



INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO
Universidade Técnica de Lisboa

**Banco de Potência Formula Student
*On Board Dyno for Formula Student Car***

João Nuno Andrade Ribeiro

Dissertação para obtenção de Grau de Mestre em **Engenharia
Electrónica**

Presidente: Prof. Doutor João Freire
Orientador: Prof. Doutor Moisés Piedade
Co-Orientador: Prof. Doutor Francisco Alegria
Vogal: Prof. Doutor António Serralheiro

Outubro 2009

Agradecimentos

Gostaria antes de mais, expressar os meus agradecimentos a quem me acompanhou durante este trabalho e durante todo o curso, já que esta tese é o culminar de um longo trajecto.

Ao professores Moisés Piedade e ao professor Francisco Alegria, agradeço a oportunidade de realização desta tese, toda a disponibilidade, ajuda e empenho durante o tempo de realização da mesma.

À minha família, com especial atenção para os meus pais, agradeço bastante o apoio incondicional em todos os momentos do curso e em especial durante este trabalho no qual foram incansáveis no apoio e na atenção que me prestaram.

Aos meus colegas de curso e amigos agradeço a amizade e companheirismo que me deram força para concretizar este percurso académico.

Um muito obrigado a todos.

João Nuno Andrade Ribeiro
Lisboa, Portugal
Outubro 2009

Resumo

A Formula Student teve início em 1998 no Reino Unido e foi criada pelo IMechE (Institution of Mechanical Engineers) e pela SAE. É uma competição entre universidades a nível mundial e pretende incentivar, junto dos jovens estudantes, a concepção e desenvolvimento de um monolugar de competição que anualmente é posto à prova perante juizes em provas dinâmicas como testes de aceleração e endurance, bem como provas estáticas de design e custo do processo de fabrico. O Projecto FST foi criado em 2001 por um grupo de alunos do Instituto Superior Técnico com o intuito de projectar e construir um protótipo para participar nas competições da Formula Student. O trabalho que é de seguida apresentada tem o objectivo de implementar um sistema electrónico de medição de vários parâmetros que permitam a caracterização do desempenho do monolugar da equipa Formula Student Técnico. Tendo como base o modulo CAN_PIC FST e uma série de sensores aplicados no monolugar, pretende-se apresentar um gráfico de potência e binário referente às rotações geradas pelo motor do veículo. Pretende-se assim, com o decorrer deste trabalho que seja possível demonstrar a viabilidade de um sistema electrónico capaz de efectuar a leitura de vários parâmetros essenciais para o aperfeiçoamento do desempenho do monolugar da equipa.

Palavras chave

Micro controlador, potência, binário, aceleração, automóvel.

Abstract

The Formula Student has its beginning on 1998 in the United Kingdom and it was formed by the IMechE (*Institution of Mechanical Engineers*) and by the SAE. It is a global competition between universities that desires to stimulate, near the young students, to build and develop a small single seater racing car that annually is presented to a judges in a dynamic events, like acceleration tests and endurance, and also static events like design and cost of the process of building it. The Projecto FST was formed on 2001 with a group of Instituto Superior Técnico students that aim to design and build a prototype to race in the Formula Student. The thesis next presented intends to build an electronic system that acquires a number of parameters that allow to show the performance of the Formula Student Técnico racing car. Having CAN_PIS FST by base and a number of sensors applied to the racing car, it pretends to show a chart of the power and torque refereeing to the rotations of the engine. This project aims to show the practicality of an electronic system that is able to read a number of essential parameters for the development of the racing car of the FST team.

Keyword

Micro controller, power, torque, acceleration, automobile.

Lista de abreviaturas

FST - *Formula Student Técnico*

PDA - *Personal Digital Assistant*

uC - *Micro controlador*

Cartão de memória SD - *Secure Digital*

LCD - *Liquid Crystal Display*

CAN - *Controller–Area Network*

AD - *Analógico Digital*

SPI - *Serial Peripheral Interface*

I₂C - *Inter-Integrated Circuit*

MEMS - *Micro Electromechanical Systems*

CRC - *Cyclic Redundancy Check*

FAT32 - *File Allocation Table*

LED - *Light-Emitting Diode*

EEPROM - *Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory*

UART - *Universal Asynchronous Receiver/Transmitter*

USB - *Universal Serial Bus*

Índice

| | |
|--|------------|
| Agradecimentos | i |
| Resumo | iii |
| <i>Abstract</i> | v |
| Lista de abreviaturas | vii |
| Lista de Figuras | xii |
| Lista de tabelas | xiv |
| 1 - Introdução | 1 |
| <i>1.1 - Motivação</i> | 1 |
| <i>1.2 - Objectivos</i> | 1 |
| <i>1.3 - Estado da arte</i> | 2 |
| 2 - Fundamentos teórico do banco de potência | 3 |
| <i>2.1 - Introdução</i> | 3 |
| <i>2.2 - Força resultante</i> | 3 |
| <i>2.3 - Força gravítica</i> | 4 |
| <i>2.4 - Força de resistência aerodinâmica</i> | 5 |
| <i>2.4.1 - Densidade do ar</i> | 5 |
| <i>2.4.2 - Coeficiente de arrastamento aerodinâmico</i> | 7 |
| <i>2.5 - Força de resistência ao rolamento</i> | 7 |
| <i>2.6 - Força do motor</i> | 8 |
| <i>2.7 - Potência do motor</i> | 9 |
| <i>2.8 - Binário do motor</i> | 10 |
| 3 - Arquitectura do sistema | 13 |
| <i>3.1 - Introdução</i> | 13 |
| <i>3.2 - Acelerómetro</i> | 14 |
| <i>3.2.1 - Acelerómetro ADXL330</i> | 14 |
| <i>3.2.2 - Acelerómetro MMA7455L</i> | 17 |
| <i>3.3 - Sensor de humidade e temperatura</i> | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 3.4 - Sensor de pressão | 23 |
| 3.5 - Cartão de memória SD | 24 |
| 3.6 - Rotações do motor | 27 |
| 3.7 - Velocidade do veículo | 28 |
| 4- Resultados obtidos | 31 |
| 4.1 -Introdução | 31 |
| 4.2 - Resultados obtidos pela estação meteorológica | 31 |
| 4.3 - Resultados obtidos pelo sensor de aceleração | 32 |
| 4.3.1 - Resultados de desaceleração | 33 |
| 4.3.2 - Resultados de aceleração lateral | 34 |
| 4.4 - Resultados do teste 0 aos 100 km/h | 36 |
| 4.5 - Resultados de Potência e Binário | 37 |
| 5 - Identificação do veículo de testes | 39 |
| 5.1 - Introdução | 39 |
| 5.2 - Massa do veículo de testes | 39 |
| 5.3 - Potência e Binário do veículo de testes | 41 |
| 5.4 - Área frontal do veículo de testes | 43 |
| 5.5 - Coeficiente de arrastamento e coeficiente de atrito de rolamento | 44 |
| 6 - Arquitectura do Software | 47 |
| 6.1 - Introdução | 47 |
| 6.2 - Corpo principal do programa | 47 |
| 6.3 - Interrupções ao programa principal | 50 |
| 6.4 - Ecrã de CAN | 51 |
| 7 - Hardware utilizado | 53 |
| 7.1 - Introdução | 53 |
| 7.2 - Módulo CAN_PIC FST | 53 |
| 7.3 - Módulo periférico | 53 |
| 7.4 - Módulo CAN USB | 54 |
| 7.5 - Módulo LCD CAN | 54 |

