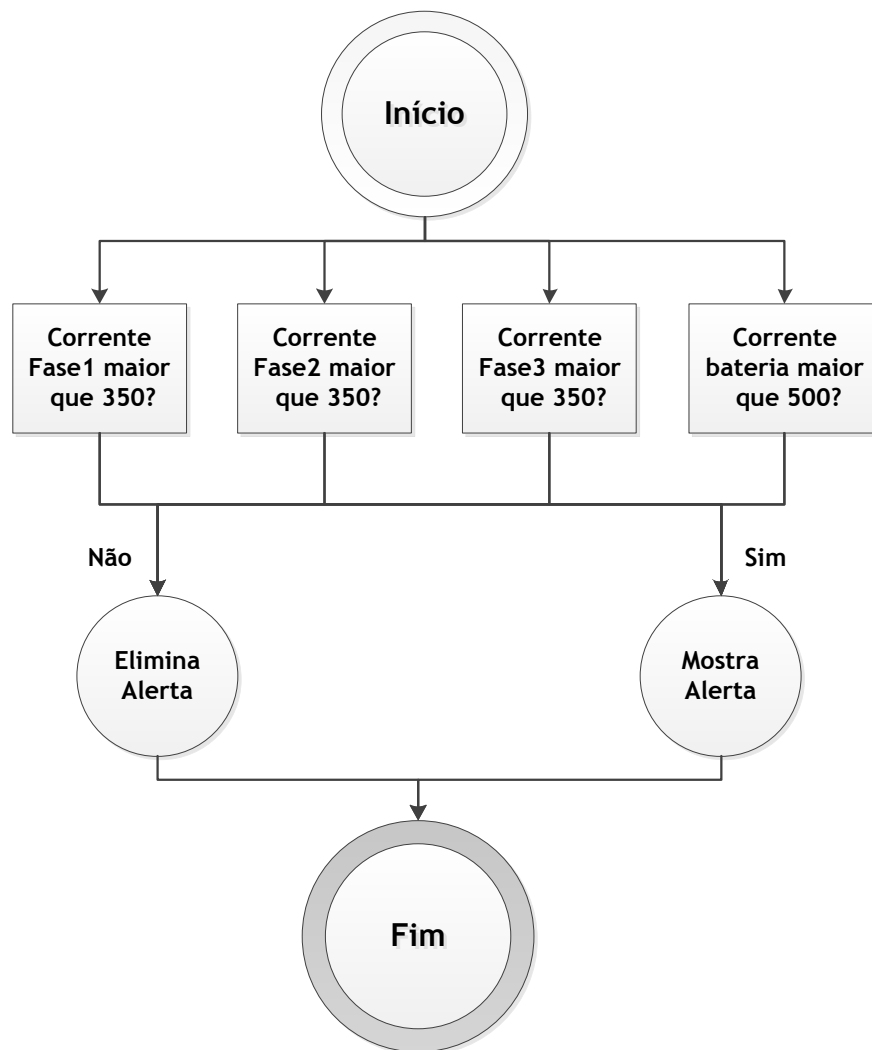


Figura 21 - Fluxograma do algoritmo de detecção de curto-circuitos

Quando é recebido o valor das correntes o programa irá efectuar a verificação de falhas. Na realidade o programa não irá correr em paralelo, como o ilustrado na figura, mas sim em série, efectuando a verificação de cada uma das correntes no motor e no barramento da bateria. Caso exista um erro o respectivo alerta será accionado.

4.2.2 - Detecção de Sobrecorrentes

A detecção de sobrecorrentes também será feita com recurso à verificação de limites. Para o efectuar será necessário, também, o uso dos valores das correntes no barramento do motor e no barramento da bateria.

Será considerado uma sobrecorrente todos os valores que estejam acima dos parâmetros nominais dos componentes mas nunca passando do seu valor máximo.

Mais uma vez terão que se ter em conta os valores mínimos dos máximos dos componentes por onde vai passar a corrente. Uma vez que a corrente será debitado pela bateria, convertida de DC para AC pelo inversor e consumida pelo motor, após leitura das características dos equipamentos, o valor de definido fica entre o intervalo de 255A até 350A.

Estes valores provêm do uso de três baterias em paralelo (100A cada bateria). O valor máximo de 100A por bateria visa garantir a integridade desta [52]. No entanto, a bateria poderá fornecer uma corrente superior a 100 A durante alguns instantes de tempo.

Os valores de 255A utilizados para o cálculo de sobrecorrentes no motor provem do cálculo da corrente nominal através das características do motor.

O motor utilizado tem uma potência nominal de 22KW e uma tensão de alimentação mínima de 86V (3×28 V). Utilizando-se a equação que relaciona a tensão, a corrente e a potência vem que:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{22000}{86} \cong 255A \quad (4.09)$$

Caso exista um erro, ou seja, uma falha seja detectada, o respectivo alerta será accionado.

O algoritmo de detecção de sobrecorrentes é bastante similar ao do de curto-circuitos como pode ser observado na figura seguinte.

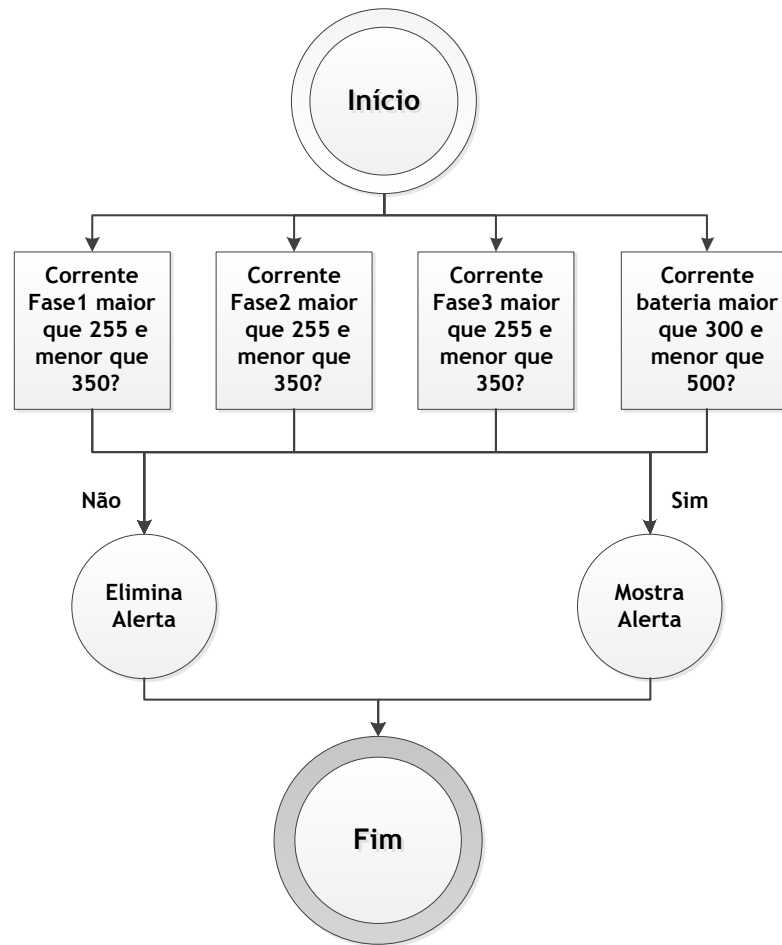


Figura 22 - Fluxograma do algoritmo de detecção de sobrecorrentes

4.2.3 - Detecção de Circuito-aberto (Falta de fase)

A falta de fase ou circuito-aberto é detectada através do método do raciocínio lógico. Assim, após efectuadas simulações e testes, conclui-se que para uma detecção eficaz deste problema se usariam os valores das correntes. Quando existe um circuito-aberto a corrente que passa nessa fase é zero. No entanto, o método para a detecção não poderia apenas verificar se a corrente numa fase era zero, uma vez que quando o veículo está parado as correntes nas fases do motor são zero, não existindo, no entanto, qualquer falha. Assim, procedeu-se à comparação entre os valores eficazes das correntes nas fases do motor. Se a corrente numa fase for zero e nas fases restantes for maior que zero, então conclui-se que existe uma falha.

Mas, detectar o mesmo problema no barramento do motor já não é tão simples. Como se trata de um barramento DC não é possível comparar a corrente que passa no barramento a fim de fazer o despiste do estado do veículo. Assim sendo, e como em caso de circuito-aberto todas as fases do motor ficarão sem corrente, o que não apresenta perigo para o motor, a detecção desta falha não será feita. No entanto, a monitorização da corrente no barramento

da bateria continuará a ser efectuado, pelo que, caso a corrente no barramento DC devesse ser superior a zero o erro pode ser rapidamente detectado pelo utilizador do sistema.

Em caso de ocorrência deste tipo de falha, também será mostrado um alerta na interface de monitorização.

Neste algoritmo o quadrado da esquerda representa o código que irá verificar se existe uma falta da fase 1. O código presente no segundo quadrado (contando da esquerda) verifica a falta da fase 2 e o do terceiro quadrado a falta da fase 3. Caso exista um erro o respectivo alerta será accionado. Sendo I_{F1} a corrente na fase 1, I_{F2} a corrente na fase 2 e I_{F3} a corrente na fase 3.

O algoritmo de detecção deste tipo de falha é o seguinte:

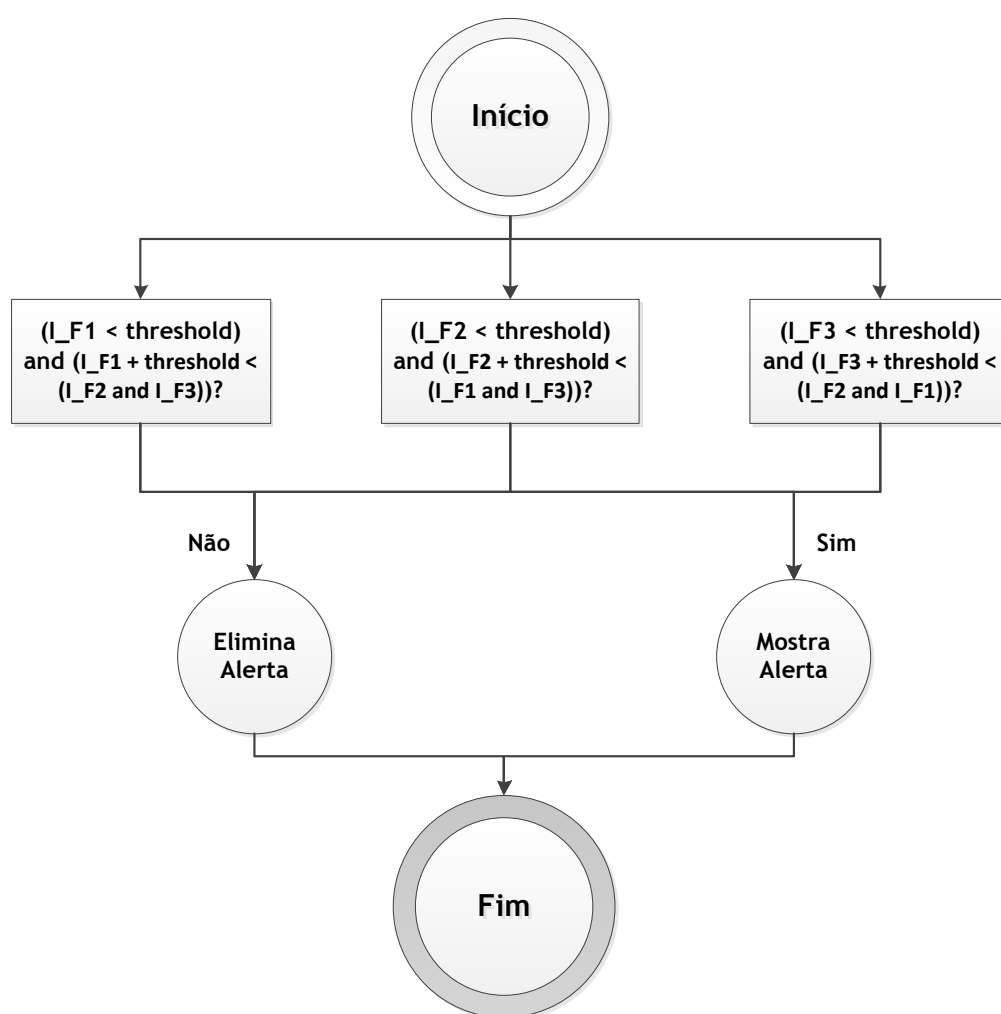


Figura 23 - Fluxograma do algoritmo de detecção de Falta de fase

O valor do *threshold* poderá ser ajustado. Para efectuar o diagnóstico do motor eléctrico o valor utilizado foi um *threshold* de 2. Este valor foi conseguido após vários testes ao sistema, observando-se o comportamento dos sensores (impedindo assim que o ruído pudesse perturbar a detecção das falhas).

4.2.4 - Detecção de Subtensões (Quebra de tensão)

A detecção desta falha para o motor poderia ser feita através da detecção de limites, fazendo-se apenas a verificação do valor mínimo da tensão de cada fase e do barramento DC da bateria. No entanto, com vista a tornar a interface mais polivalente, permitindo a detecção de falhas noutros motores, optou-se por usar o método do raciocínio lógico.

Como o valor da tensão é medido entre fases, para o caso do barramento do motor, optou-se por fazer a comparação dos valores das tensões. Assim, se o valor da tensão de uma fase baixar, as tensões entre fases calculadas com esse valor vão ser de menor amplitude, ou seja, por exemplo se $V_{An} < V_{Bn}$ e V_{Cn} então $V_{AB} = V_{AC} < V_{BC}$.

A detecção de quebra de tensão no barramento da bateria vai ser efectuada através da detecção de limites. Caso a tensão desta atinja valores abaixo dos esperados será mostrado um alerta na interface, permitindo assim desligar o veículo e proteger o motor.

O algoritmo seguinte ilustra o funcionamento da detecção de quebras de tensão.

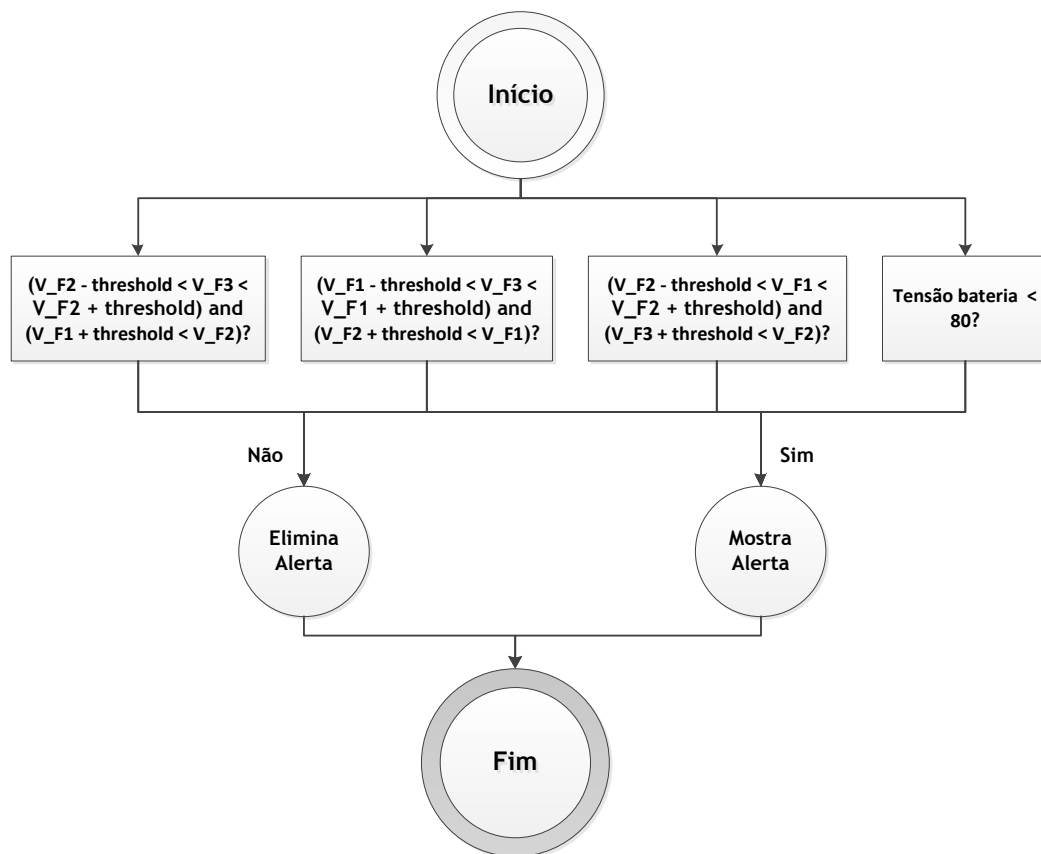


Figura 24 - Fluxograma do algoritmo de detecção de Subtensões

Como se pode verificar, pelo fluxograma, quando a tensão no barramento DC atingir os 80V, será mostrado um alerta pela interface. Este valor foi escolhido em relação à bateria e

não em relação ao motor, uma vez que a tensão mínima que a bateria pode ter é superior à tensão mínima à qual o motor funciona.

Neste fluxograma o código apresentado no quadrado da esquerda representa a verificação de subtensões na fase 1. O código do segundo quadrado (contando da esquerda) representa a verificação na fase 2 e o do terceiro quadrado da fase 3.

Sendo V_{F1} a tensão entre a fase 1 e fase 2, V_{F2} a tensão entre a fase 2 e fase 3 e V_{F3} a tensão entre a fase 1 e fase 3.

4.2.5 - Detecção de Desequilíbrios entre fases

As fases do motor encontram-se desfasadas 120° entre si. Neste projecto considera-se que a detecção de desequilíbrio entre fases existe quando o desfasamento entre fases é diferente dos 120° necessários ao equilíbrio do motor.

O algoritmo que permite a detecção de desequilíbrios entre fases foi redigido após vários testes ao sistema simulado. Assim, concluiu-se que quando uma fase se encontra com um desfasamento diferente de 120° das outras, os valores das tensões eficazes são diferentes. Ou seja, em equilíbrio os valores eficazes das tensões entre fases são iguais:

$$V_{eff_AB} = V_{eff_BC} = V_{eff_AC} \quad (4.10)$$

A existência de um desequilíbrio das tensões, por exemplo, a fase 1 estar adiantada em relação às outras 20° , faz com que o valor eficaz das tensões entre fases seja diferente:

$$V_{eff_AB} < V_{eff_BC} < V_{eff_AC} \quad (4.11)$$

O algoritmo de detecção de desequilíbrios entre fases também teve que ter em conta a existência de falta de fase ou circuito-aberto. É necessário ter em atenção este parâmetro porque a existência de um circuito aberto numa fase tem repercussões nas formas de onda das restantes fases. Assim sendo, para a detecção de desequilíbrios entre fases tem que se garantir que não existe uma falta de fase.

O algoritmo seguinte especifica os passos para a detecção de desequilíbrios de fases. Neste, o código presente no quadrado da esquerda representa um desequilíbrio da fase 1, o código no quadrado seguinte representa um desequilíbrio na fase 2 e o código do último quadrado na fase 3. Caso exista uma falha o respectivo alerta será activado.

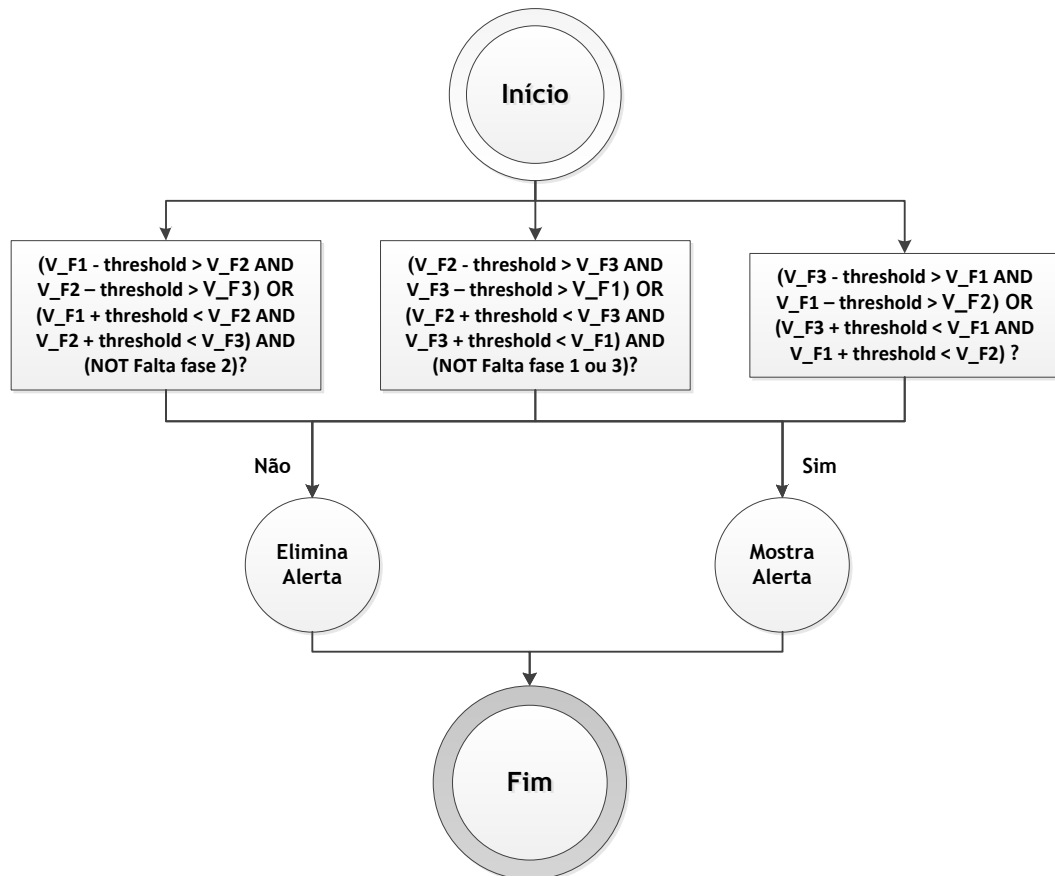


Figura 25 - Fluxograma do algoritmo de detecção de desequilíbrios entre fases

4.2.6 - Detecção de Sobretensões

A detecção de sobretensões é feita com recurso ao método do raciocínio lógico. Neste processo será garantido - como na detecção da sobrecorrentes - que o valor da tensão não ultrapassa o valor mínimo da máxima tensão de cada componente electrónico. Assim sendo, o componente que suporta o valor máximo mais baixo de tensão é a bateria, limitando as sobretensões a 110V. Este valor apenas poderá ser atingido durante o carregamento desta. Já o motor eléctrico pode funcionar com uma tensão de 65,6V (tensão entre fases).

O valor de 110V foi obtido a partir de testes feitos às baterias. Assim, quando a bateria está totalmente carregada, esta será a tensão nos seus terminais.

O fluxograma seguinte ilustra o algoritmo que procede à detecção desta falha:

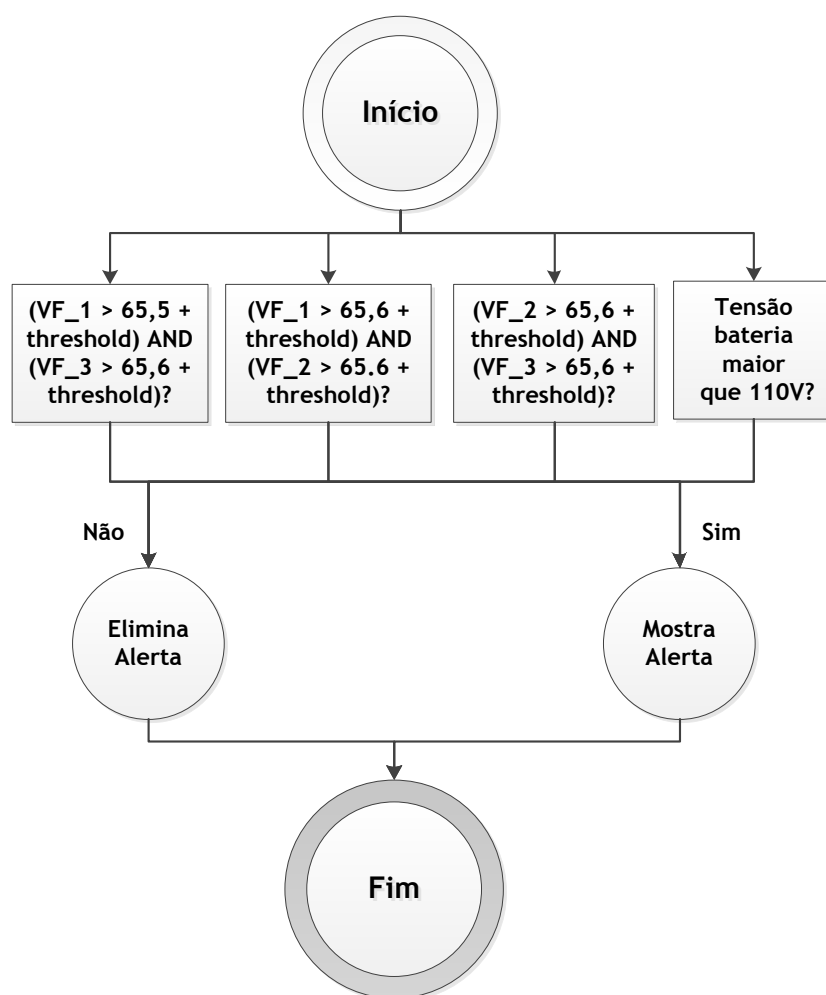


Figura 26 - Fluxograma do algoritmo de detecção de Sobretensões

Como se pode observar, pelo algoritmo descrito na figura anterior, é necessário verificar onde existe uma sobretensão. Assim, sendo V_{F1} a tensão entre a fase 1 e fase 2, V_{F2} a tensão entre a fase 2 e fase 3 e V_{F3} a tensão entre a fase 1 e fase 3, pode-se concluir que caso ocorra uma falha em V_{F1} e V_{F3} , como o elemento em comum é a fase 1, então ocorreu uma sobretensão nessa fase. O mesmo se pode garantir para as restantes fases.

O threshold servirá para fornecer imunidade ao algoritmo contra o ruído.

4.3 - Conclusão

Neste capítulo procedeu-se à explicação dos efeitos causados por todas as falhas a monitorizar, ficando assim presente o tipo de riscos que os componentes poderão sofrer.

Concluiu-se que a temperatura é a principal responsável pelos danos causados nos componentes, logo a sua monitorização é elevada importância.

Os algoritmos descritos são os que se encontram implementados no sistema de monitorização e diagnóstico, sendo que os fluxogramas contribuem para um melhor entendimento do funcionamento do sistema de diagnóstico.

Capítulo 5

Simulação da detecção de falhas

Neste capítulo serão relatados os estudos e resultados obtidos com a simulação do sistema de detecção de falhas. Para simular o sistema de detecção de falhas foi utilizado o *Simulink*, uma ferramenta do *Matlab*.

Os locais onde foram simuladas as falhas são o barramento do motor e o barramento da bateria. Nas simulações serão descritos todos os blocos associados e o método de introdução de falhas no barramento.

Os resultados obtidos serão observados em gráficos, sendo também efectuada a sua explicação.

5.1 - Simulação do barramento do motor

Nesta simulação o principal objectivo foi estudar o comportamento dos dados do barramento do motor, que serão enviados para o computador, de modo a projectar um sistema eficaz.

Na figura seguinte pode-se observar os blocos utilizados para a simulação e detecção de falhas do barramento do motor. Nesta, encontram-se representados os blocos da alimentação e controlo do motor, os blocos dos sensores e diagnóstico do sistema e o bloco do motor.

Também se podem observar as ligações efectuadas entre os diversos componentes, uma representação de como irá ser a montagem do equipamento electrónico no VEC.

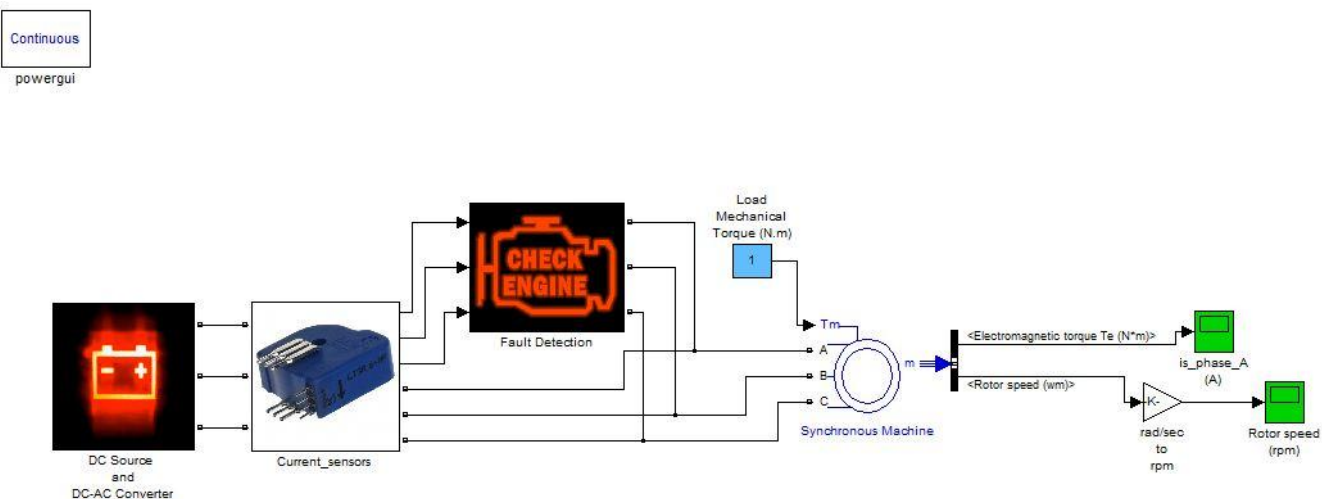


Figura 27 - Ilustração geral dos blocos a simular no barramento do motor

O bloco com a figura de uma bateria representa a fonte de energia, uma bateria e o inversor DC-AC. Dentro deste bloco encontram-se 3 fontes de tensão alternada - formando assim uma fonte trifásica, com um desfasamento entre si de 120° . O valor da tensão de pico de cada fonte é de 100V. O sinal gerado pelas fontes consiste em três ondas sinusoidais, ficando assim em conformidade com os sinais utilizados para controlar o motor do veículo eléctrico. Na figura seguinte encontram-se representadas as três fontes de tensão ligas entre si, bem como a configuração da primeira fonte de tensão.

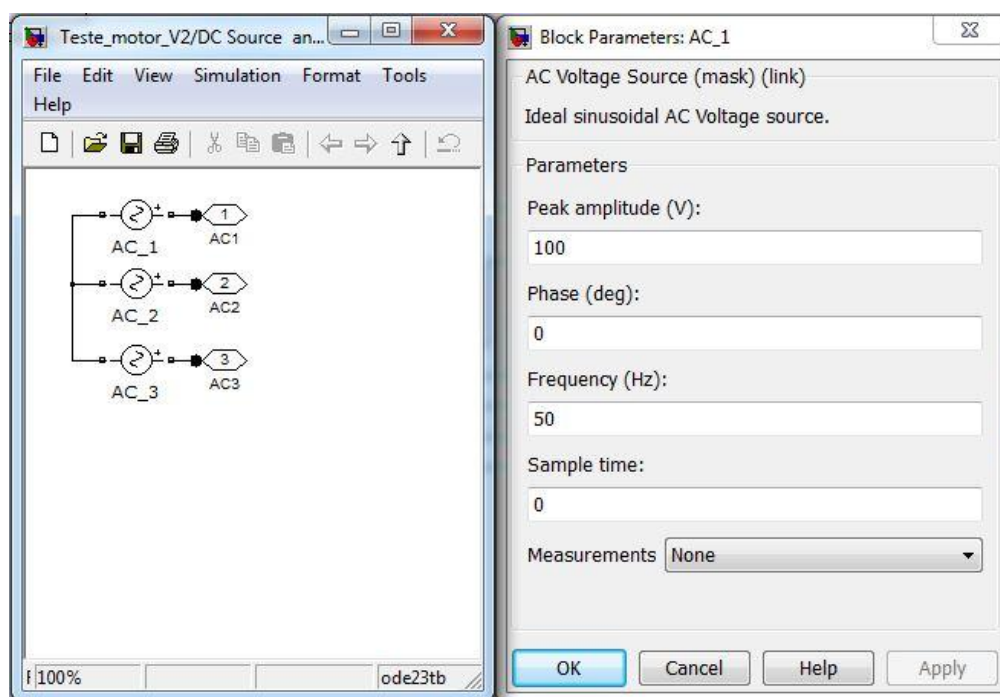


Figura 28 - Fontes trifásicas sinusoidais utilizadas para na alimentação do motor

O bloco seguinte representa os sensores de corrente nas fases do motor. Nesse bloco encontram-se três sensores de corrente que farão a medição da corrente em cada uma das fases.

Esses valores serão enviados para o próximo bloco que fará a detecção das falhas (bloco “*Fault Detection*”). Este bloco recebe também o valor da tensão de cada uma das fases.

Com os valores da tensão e corrente em cada fase do motor vai-se apurar assim a existência de falhas.

O bloco “*Fault Detection*” é constituído pelo bloco dos sensores de tensão, utilizados para calcular tensão entre fases do motor, por os blocos que calculam o valor eficaz da tensão e da corrente e por os blocos que averiguam a existência de falhas. Os blocos que verificam a existência de falhas implementam os algoritmos descritos no capítulo anterior.

A figura seguinte representa os blocos utilizados para efectuar a medição das tensões entre fases, bloco “*Voltage_sensors*” e para calcular o valor eficaz das tensões e correntes, bloco “*RMS Current Values*” e “*RMS Voltage Values*”.

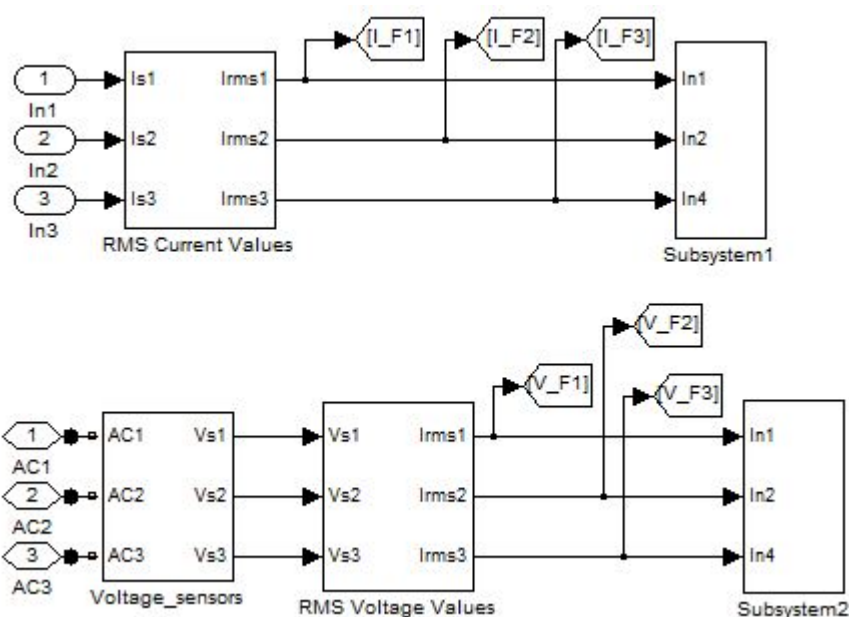


Figura 29 - Blocos utilizados na medição de tensões entre fases e cálculo dos valores eficazes da tensão e corrente

Na Figura 30 encontram-se representados os blocos que procedem à detecção de falhas no barramento do motor. Estes blocos encontram-se ligados a um “scope” que irá mostrar, sobre a forma gráfica, se existem ou não falhas no sistema. Assim, caso o valor do gráfico seja “0” isso significa que não existe qualquer falha naquela fase. Caso o valor seja de “1” o significado é de que existe uma falha no sistema.

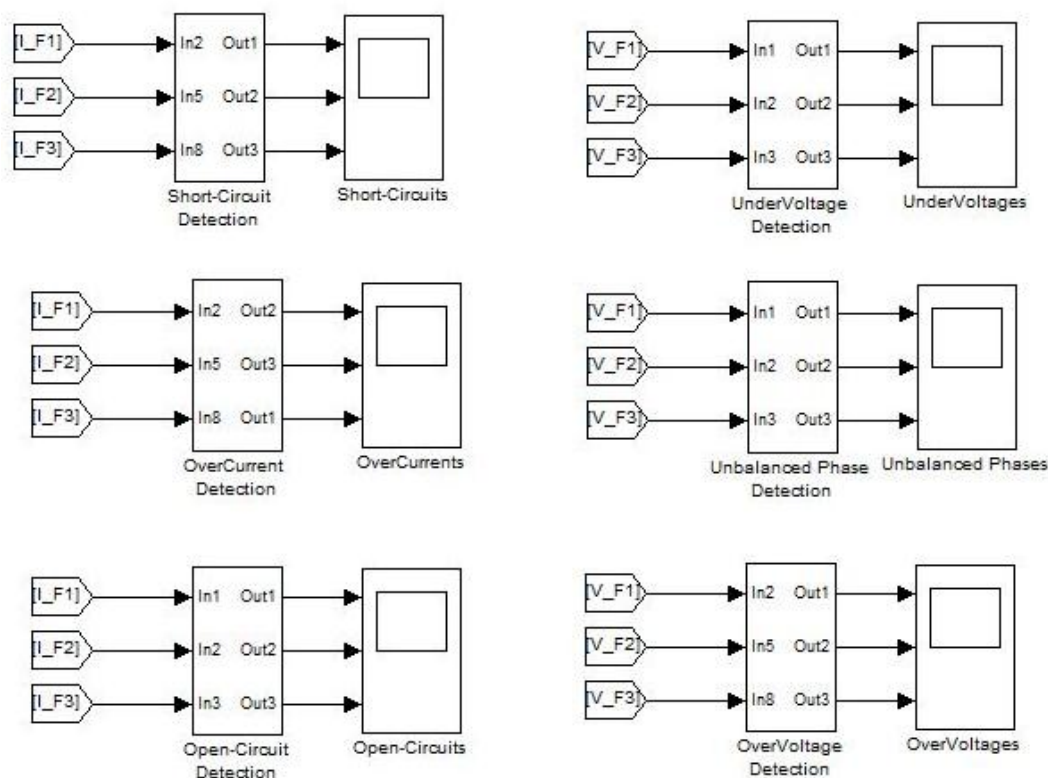


Figura 30 - Blocos utilizados no diagnóstico de falhas no barramento do motor

5.2 - Diagnóstico do barramento do motor

Efectuando a simulação do sistema sem qualquer adição de falhas, os resultados obtidos, na detecção, serão todos de igual amplitude, ou seja, zero.

Devido à existência de inúmeros gráficos, só foram colocados os que apresentarem as falhas desejadas de visionar.

O gráfico seguinte ilustra a reacção do algoritmo de detecção de curto-circuitos, nas três fases do motor, em condições normais. Todos os restantes algoritmos tiveram o mesmo comportamento, ou seja, não detectaram qualquer falha, como previsto.

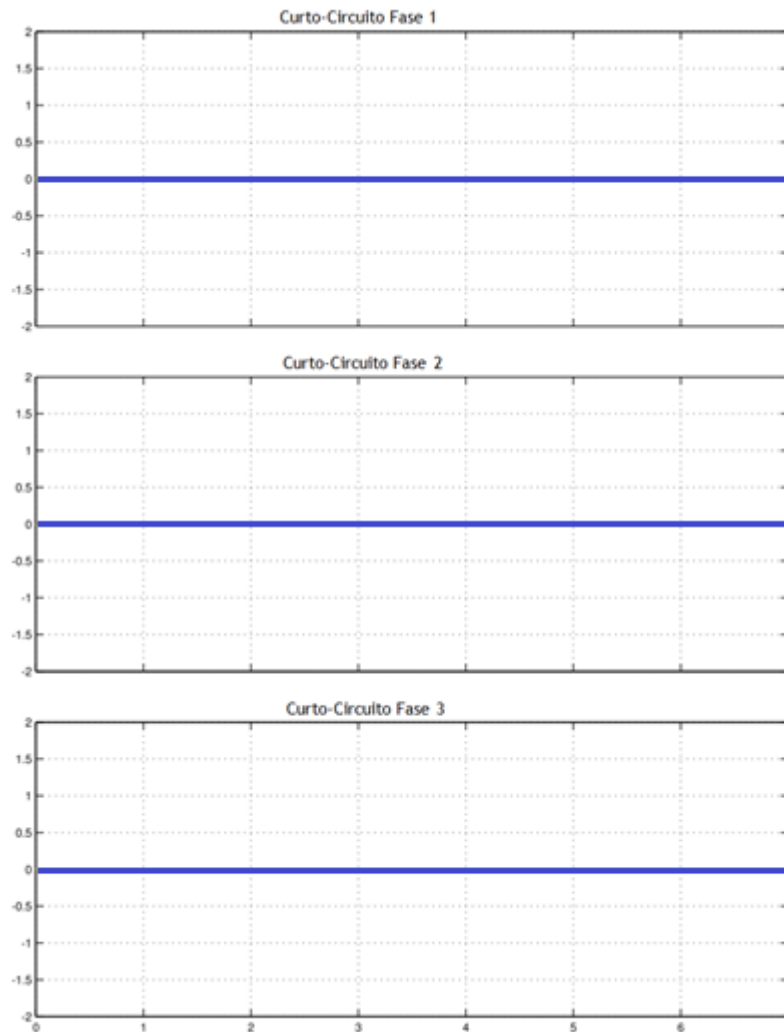


Figura 31 - Gráfico que ilustra a ausência de falhas por curto-circuito

5.2.1 - Detecção de Curto-circuitos

O próximo teste será a simulação de um curto-circuito entre as fases do motor. Neste teste foi introduzida uma baixa resistência entre as fases do motor (esta foi a estratégia utilizada porque o “*Simulink*” não permite que os terminais do motor sejam curto-circuitados).

Assim, foi utilizado um interruptor entre as fases do motor. Quando o interruptor se encontra aberto a sua resistência é infinita, quando este se encontra fechado a sua resistência é muito baixa, levando a um curto-circuito entre as fases do motor. Esta falha foi provocada aos 2s da simulação. A figura seguinte ilustra o interruptor aos terminais das fases 1 e 2:

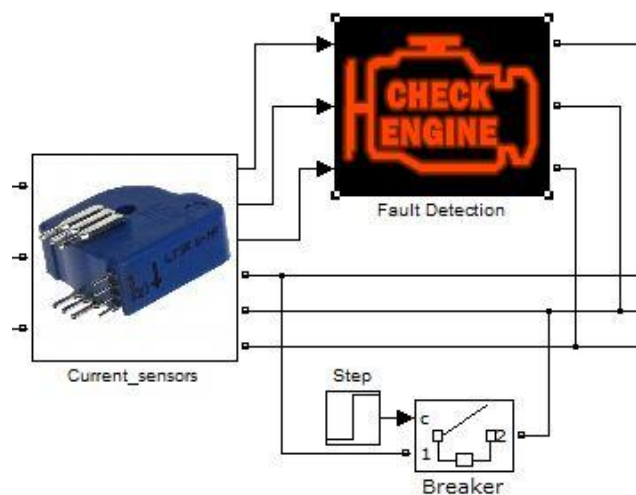


Figura 32 - Interruptor (*Breaker*) introduzido entre as fases 1 e 2 do motor

Os resultados obtidos são a detecção de falhas nas fases 1 e 2 do motor. Estas falhas ocorreram porque a corrente naquelas duas fases ultrapassou os limites esperados. Os resultados da detecção podem ser observados na próxima figura.