| | |
|------------------------|-----------|
| 8 - Conclusões | 55 |
| 9 - Referências | 57 |
| 10 - Anexos | 59 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 2.2.1 : Diagrama de forças aplicadas ao veículo de massa m | 3 |
| Figura 2.3.1 : Diagrama de acelerações aplicadas ao veículo | 4 |
| Figura 2.8.1 : Forças tangenciais aplicadas às rodas de raio r | 10 |
| Figura 3.1.1 : Diagrama sucinto do trabalho implementado | 13 |
| Figura 3.2.1 : Plataforma de desenvolvimento <i>sparkfun.com</i> | 15 |
| Figura 3.2.2 : Esquema da posição do sensor no ensaio 1 e ensaio 2 | 19 |
| Figura 3.2.3 : Diagrama de blocos referente à inclinação e aquisição de um valor de aceleração | 18 |
| Figura 3.2.4 : Leitura do eixo X de um acelerómetro ao longo de uma inclinação progressiva de -90° aos 90° . Adaptado de [13] | 19 |
| Figura 3.2.5 : Estrutura interna de um acelerómetro MEMS. Adaptado de [14] | 20 |
| Figura 3.3.1 : <i>Start</i> específico da comunicação I ² C do sensor SHT11. Adaptado de [7] | 21 |
| Figura 3.3.2 : <i>Start</i> genuíno I ² C. Adaptado de [7] | 21 |
| Figura 3.3.3 : Diagrama de blocos referente à aquisição de um valor de temperatura | 22 |
| Figura 3.4.1 : Gráfico de pressão pelo nível de tensão de saída. Adaptado de [8] | 24 |
| Figura 3.5.1 : Gama disponível de cartões de memória SD | 25 |
| Figura 3.5.2 : Início de comunicação de qualquer pedido ao cartão de memória SD | 26 |
| Figura 3.6.1 : Sensor magnético | 27 |
| Figura 3.6.2 : Volante do motor de um <i>Mercedes-Benz</i> 190D 2000 cm ³ | 27 |
| Figura 3.6.3 : Sinal adquirido com o motor ao ralenti | 28 |
| Figura 3.7.1 : Esquema representativo do modo como é adquirido a rotação da transmissão mecânica do velocímetro | 29 |
| Figura 4.3.1 : Gráfico representativo dos valores de desaceleração obtidos numa travagem | 33 |
| Figura 4.3.2 : Gráfico representativo dos valores de aceleração lateral | 35 |
| Figura 4.5.1 : Gráfico representativo da potência do veículo | 38 |
| Figura 4.5.2 : Gráfico representativo do binário do veículo | 38 |
| Figura 5.2.1 : Fotografia do veículo de testes sobre a balança de pesagem | 40 |
| Figura 5.2.2 : Talão de pesagem referente ao veículo de testes | 40 |
| Figura 5.3.1 : Ponto de contacto entre veículo e dinamómetro | 41 |
| Figura 5.3.2 : Disposição do veículo no dinamómetro | 42 |
| Figura 5.3.3 : Gráfico de potência e binário adquiridos no dinamómetro | 42 |
| Figura 5.4.1 : Área frontal do veículo de testes | 44 |
| Figura 6.2.1 : Diagrama de blocos referentes à arquitectura do programa principal | 47 |
| Figura 6.4.1 : Ecrã CAN BUS com valores exemplo | 52 |
| Figura 7.3.1 : Fotografia ao módulo Banco de Potência | 53 |
| Figura 10.1 : Modo de encaixe entre a placa de circuito impresso do módulo CAN_PIC FST (baixo) e módulo Banco de Potência (cima) | 61 |
| Figura 10.2 : Placa de circuito impresso do módulo CAN_PIC FST (direita) e do módulo Banco de Potência (esquerda) | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 10.3 : Placa de circuito impresso do modulo CAN USB | 62 |
| Figura 10.4 : Placa de circuito impresso do modulo LCD CAN | 62 |
| Figura 10.5 : Esquema eléctrico da placa de circuito impresso do modulo Banco de Potência | 63 |
| Figura 10.6 : Esquema eléctrico da placa de circuito impresso do modulo CAN_PIC FST | 64 |
| Figura 10.7 : Esquema eléctrico da placa de circuito impresso do modulo CAN USB | 65 |
| Figura 10.8 : Esquema eléctrico da placa de circuito impresso do modulo LCD CAN | 66 |

Lista de tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 2.5.1 : Valores aproximados do coeficiente de rolamento típico de cada pavimento | 7 |
| Tabela 2.6.1 : Intervalo de valores típicos do rendimento das transmissões motor/rodas | 8 |
| Tabela 5.1.1 : Sistema de aquisição e respectivos parâmetros | 14 |
| Tabela 3.1.2 : Dispositivos e respectivas funções | 14 |
| Tabela 3.2.1 : Resultados obtidos no Ensaio 1, sensor perpendicular à força gravítica | 15 |
| Tabela 3.2.2 : Resultados obtidos no Ensaio 2, sensor paralelo à força gravítica | 16 |
| Tabela 3.2.3 : Resultados obtidos no Ensaio 3, sensor com inclinação de 45° em relação à horizontal | 16 |
| Tabela 3.2.4 : Principais características dos acelerómetros ADXL330 e MMA7455L | 17 |
| Tabela 3.2.5 : Relação entre angulo adquirido no eixo X e angulo adquirido no eixo Z num varrimento de 0° a 14° | 21 |
| Tabela 3.3.1 : Coeficientes de compensação de linearidade | 22 |
| Tabela 3.3.2 : Parâmetros para o cálculo do ponto de orvalho | 23 |
| Tabela 4.2.1 : Valores obtidos pela estação meteorológica modelo e estação meteorológica deste trabalho | 32 |
| Tabela 4.3.1 : Valores obtidos no teste de travagem | 34 |
| Tabela 4.3.2 : Valores obtidos no teste de aceleração lateral | 36 |
| Tabela 4.4.1 : Valores obtidos no teste de aceleração 0 aos 100 km/h | 37 |
| Tabela 5.3.1 : Dados obtidos no dinamómetro | 43 |
| Tabela 5.3.2 : Comparativo entre os valores de potência e binário do dinamómetro VAMAG e do sistema realizado neste trabalho | 43 |
| Tabela 5.5.1 : Resultados dos ensaios relativos à determinação dos coeficientes de arrastamento e de rolamento | 44 |
| Tabela 5.5.2 : Principais dados do veículo de testes | 45 |
| Tabela 6.2.1 : Organização do ficheiro BPot0.txt | 49 |

1 - Introdução

1.1 - Motivação

Sendo a equipa FST uma equipa de desporto motorizado, esta tem como objectivo o aumento do desempenho do seu veículo por meio de afinações ou introdução de novos componentes. Como tal, é de elevada importância um sistema que permita de forma fiável e rápida caracterizar o desempenho do mesmo de forma a despistar uma eventual anomalia, bem como avaliar a eficácia de qualquer nova afinação levada a cabo.

Na maioria dos casos a caracterização do desempenho de um automóvel é feito num banco de ensaios estático, onde o veículo é introduzido numa plataforma com as rodas motrizes em contacto com um rolo de inércia. Este serviço é normalmente dispendioso e como tal é efectuado em oficinas próprias, não sendo acessível a uma equipa de base universitária ter o seu próprio banco de ensaios. Com a realização deste trabalho é pretendido elaborar um sistema que permita à equipa não estar dependente de oficinas especializadas podendo, à medida que efectua um teste na pista, adquirir uma serie de parâmetros fundamentais para a caracterização do desempenho do monolugar.

1.2 - Objectivos

O objectivo deste trabalho é produzir um banco de ensaios para o monolugar da equipa FST.

Com a realização deste projecto a equipa FST terá à sua disposição um sistema electrónico capaz de efectuar as seguintes opções:

- Medir a aceleração e velocidade do veículo;
- Medir o número de rotações por minuto do veículo;
- Calcular o binário e a potência do motor;
- Estimar acelerações;
- Calcular o intervalo de tempo entre os 0 e os 100 km/h;
- Aferir sobre o desempenho de viragem e travagem;
- Calcular o coeficiente de atrito aerodinâmico;
- Calcular o coeficiente de atrito de rolamento;
- Implementar uma interface que permita ao utilizador ler e controlar o sistema de aquisição.

Pretende-se utilizar o módulo de processador CAN_PIC FST para a realização deste trabalho. Este módulo é usado dado que dispõe de um uC *Microchip* dspic30f6012a [5] com especificações suficientes para a realização pretendida, bem como um regulador de tensão DC-DC, que converte a tensão da bateria do veículo para o valor de tensão de alimentação do uC. Como produto final será montada uma placa de circuito impresso com o circuito do módulo e respectivos componentes requeridos para a realização das funções propostas.

O sistema tem como objectivo adquirir e armazenar os dados, de modo a que no fim do teste seja permitido ao utilizador ponderar sobre o desempenho do veículo. Este sistema pode ainda ser integrado com o modulo VolanteFST e com o modulo Telemetria, projectos desenvolvidos na equipa FST.

1.3 - Estado da arte

Embora este tipo de banco de ensaios já tenha sido feito e com sucesso em outros trabalhos finais de curso [10] [11], este nunca foi aplicado no monolugar da equipa Formula Student Técnico.

No trabalho [10] os alunos finalistas elaboraram um trabalho possível de aplicar em qualquer veículo motorizado. Este trabalho tinha como objectivo a aquisição de dados referentes à prestação de um automóvel, tais como: potência, binário e acelerações longitudinais.

No trabalho [11] os alunos projectaram um sistema de monitorização de potência, binário, rotações, velocidade, aceleração e consumo médio de combustível, com interface através de um computador de bolso (PDA). Este sistema possibilitava a cada utilizador fazer o *download* dos dados adquiridos pelo sistema de aquisição *on board*, pelo PDA, permitindo de uma forma fácil ao utilizador do sistema visualizar os parâmetros do veículo.

A alternativa a este sistema on board são os bancos de ensaio estáticos, ou dinamómetros estáticos, cuja análise ao veículo em teste, tem como resultado dois gráficos de potência e binário, tal como o sistema apresentado. O banco de ensaios estático tem como forma de aquisição de dados um volante de inércia de grandes dimensões ligado às rodas motrizes do veículo em teste, sendo necessário que este esteja num sistema próprio em que o veículo tem que estar numa plataforma projectada para o efeito. Ao passo que o sistema apresentado nesta dissertação, tem como objectivo simplificar a aquisição das prestações do veículo, permitindo este ser feito quando o veículo se desloca e sem ter necessidade, de uma forma invasiva, fazer a leitura dos parâmetros do veículo, como é feito no banco de ensaios estático.