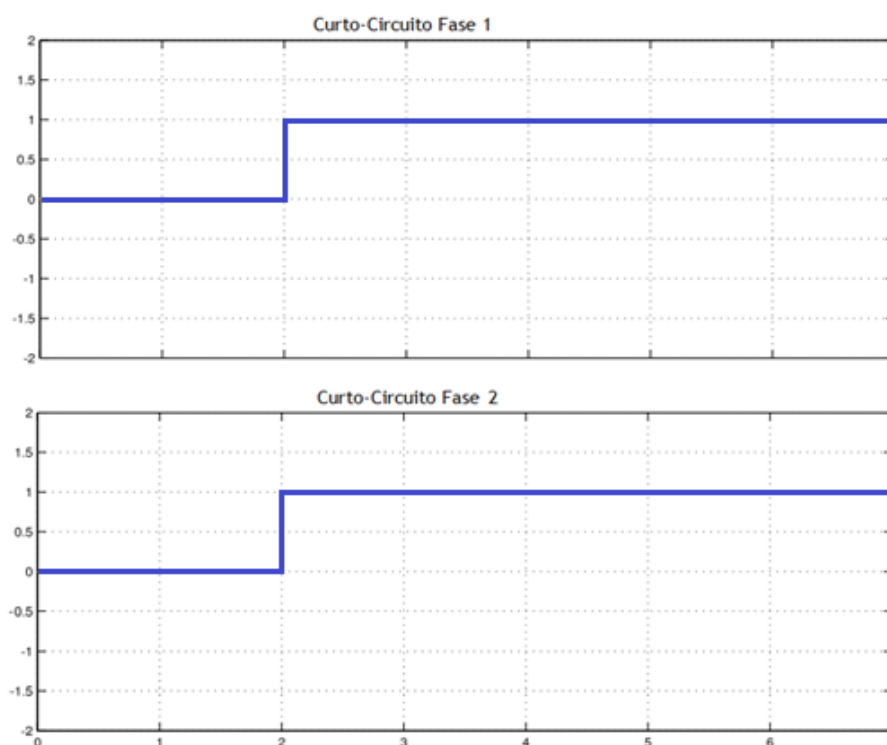


Figura 33 - Gráfico que ilustra a uma falha por curto-circuito entre a fase 1 e a fase 2 aos 2s

Ter colocado um interruptor entre as fases 1 e 3 ou entre as fases 2 e 3 teria provocado os mesmos resultados, ou seja, teria levado à detecção dos respectivos curto-circuitos. Estes

resultados levaram à criação do algoritmo descrito no capítulo anterior para a detecção de curto-circuitos.

5.2.2 - Detecção de Sobrecorrentes

No próximo teste foi simulado uma sobrecorrente no motor. Para efectuar-se a simulação dessa sobre corrente aumentou-se a carga no motor, ou seja, o binário que o motor tinha que suportar, inicialmente, foi colocado em 10000 Nm (o que simula o caso de o rotor se encontrar travado). Como o esforço efectuado pelo motor tinha que ser muito superior ao nominal, a corrente necessária para este funcionar é muito elevada. O resultado obtido foi a detecção de uma falha por sobrecorrente nas três fases do motor, como representa a próxima figura:

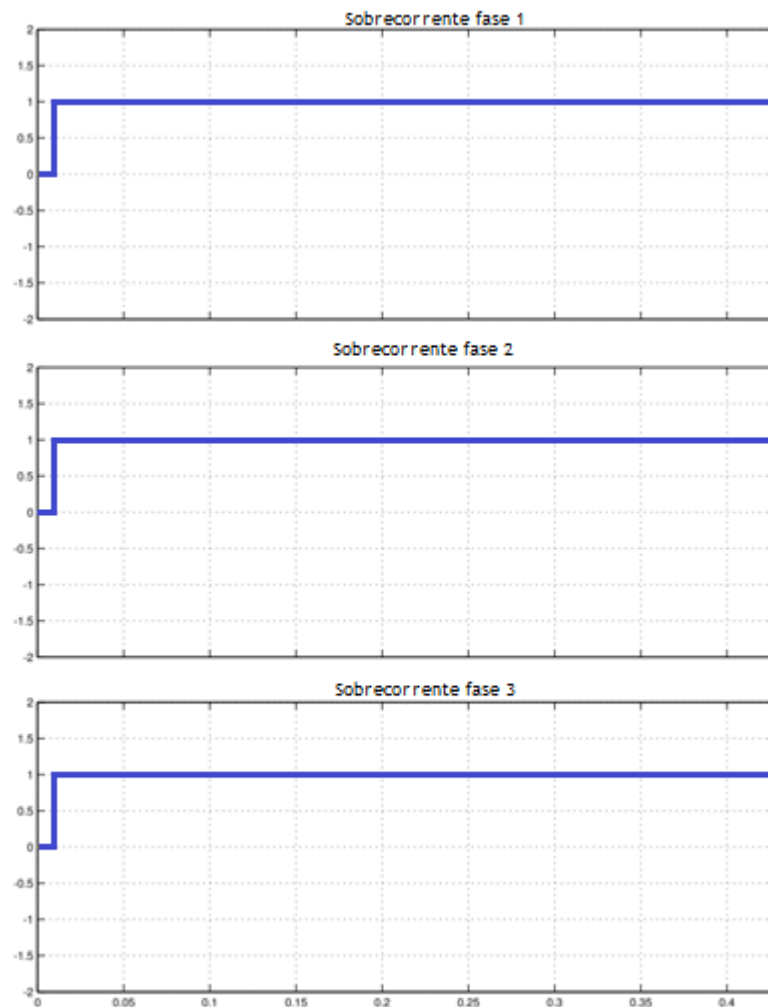


Figura 34 - Gráfico que ilustra a uma sobrecorrente nas fases do motor

Como se pode verificar pela figura anterior, a partir dos 0.07s as correntes no motor foram superiores à corrente nominal. Para a obtenção deste resultado é necessário que o motor se encontre no estado de sobrecarga durante algum tempo. Isto acontece porque o valor lido pelo computador é o valor eficaz.

5.2.3 - Detecção de Circuito-aberto (Falta de fase)

O teste seguinte a ser efectuado foi a detecção de circuitos-abertos ou falta de fase. Como o *Simulink* não permite desligar uma fase do motor (uma vez que apresenta logo um erro caso isso aconteça) optou-se por colocar uma resistência com um valor alto (de 3K Ω). Esta resistência baixará a corrente numa das fases, levando assim a detecção da fase que se encontra em falta.

Para efectuar este teste utilizou-se um interruptor como o que foi utilizado para a detecção de curto-circuitos e uma resistência. Este encontra-se ligado em série com a fase 1 do motor e em paralelo com a resistência. A figura seguinte ilustra o interruptor colocado na fase 1 do motor:

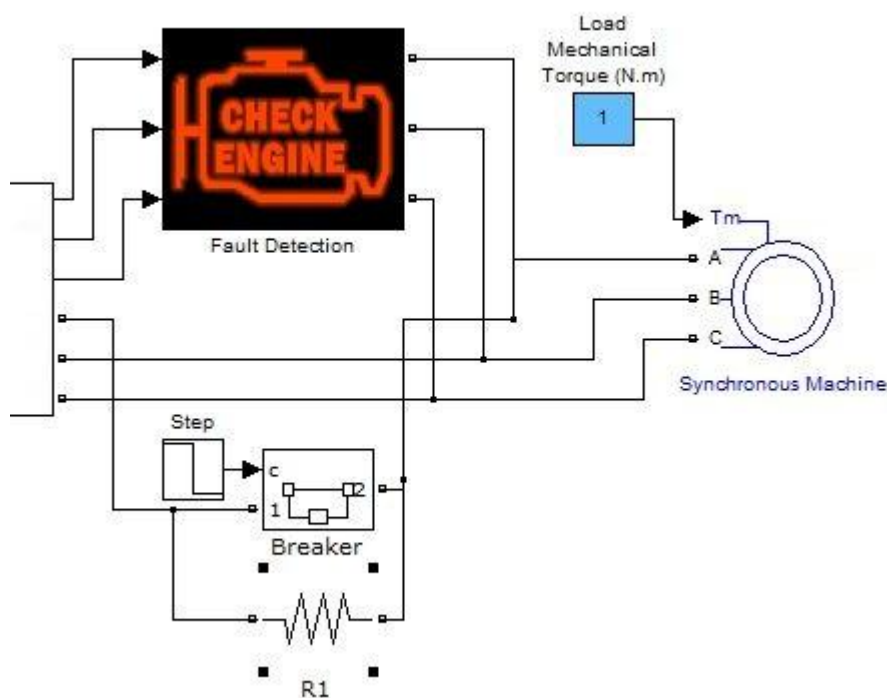


Figura 35 - Interruptor (*Breaker*) e resistência introduzidos na fase 1 do motor

Inicialmente o interruptor encontra-se fechado, permitindo a que o motor esteja ligado às três fases, uma vez que a corrente irá fluir pelo interruptor e não pela resistência. Ao fim de dois segundos o interruptor é aberto, interrompendo a fase 1 e levando o motor a operar

com uma corrente muito próxima dos 0 A, ou seja, sem uma fase. Esta resistência teve que ser introduzida uma vez que o “*Simulink*” não permite o uso de uma resistência infinita ligada ao motor. A figura seguinte ilustra os resultados obtidos:



Figura 36 - Gráfico que ilustra a Falta da Fase 1

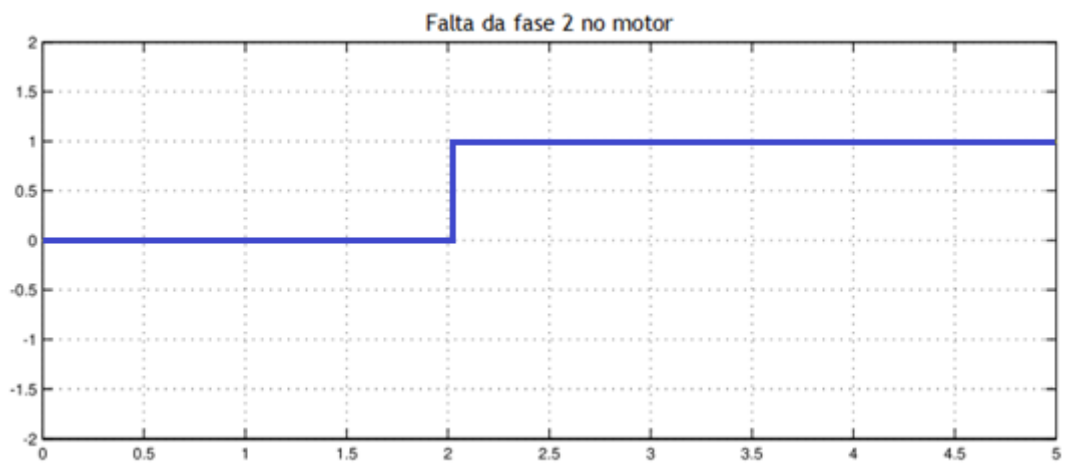


Figura 37 - Gráfico que ilustra a Falta da Fase 2

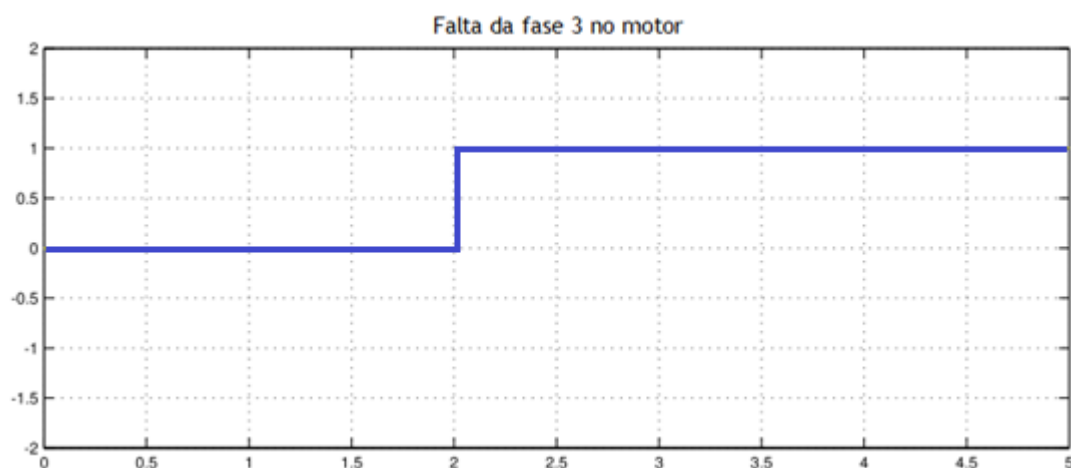


Figura 38 - Gráfico que ilustra a Falta da Fase 3

Como se pode observar, pelas três figuras anteriores, quando existe uma falta de fase, o gráfico correspondente vai a 1, indicando assim a existência da falha. O procedimento acima descrito, para provocar uma falta de fase, foi utilizado em todas as fases, levando assim à obtenção dos gráficos que representam as falhas.

5.2.4 - Detecção de Subtensões (Quebra de tensão)

A falha seguinte a simular é uma falha por subtensões. Para efectuar este teste reduziu-se a tensão numa das fases. Neste teste aplicou-se uma redução à tensão da fase 1 para os 80V (enquanto as restantes permaneceram a 100V).

Essa redução foi efectuada aos 2s de simulação e foi obtida através de uma fonte de tensão controlável e um degrau que fez passar a tensão dos 100V para os 80V na fase 1. A figura seguinte ilustra os blocos utilizados:

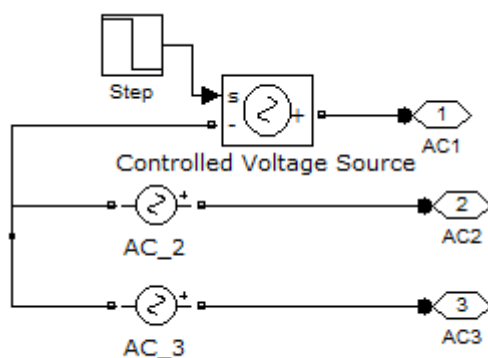


Figura 39 - Fonte de tensão controlado que provou uma falha por subtensão na fase 1

Assim, o resultado obtido, após a redução da tensão, é o seguinte:

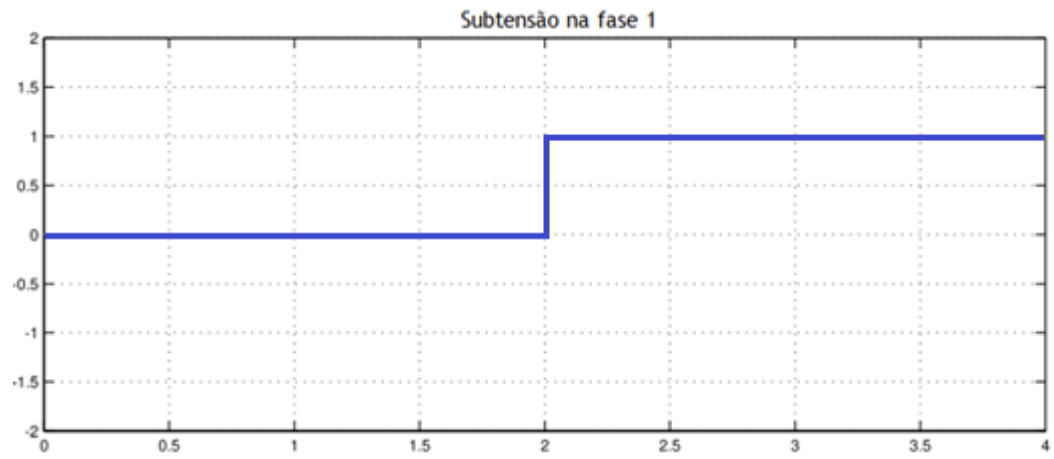


Figura 40 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 1

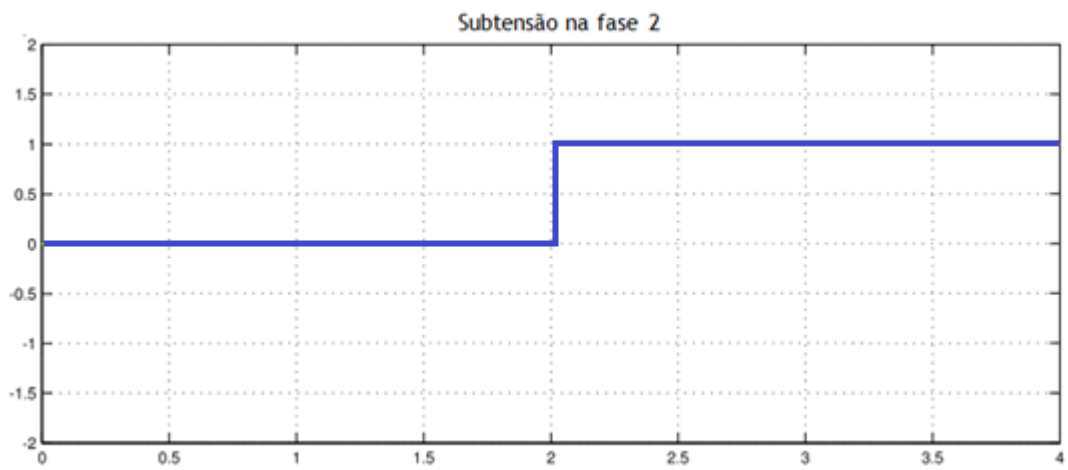


Figura 41 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 2

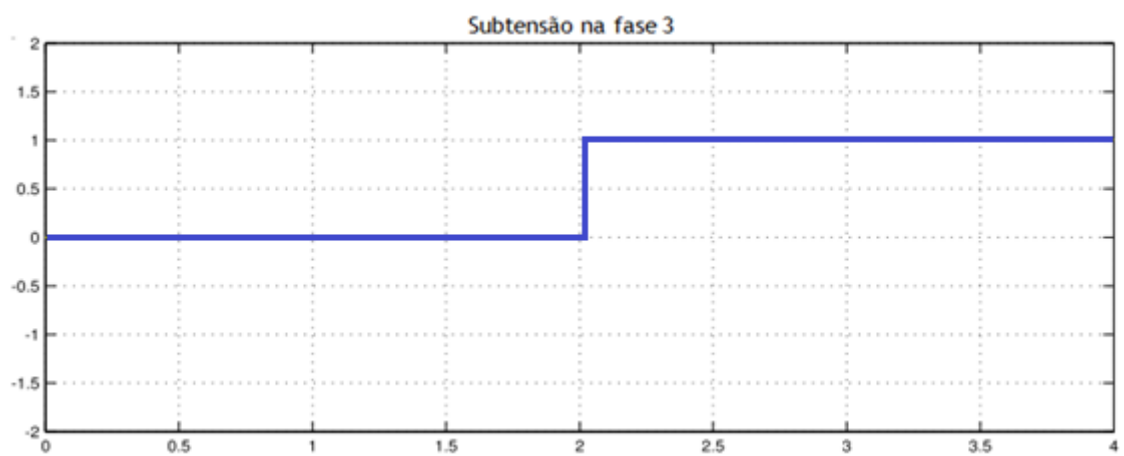


Figura 42 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 3

Efectuando o mesmo teste para todas as fases, pode-se observar nas três imagens anteriores, que os resultados obtidos são iguais, ou seja, sempre que a tensão numa fase baixa o sistema exibe em que fase a falha ocorreu.

5.2.5 - Detecção de Desequilíbrios entre fases

No teste seguinte simulou-se um desequilíbrio entre fases. Esse desequilíbrio foi provocado através da alteração dos valores das fases que eram de 0° , 120° e 240° , para as fases 1, 2 e 3, respectivamente.

Para tal introduz-se um avanço, ou atraso, em cada uma das fases. Os resultados obtidos ilustram a detecção de um avanço de 20° na fase 1, um atraso de 20° na fase 2 e um avanço de 20° na fase 3. Estes testes foram efectuados em separado, tendo-se em conta o princípio de que só pode ocorrer uma falha de cada vez.

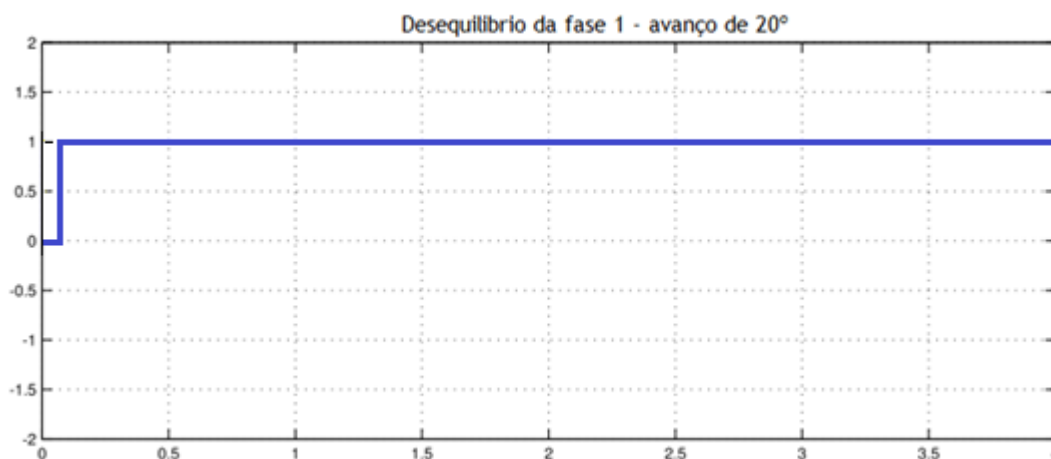


Figura 43 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 1



Figura 44 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 2

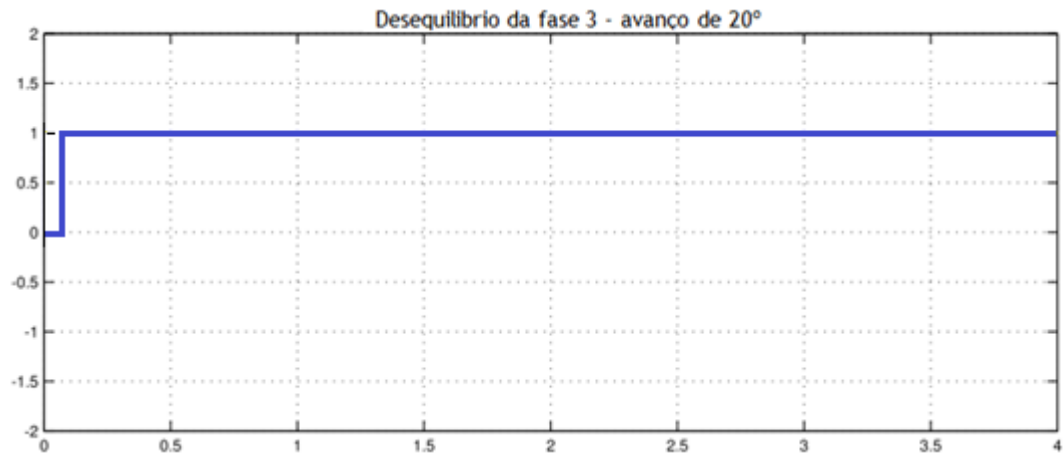


Figura 45 - Gráfico que ilustra a quebra de tensão da Fase 3

Como se pode visualizar, pelas três figuras anteriores, o algoritmo implementado detectou a falha e assinalou-a. Como a detecção da falha está dependente dos valores eficazes das tensões entre fases, inicialmente o sistema não detecta qualquer erro. No entanto, após alguns milésimos de segundo o erro é detectado e assinalado.

5.2.6 - Detecção de Sobretensões

O último teste a efectuar no barramento do motor é a simulação de sobretensões. Para efectuar este teste elevou-se a tensão em todas as fases dos 100 V para os 150V, o que levará a uma tensão eficaz de aproximadamente 184V. Como o motor não se encontra preparado para uma tensão tão elevada foi logo diagnosticado o erro, como mostra a figura seguinte:

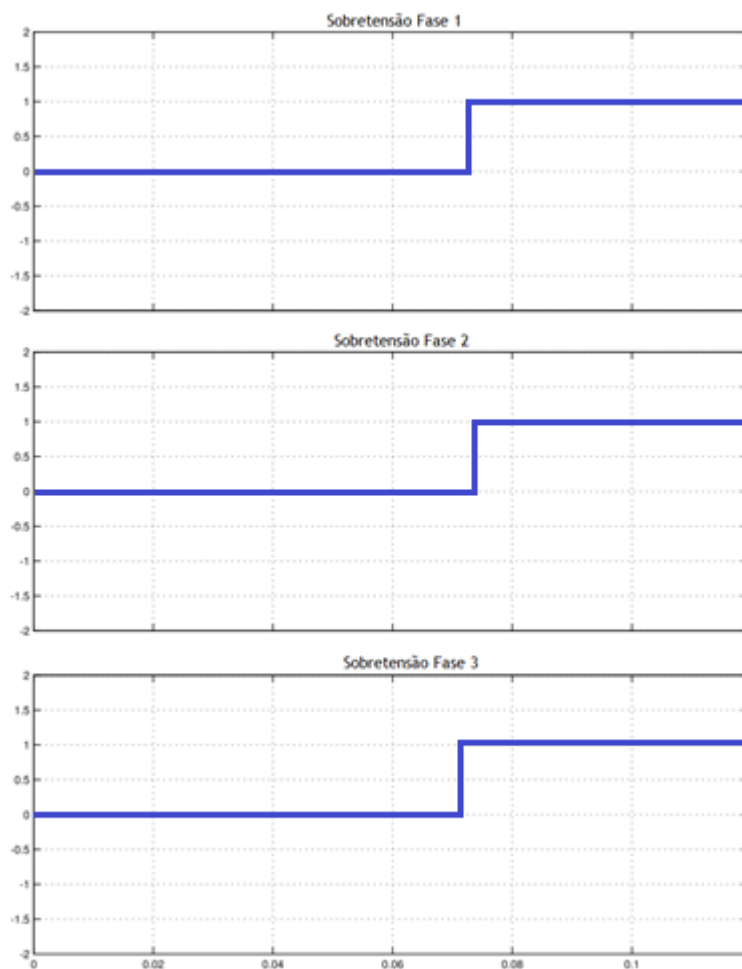


Figura 46 - Gráfico que ilustra sobretensões em todas as fases

Como se pode observar, nas três figuras anteriores, inicialmente a tensão entre fases é inferior aos 120V, no entanto, a partir dos 0.01 s a tensão ultrapassou esse valor em todas as fases do motor, levando a que fosse detectado um erro, como se pode ver nas figuras anteriores.

5.3 - Simulação do barramento da bateria

A próxima figura representa os blocos associados à detecção de falhas no barramento da bateria. Para tal, esta simulação conta com os blocos da bateria, onde é simulada uma bateria de níquel-metal-hidreto, com um nível de tensão de 90V e uma capacidade de 22 Ah, e o bloco dos sensores, onde se encontram os sensores de tensão e corrente. Também existe o bloco de detecção de falhas (*"Fault Detection"*), onde são feitas as detecções das falhas previstas, e por fim o bloco *"PMSM Model"*, onde é simulado uma carga que fará a descarga da bateria.

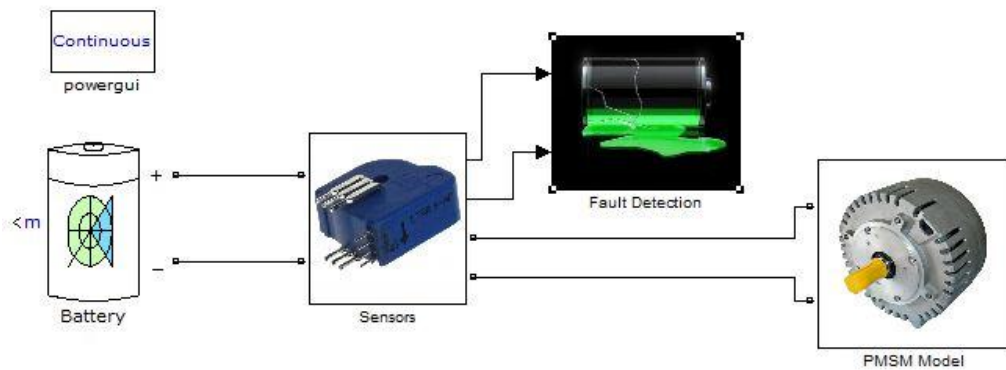


Figura 47 - Blocos a simular no barramento da bateria

Dentro do bloco “*Fault Detection*”, como já referido, encontram-se os algoritmos de detecção de falhas. As falhas que são detectadas são curto-circuitos, sobrecorrentes, subtensões e sobretensões.

Os sistemas de detecção de falhas utilizados nos blocos implementam os algoritmos descritos no capítulo anterior. Caso exista a ocorrência de um erro, será mostrado um aviso nos gráficos.

Aqui, o valor “0” significará que não existe falha e o valor “1” significa a existência de uma falha no sistema. De lembrar que poderá ocorrer mais de que uma falha em simultâneo no sistema, desde que não sejam falhas do mesmo tipo.

A figura seguinte ilustra a disposição dos diversos blocos que fazem a monitorização das falhas do sistema.

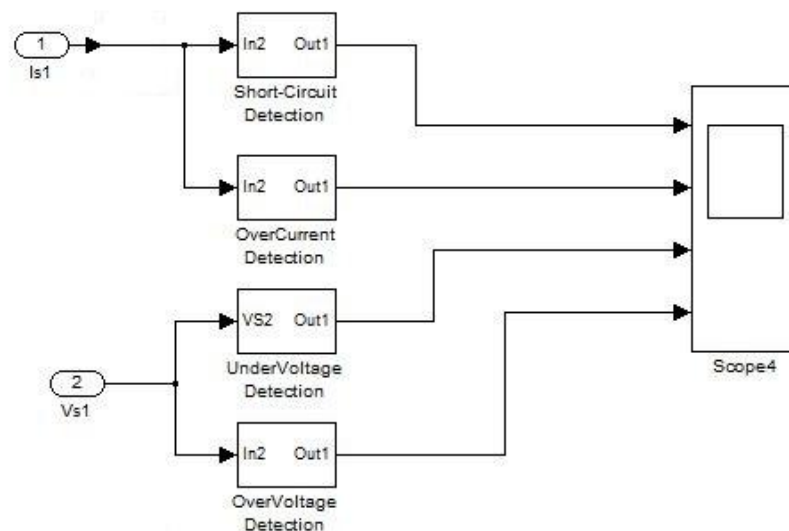


Figura 48 - Blocos que efectuem a verificação de falhas no barramento da bateria

Dentro do bloco “*PMSM Model*” encontra-se o esquema de uma carga. Esta carga é constituída por uma resistência 0.005Ω e uma fonte de corrente controlada, como se pode observar na figura seguinte:

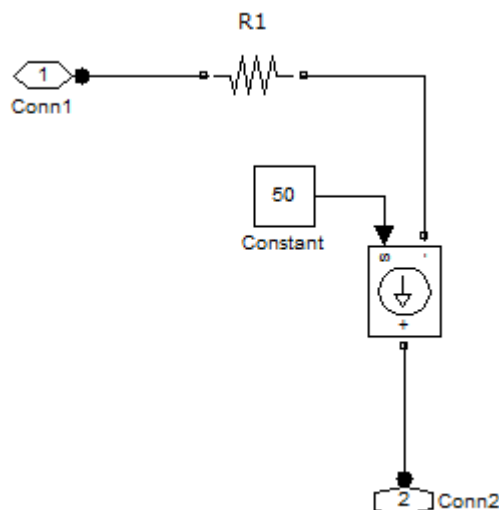


Figura 49 - Blocos que efectuam a descarga da bateria

5.4 - Diagnóstico do barramento da bateria

5.4.1 - Detecção de Curto-circuitos

O algoritmo de detecção de falhas da bateria já foi descrito no capítulo anterior.

Procedendo-se à simulação de um curto-circuito no barramento DC o resultado obtido é uma corrente elevada detectada pelos sensores de corrente, o que provocará a detecção de uma falha por curto-circuito. Esta falha foi obtida através da alteração do valor da fonte de corrente controlada, tendo-se para tal introduzido um valor de 1000 A.

O curto-circuito foi provocado aos 2 segundos da simulação. Como se pode observar na figura seguinte, até aos 2 segundos não existia qualquer falha.

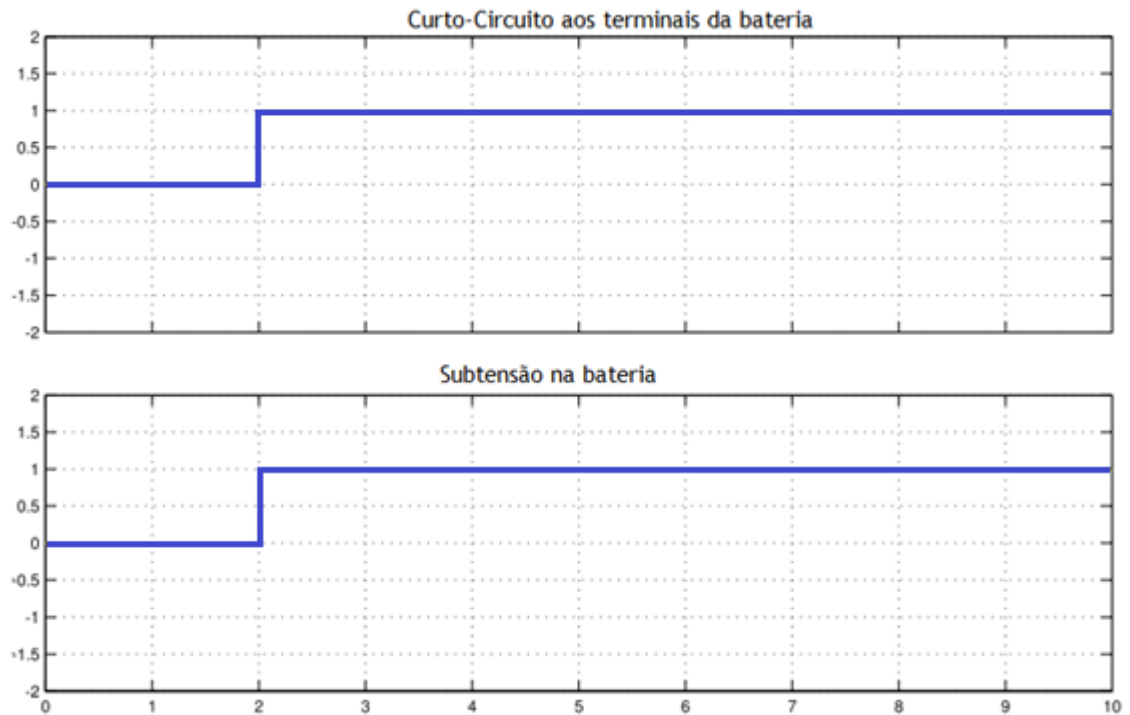


Figura 50 - Curto-circuito no barramento DC da bateria

No entanto, outra falha foi detectada. Um curto-circuito aos terminais de uma bateria irá provocar a sua rápida descarga, levando a que o algoritmo de detecção de subtensões detecte também uma falha por subtensão.

A figura anterior ilustra a detecção da falha por curto-circuito e por subtensão no barramento da bateria.

A falha por curto-circuito pode ser observada no primeiro gráfico, enquanto a falha por sobretensão pode ser observada no segundo gráfico.

5.4.2 - Detecção de Sobrecorrentes

No teste seguinte, simulou-se uma sobrecorrente de 300A aos terminais da bateria, ou seja, a bateria teve que fornecer 300 A pedidos pela carga. O resultado obtido foi a detecção de uma sobrecarga no barramento DC. Para simular esta falha introduziu-se o valor de 300 A na fonte de corrente controlada. Assim, ao fim de 2 segundos, irá aparecer uma falha por sobrecorrente, como se pode ver pela próxima figura.

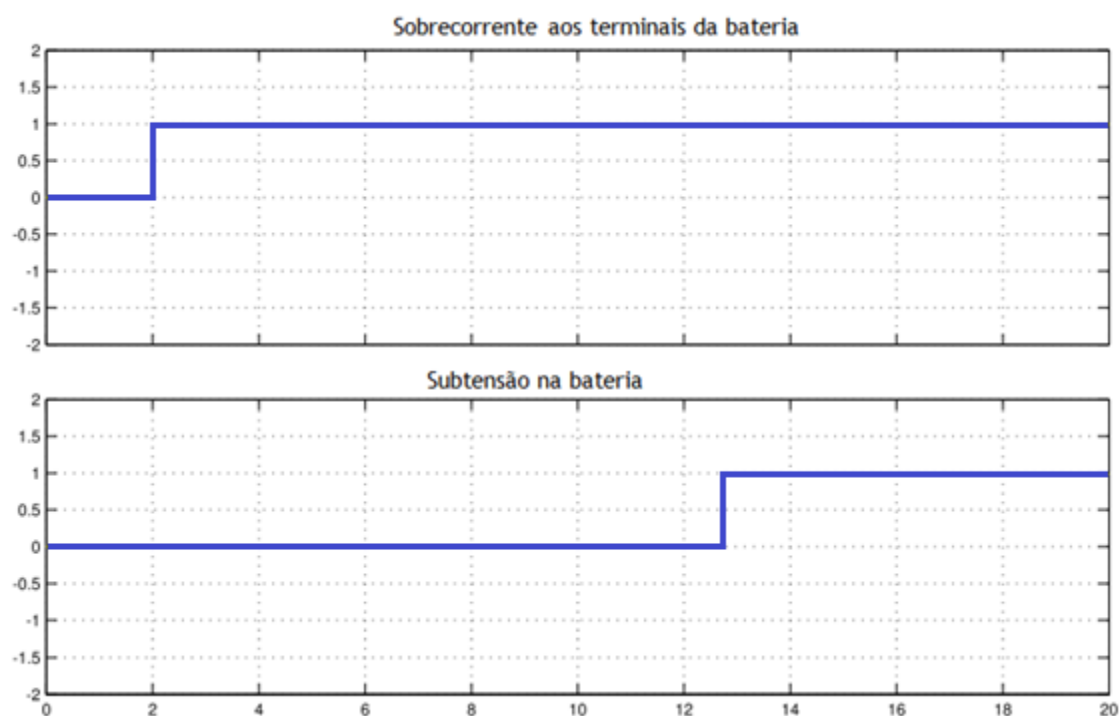


Figura 51 - Sobrecorrente no barramento DC da bateria

Também nesta simulação foi detectada uma falha por subtensão. Isto aconteceu porque a bateria rapidamente ficou sem energia suficiente para alimentar a carga de 300A. Na figura anterior pode-se observar que a falha por subtensão só foi detectada alguns segundos após a detecção da falha por sobrecorrente, mais precisamente 11 segundos após a ocorrência de uma sobrecorrente.

Na figura anterior pode-se observar a falha por sobrecorrente no primeiro gráfico. No segundo gráfico observa-se a falha por subtensão.

5.4.3 - Detecção de Sobretensões

O último teste a efectuar foi a simulação de uma falha por sobretensão. Para provocar esta falha foi utilizada uma fonte de tensão DC com um valor de 200V ligada aos terminais da bateria, como ilustra a próxima figura:

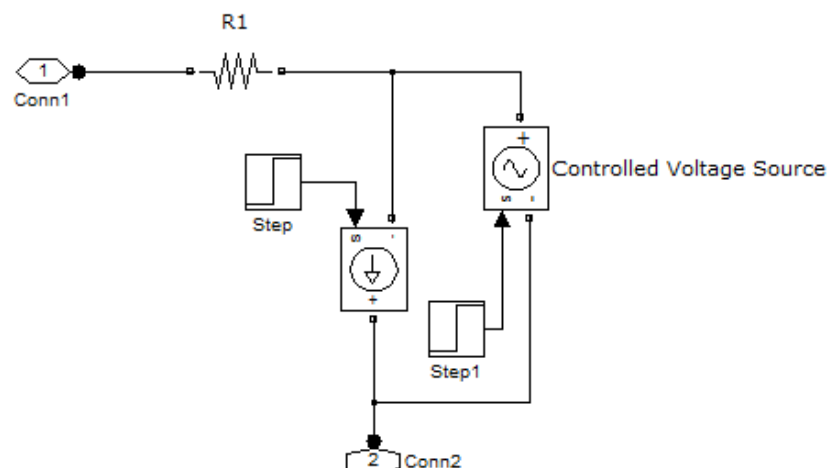


Figura 52 - Blocos que provocam uma sobretensão à bateria

Assim, quando se efectuou a simulação o resultado obtido foi a detecção de uma falha por sobretensão, como ilustra o gráfico da próxima figura:

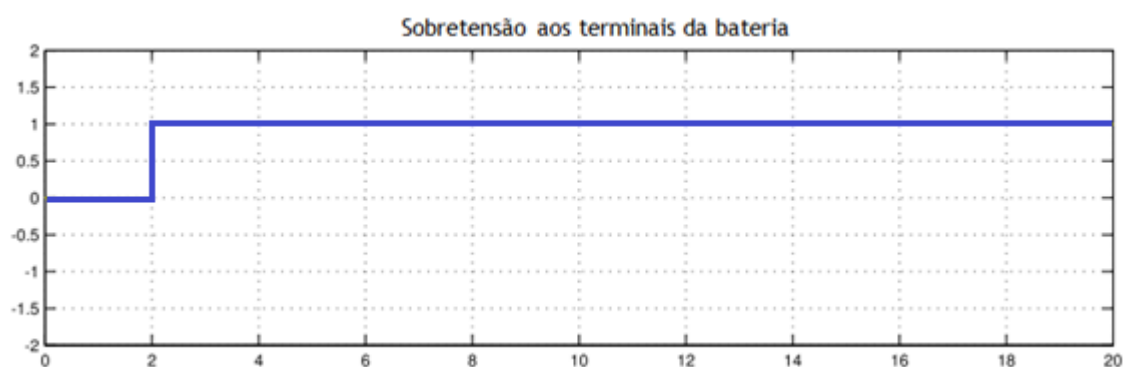


Figura 53 - Sobretensão aos terminais da bateria

Como se pode observar na figura anterior, aos 2 segundos de simulação ocorreu uma sobretensão na bateria. Esta sobretensão poderia ser causada por uma travagem regenerativa, caso não fossem colocados supercondensadores, ou pela ligação da bateria a um carregador de baterias errado.

5.5 - Conclusão

O uso das simulações do sistema revelou-se importante para determinar que tipo de algoritmo se deve utilizar para a detecção de falhas.

As simulações permitiram estudar com pormenor o que acontece com a tensão e corrente nos barramentos do motor e da bateria.

Capítulo 6

Monitorização

Neste capítulo será abordada a construção da interface encarregue de efectuar a monitorização e diagnóstico do veículo eléctrico.

Também serão apresentados os processos utilizados para efectuar a monitorização do veículo, sendo que a interface deverá ser responsável pela ilustração dos parâmetros do mesmo.

6.1 - Monitorização

A monitorização deve permitir a visualização de vários dados que poderão ser importantes para a avaliação do veículo.