Sendo a Formula Student uma competição, é natural que exista dificuldade das equipas adversárias saberem ao certo que sistemas são usados pelas equipas adversárias. Como tal é de extrema dificuldade saber se as restantes equipas usam um sistema semelhante ao proposto nesta dissertação. No entanto, é sabido que existe equipas a usar complexos sistemas de telemetria, que permitem a aquisição de vários parâmetros do veículo quando este está em pista. Estando este projecto inteiramente ligado à avaliação do estado do veículo e suas prestações é de elevada probabilidade que existam equipas com este sistema ou parecido.

Comercialmente existe a empresa Vericom e Teslaelectronics que de uma forma semelhante a este projecto projectam sistema destinados à leitura do desempenho de um veículo automóvel.

2 - Fundamentos teórico do banco de potência

2.1 - Introdução

Para uma melhor compreensão da metodologia que será utilizada neste trabalho, é apresentado em seguida um breve apontamento teórico, enumerando alguns princípios físicos que possibilitam realizar os objectivos do trabalho, bem como a forma como estes serão aplicados.

2.2 - Força resultante

Com o objectivo de adquirir os valores de potência e binário do veículo é necessário adquirir a força que o motor está a exercer em determinado momento. Para tal são consideradas as forças aplicadas ao veículo em andamento sobre uma plataforma com uma inclinação α em relação à horizontal.

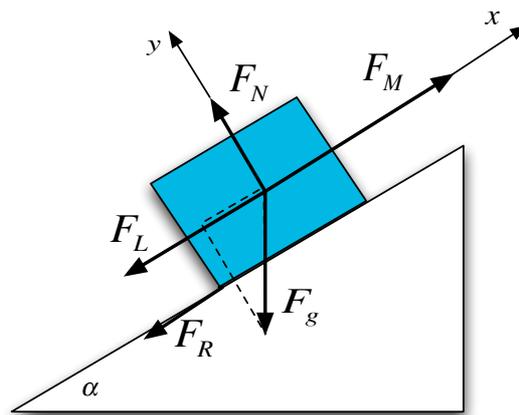


Figura 2.2.1 - Diagrama de forças aplicadas ao veículo de massa m

Pela análise da figura 2.2.1 podemos obter a equação (2.1) da força resultante aplicada ao veículo de massa m (Lei de Newton).

$$ma = F_M - (F_L + F_R + F_{gx}) \quad (2.1)$$

Na equação (2.1) as forças contabilizadas são:

F_L - Força de resistência aerodinâmica;

F_M - Força motriz aplicada nas rodas;

F_g - Força gravítica ;

F_R - Força de resistência ao rolamento;

F_N - Força normal à pista

O resultado da equação (2.1) é a força útil aplicada ao veículo, que consiste na força aplicada pelo motor subtraída do somatório das forças resistentes ao movimento, tais como:

- Força de resistência aerodinâmica, provocada pelo atrito da silhueta do veículo;
- Força de resistência ao rolamento, provocada pelo tipo de piso e pneus do veículo;
- Força gravítica oposta ao movimento.

2.3 - Força gravítica

A força gravítica depende da massa (m) do veículo bem como da aceleração da gravidade (g). Para o objectivo deste trabalho é relevante a componente desta força no eixo do movimento do veículo (F_{gx}), dependendo assim da inclinação do plano relativo à horizontal (α). Esta força é representada pela equação seguinte (2.2):

$$F_{gx} = mg \sin(\alpha) \quad (2.2)$$

Para o cálculo da inclinação da via é utilizado a componente vertical da aceleração (a_z) da seguinte forma:

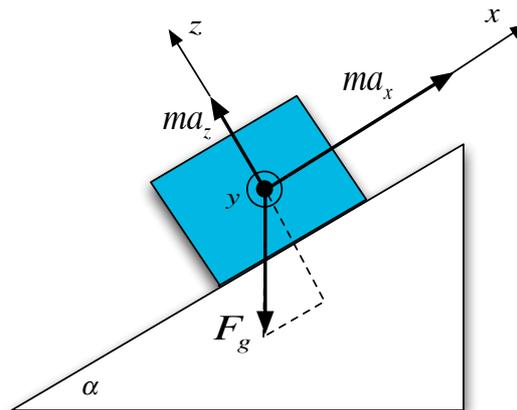


Figura 2.3.1 - Diagrama de acelerações aplicadas ao veículo

Pela Figura 2.3.1 é possível decompor a componente da força gravítica no eixo vertical, denominado como eixo z. Sabendo que no eixo z a componente da força normal (F_N) é igual à decomposição da força gravítica no eixo z, então a inclinação da via (α) é representada pela seguinte expressão.

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a_z}{g}\right) \quad (2.3)$$

Tanto a aceleração do veículo no eixo do movimento (eixo x) como a inclinação da via, são obtidos por meio de um acelerómetro de 3 eixos.

2.4 - Força de resistência aerodinâmica

A força de resistência aerodinâmica prende-se com a fisionomia do veículo e o impedimento que esta representa no deslocamento do mesmo. Esta força depende do coeficiente de arrastamento medido segundo a direcção do movimento (C_x), da área frontal do veículo (A), da velocidade do veículo (v), da velocidade do vento (v_0) e da densidade do ar (ρ) [1]. Esta força é representada pela equação seguinte (2.4):

$$F_L = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot C_x \cdot (v + v_0)^2 \quad (2.4)$$

A Partir de (2.4) verifica-se que a velocidade do veículo bem como a velocidade do vento segundo a direcção contrária à do movimento têm grande relevância nesta componente resistiva. A velocidade do veículo é adquirida por meio de um sensor de velocidade já existente no monolugar FST. A velocidade do vento na direcção relativa ao deslocamento será deixada de parte neste trabalho, podendo inclusivamente ser um dado introduzido pelo utilizador como um valor constante lido por um sensor anemómetro na pista .

2.4.1 - Densidade do ar

É de fácil percepção a importância da densidade do ar na equação da força de atrito aerodinâmico, pois quanto mais denso for o ar que rodeia o veículo mais difícil será a sua passagem por ele. O valor da densidade do ar é obtido da seguinte forma:

A densidade de uma porção de gás prende-se com a quantidade de moles desse gás compreendidas num determinado volume [2]. Quanto maior for o numero de moléculas presentes numa caixa de volume V maior a densidade do gás presente nessa caixa.

$$\rho = \frac{n}{V} \quad (4.5)$$

Pela equação dos gases perfeitos (2.6) retira-se que a pressão absoluta (P) de um gás ideal é proporcional à temperatura (T) em graus Kelvin e ao número de moles (n) e inversamente proporcional ao volume (V) [1].

$$PV = nRT \quad (2.6)$$

Com a equação (2.5) dos gases perfeitos e a noção de densidade (2.5), podemos aferir sobre a densidade, substituindo o número de moles n por $n = \rho V$ deste modo temos (2.7):

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (2.7)$$

Esta seria uma forma expedita de calcular a densidade do ar. No entanto, esta equação somente se aplica a ambientes sem humidade, o que não se verifica em condições reais [3]. A presença de humidade no ar representa a quantidade de vapor de água no ar, sendo que quando mais húmido for a composição do ar menos denso este será [3].

Como tal para calcular a densidade do ar em condições reais considera-se a seguinte equação (2.8):

$$\rho = \frac{P_d}{R_d \cdot T} + \frac{P_v}{R_v \cdot T} \quad (2.8)$$

Sendo P_d e P_v a pressão em ambiente seco e a pressão de vapor de água, respectivamente. R_v representa a constante de valor de água (461,5) e P_d representa a constante de ar seco (287,1)

Sabe-se que a humidade relativa é a relação entre a pressão de vapor e a saturação de pressão de vapor. A pressão de vapor é a fracção da pressão ambiente relativa à pressão de vapor de água e a saturação de pressão de vapor é a pressão máxima de vapor que determinado volume de ar atinge a determinada temperatura. A seguinte equação representa a relação descrita anteriormente:

$$RH = \frac{P_v(T)}{P_{v,sat}(T)} \quad (2.9)$$

Para o cálculo da pressão de vapor de água é conveniente usar o valor de ponto de orvalho (*dew point*) em vez do valor de humidade relativa, uma vez que este é fortemente afectado pela temperatura ambiente (T), podendo assim a pressão de vapor de água variar bastante a cada mudança de temperatura ambiente. Para suplantar estes desvios é usada a temperatura de ponto de orvalho. O ponto de orvalho é a temperatura à qual, a dada pressão atmosférica ocorre a condensação [3].

Da equação (2.10) retira-se a pressão do vapor de água, sendo T_d a temperatura de ponto de orvalho:

$$P_v = 6,1078 \cdot 10^{\frac{7,5 \cdot T_d}{237,3 + T_d}} \quad (2.10)$$

Da pressão do ar sabe-se ainda que é igual à pressão de vapor de água somado à pressão de ar seco.

$$P = P_{seco} + P_v \quad (2.11)$$

Pela equação (2.11) consegue-se saber o valor da pressão de ar seco, com este valor e com o valor de pressão de vapor de água consegue-se aferir o valor da densidade do ar pela equação (2.8) anteriormente mencionada.