Os parâmetros a monitorizar de um veículo eléctrico de competição são os seguintes:

- Temperatura no motor;
- Temperatura no inversor;
- Temperatura na bateria;
- Temperatura dos pneus dianteiros;
- Temperatura no interior do veículo;
- Acelerações segundo XX, YY e ZZ nas rodas dianteiras;
- Acelerações segundo XX, YY e ZZ no interior do veículo;
- Velocidade nas rodas;
- Velocidade do motor;
- Binário eléctrico do motor;
- Potência eléctrica do motor;
- Estado de carga das baterias (SOC).

A aquisição da tensão e da corrente no barramento DC terá como objectivo calcular a potência consumida, em Watts, num determinado período de tempo, permitindo assim o cálculo do binário, em N.m, consumido pelo motor, com recurso à velocidade angular do motor, em Rad/s, através das seguintes fórmulas:

$$P = U \times I \quad (6.01)$$

$$P = T \times \omega \quad (6.02)$$

Tratando-se de um veículo eléctrico é importante efectuar o cálculo do estado de carga da bateria (*SOC*). Através do cálculo do estado de carga das baterias é possível ter uma percepção do tempo que durará a carga nas baterias. Assim, será possível ao sistema estimar a distância a percorrer pelo veículo.

O cálculo do estado de carga de uma bateria pode ser efectuado com recurso à seguinte fórmula:

$$SOC (\%) = \frac{Vb(t)-b}{a} \quad (6.03)$$

A equação 6.03 [53] permite obter o estado de carga da bateria (em percentagem) através de *Vb*, sendo este parâmetro a tensão aos terminais da bateria. As variáveis “a” e “b” são calculadas em função do *SOC*, ou seja, quando a bateria se encontra completamente carregada (*SOC* = 100%) o valor da tensão na bateria é de 100V. Quando a bateria se encontra descarregada (*SOC* = 0%) o valor da tensão na bateria é de 80V.

Na realidade quando o estado de carga da bateria se encontra a 0% a tensão aos seus terminais é de 0V, no entanto, como não é boa prática efectuar uma descarrega completa da bateria, uma vez que pode levar à sua destruição, optou-se por considerar que a bateria estaria descarregada a partir dos 40%, para o qual corresponde, assim, a tensão de 80V.

No entanto, este não é o melhor método para efectuar o cálculo do estado de carga das baterias. O melhor método seria através do cálculo da energia gasta pela bateria.

Para se calcular o estado de carga através da energia da bateria, teria que se integrar a potência utilizada pela mesma em ordem ao tempo. Ou seja,

$$E = I \times \Delta t \quad (6.04)$$

Sendo que *E* é a energia e Δt é a diferença de tempo. Obtendo-se assim a energia gasta, em Wh, e sabendo-se qual é a energia da bateria, é possível calcular o estado de carga através da seguinte equação:

$$SOC (\%) = \frac{E_{utilizada}}{E_{bateria}} \times 100 \quad (6.05)$$

Este método, apesar de ser mais preciso é computacionalmente mais pesado dado que obriga a que o sistema de monitorização se encontre sempre a calcular o SOC da bateria, isto porque a bateria pode parar de fornecer energia e começar a receber a mesma, por exemplo num carregamento.

Assim, apesar de este método ser mais fiável, o método do cálculo do SOC através da tensão da bateria foi o escolhido.

Também será monitorizada a velocidade do motor e das rodas. Esta informação é necessária para o cálculo do binário no motor e para informar a velocidade instantânea do veículo aos utilizadores do sistema. Estes valores serão recebidos em Km/h, para o caso da velocidade nas rodas, e em rotações por minuto (RPM), para o caso da velocidade do motor.

Como já foi referido, a temperatura é um poderoso aliado na prevenção contra falhas. Assim, a sua monitorização é bastante importante. O sistema permitirá a monitorização da temperatura do motor eléctrico, do inversor e da bateria, sendo possível assistir à sua evolução ao longo do tempo. No entanto, também no interior do veículo e os pneus dianteiros serão monitorizadas as temperaturas.

A monitorização da temperatura do interior do veículo será meramente informativa, permitindo observar a temperatura a que o condutor se encontra sujeito durante uma prova. Esta informação poderá ser relevante, pois permitirá efectuar os ajustes necessários ao sistema de refrigeração do habitáculo do veículo, melhorando o conforto do piloto, o que se poderá traduzir no aumento da concentração deste.

A medida da temperatura dos pneus dianteiros será utilizada para a optimização do veículo. Os pneus quando funcionam dentro de uma gama de temperatura óptima, definidas pelo fabricante, possuem uma melhor aderência ao piso. Esta melhoria de aderência será importante para um veículo eléctrico de competição, uma vez que poderá permitir o aumento da sua prestação, quer em curva, quer durante uma travagem ou aceleração.

Por fim, serão medidas as acelerações a que o veículo se encontra sujeito. Essas acelerações serão segundo os eixos XX' , YY' e ZZ' . Com estes dados, o objectivo é indicar as forças a que o veículo, e consequentemente o condutor, se encontram sujeitos durante um percurso.

6.2 - Human-Machine Interface

Inicialmente, o principal objectivo da interface era efectuar apenas o diagnóstico de falhas do sistema. No entanto, durante a construção deste optou-se por incluir um sistema de monitorização em tempo real de algumas variáveis importantes do veículo.

A interface foi construída com recurso ao programa *Microsoft Visual Studio 2010*. Este irá comunicar com ficheiros de texto (.txt) e com uma base de dados da *Microsoft SQL Server 2008*.

As tabelas utilizadas para armazenar os dados na Base de Dados contêm os seguintes parâmetros:

Identificação	Dados Informativos
ID_Veículo	Marca
	Modelo
	Motor
	Baterias
	Inversor

Tabela 1 - Lista de parâmetros contidos na tabela “Cars”

Identificação	Dados Temporais	Tensões	Correntes	Registos
ID	Data	Tensão Fase 1	Corrente Fase 1	Número da ocorrência
#ID_Veículo	Tempo	Tensão Fase 2	Corrente Fase 2	
		Tensão Fase 3	Corrente Fase 3	
		Tensão bateria	Corrente bateria	

Tabela 2 - Lista de parâmetros contidos na tabela “DE”

Identificação	Dados Temporais	Tensões	Correntes
ID	Data	Tensão Média Fase 1	Corrente Média Fase 1
#ID_Veículo	Tempo	Tensão Média Fase 2	Corrente Média Fase 2
		Tensão Média Fase 3	Corrente Média Fase 3
		Tensão Média bateria	Corrente Média bateria
		Potência Média Bateria	

Tabela 3 - Lista de parâmetros contidos na tabela “DEM”

Identificação	Dados Temporais	Temperaturas	Velocidade
ID	Data	Temperatura Inversor	Velocidade do Veículo
#ID_Veículo	Tempo	Temperatura Motor	Rotações do Motor
		Temperatura Baterias	
		Temperatura Pneu Direito	
		Temperatura Pneu Esquerdo	

Tabela 4 - Lista de parâmetros contidos na tabela “DT”

A linguagem utilizada para desenvolver a interface foi o *Visual Basic (VB)*. O VB é uma linguagem de programação orientada a objectos que permite a criação de programas para Windows de forma bastante transparente. Todos os recursos colocados na interface são accionados por eventos. Uma vez que esses eventos são activados o programa irá correr todo o código que se encontre dentro da função que reage a esse evento.

A interface com o utilizador encontra-se dividida em três menus principais mais um menu de opções.

Os menus da interface encontram-se divididos por Menu Inicial - “*InitialMenu*”, Recepção e tratamento de Dados - “*DataCollection*”, Dados do Veículo - “*CarData*” e Opções - “*Options*”.

No entanto, existem camadas de código a auxiliar o funcionamento de todo o programa. Essas camadas de código, Classes, foram designadas por Camada de Acesso à Base de Dados - “*Data Access Layer*”, Camada de Acesso a Ficheiros de Texto - “*Text Access Layer*” e Camada de Preenchimento de Gráficos - “*Chart Fill Layer*”. As comunicações entre os menus da interface e as camadas de auxílio de código são ilustradas na seguinte figura:

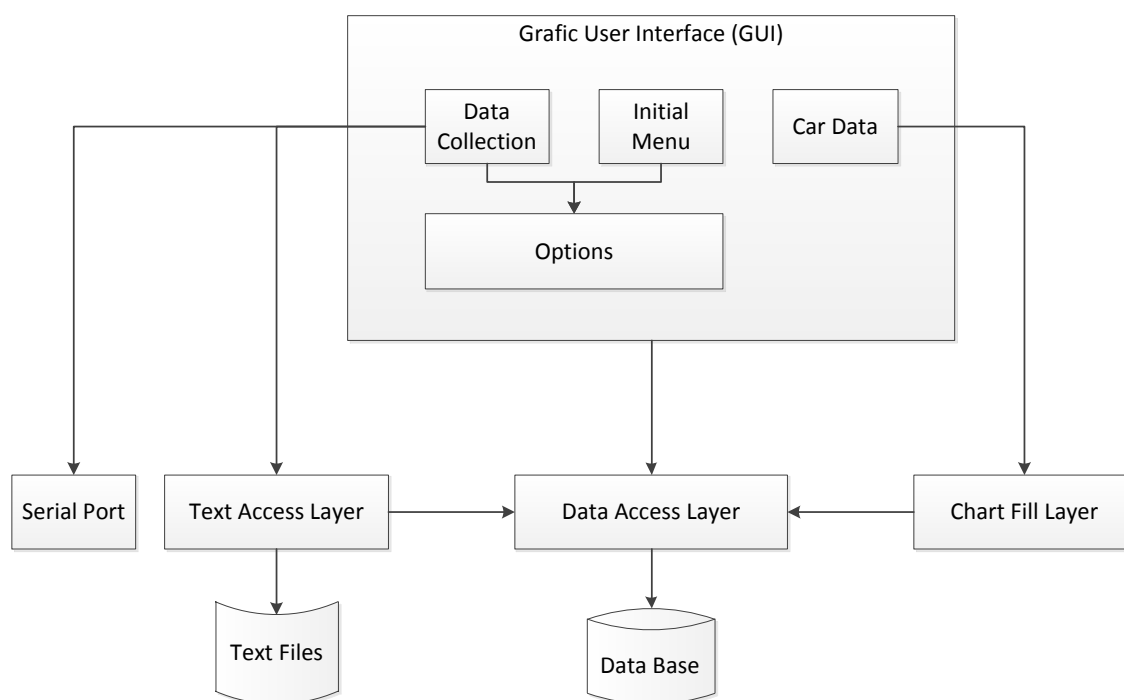


Figura 54 - Menu Inicial da interface

Observando-se a figura anterior pode-se concluir que todos os menus da interface comunicam com a Camada de Acesso à Base de Dados. Por sua vez esta comunica com a base de dados. A “*Data Access Layer*” encontra-se responsável pelas seguintes funções:

- *ConnectToSQL* - Função que efectua a conexão com a Base de Dados;
- *DisconnectFromSQL* - Função que desconecta a interface da Base de Dados;
- *CreateTables_Cars* - Função que cria a tabela “Cars” que vai conter dados referentes aos veículos;
- *CreateTable_Data* - Função que cria as tabelas DE, DEM e DT;
- *Clear_tables* - Função que apaga todas as tabelas da Base de Dados;
- *InsertDataInSql* - Função que insere dados na tabela “Cars”;
- *ReadValueFromSQL* - Função que lê dados da Base de Dados e os coloca numa lista de *Strings*;
- *ReturnNumberFromSQL* - Função que retorna um número inteiro da Base de Dados;
- *ReturnNumberList* - Função que retorna uma lista de números da Base de Dados;
- *Import_to_SQL* - Função que transfere os dados contidos num ficheiro de texto para a base de dados.

O menu “*Data Collection*” encontra-se ligado à Camada de Acesso a Ficheiros de Texto e a uma ligação Porta Série. A recepção dos dados via Porta Série é feita através de eventos, ou

seja, sempre que surgem dados no *Buffer* da Porta Série é gerado um evento. Dentro desse evento, a informação enviada pela Porta Série será recolhida pelo programa.

A “*Text Access Layer*” é responsável pela comunicação com ficheiros de texto. As funções implementadas por esta Classe são as seguintes:

- *Create* - Função que cria os ficheiros de texto DE, DEM e DT onde serão guardados dados;
- *DeleteText* - Função que elimina os ficheiros de texto anteriormente criados;
- *DEtext* - Função que escreve dados para o ficheiro DE;
- *DEMtext* - Função que escreve dados para o ficheiro DEM;
- *DTtext* - Função que escreve dados para o ficheiro DT.

Os dados gravados nos ficheiros de texto possuem a seguinte configuração:

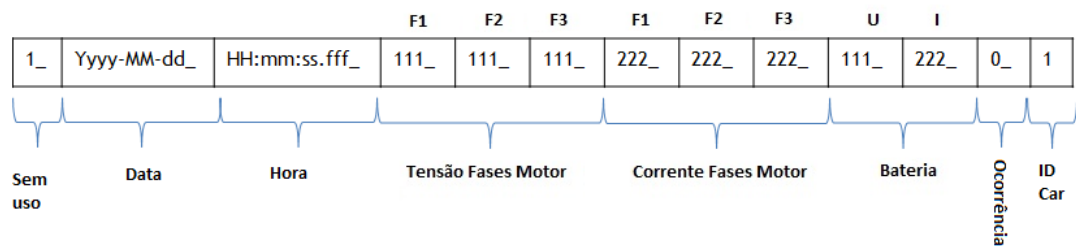


Figura 55 - Formato dos dados gravados no ficheiro “DE”

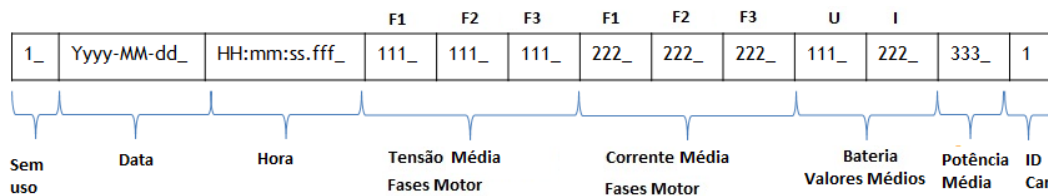


Figura 56 - Formato dos dados gravados no ficheiro “DEM”

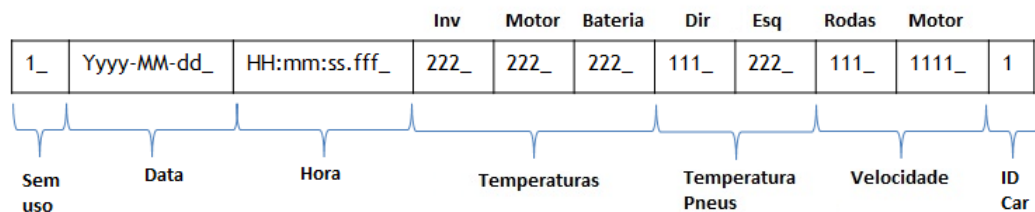


Figura 57 - Formato dos dados gravados no ficheiro “DT”

Estes dados são copiados para a base de dados através da função *“Import_to_SQL”*. Esta função implementa o comando *“SqlBulkCopy”*, que permite a inserção de dados na Base de Dados com performances bastante superiores do que o uso do comando *“Insert data Into table”*.

Esta classe permite ainda a cópia directa dos dados guardados num ficheiro de texto para a Base de Dados, desde que estes se encontrem com a formatação correcta. Assim, do formato dos dados gravados nos ficheiros de texto, pode-se observar que o primeiro campo fica sem uso. Isto acontece porque, o campo na base de dados destinado a este parâmetro, é de preenchimento automático, ou seja, quando se tenta introduzir um dado nele este será descartado.

Por último, o menu *“Car Data”* está ligado à camada de preenchimento de gráficos, sendo que esta, por sua vez, está ligada à camada de acesso à Base de Dados. A *“Chart Fill Layer”* é responsável por preencher os gráficos que se encontram no menu *“Car Data”*. Esses dados, são importados da Base de Dados por esta Classe. As funções presentes nesta Classe são as seguintes:

- *Occurrence* - Função responsável por listar no menu *“Car Data”* as ocorrências de falhas gravadas na Base de Dados;
- *DE* - Função responsável por colocar os dados da tabela DE nos gráficos correspondentes do menu *“Car Data”*;
- *DEM* - Função responsável por colocar os dados da tabela DEM nos gráficos correspondentes do menu *“Car Data”*;
- *DT* - Função responsável por colocar os dados da tabela DT nos gráficos correspondentes do menu *“Car Data”*;
- *DE_Mod* - Função responsável por colocar os dados da tabela DE nos gráficos do menu *“Car Data”*. Esta função não coloca todos os dados, mas sim os que estão previamente definidos num intervalo de tempo e sejam portadores da ocorrência de falhas;

6.3 - Princípio de funcionamento da HMI

Quando o programa arranca o primeiro menu que aparece, *“Initial Menu”*, permite a escolha entre o diagnóstico do veículo e a visualização de dados anteriormente gravados. Essa escolha é efectuada, respectivamente, com recurso a dois botões, o botão *“Diagnosis”* e o botão *“Data View”*. O menu inicial também permite sair do programa, entrando para isso na

opção “File” e carregando em “Exit”, ou ir para o menu opções, utilizando-se para tal a opção “Tools” e carregando depois em “Options”. O aspecto do menu inicial é o ilustrado na figura seguinte:

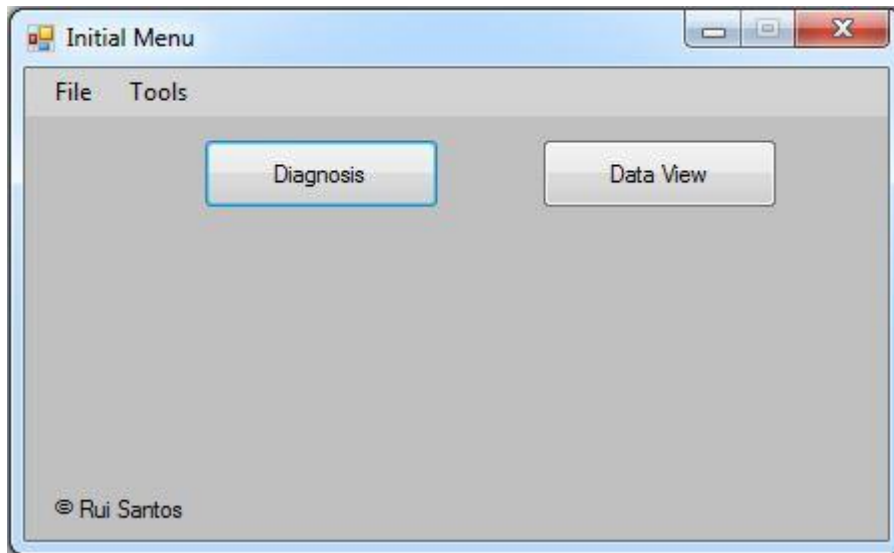


Figura 58 - Menu Inicial da interface

Pressionando-se o botão “Diagnosis” a janela do menu principal irá se alterar. Neste irá aparecer uma lista de identificações “IDs” sendo que cada identificação corresponde a um veículo.

A lista de identificação dos veículos será a mesma contida na Base de Dados. Sempre que o utilizador escolher um ID diferente, numa caixa de texto por baixo do selector de ID, aparecerá automaticamente a marca e o modelo do veículo a que corresponde o ID seleccionado.

O aspecto do Menu Inicial após se pressionar o botão “Diagnosis” é o seguinte:

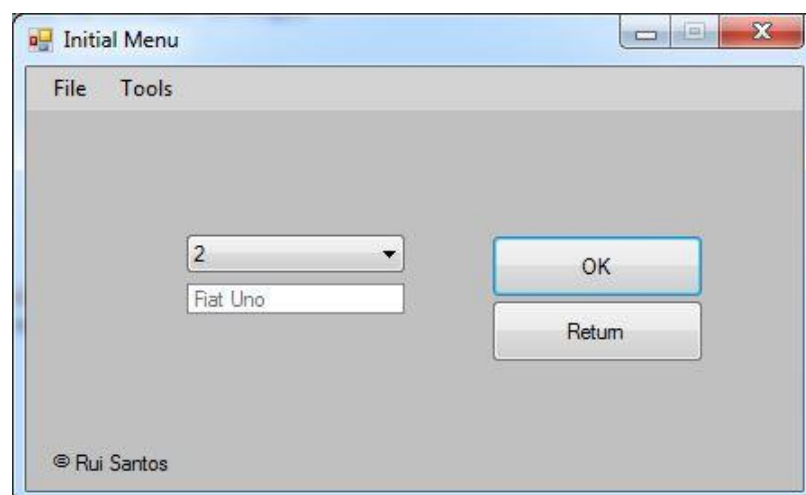


Figura 59 - Menu Inicial da interface que permite a escolha do veículo a monitorizar

Nesta janela aparecem dois botões, o botão “OK” e o botão “Return”. O primeiro botão, quando pressionado, abre uma nova janela. A janela a abrir irá depender da opção inicialmente escolhida. Como neste caso a opção escolhida foi a de diagnóstico do veículo a janela que será aberta servirá esse efeito. Caso o botão pressionado seja o “Return” o menu voltará a mostrar as opções da Figura 58.

Pressionando o botão “OK”, irá abrir-se a janela “Data Collection”. Nesta janela poderá assistir-se à aquisição de dados com vista à monitorização e detecção de falhas, em tempo real.

Assim, durante a aquisição dos dados nesta janela, serão mostrados os valores actuais da velocidade do veículo e rotação do motor, das temperaturas no interior do veículo e dos pneus dianteiros deste, bem como das acelerações a que este se encontra sujeito.

A nível eléctrico será monitorizada em tempo real a potência do motor, o binário eléctrico gerado por este e o estado de carga das baterias.

Em tempo real também vão ser monitorizados, através de gráficos, a tensão e corrente nas fases do motor, a temperatura no inversor, motor e bateria, e as acelerações XX, YY e ZZ nos pneus da frente veículo.

No lado esquerdo da janela encontram-se sinais luminosos destinados a alertar o utilizador em caso de falhas. Caso o sistema se encontre a funcionar em perfeitas condições estes sinais terão a cor verde.

Caso o sistema de detecção de falhas detecte a ocorrência de um problema, o sinal luminoso correspondente à falha mudará a sua cor para vermelho. Assim, através deste método o utilizador rapidamente se aperceberá da eventual ocorrência de uma falha.

A figura seguinte ilustra a janela “Data Collection”:



Figura 60 - Menu de Recepção e Tratamento de Dados - “Data Collection”

Este menu possui também três botões. O botão “*Start*” abre as comunicações através da porta Série, permitindo assim a recepção dos dados enviados. Este também dará início a dois *timers*, sendo que o primeiro delimitará o período de aquisição dos dados e o segundo estará encarregue de proceder à actualização dos dados ilustrados nos gráficos desta janela.

O botão “*Import DB*” está encarregue de importar toda a informação armazenada nos ficheiros de texto para a correspondente tabela contida na Base de Dados. Caso não ocorra nenhum erro, no fim dos dados serem exportados para a base de dados, os ficheiros de texto serão apagados, libertando assim espaço em disco.

O botão “*Stop*” está encarregue de terminar as comunicações com a porta Série, a base de dados, e os ficheiros de texto, bem como parar os *timers* anteriormente activados.

Inicialmente, como demonstra a figura anterior, o botão “*Stop*” não se encontra disponível.

Assim que o botão “*Start*” seja pressionado, este ficará escondido, bem como o botão “*Import DB*”, e o botão “*Stop*” irá aparecer. Quando o botão “*Stop*” for pressionado, este irá desaparecer o botão “*Import DB*” irá aparecer.

Este método é utilizado para garantir que o utilizador não cometa erros durante o uso da interface.

No entanto, no Menu Inicial, a opção escolhida pode ser a visualização dos dados anteriormente adquiridos e gravados na base de dados. Para aceder a essa informação carrega-se no botão “*Data View*”, ilustrado na Figura 58.

Ao pressionar esse botão o Menu Inicial alterar-se-á, levando ao aparecimento da caixa de selecção do ID do veículo e à caixa de texto que indicará qual o veículo a que pertence esse ID.

Estas duas opções já se encontravam presentes quando se pressionava o botão “*Diagnosis*”, mas agora existe uma terceira opção, uma caixa de selecção da data. Esta caixa tem como objectivo permitir ao utilizador escolher, de entre as datas em que foram adquiridos dados para aquele veículo, qual a que deseja visualizar.

A figura seguinte ilustra a nova funcionalidade do Menu Inicial:

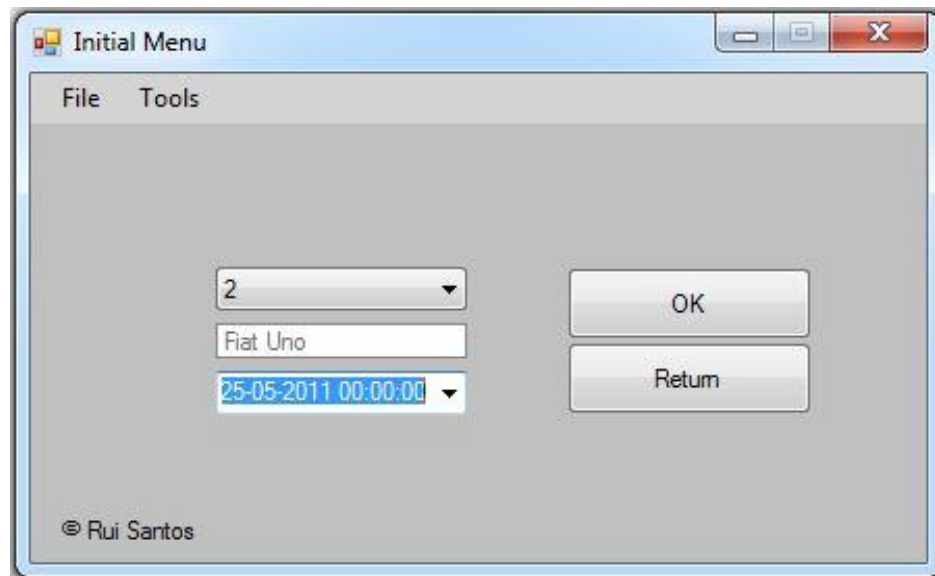


Figura 61 - Menu Inicial da interface que permite a escolha da visualização dos dados do veículo

Assim sendo, após a escolha do veículo e da data, e pressionando-se o botão “OK”, abrir-se-á uma nova janela, “Car Data”. Nesta será possível visualizar os dados do veículo escolhido, na data anteriormente assinalada.

Este novo menu encontra-se dividido por separadores. Em cada separador encontra-se um conjunto de dados disponíveis para serem analisados.

No separador “Electric Data” serão disponibilizados, em gráficos, os dados relativos às tensões e correntes nas fases do motor, bem como no barramento DC da bateria. No entanto, neste separador, existirá um botão e uma caixa de selecção. Na caixa de selecção encontrar-se-ão enumeradas todas as ocorrências de falhas que tenham sido registadas. A ocorrência “0” significa que todos os dados serão mostrados. No entanto, caso seja escolhida uma ocorrência diferente de “0”, o programa irá mostrar todos os dados relativos apenas a essa nova ocorrência escolhida.

Esses dados serão ilustrados num intervalo de tempo, que pode ser alterado no menu “Options”. Ou seja, este novo factor permite a visualização YY minutos dos dados antes do erro ter aparecido e de YY minutos depois de o erro ter desaparecido. Esta função foi implementada com o objectivo de permitir obter um tempo de comparação do sistema a funcionar sem erros e com erros.

No separador “Electric Data (Average)” são disponibilizados, também em gráficos, os dados das tensões e correntes médias em cada um das fases do motor, da tensão e corrente média no barramento DC da bateria, bem como da sua potência média.

Já no separador “Mechanical Data” serão ilustrados os dados referentes às grandezas mecânicas do veículo, ou seja, temperaturas no motor, inversor e baterias, temperaturas nos pneus dianteiros do veículo, a velocidade das rodas e a rotação do motor.

As imagens seguintes ilustram os diversos separadores do menu “Car Data”:

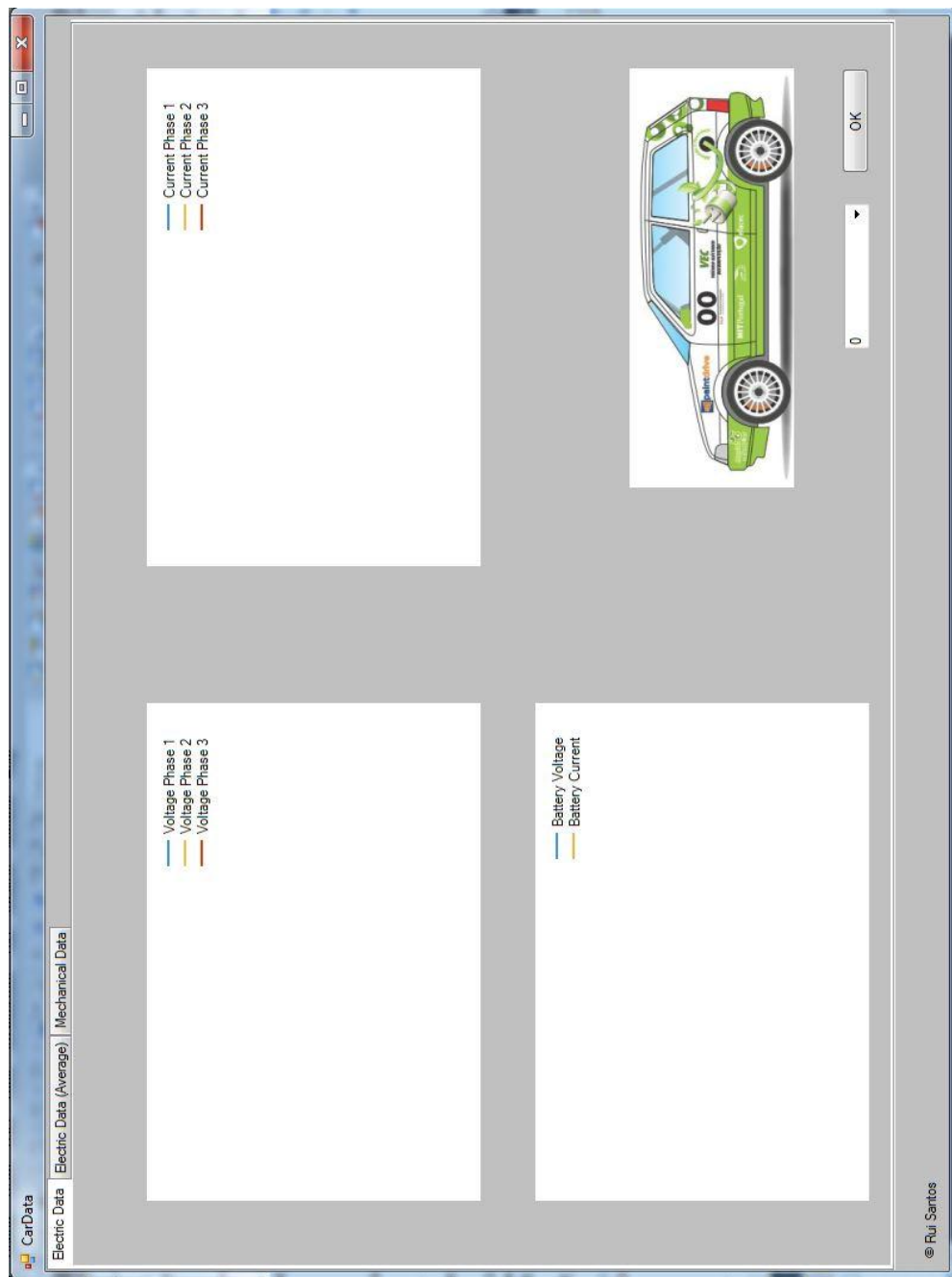


Figura 62 - Menu “Car Data”, separador “Electric Data”

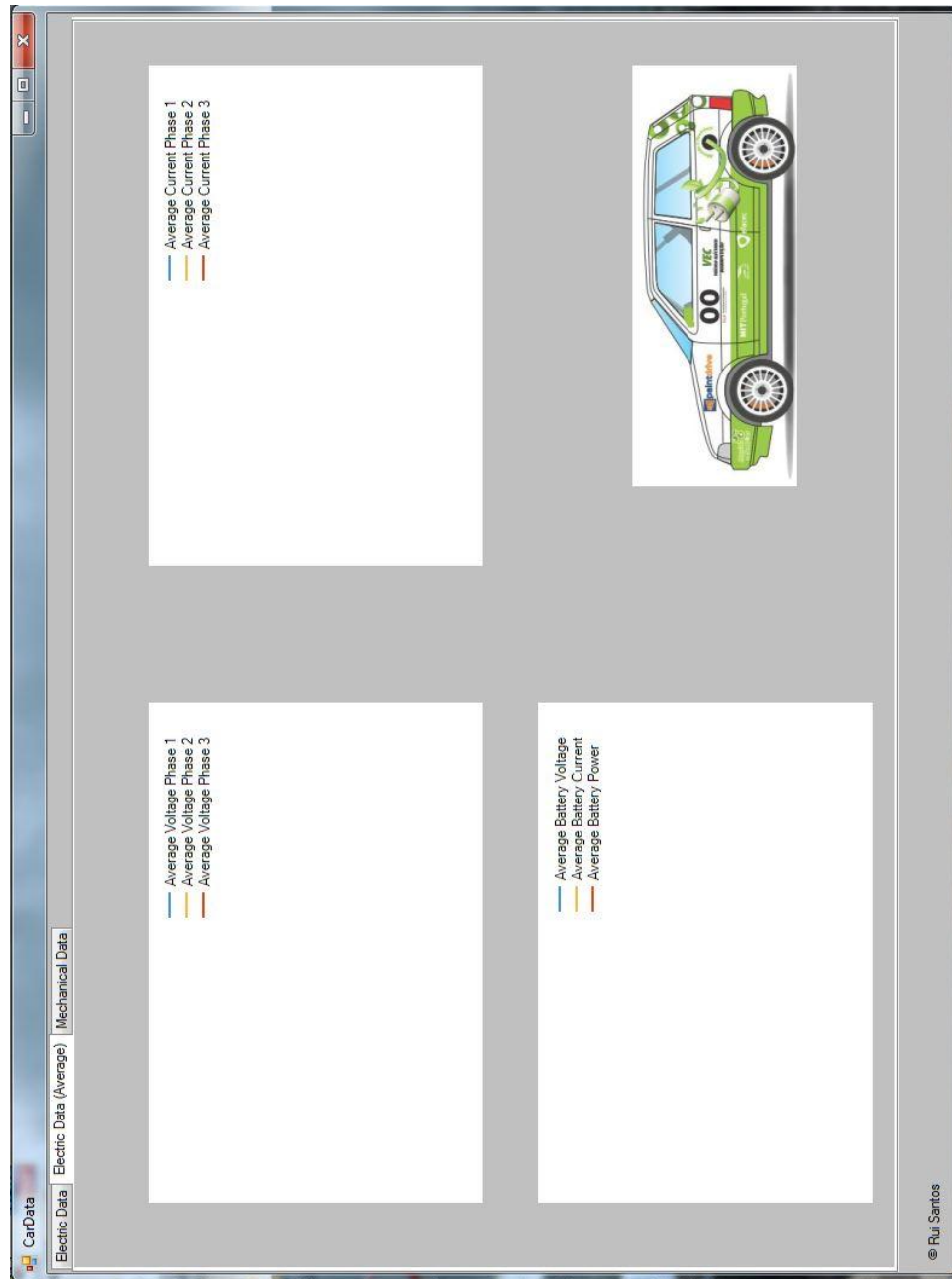


Figura 63 - Menu “Car Data”, separador “Electric Data (Average) ”

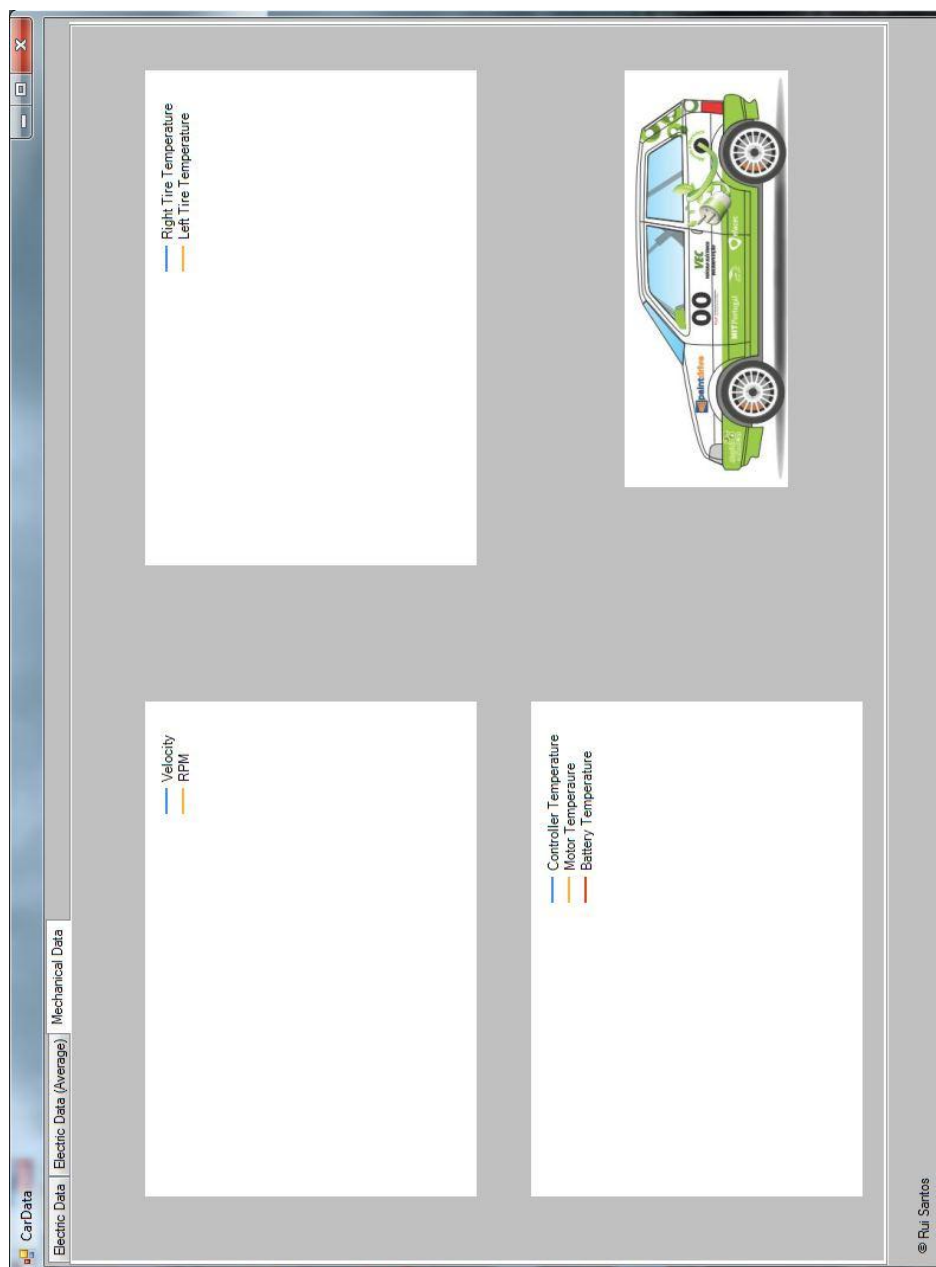


Figura 64 - Menu “Car Data”, separador “Mechanical Data”

O último menu que constitui esta interface de monitorização e diagnóstico de falhas é o menu das opções. Este permite alterar as propriedades temporais, da Base de Dados, adicionar novos veículos à Base de Dados, apagar e recriar as tabelas da Base de Dados e alterar os parâmetros do *threshold* utilizado para fazer o diagnóstico e os valores de “A” e “B” utilizados na equação do cálculo do estado de carga da bateria.

As opções não podem ser alteradas durante a monitorização e diagnóstico do veículo, sendo assim, para que estas sejam alteradas o processo deverá ser parado.

A figura seguinte ilustra o menu “Options” no separador “ Time Properties”:

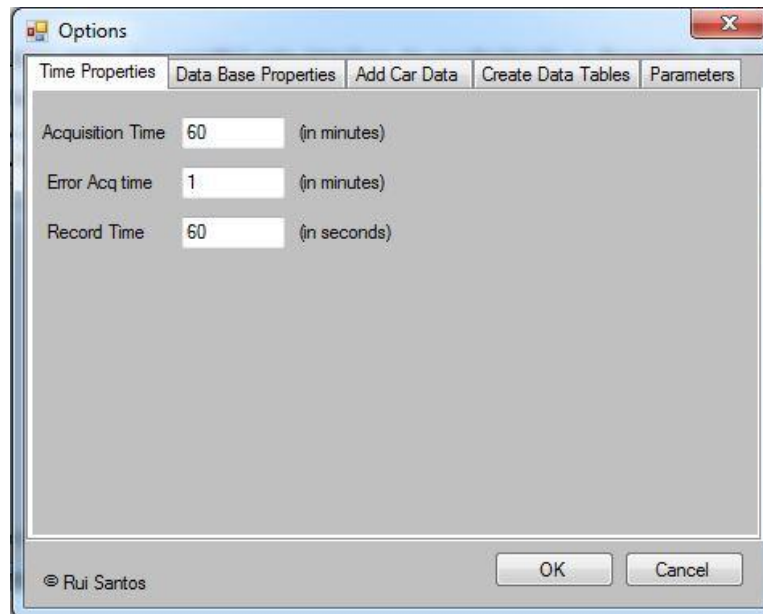


Figura 65 - Menu “Options”, separador “Time Properties”

Neste separador pode-se alterar o tempo de aquisição “*Acquisition Time*”. Este parâmetro define por quanto tempo a interface se encontrará a efectuar a monitorização do veículo. Quando o tempo acabar esta terminará as comunicações sem auxílio do utilizador. O parâmetro “*Erros Acq Time*” define o intervalo de tempo em que serão visualizados os dados do menu “*Car Data*”. O parâmetro “*Record Time*” especifica com que periodicidade é que os valores médios vão ser armazenados na Base de Dados.

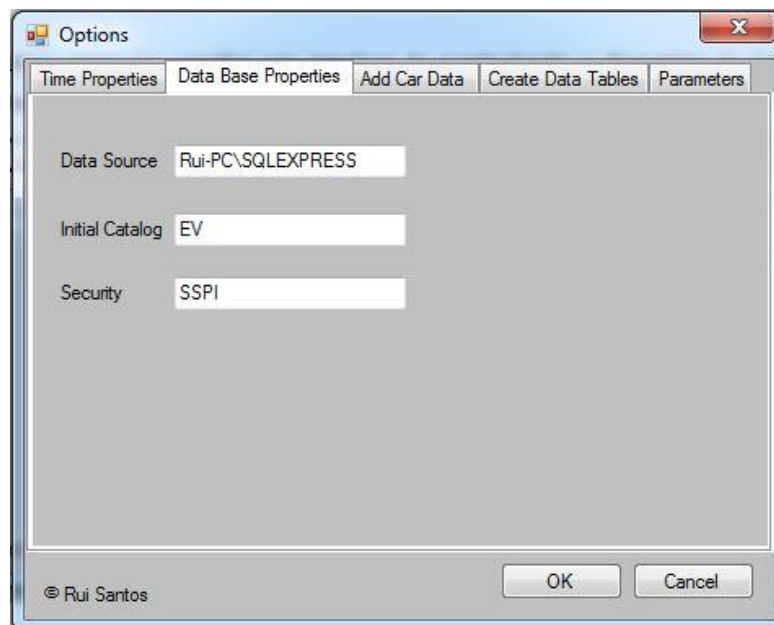


Figura 66 - Menu “Options”, separador “Data Base Properties”

Neste separador podem ser alterados os campos referentes à Base de Dados. Os parâmetros que podem ser alterados são o “*Data Source*” que indica o utilizador, o “*Initial Catalog*” que indica o nome da Base de Dados onde se encontram gravados as tabelas com os dados. O parâmetro “*Security*” indica a *password* a utilizar para aceder à base de dados. Neste caso, SSPI indica que a ligação à base de dados é efectuada através do início de sessão do Windows.