Com esta breve explicação consegue-se saber o valor da densidade do ar, necessitando somente de saber o valor da pressão atmosférica, da humidade relativa e da temperatura que são obtidos através de dois sensores.

2.4.2 - Coeficiente de arrastamento aerodinâmico

Para o cálculo do valor do coeficiente de arrastamento (C_x) recorre-se ao método utilizado no manual [1] com a seguinte equação (2.12).

$$C_x = \frac{6m(a_1 - a_2)}{A(v_1^2 + v_2^2)} \quad (2.12)$$

Sendo A a área frontal do veículo e m a massa do mesmo, v_1 e v_2 são as velocidades médias de dois ensaios enquanto que a_1 e a_2 são as acelerações do respectivo ensaio. O primeiro destes consiste em deixar deslizar o veículo em ponto morto numa superfície plana numa velocidade compreendida entre os 80 km/h e os 60 km/h, onde o efeito de atrito aerodinâmico é notório. O segundo ensaio é realizado da mesma forma mas agora para velocidades compreendidas entre os 30 km/h e os 10 km/h onde o efeito de atrito aerodinâmico se pode considerar desprezável [1].

2.5 - Força de resistência ao rolamento

Esta força contrária ao movimento é resultante do atrito do pneu do veículo com a superfície de deslocamento. A força de resistência ao rolamento depende da massa do veículo (m), da aceleração da gravidade (g) e do coeficiente de resistência ao rolamento (φ) [1]. Esta força é representada pela seguinte equação (2.13):

$$F_R = \varphi mg \quad (2.13)$$

O coeficiente de atrito (φ) depende do tipo de pneu e do tipo de superfície, como se verifica pela tabela 2.5

Tabela 2.5.1 - Valores aproximados do coeficiente de rolamento típico de cada pavimento [1]

| Superfície de rolamento | Coeficiente de rolamento φ |
|-------------------------------|------------------------------------|
| Estrada com grânulos pequenos | 0,015 |
| Pavimento em cimento | 0,013 |
| Estrada com grânulos grandes | 0,02 |
| Estrada não pavimentada | 0,025 |
| Estrada em terra batida | 0,05 |

Pelo manual [1] e de uma forma semelhante à que é levada a cabo para determinar o valor do coeficiente de arrastamento aerodinâmico, o valor do coeficiente de atrito ao rolamento (φ) do veículo é obtido pela equação (2.14)

$$\varphi = \frac{28,2(a_2 \cdot v_1^2 - a_1 \cdot v_2^2)}{10^3(v_1^2 - v_2^2)} \quad (2.14)$$

Os valores de v_1 , v_2 , a_1 e a_2 são os mesmos dos da equação (2.12) mediante os mesmos dois ensaios mencionados anteriormente no ponto 2.4.2.

Estes ensaios são mais à frente explicados no ponto 5.

2.6 - Força do motor

A força aplicada às rodas do veículo não pode ser considerada como sendo a força gerada pelo motor sem antes se ter em atenção a relação utilizada na caixa de velocidades (i), bem como o raio da roda (r), o rendimento da transmissão do veículo (η) e o binário do motor (M_M) [1].

$$F_M = \frac{M_M \cdot i}{r} \cdot \eta \quad (2.15)$$

O rendimento da transmissão pode ser considerado entre os seguintes valores da tabela 2.6.1:

Tabela 2.6.1 - Intervalo de valores típicos do rendimento das transmissões motor/rodas [1]

| | Rendimento η |
|--------------------|-------------------|
| Motor Longitudinal | 0,88 a 0,92 |
| Motor Transversal | 0,91 a 0,95 |

A força gerada pelo motor que é aplicada nas rodas do veículo é em grande parte consumida para suplantar a resistência ao movimento (força de resistência ao rolamento, força de resistência aerodinâmica e força gravítica aplicada ao eixo de movimento)

2.7 - Potência do motor

Para uma força constante numa dimensão, o trabalho realizado por esta é igual à componente da força na direcção do deslocamento vezes o deslocamento realizado [2].

$$W = F_x \Delta x \quad (2.16)$$

Consideremos uma partícula que se move com velocidade instantânea \vec{v} . Num intervalo de tempo dt a partícula tem o movimento $d\vec{s} = \vec{v} \cdot dt$. O trabalho levado a cabo pela força que actua na partícula neste intervalo de tempo é:

$$dW = \vec{F} \cdot d\vec{s} = \vec{F} \cdot \vec{v} dt \quad (2.17)$$

Portanto, a potência entregue à partícula é dada pela equação (2.18):

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{d(F_M \cdot s)}{dt} = F_M \cdot \frac{ds}{dt} + \frac{F_M}{dt} \cdot s = F_M \cdot v + \frac{F_M}{dt} \cdot s \quad (2.18)$$

Para este trabalho é aceitável considerar que a força é constante, uma vez que a cada intervalo de amostragem a variação da força motriz é imensamente pequena, como tal a potência é:

$$P = \frac{dW}{dt} = \vec{F} \cdot \vec{v} \quad (2.19)$$

Pela equação (2.15) da força do motor podemos agora passar a considerar a potência relativa à força que é efectivamente aplicada às rodas.

$$M_M \cdot \frac{v}{r} = \frac{F_M \cdot r}{i \cdot \eta} \cdot \frac{v}{r} \quad (2.20)$$

Dando lugar a:

$$P = \frac{F_M \cdot v}{i \cdot \eta} \quad (2.21)$$

Neste trabalho em que a potência é preferencialmente representada em cavalos vapor, sendo 1 cv = 735,849 W, obtém-se a seguinte expressão (2.22):

$$P = \frac{F_M \cdot v}{735,849 \cdot i \cdot \eta} \quad (2.22)$$

Sabendo que F_M representa a força produzida pelo motor, com a equação (2.22) e (2.23), chegamos a uma das equações principais deste trabalho (2.24):

$$F_M = F + (F_L + F_R + F_{gx}) \quad (2.23)$$

$$P = \frac{(m \cdot a + \varphi mg + 0,5 \rho AC_x (v + v_0)^2 + mg \sin(\alpha))}{735,849 \cdot i \cdot \eta} \cdot v \quad (2.24)$$

2.8 - Binário do motor

Para que haja rotação das rodas do veículo, a força tem que ser aplicada tangencialmente à direcção do movimento de rotação de uma roda de raio r [2].

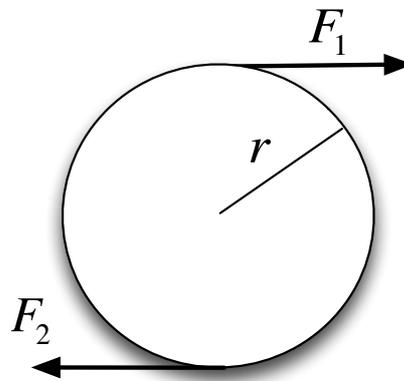


Figura 2.8.1 - Forças tangenciais aplicadas à rodas de raio r

F_1 e F_2 da figura 2.8.1 são representados pela equação seguinte (2.25):

$$F_t = ma_t \quad (2.25)$$

Se substituirmos a_t por ra e multiplicarmos ambos os lados da equação por r obtemos

$$rF_t = mr^2 a \quad (2.26)$$

Por (2.26) o produto rF_t é o binário (M) associado à força, representado pela expressão (2.27):

$$M = F \cdot r \quad (2.27)$$

Pela equação da força do motor anteriormente mencionada (2.15), podemos chegar à equação do binário da força do motor:

$$M_M = \frac{F_M \cdot r}{i \cdot \eta} \quad (2.28)$$

Uma vez que neste momento já se sabe como adquirir a potência do motor, podemos neste momento simplificar a equação do binário, da seguinte forma:

$$M_M = \frac{P}{v} \cdot \frac{r}{i \cdot \eta} \quad (2.29)$$

como i representa a relação entre a rotação do motor e a rotação da roda (2.30)

$$i = \frac{R_M}{R_R} \quad (2.30)$$

Obtemos (2.31) representando o valor do binário exercido pela força do motor:

$$M_M = \frac{P \cdot r \cdot R_R}{2\pi r \cdot R_R \cdot R_M \cdot \eta} = \frac{P}{2\pi \cdot R_M \cdot \eta} \quad (2.31)$$

3 - Arquitectura do sistema

3.1 - Introdução

Neste capítulo pretende-se efectuar uma descrição pormenorizada dos vários subsistemas que integram este projecto, nomeadamente os sensores que permitem a aquisição de dados, modo de aquisição, comunicação dos dados entre os sistemas e interface com o utilizador. A arquitectura implementada neste trabalho é sucintamente identificada pela figura 3.1.1

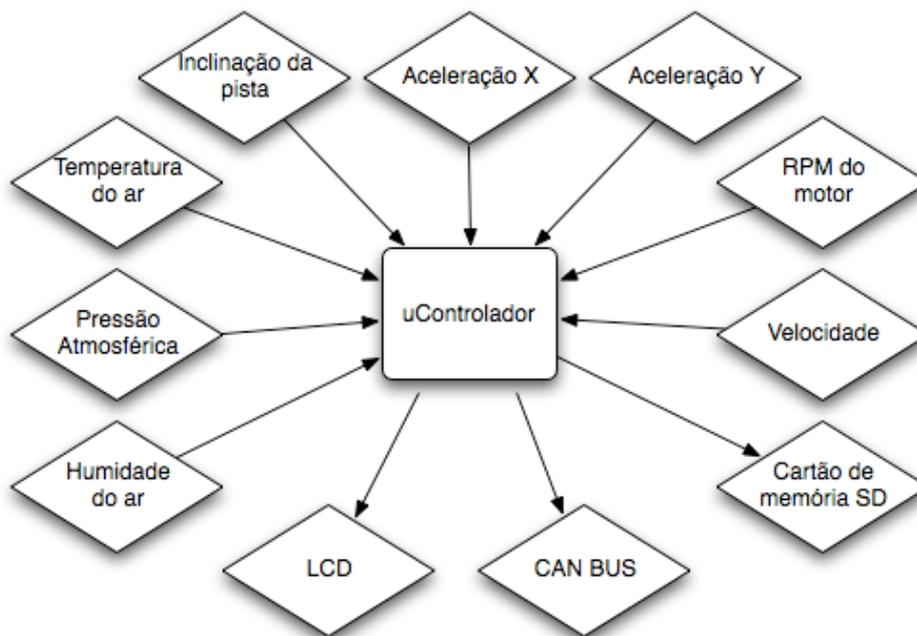


Figura 3.1.1 - Diagrama sucinto do trabalho implementado

Através do diagrama da figura 3.1.1 é possível identificar cada um dos elementos deste trabalho e pela tabela 3.1.1 e 3.1.2 são agrupados cada um destes elementos aos respectivos dispositivos.

Tabela 3.1.1 - Sistemas de aquisição e respectivos parâmetros

| Sistemas de aquisição | Parâmetros |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| Acelerómetro MMA7455L de 3 eixos | Aceleração X , Y e inclinação da via |
| Sensor SHT11 | Temperatura e humidade do ar |
| Sensor MPXH6101A6U | Pressão atmosférica |
| Modulo de aquisição 1 | Velocidade do veículo |
| Modulo de aquisição 2 | RPM do motor do veículo |

Tabela 3.1.2 - Dispositivos e respectivas funções

| Dispositivo | Função |
|----------------------|------------------------------------|
| Cartão de memória SD | Armazenamento dos dados adquiridos |
| dspic30f6012a | uC |
| LCD - CAN BUS | Interface com o utilizador |

Em seguida é apresentada uma descrição de cada um dos sistemas identificados nas tabela 3.1.1 e 3.1.2.

3.2 - Acelerómetro

Para a aquisição do valor da aceleração no eixo X, aceleração no eixo Y e ângulo da via, foi utilizado um acelerómetro de modelo MMA7455L [12] da *Freescale Semiconductor* que apresenta 3 eixos de sensibilidade, que é indicado para a aquisição dos valores de aceleração do veículo no eixo do movimento, bem como a aceleração em curva e aceleração no eixo z para o controlo do ângulo de inclinação da via, como mencionado no ponto 2.3

3.2.1 - Acelerómetro ADXL330

Inicialmente foi considerado o acelerómetro ADXL330 tal como foi mencionado no relatório relativo ao projecto em engenharia electrónica [18] apresentado no dia 26 de Junho de 2009. Este acelerómetro foi testado através de uma placa de testes e desenvolvimento da *sparkfun.com* semelhante à da figura 3.2.1

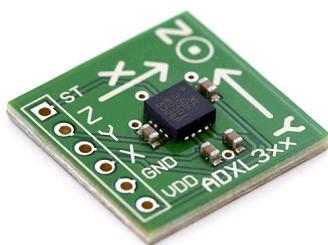


Figura 3.2.1 - Plataforma de desenvolvimento sparkfun.com

Este tipo de plataforma permitiu de forma rápida iniciar um ciclo de vários testes relacionados com o objectivo deste trabalho, entre os quais a aquisição de um ângulo, simulando o ângulo de inclinação da via, bem como a aquisição do valor de aceleração da gravidade, simulando a aceleração do veículo em movimento. Para demonstrar estes ensaios são apresentados os resultados nas tabelas 3.2.1 , 3.2.2 e 3.2.3 . A figura 3.2.2 demonstra a posição física do sensor.

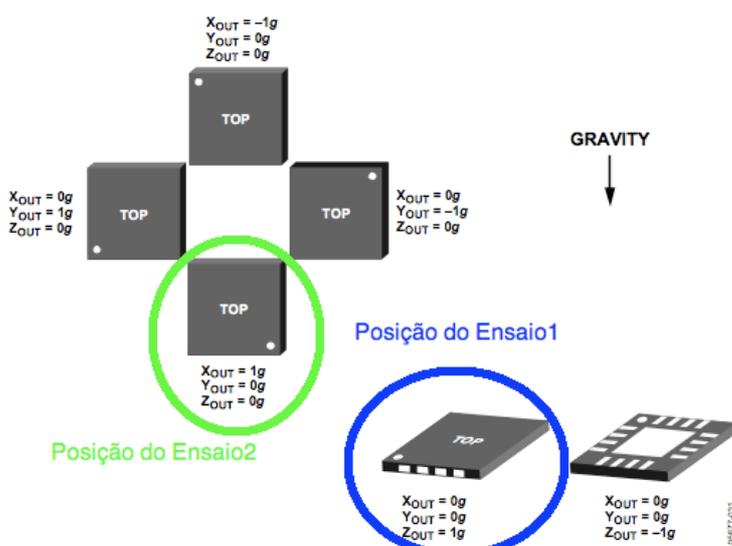


Figura 3.2.2 - Esquema da posição do sensor no ensaio 1 e ensaio 2

Tabela 3.2.1 - Resultados obtidos no Ensaio 1, sensor perpendicular à força gravítica

| Aquisição | Eixo X | Eixo Y | Eixo Z |
|-----------|-----------------|-----------------|----------------------|
| 1 | 0,025g a 1,516V | 0,034g a 1,510V | 1,009g a 1,778V 0,0° |
| 2 | 0,028g a 1,517V | 0,037g a 1,511V | 1,013g a 1,779V 0,0° |
| 3 | 0,028g a 1,517V | 0,038g a 1,511V | 1,010g a 1,778V 0,0° |
| 4 | 0,029g a 1,518V | 0,040g a 1,512V | 1,012g a 1,779V 0,0° |

Tabela 3.2.2 - Resultados obtidos no Ensaio 2, sensor paralelo à força gravítica

| Aquisição | Eixo X | Eixo Y | Eixo Z |
|------------------|-----------------|------------------|--------------------------|
| 1 | 0,940g a 1,792V | -0,003g a 1,498V | -0,009g a 1,482V 90,503° |
| 2 | 0,943g a 1,793V | -0,001g a 1,499V | -0,007g a 1,483V 90,421° |
| 3 | 0,937g a 1,791V | -0,006g a 1,497V | 0,016g a 1,490V 89,073° |
| 4 | 0,936g a 1,791V | -0,005g a 1,498V | 0,022g a 1,491V 88,719° |

Tabela 3.2.3 - Resultados obtidos no Ensaio 3, sensor com inclinação de 45° em relação à horizontal

| Aquisição | Eixo X | Eixo Y | Eixo Z |
|------------------|-----------------|-----------------|-------------------------|
| 1 | 0,254g a 1,585V | 0,589g a 1,684V | 0,710g a 1,691V 44,783° |
| 2 | 0,250g a 1,583V | 0,587g a 1,684V | 0,715g a 1,692V 44,352° |
| 3 | 0,247g a 1,583V | 0,594g a 1,689V | 0,705g a 1,689V 45,205° |
| 4 | 0,280g a 1,592V | 0,506g a 1,659V | 0,757g a 1,704V 40,842° |

Como indicam os valores registados nas tabelas 3.2.1 , 3.2.2 e 3.2.3 , o acelerómetro ADXL330 tem como variáveis de saída três portos analógicos onde se efectua a leitura. Cada um destes três portos define um eixo de medida do sensor. Em repouso o sensor apresenta uma tensão de cerca de 1,5 V e pelo manual do fabricante [6], quando alimentado a 3,3 V tem uma sensibilidade de 300 mV/g.

Para a aquisição dos valores de cada um dos eixos do acelerómetro ADXL330 foram dedicados 3 portos analógicos do uC. Este dedica 12 bits a cada aquisição no porto analógico e sendo alimentado a 5 V, verifica-se que cada bit do porto AD tem um incremento de 1,22mV no sinal de entrada.