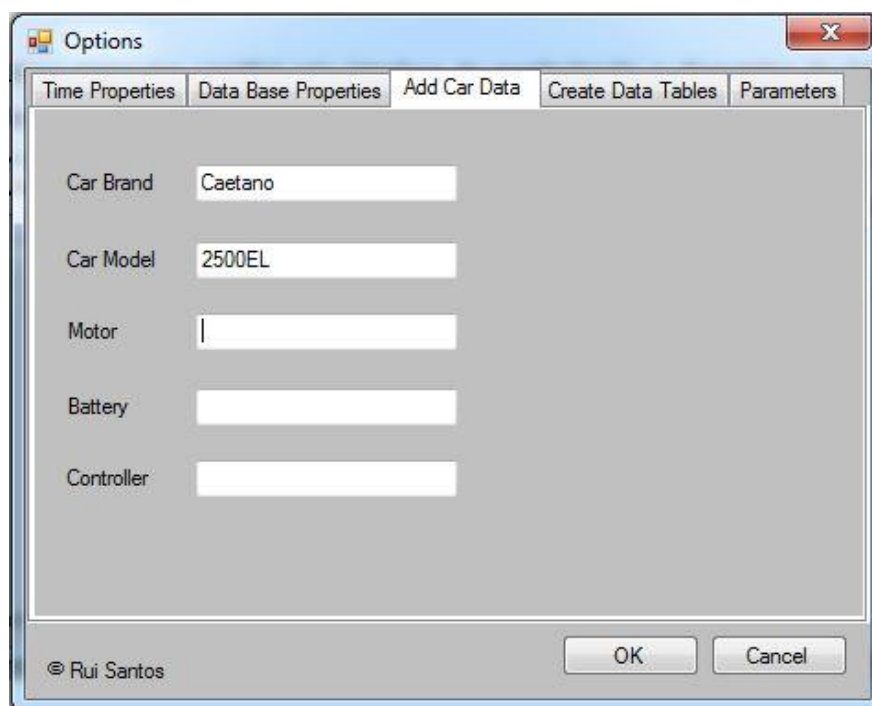


Figura 67 - Menu “Options”, separador “Add Car Data”

Este separador permite a introdução de novos veículos na Base de Dados. No parâmetro “*Car Brand*” introduz-se a marca do veículo, o “*Car Model*” refere-se ao modelo do veículo. Os parâmetros “*Motor*”, “*Battery*” e “*Controller*” indicam o nome do motor, bateria e controlador do veículo, respectivamente.

No separador da Figura 68 todas as tabelas existentes na Base de Dados podem ser apagadas e criadas. Seleccionando o parâmetro “*Clear Tables*” para “*True*” todas as tabelas irão ser apagadas, bem como os dados contidos nelas. Seleccionando o parâmetro “*Create Tables*” para “*True*” todas as tabelas serão recriadas. Caso se tente criar as tabelas, sem estas terem sido apagadas anteriormente, irá surgir uma mensagem de erro. Essa mensagem indicará ao utilizador que as tabelas já existem na Base de Dados.

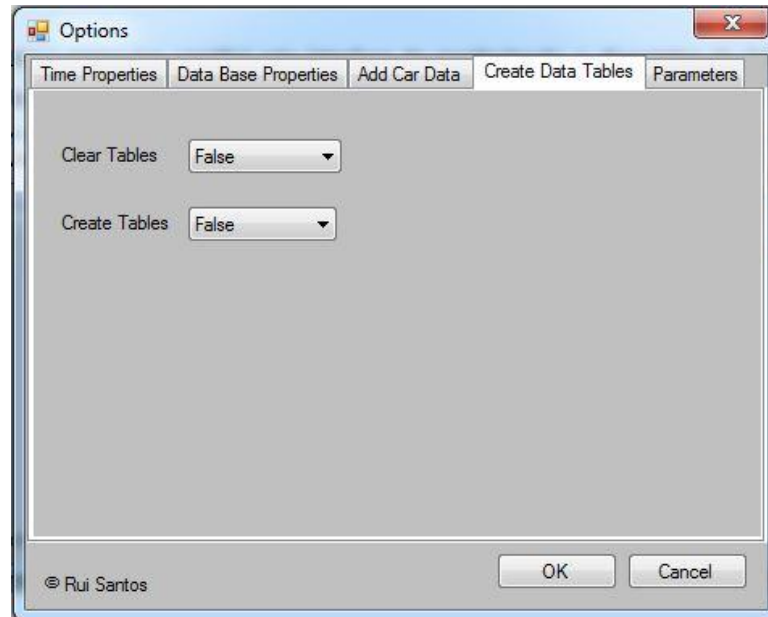


Figura 68 - Menu “Options”, separador “Create Data Tables”

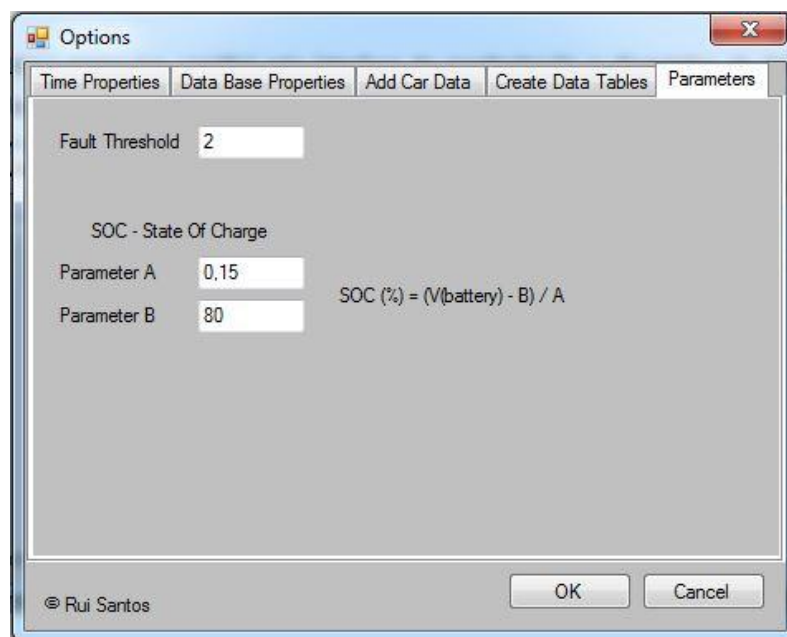


Figura 69 - Menu “Options”, separador “Parameters”

No separador da Figura 69, o parâmetro “*Threshold*” indica o valor do erro utilizado para efectuar o diagnóstico de falhas do veículo. Os parâmetros “*Parameter A*” e “*Parameter B*” indicam os valores referentes à equação do SOC, representada à frente das caixas de texto com os valores actuais.

6.4 - Conclusão

A monitorização do sistema é responsável por informar os utilizadores do programa das condições do veículo. Esta, para além de permitir visualizar diversos parâmetros do veículo, também permite visualizar a ocorrência de falhas.

A interface construída implementa todos os algoritmos e cálculos referidos nos parágrafos anteriores. Esta, para além de permitir monitorizar o veículo e efectuar o seu diagnóstico, também permite visualizar e estudar dados anteriormente adquiridos, dados esses que se encontram guardados numa base de dados.

O objectivo da criação desta *HMI* foi o da criação de ferramenta de uso simples, mas que disponibilizasse todos os dados necessários.

Capítulo 7

Testes ao sistema de Monitorização e Diagnóstico

Neste capítulo será abordado o teste efectuado ao sistema desenvolvido. Os dados utilizados, no teste ao sistema, são provenientes do VEC e enviados através do sistema de telemetria desenvolvido pelo estudante João Queirós. Este teste foi realizado através de uma volta efectuada ao redor do parque da Faculdade de Engenharia.

7.1 - Teste com dados do VEC

Após a introdução dos sensores dentro do veículo puderam-se retirar dados relativos às tensões e correntes, bem como às acelerações a que o veículo se encontra sujeito.

Apesar de não estarem, para já, implementados o envio dos valores das temperaturas do motor, inversor, baterias, dentro do veículo, pneu dianteiro direito e pneu dianteiro esquerdo, bem como da velocidade do veículo e da rotação do motor, o programa, como já referido, encontra-se preparado para efectuar o tratamento desses dados.

Assim, com vista a mostrar o funcionamento de todo o sistema de monitorização, o sistema de telemetria procedeu ao envio de dados fictícios das temperaturas e velocidades já referidas.

Os valores fictícios utilizados foram de 25 °C para a temperatura ambiente e dos pneus dianteiros do veículo. 30 °C, 32 °C e 35 °C foram os valores de temperatura atribuídos às baterias, motor e controlador, respectivamente. Também foram atribuídos os valores de 27 Km/h à velocidade do veículo e o valor de 2500 rpm às rotações do motor. Devido à inexistência de sensor de rotação do motor o valor calculado do binário é também um valor fictício, no entanto, prova que o programa desenvolvido se encontra em perfeito funcionamento.

A figura seguinte ilustra as tensões e correntes no motor, bem como as acelerações a que o veículo se encontrou sujeito.

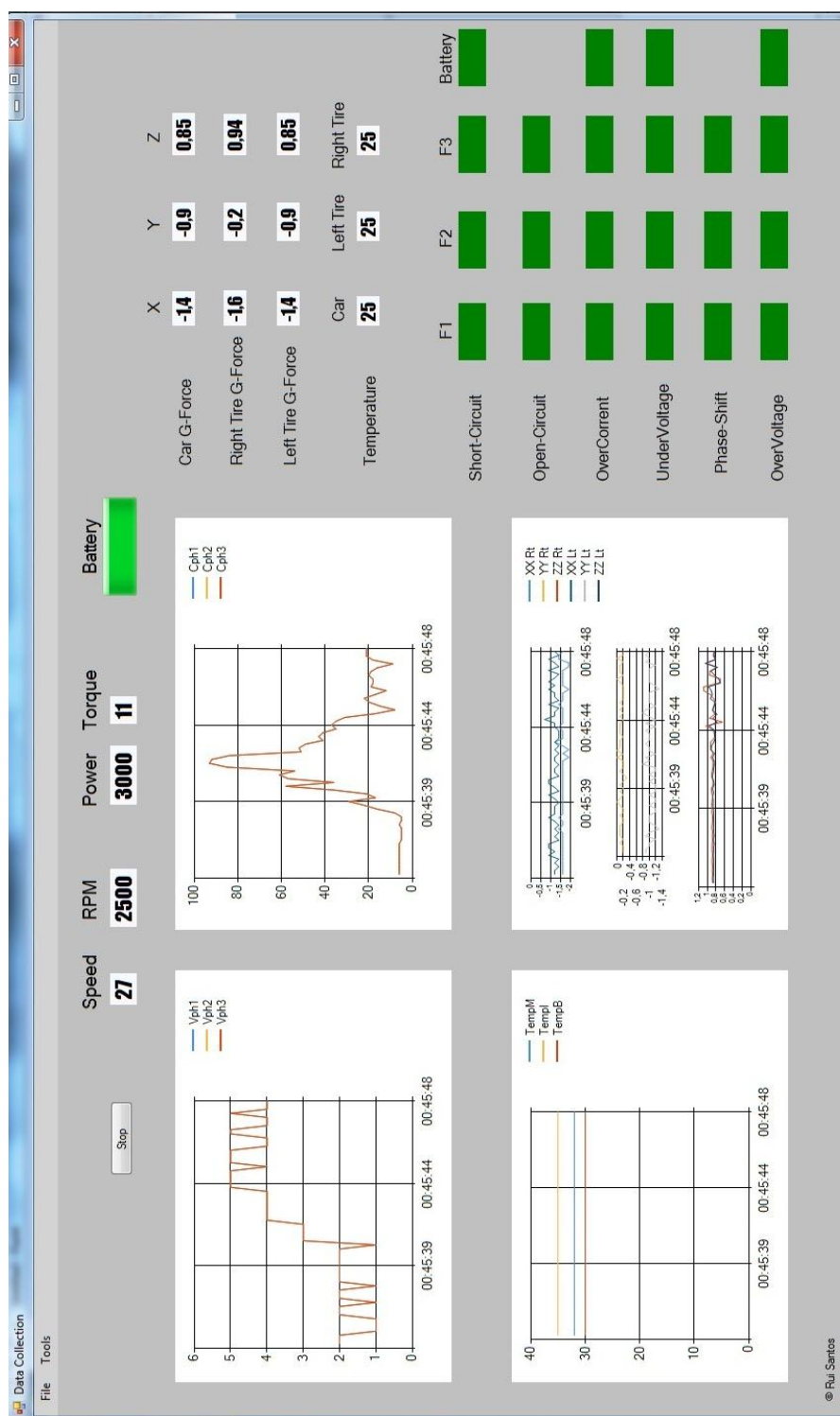


Figura 70 - Valores monitorizados com o VEC parado

Nesta figura pode-se observar que os valores de tensão são baixos, uma vez que o veículo se encontrava parado. No entanto, durante 5 segundos, os valores da corrente aumentaram, devido a uma pequena aceleração realizada para estabilizar o veículo numa rampa.

No canto direito da interface pode-se observar os valores das acelerações a que o veículo se encontrava sujeito. Os valores das forças G, no eixo do ZZ, eram aproximadamente de 0,9 G, valor próximo do 1G, a aceleração gravítica na Terra.

A próxima figura representa os dados gerados durante a aceleração do veículo.

Nesta, pode-se observar um aumento da tensão e da corrente nas fases do motor. Durante o teste realizado a tensão entre fases do motor atingiu o valor de 47V, sendo que a corrente terá atingido valores próximos dos 180A.

Apesar de as forças se encontrarem com valor negativo, sinal de uma desaceleração, na realidade o veículo encontrava-se a acelerar. Este erro aconteceu porque os acelerómetros se encontravam rodados 180° em relação ao eixo positivo dos XX. Assim, pode-se constatar que estes se encontravam a funcionar correctamente durante o ensaio efectuado.

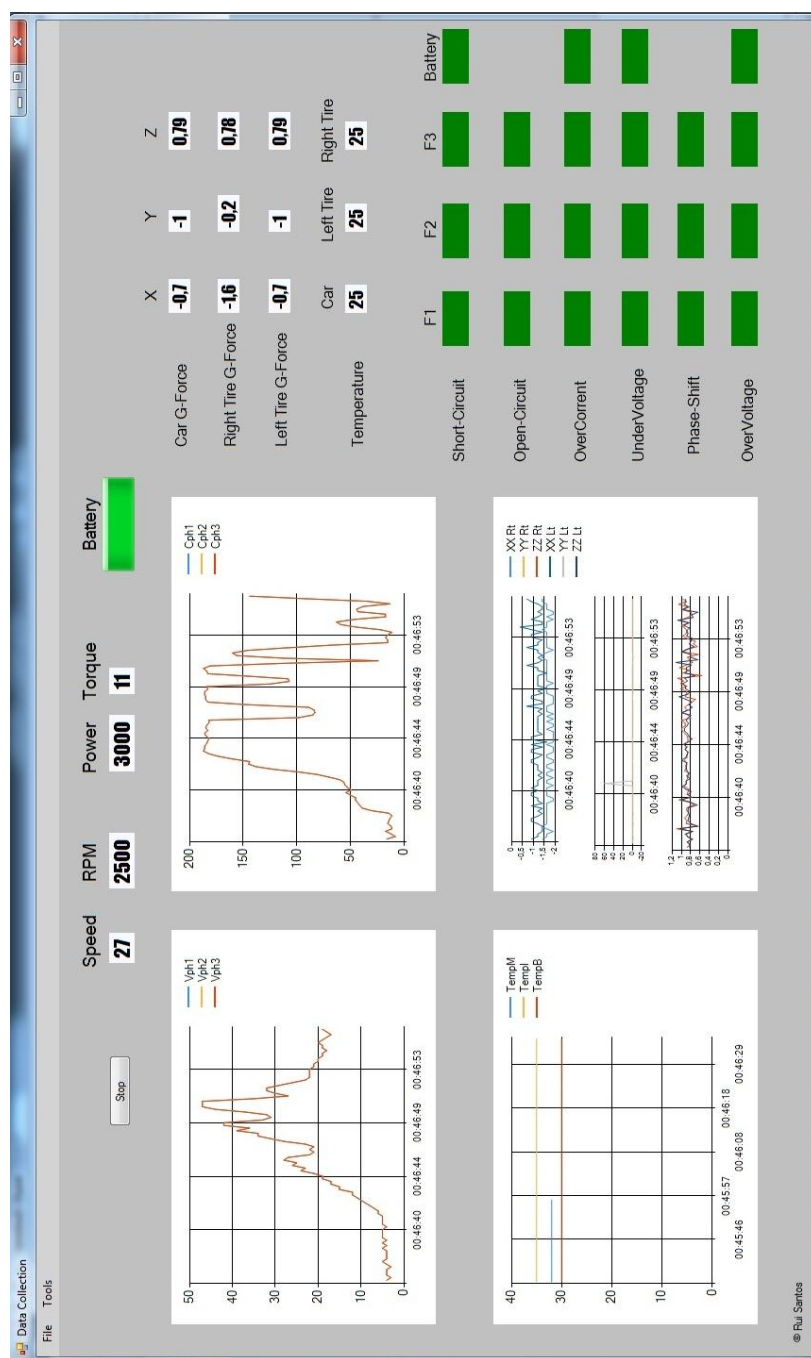


Figura 71 - Valores monitorizados durante o arranque do VEC

A próxima figura representa os dados obtidos no veículo durante o seu percurso.

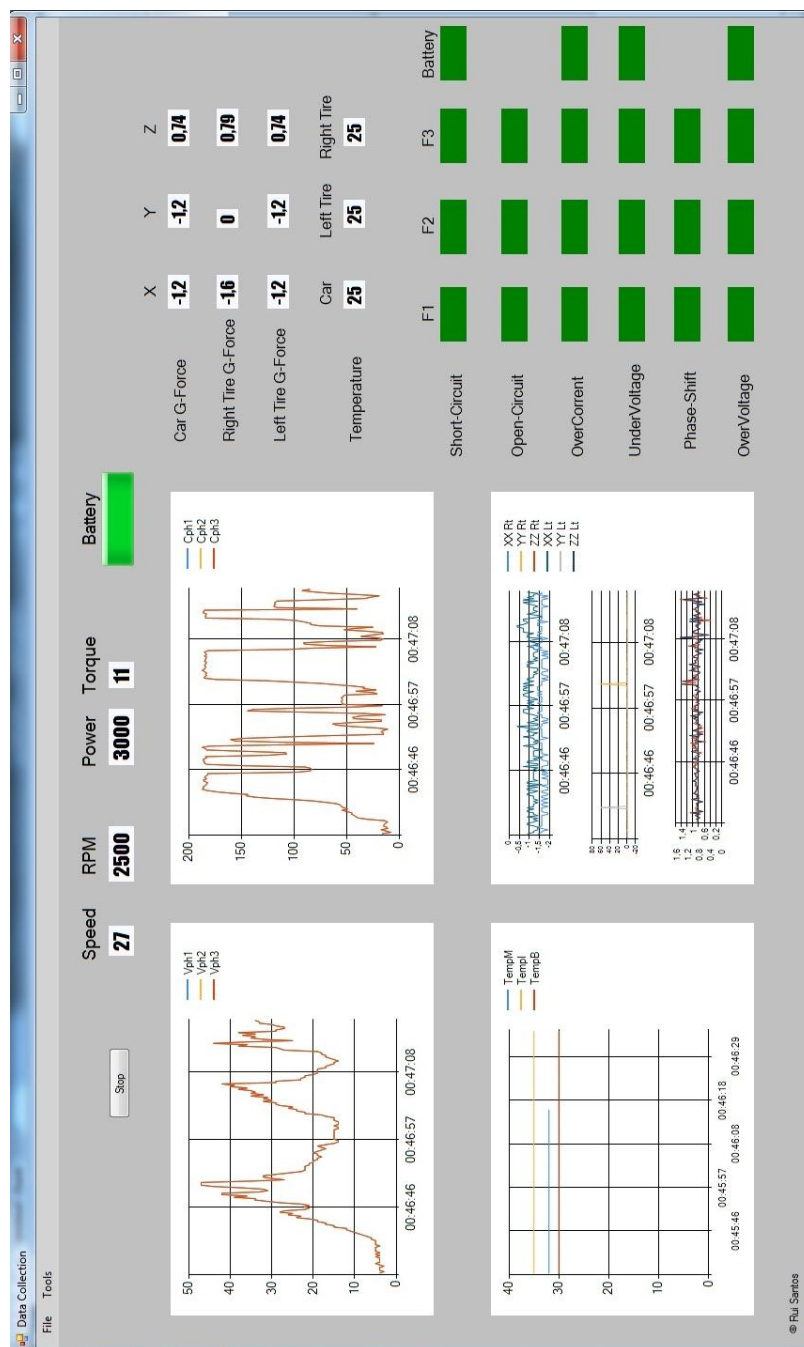


Figura 72 - Valores monitorizados durante o percurso do VEC

Na figura anterior pode-se observar as variações da tensão e da corrente durante o percurso efectuado pelo VEC. Também se pode verificar as variações nas forças suportadas pelo veículo.