Uma das desvantagens de usar um sensor analógico como o ADXL330 prende-se com o facto de o conversor analógico estar no uC e não imediatamente junto do sensor, o que pode aumentar o nível de ruído do sinal a adquirir. Na fase de aquisição dos ensaios 1, 2 e 3 foi perceptível o facto dos valores adquiridos em cada eixo variar bastante ainda com o sensor imóvel, como tal, os valores apresentados foram adquiridos com médias de 200 aquisições, mostrando assim ser um processo demasiado lento para o objectivo deste trabalho. Poder-se-ia recorrer ao dimensionamento de um filtro entre o sensor e o uC, o que aumentaria a complexidade do circuito final, também não sendo a melhor solução. Em alternativa a implementação de um filtro digital no uC, o que aumentaria a complexidade do programa. Deste modo recorreu-se a um segundo acelerómetro (MMA7455L) de características semelhantes, mas com um conversor AD interno e de preço muito inferior ao do acelerómetro ADXL330.

Através da tabela 3.2.4 são comparadas as principais características dos dois acelerómetros.

Tabela 3.2.4 - Principais características dos acelerómetros ADXL330 e MMA7455L

| | ADXL330 | MMA7455L |
|--|---------------------|----------------|
| Tensão de alimentação | 3,3 V | 3,3V |
| Corrente consumida | 320 uA | 400 uA |
| Limites de aquisição | -3g a 3g | -8g a 8g |
| Modo de transmissão dos dados adquiridos | 3 portos analógicos | SPI |
| Sensibilidade | 300 mV/g | 0.015625 g/bit |
| Preço | 11,28 € | 3,23 € |

Os valores apresentados na tabela 3.2.4 tem como fonte os manuais dos fabricantes, respectivamente [6] e [12]

3.2.2 - Acelerómetro MMA7455L

Foram efectuadas algumas modificações ao nível da aquisição dos dados para a transição do acelerómetro ADXL330 pelo MMA7455L. Com o MMA7455L, passa a não ser necessário utilizar um uC passa agora a ser feita por comunicação SPI.

O acelerómetro MMA7455L pode ser configurado de entre três limites de aquisição de aceleração: ± 2 g, ± 4 g ou ± 8 g . Segundo um estudo da *Honda* [9], os monolugares da *Formula Student* não ultrapassam os 2 g de aceleração lateral e os 1,5 g de aceleração longitudinal. Como tal seria aceitável optar pelo limite de ± 4 g. No entanto quando em modo de ± 4 g o valor de aceleração é somente convertido a digital com o auxílio de 8 bit, correspondendo deste modo cada incremento de bit um aumento de 0,03125 g de aceleração, ao passo que quando em modo de ± 8 g o valor de aceleração é convertido a 10 bit e assim consegue-se uma resolução superior, sendo que cada incremento de bit corresponde a um aumento de 0,01563 g de aceleração. Como tal, o limite de aquisição escolhido foi o de ± 8 g a 10 bit. Deste modo é permitido elevada margem para qualquer teste mais vigoroso que a equipa efectue ao monolugar.

Dado que o uC tem nível lógico *high* 5 V e o acelerómetro a 3,3 V, a todas as linhas de comunicação entre o uC e o sensor tiveram que incorporar um divisor resistivo, sendo estas as linhas de relógio, *Chip Select* e Dados de entrada. O relógio do sinal de SPI foi configurado para o valor máximo permitido pelo sensor, 8 MHz, sendo no entanto importante realçar que somente existe uma nova aquisição de aceleração em intervalos de 250 Hz [12].

Em seguida é demonstrado pelo diagrama da figura 3.2.3 a forma implementada ao nível do uC para a aquisição de um valor de aceleração.

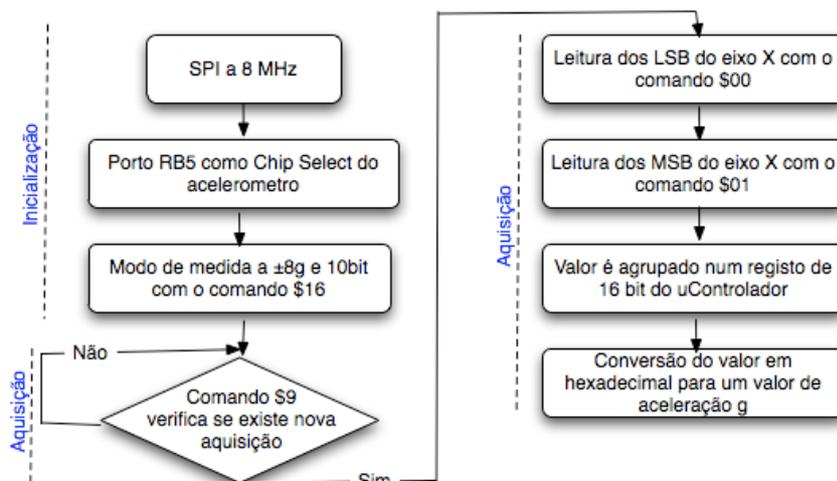


Figura 3.2.3 - Diagrama de blocos referente à inicialização e aquisição de um valor de aceleração

Pelo exemplo da figura 3.2.3 é possível verificar que a comunicação com o acelerómetro é iniciada sempre com o envio do comando e em seguida a escuta ou escrita no porto de envio, consoante seja um comando de leitura de um eixo de aceleração, ou um comando de actualização de um registo no acelerómetro. De notar que o exemplo de aquisição de dados da figura 3.2.3 representa a leitura dos valores adquiridos pelo eixo X a 10 bits. No entanto é de modo semelhante que são adquiridos os valores de aceleração dos restantes dois eixos, divergindo somente no comando enviado, sendo \$02 e \$03 correspondente aos 10 bits do eixo Y e \$04 e \$05 correspondente aos 10 bits do eixo Z.

Como foi anteriormente mencionado o papel do acelerómetro neste trabalho foca-se na aquisição do valor da aceleração do veículo no eixo do movimento e no eixo perpendicular a este, bem como a aquisição do valor de inclinação da via em que o veículo se desloca. Tal como é descrito no ponto 2.3 o eixo dos Z do acelerómetro é usado para obter o valor de inclinação da via.

Com base no apontamento escrito pelo fabricante deste acelerómetro [13] é possível perceber que a inclinação de um objecto é uma medida estática, sendo a força da gravidade usada para determinar a orientação do objecto e posteriormente calcular o seu grau de inclinação. Pelo gráfico dado na figura 3.2.4, retirado do mesmo apontamento [13] é possível verificar que a aquisição do valor do ângulo através de um único eixo de medida do acelerómetro não é uniforme, sendo que quando a inclinação apresenta um valor entre os 45° e os 90°, ou seja, quanto mais perto da influência directa da força gravita estiver, menos sensível será à inclinação do objecto.

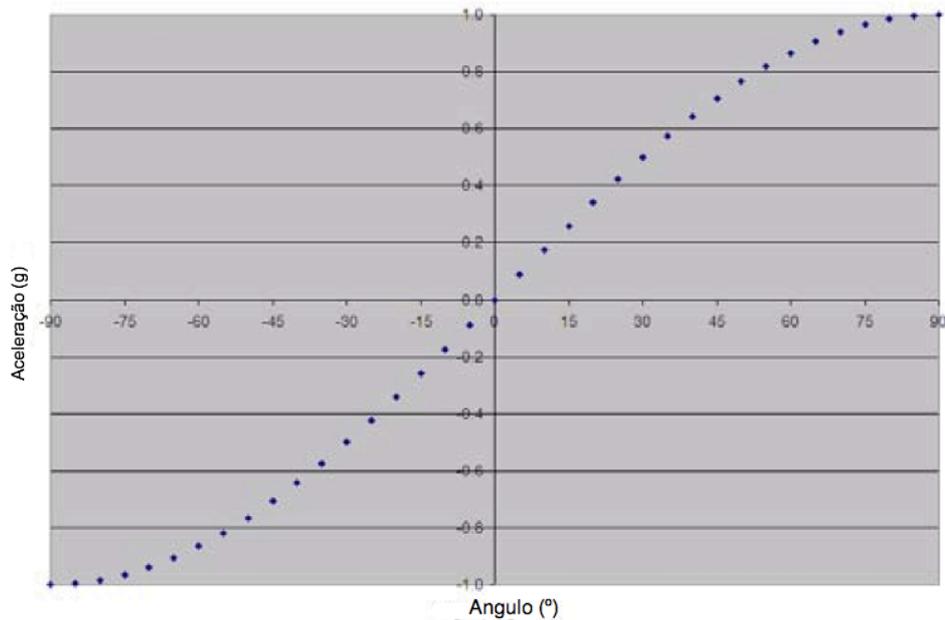


Figura 3.2.4 - Leitura do eixo X de um acelerómetro ao longo de uma inclinação progressiva dos -90° aos 90° . Adaptado de [13]

Esta desvantagem está relacionada com a forma como este tipo de acelerómetro é construído, através da tecnologia MEMS, mais propriamente a aceleração é aferida por meio da variação de capacidade, tal como é referido no manual do fabricante [12].

Com o auxílio da figura 3.2.5 é possível visualizar o princípio de funcionamento deste acelerómetro MEMS. Verifica-se assim que à medida que a massa no interior do sensor, sofre um movimento no eixo z, esta aproxima-se das placas fixas do condensador, variando deste modo a capacidade que posteriormente é analisada como uma aceleração. Com base nesta figura é perceptível a sensibilidade desta configuração a acelerações estáticas. Compreenda-se aceleração estática como o deslocamento sofrido pela massa no interior do sensor, devido à força da gravidade assim que o sensor esteja paralelo à mesma.

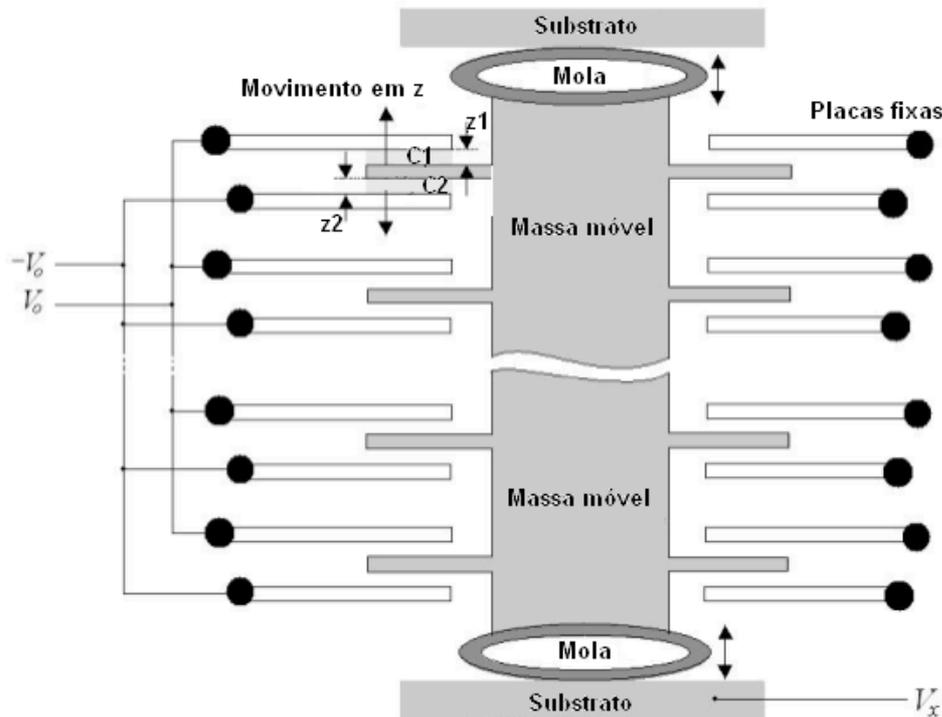


Figura 3.2.5 - Estrutura interna de um acelerómetro MEMS. Adaptado de [14]

Como é aprofundado no artigo [14], no caso deste tipo de acelerómetros, a capacidade varia com a mudança da geometria do condensador, ou seja, quando existe movimento da massa no interior do sensor, existe somente uma variação da área (A) e na distância entre as placas do condensador (d) e não no dielétrico (ϵ), como representada na equação 3.1 .

$$C_0 = \epsilon A \frac{1}{d} \quad (3.1)$$

Desta forma é perceptível o facto da sensibilidade à aceleração estática baixar quando o eixo está sobre influência directa da força da gravidade. Tal como foi mencionado inicialmente neste trabalho o eixo z estaria dedicado à aquisição do valor da inclinação da via dado que os demais eixos estariam já a ser usados. Pelo apontamento teórico [13] é demonstrado uma forma adicional para a obtenção da inclinação da via, mas esta implica o uso de dois eixos. Desta forma a aquisição de um dos eixos compensaria a falta de sensibilidade do outro assim que este se estivesse a aproximar de uma posição paralela à força da gravidade. No entanto esta opção está fora de hipótese no âmbito deste trabalho uma vez que, os demais eixos estão a ser utilizados e também porque este sistema de aquisição do ângulo da via estaria dependente da não existência de qualquer outra aceleração para além da aceleração da gravidade, o que também não é o caso da aplicação deste trabalho.

Perante os factos mencionados, este trabalho fica desfalcado de sensibilidade na aquisição do ângulo da via, tal como é comprovado nos dados da tabela 3.2.5, obtidos através de leitura do acelerómetro MMA7455L. Por esta tabela é verificado a aquisição do valor de ângulo de inclinação real por parte do eixo X , contrastando com a falta de sensibilidade dos valores lidos pelo eixo Z e consequente desvio do valor do ângulo de inclinação real.

Tabela 3.2.5 - Relação entre ângulo adquirido no eixo X e ângulo adquirido no eixo Z num varrimento de 0° a 14°

| Eixo X | | Eixo Z | |
|------------|---------|------------|--------|
| Aceleração | Ângulo | Aceleração | Ângulo |
| 0,000 g | 0,000° | 1,016 g | 0,895° |
| 0,047 g | 2,687° | 1,031 g | 1,791° |
| 0,156 g | 8,990° | 1,047 g | 2,687° |
| 0,234 g | 13,555° | 1,063 g | 3,583° |

3.3 - Sensor de humidade e temperatura

Para o cálculo da densidade do ar é necessário conhecer o valor da temperatura e humidade do ar, para efeito foi escolhido o sensor SHT11 da SENSIRION que é um subsistema com saída digital destinado à aquisição de dados sobre humidade relativa e temperatura. Tem como vantagens o baixo consumo de apenas 550 μ A durante o processo de aquisição, reduzidas dimensões e uma interface de comunicação baseada no barramento de comunicação I²C.

Internamente é composto por um sensor de humidade relativa, um sensor de temperatura, um conversor analógico-digital de 14 bit responsável pela quantificação dos sinais provenientes de ambos os sensores e o circuito controlador da comunicação responsável pela interface com o *master*.

De notar que a comunicação digital do sensor tem base na comunicação I²C, divergindo do modo de início da transmissão de dados da comunicação I²C mais usada. Comparando as figuras 3.3.1 e 3.3.2 é possível identificar as diferenças entre um *Start* genuíno I²C e o *Start* do sensor SHT11.

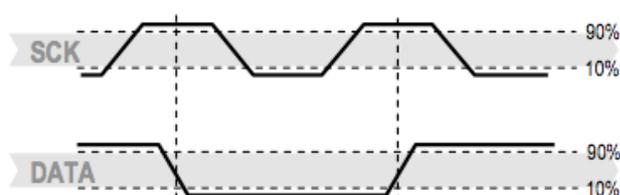


Figura 3.3.1 - Start específico da comunicação I²C do sensor SHT11. Adaptado de [7]

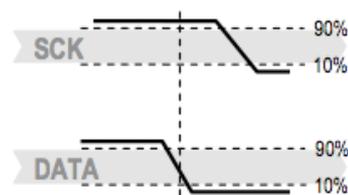


Figura 3.3.2 - Start genuíno I²C Adaptado de [7]

Esta diferença do modo de iniciar a comunicação entre o uC e o sensor SHT11 implica um elevado acréscimo na complexidade da comunicação entre ambos, visto que deste modo não é possível utilizar o controlador I²C do dspic30f6012a. A comunicação tem que ser feita inteiramente por *software*, através da configuração de dois portos digitais do uC, num dos quais é feito o relógio de transmissão e no outro a recepção e envio de dados. Pela figura 3.3.3 é apresentado um diagrama de blocos referente ao modo de transmissão do valor medido pelo sensor.

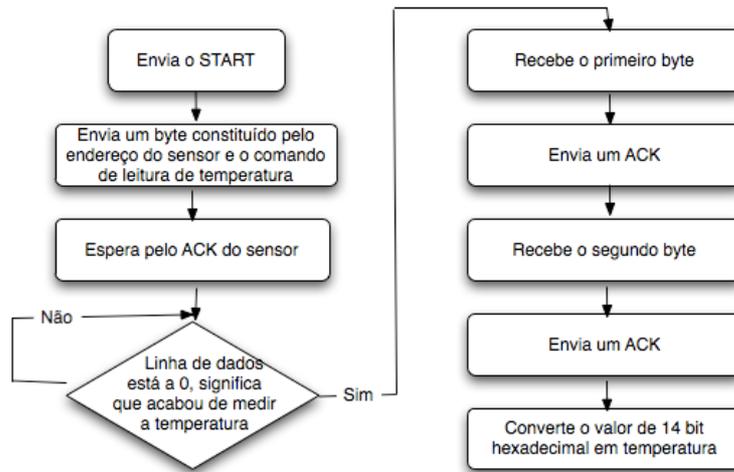


Figura 3.3.3 - Diagrama de blocos referente à aquisição de um valor de temperatura

De notar que o sensor SHT11 efectua a transmissão dos valores lidos de humidade relativa de semelhante forma à do exemplo da figura 3.3.3, variando simplesmente no comando que é enviado ao sensor. Em vez de enviar o comando 00011 de temperatura é enviado o comando 00101 referente à humidade relativa. De notar também que o valor de humidade é codificado em 12 bits, ao passo que o valor de temperatura é codificado em 14 bits.