A próxima figura representa o VEC a abrandar até parar.

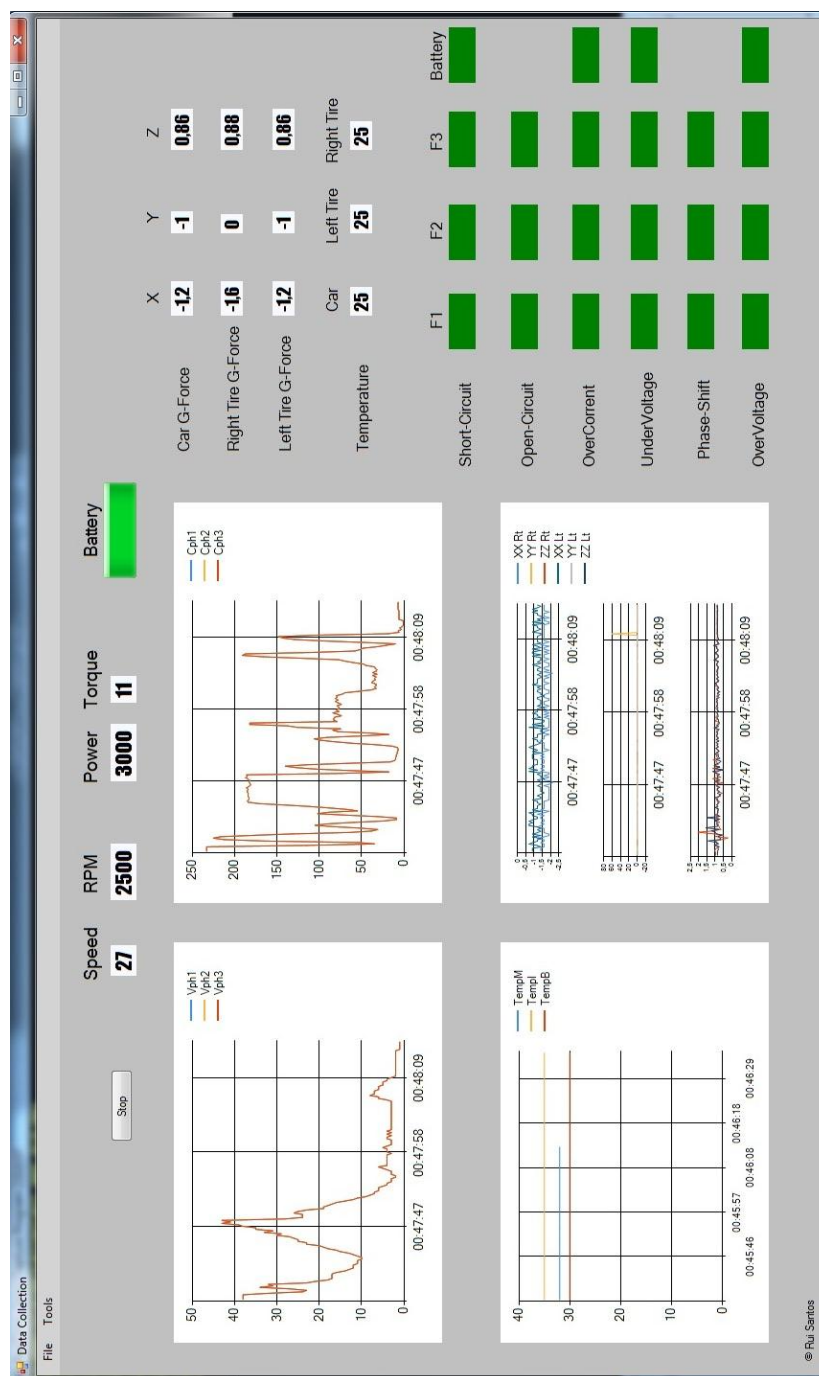


Figura 73 - Valores monitorizados durante a paragem do VEC

Assim, na figura anterior, pode ser observado que a tensão e a corrente decaem, até valores muito próximos de zero. A rápida descida da tensão não é acompanhada pela corrente, isto porque o motor efectua a regeneração, permitindo carregar a bateria. Como os dados adquiridos, da tensão e corrente, são os seus valores eficazes, não é possível obter-se a informação se as correntes são negativas.

Como já referido, é possível visualizar os dados gravados para a base de dados. A figura seguinte ilustra os valores da tensão e correntes nos barramentos referidos.



Figura 74 - Valores das tensões e correntes nos barramentos

Observando-se a figura anterior, pode-se verificar que inicialmente a tensão era muito próxima de zero, uma vez que o veículo se encontrava praticamente parado, tendo depois começando a aumentar até atingir o valor de 47 V. As alterações da tensão são provenientes das sucessivas acelerações e desacelerações decorrentes do percurso efectuado pelo VEC. Durante a paragem do veículo, pode-se observar que a tensão volta para valores baixos.

As mesmas conclusões se podem retirar do gráfico da corrente.

7.2 - Conclusão

Após a realização deste teste pode concluir-se que o sistema de monitorização se encontra a funcionar conforme o esperado. Não foram detectados quaisquer erros durante o teste, por parte do sistema de diagnóstico.

Como os algoritmos utilizados para efectuar a detecção de falhas já foram testados em simulação, pode-se garantir que caso ocorresse um erro este seria detectado. Também é importante referir que provocar algumas das falhas monitorizados poderia levar à destruição do equipamento do VEC.

Capítulo 8

Conclusões

Após a finalização do projecto conclui-se que existem inúmeras possibilidades para efectuar a monitorização e diagnóstico de um veículo eléctrico de competição. A estratégia seguida pelo autor deste trabalho prendeu-se com o desenvolvimento de uma interface que funcionasse em qualquer computador com o Windows como sistema operativo, e possuísse um custo bastante reduzido.

Os testes efectuados com dados aleatórios provaram que o programa desenvolvido é capaz de efectuar todos cálculos e diagnósticos referidos neste documento.

Também os testes efectuados com dados provenientes do VEC provaram que o sistema se encontra a funcionar conforme o esperado.

O *software* utilizado para a elaboração deste projecto pode ser adquirido a custo zero, bem como a base de dados utilizada.

No entanto, este trabalho pode ainda sofrer várias alterações, promovendo assim o seu aperfeiçoamento.

Uma actualização importante para o futuro seria a passagem de todo o cálculo e algoritmos de diagnóstico para um microcontrolador. Assim, libertava-se espaço de processamento no computador e poder-se-ia melhorar o nível de detalhe do diagnóstico.

Outra futura actualização passará pela implementação do modelo de todo o veículo eléctrico de competição num, ou vários, microcontroladores, aumentando assim a precisão do diagnóstico, sem comprometer o processamento dos dados.

A interface deverá migrar para um sistema de monitorização, mostrando apenas os dados já processados pelos microcontroladores.

A interface poderá assim funcionar num ecrã táctil, por exemplo, e permitir a comunicação com outros dispositivos móveis, como é o caso de telemóveis e *tablets PC*.

Bibliografia

- [1]. CVEL. *CVEL*. [Online] [Data do último acesso: 15 de Dezembro de 2010.] http://www.cvel.clemson.edu/auto/AuE835_Projects/callies_project.html.
- [2]. DPD chronology. *IBM*. [Online] [Data do último acesso: 11 de Dezembro de 2010.] http://www-03.ibm.com/ibm/history/exhibits/dpd50/dpd50_chronology.html.
- [3]. Data Converter History. *Analog Devices*. [Online] [Data do último acesso: 10 de Dezembro de 2010.] <http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/39-06/Chapter%201%20Data%20Converter%20History%20F.pdf>.
- [4]. Company History. *National Instruments*. [Online] [Data do último acesso: 15 de Dezembro de 2010.] <http://www.ni.com/company/history.htm>.
- [5]. Data Acquisition. *Data Acquisition*. [Online] [Data do último acesso: 30 de Janeiro de 2011.] http://www.data-acquisition.us/DAQ_1.jpg.
- [6]. *Data Acquisition System for Electric- and Hybrid-Electric Buses*. Mark E. Hairr, Paul Griffith, J. Ronald Bailey, Woodlyn Madden. Stavanger, Norway : World Electric Vehicle Journal, May de 2009, Vol. 3. ISSN 2032-6653.
- [7]. *Data Acquisition System for Optimization of Series Hybrid Propulsion Systems*. Thierry Coosemans, Ricardo Barrero, Jean-Marc Timmermans, Frederik Van Mulders, J. Van Mierlo. Stavanger, Norway : World Electric Vehicle Journal, May de 2009, Vol. 3. ISSN 2032-6653.
- [8]. Copeto, David Rua. *Automotive data acquisition system - FST*. Lisboa : Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [9]. Introduction to Data Acquisition. *National Instruments*. [Online] [Data do último acesso: 29 de Janeiro de 2011.] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3536#toc4>.
- [10]. Hall effect current transducers. *LEM*. [Online] [Data do último acesso: 15 de Dezembro de 2010.] <http://www.lem.com/hq/en/content/view/168/155/>.
- [11]. Products. *LEM*. [Online] [Data do último acesso: 30 de Dezembro de 2010.] <http://www.lem.com/hq/en/content/view/13/86/>.
- [12]. Analog Devices ADXL326. *Analog Devices*. [Online] [Data do último acesso: 30 de Outubro de 2010.] http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL326.pdf.
- [13]. HIGH G ACCELEROMETERS. *Analog Devices*. [Online] [Data do último acesso: 28 de Dezembro de 2010.] <http://www.analog.com/en/mems/high-g-accelerometers/products/index.html>.
- [14]. LOW G ACCELEROMETERS. *Analog Devices*. [Online] [Data do último acesso: 28 de Dezembro de 2010.] <http://www.analog.com/en/mems/low-g-accelerometers/products/index.html>.

- [15]. SENSE TILT. *Analog Devices*. [Online] [Data do último acesso: 30 de Dezembro de 2010.] http://www.analog.com/en/sensors/inertial-sensors/products/overview/over_sense_tilt/fca.html.
- [16]. Analog Devices ADIS16209. *Analog Devices*. [Online] [Data do último acesso: 30 de Outubro de 2010.] http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADIS16209.pdf.
- [17]. Thermocouples - An Introduction. *Omega*. [Online] [Data do último acesso: 28 de Dezembro de 2010.] <http://www.omega.com/prodinfo/thermocouples.html>.
- [18]. Microchip TC77. *Microchip*. [Online] [Data do último acesso: 2 de Dezembro de 2010.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/20092a.pdf>.
- [19]. Digital Temperature Sensors. *Analog Devices*. [Online] [Data do último acesso: 21 de Dezembro de 2010.] <http://www.analog.com/en/sensors/digital-temperature-sensors/products/index.html>.
- [20]. What is GPS? *Garmin*. [Online] [Data do último acesso: 5 de Fevereiro de 2011.] <http://www8.garmin.com/aboutGPS/>.
- [21]. GPS-310FS. [Online] [Data do último acesso: 28 de Outubro de 2010.] <http://www.rfsolutions.co.uk/acatalog/DS-310FS-2.pdf>.
- [22]. How GPS Receivers Work. *HOW stuff works*. [Online] [Data do último acesso: 5 de Dezembro de 2010.] <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/travel/gps1.htm>.
- [23]. NI cDAQ-9188. *National Instruments*. [Online] [Data do último acesso: 30 de Dezembro de 2010.] http://sine.ni.com/gallery/app/ui/page?nodeId=&mTitle=NI%20cDAQ-9188&mGallery=set_cdaq-9188.
- [24]. PIC18F458. *Microchip*. [Online] [Data do último acesso: 30 de Dezembro de 2010.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/41159e.pdf>.
- [25]. dsPIC 33FJ64MC802. *Microchip*. [Online] [Data do último acesso: 18 de Janeiro de 2011.] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/70291E.pdf>.
- [26]. NI cDAQ-9174. *National Instruments*. [Online] [Data do último acesso: 29 de Dezembro de 2010.] <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/207535>.
- [27]. NI 9221. *National Instruments*. [Online] [Data do último acesso: 29 de Dezembro de 2010.] <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/208799>.
- [28]. NI 9225. *National Instruments*. [Online] [Data do último acesso: 29 de Dezembro de 2010.] <http://sine.ni.com/nips/cds/print/p/lang/en/nid/208795>.
- [29]. HBM Somate eDAQ. *HBM*. [Online] [Data do último acesso: 29 de Dezembro de 2010.] <http://www.hbm.com/pt/menu/produtos/electronica-de-medicao/robustos-sistemas-de-aquisicao-de-dados/single/categorie/edaq/product/edaq/backPID/rugged-data-acquisition-systems/>.
- [30]. HBM eDAQ Light. *HBM*. [Online] [Data do último acesso: 27 de Dezembro de 2010.] <http://www.hbm.com/pt/menu/produtos/electronica-de-medicao/robustos-sistemas-de>

aquisicao-de-dados/single/categorie/edaq/product/edaq-lite/backPID/rugged-data-acquisition-systems/.

[31]. GEN 7t/16t. *HBM*. [Online] [Data do último acesso: 27 de Dezembro de 2010.] http://www.disensors.com/downloads/products/GEN7t%20&%20GEN16t%20High%20Speed%20-%20High%20Channel%20Count%20DAQ_368.pdf.

[32]. GEN 5i. *HBM*. [Online] [Data do último acesso: 28 de Dezembro de 2010.] http://www.disensors.com/downloads/products/Genesis%20GEN5i%20Portable%20High%20Speed%20DAQ_367.pdf.

[33]. *EV Energy Storage Monitoring System Based on Distributed Data Acquisition*. LU Rengui, PEI Lei, MA Rui, WEI Jun-lei and ZHU Chun-bo. USA : IEEE, 2009. 978-1-4244-2601-0/09.

[34]. CAN. *Can- CAN in Automation*. [Online] [Data do último acesso: 28 de Janeiro de 2011.] <http://www.can-cia.de/index.php?id=161>.

[35]. USB. *Intel*. [Online] [Data do último acesso: 4 de Dezembro de 2010.] <http://www.intel.com/technology/usb/>.

[36]. GPRS. *Ericsson*. [Online] [Data do último acesso: 29 de Outubro de 2010.] http://www.ericsson.com/ericsson/corpinfo/publications/review/1999_02/files/1999024.pdf.

[37]. MySQL Community Server. *MySQL*. [Online] [Data do último acesso: 2 de Fevereiro de 2011.] <http://dev.mysql.com/downloads/mysql/5.0.html>.

[38]. Microsoft SQL Server 2008 R2 Express. *Microsoft*. [Online] [Data do último acesso: 3 de Fevereiro de 2011.] <http://www.microsoft.com/express/Database/>.

[39]. Lazarus. *Lazarus*. [Online] [Data do último acesso: 4 de Dezembro de 2010.] <http://www.lazarus.freepascal.org/>.

[40]. Microsoft Visual Studio 2010 Express. *Microsoft*. [Online] [Data do último acesso: 3 de Fevereiro de 2011.] <http://www.microsoft.com/visualstudio/en-us/products/2010-editions>.

[41]. WordPress. *WordPress*. [Online] [Data do último acesso: 8 de Fevereiro de 2011.] <http://pt.wordpress.org/>.

[42]. *Cars Direct*. [Online] [Data do último acesso: 4 de Fevereiro de 2011.] <http://pricinginsider.carsdirect.com/2010/11/19/nissan-leaf-fuel-economy-scenarios/>.

[43]. *Multiple Energy Sources Monitoring System*. Marco Silva, João P. Trovão, Paulo Pereirinha, Luís Marques. USA : IEEE, 2008. 978-1-4244-1664-6/08.

[44]. *Design Impact*. [Online] [Data do último acesso: 16 de Dezembro de 2010.] <http://www.design-impact.org/blog/wp-content/uploads/2009/05/pareto2.jpg>.

[45]. Gertler, Janos. *Fault Detection and Diagnosis in Engineering Systems*. 1998. 0824794273.

[46]. algoritmo de falhas. [Online] [Data do último acesso: 3 de Fevereiro de 2011.] http://www.google.pt/imgres?imgurl=http://www.freepatentsonline.com/6636823-0-large.jpg&imgrefurl=http://www.freepatentsonline.com/6636823.html&usg=__GHWH_SQz8E

- 4tY--iwiohszm90ZE=&h=3468&w=2692&sz=711&hl=pt-pt&start=0&sig2=ojjJP51V1WZh3pol4bV_A&zoom=1&tbn.
- [47]. *DSP-Based Sensorless Electric Motor Fault Diagnosis Tools for Electric and Hybrid Electric Vehicle Powertrain Applications*. Bilal Akin, Salih Baris Ozturk, Hamid A. Toliyat, and Mark Rayner. USA : IEEE, 2009. 0018-9545.
- [48]. Rede neuronal. [Online] [Data do último acesso: 29 de Janeiro de 2011.] http://www.google.pt/imgres?imgurl=http://www.instructables.com/files/deriv/FOS/UJ8Y/GC4G8CZS/FOSUJ8YGC4G8CZS.MEDIUM.jpg&imgrefurl=http://www.instructables.com/answers/How-do-I-make-a-neural-network/&usg=__3rbgYO5cdjxwZ8vUTifAhbu9EYw=&h=309&w=500&sz=14&hl.
- [49]. Füssel, Rolf Iserman and Dominik. Supervision, Fault-detection and Fault-diagnosis Methods.
- [50]. sotofilhos. <http://www.sotofilhos.com.br>. [Online] [Data do último acesso: 12 de Maio de 2011.] <http://www.sotofilhos.com.br/biblioteca/Noticias/Causas,%20Danos,%20Queima,%20tipicas%20de%20Falhas%20em%20Enrolamentos%20de%20Motores%20Eletricos%20Trifasicos.html>.
- [51]. Cown, Ed. EC&M. <http://ecmweb.com>. [Online] [Data do último acesso: 10 de Março de 2011.] http://ecmweb.com/design_engineering/electric_highs_lows_motor/.
- [52]. Hybrid-Battery-Repair. www.hybrid-battery-repair.com. [Online] 2011. [Data do último acesso: 14 de Maio de 2011.] <http://www.hybrid-battery-repair.com/hch/index.html>.
- [53]. Vairamohan, Baskar. *State of Charge Estimation for Batteries*. Knoxville : University of Tennessee, 2002.
- [54]. Powertrain. *Car Care*. [Online] [Data do último acesso: 28 de Outubro de 2010.] <http://www.carcare.org/car-care-articles/drivetrain>.
- [55]. 3G. ITU. [Online] [Data do último acesso: 2 de Fevereiro de 2011.] <http://www.itu.int/itu-news/issue/2003/06/thirdgeneration.html>.

Apêndice

1.1 - Definições e principais tecnologias existentes

- **Powertrain** - O Powertrain de um veículo refere-se aos componentes que geram binário e o colocam na superfície da estrada, água ou ar. Este pode incluir o motor, a transmissão, o eixo, o diferencial e o componente que faz contacto com o meio desejado, no caso de um veículo terrestre as jantes e os pneus [54].
- **Sensor** - Um sensor é um instrumento que mede um dado físico e o converte num sinal que possa ser lido por observadores ou equipamentos apropriados.
- **SAD e Data Logger** - A aquisição de dados é um processo de amostragem de sinais físicos/analógicos, sendo estes convertidos em valores digitais que possibilitem a sua interpretação através de um computador. Um SAD é um equipamento capaz de efectuar a aquisição de dados físicos e convertê-los em valores digitais, permitindo o processamento destes a jusante. Um *Data Logger* possui a capacidade de gravar dados durante períodos de tempo estipulados.
- **Microcontrolador (μC)** - componente electrónico que integra um pequeno computador num circuito integrado. Um μC contém um processador, memória RAM e ROM e portas digitais I/O programáveis. Pode permitir a implementação de protocolos de comunicação como CAN, Ethernet, Porta Série, USB e conter conversores de analógico para digital (ADC), entre outros.
- **CAN** - Este protocolo de comunicação foi desenvolvido especialmente para aplicações em veículos. Este visa a integração com microcontroladores, permitindo a comunicação em *Broadcast*. Assim, todas as informações possuem um identificador e cada equipamento apenas lê as informações do seu interesse, descartando as outras [34].
- **GPRS** - Tecnologia que permite a transferência de dados com grandes taxas de velocidade. Encontra-se implementada na tecnologia 2,5G. O GPRS permite taxa de transmissão de dados até 115Kbit/s. Permite a comunicação com a internet. O seu tarifário varia consoante a quantidade de dados transferidos [36].
- **3G** - É a terceira geração da norma para comunicações móveis. Permite o uso de chamadas de voz, internet, videochamadas. O 3G vem na linha de sucessão do 2,5G, que implementa a tecnologia GPRS. No entanto, o 3G permite obter elevadas taxas de transferência de dados, em comparação com o 2,5G. Normalmente o serviço é fornecido com taxas de 5Mbit/s até 10Mbit/s [55].

- **USB** - Tecnologia desenvolvida para permitir a comunicação entre vários dispositivos. Utiliza o princípio de funcionamento *Plug and Play* (ligar e usar). É vulgarmente utilizada para a ligação de dispositivos a um computador. Permite taxas de transmissão na ordem dos 480Mbit/s para a versão USB 2.0. Recentemente foi colocado no mercado dispositivos capaz de suportar a versão USB 3.0, e encontra-se em desenvolvimento o *wireless* USB, ou seja, a possibilidade de utilizar o protocolo de comunicação sem fios. [35].
- **HMI** - Uma HMI é um sistema que permite uma interacção entre pessoas e máquina. A interface deverá ser de fácil utilização, eficiente e agradável de operar.