No que diz respeito à componente de aquisição de temperatura, este tem uma precisão típica de 0,01°C. O sensor apresenta um erro máximo de 0,5°C a uma temperatura de 25°C, variando linearmente consoante se afasta desta temperatura. Para o intervalo compreendido entre +5°C e +45°C o erro é inferior a 1°C.

Por seu lado o sensor de humidade relativa efectua leituras entre 0% RH (percentagem de Humidade Relativa) e 100% RH. Apresenta uma resolução típica de 0,03% HR. Possui um erro máximo de 3,5% HR no intervalo compreendido entre 20% HR e 80% HR.

Para compensar a não linearidade do sensor de humidade utiliza-se a seguinte equação de correcção (3.2) de acordo com o manual do fabricante [7]

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (3.2)$$

Tabela 3.3.1 - Coeficientes de compensação de linearidade [7]

| SO _{RH} | c ₁ | c ₂ | c ₃ |
|------------------|----------------|----------------|-----------------------|
| 12 bit | -4 | 0,0405 | -2,8x10 ⁻⁶ |

O sensor não mede directamente o valor da temperatura de ponto de orvalho (*dew point*). No entanto uma vez que o sensor de temperatura e humidade estão ambos no mesmo circuito integrado, este permite o calculo do ponto de orvalho pela seguinte equação (3.3) de acordo com o manual do fabricante [7]

$$T_d = T_n \cdot \frac{\ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) + \frac{m \cdot T}{T_n + T}}{m - \ln\left(\frac{RH}{100\%}\right) - \frac{m \cdot T}{T_n + T}} \quad (3.3)$$

Tabela 3.3.2 - Parâmetros para o calculo do ponto de orvalho [7]

| T _n (°C) | m |
|---------------------|-------|
| 243,12 | 17,62 |

3.4 - Sensor de pressão

Para o cálculo da densidade do ar é necessário o valor de pressão atmosférica do local em teste. Para efeito foi escolhido o sensor MPXH6101A6U da Freescale Semiconductor que é um sensor com saída analógica até 5 V, correspondendo este nível de tensão ao nível máximo de pressão da sensibilidade do sensor.

Este sensor tem como banda de leitura de pressão valores de 15 a 102 kPa que corresponde a uma altura máxima superior a 10 km de altura e mínima de cerca de 100 m a baixo do nível do mar. Tem como alimentação 5 V, consome 7 mA de corrente e tem sensibilidade de 54 mV/kPa, que é bastante razoável para o objectivo deste trabalho..

Para a aquisição do valor medido pelo sensor de pressão é necessário dedicar um porto analógico para o efeito. Neste caso o porto escolhido foi o porto AN3 e o controlador analógico-digital do uC foi configurado para o modo manual de aquisição. Neste modo sempre que é requerido uma leitura do sensor, o conversor AD é accionado por software, esperado-se que este acabe a conversão, facto que demora 14 impulsos de relógio [5], e por fim o valor de tensão lido pelo porto é convertido a valor de pressão atmosférica pela equação (3.4) referente ao gráfico da figura 3.4.1.

$$P = \frac{V_{in} + V_{dd} \cdot 0,10941}{0,01059} \quad (3.4)$$

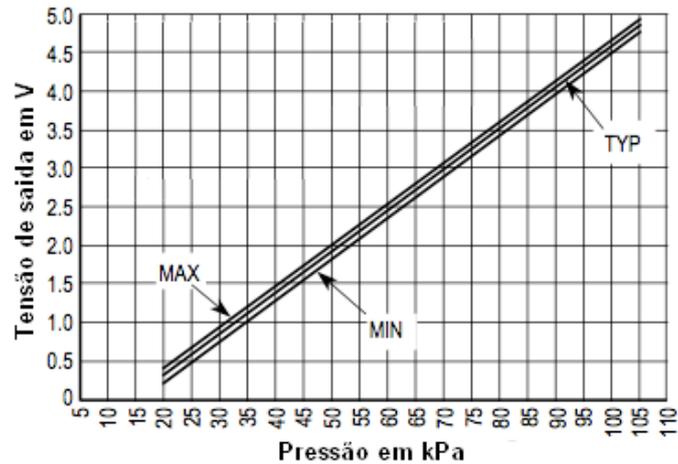


Figura 3.4.1 - Gráfico de pressão pelo nível de tensão de saída. Adaptado de [8]

3.5 - Cartão de memória SD

O sistema apresentado neste trabalho é na verdade um sistema de aquisição de dados referentes ao desempenho de um veículo motorizado. Como tal, estes valores devem ser armazenados para que posteriormente o operador tenha possibilidade de formar conclusões sobre os mesmos, aferindo o desempenho do veículo. Para armazenar estes dados é necessário um sistema de memória adequado ao volume de dados gerados, ser o mais pequeno possível para permitir o seu acondicionamento junto dos demais circuitos deste trabalho, bem como o facto de garantir que o operador de uma forma fácil e rápida, possa transportar os dados para posterior análise. Visando estes objectivos foram considerados os seguintes sistemas:

O uC ao dispor deste projecto tem como memória interna 144 kBytes [5], partilhados com o código do programa bem como as variáveis geradas ao longo do mesmo. Sabendo que cada um dos parâmetros propostos para armazenamento são do tipo *float* (32 bits) era gerado a cada ciclo cerca de 224 bits (28 bytes) e se cada ciclo de aquisição se der a 50 Hz então são gerados 1400 Bytes/seg. Desta forma o sistema teria capacidade para cerca de 10 segundos de aquisição de dados até preencher a memória do uC, o que não seria de todo viável para este trabalho.

De encontro à economia de espaço, as memórias *flash* de pequenas dimensões, como o caso do circuito integrado M25P40 do fabricante *Numonyx* com 4 Mbit, que seria uma boa hipótese. No entanto, também este tipo de sistema demonstra baixo nível de armazenamento dado o número de dados gerados por segundo.

Por fim, foi considerado o uso de uma PEN-USB aplicada ao sistema, tal como é levado a cabo noutra projecto FST, o projecto de telemetria. Deste modo não existiria problema quanto ao volume de armazenamento já que qualquer PEN-USB tem pelo menos 2 GB de memória disponível. No entanto, comparando este sistema com o sistema de cartões de memória SD, percebe-se que este, por ter reduzidas dimensões, mostra-se mais adequado à aplicação num veículo de competição. Como tal, o cartão de memória SD foi assim escolhido sendo o mais indicado para o propósito deste trabalho.

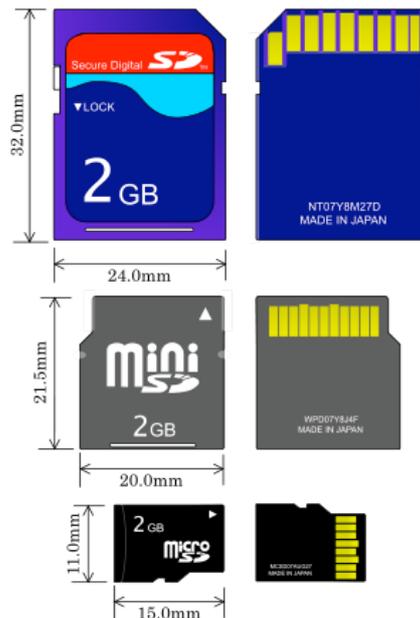


Figura 3.5.1 - Gama disponível de cartões de memória SD

Como se pode confirmar na figura 3.5.1 os cartões de memória são de reduzidas dimensões, capazes de ser integrados em pequenos circuitos como é o objectivo deste trabalho. A leveza dos cartões SD permite que estes estejam sujeitos a impactos e acelerações fortes sem implicar que se desliguem da fixa de comunicação com o sistema que está a gerar os dados.

Para este trabalho foi adoptada a ficha de contacto do cartão de maiores dimensões, pois recorrendo a um adaptador de cartões micro SD ou mini SD é possível usá-los da mesma forma que os de maiores dimensões. Desta forma, satisfaz-se todo o leque de cartões SD que o utilizador possa optar.

O cartão de memória SD tem um uC no seu interior que, para além da memória *flash*, que controla as rotinas de leitura, escrita e comunicação com o exterior. Esta comunicação pode ser feita de duas formas: tipo nativa e SPI. Com a possibilidade de comunicação através do sistema SPI, o cartão SD surge como uma boa forma de dedicar uma elevada capacidade de armazenamento a um uC como o presente trabalho.

Este sistema de memória é alimentado a 3,3 V e todos os seus portos de comunicação têm este mesmo nível máximo de tensão. Da mesma forma que o acelerómetro usado que tem alimentação a 3,3 V e portos de comunicação também a 3,3 V, também os portos de relógio, *Chip Select* e dados de entrada do cartão de memória SD terão um divisor resistivo para assegurar que os níveis lógicos do micro controlador igualam os do cartão SD. O cartão de memória SD tem consumos de corrente na ordem dos 100 mA, sendo superior quando em processo de escrita na memória *flash*, subindo no máximo a 200 mA [15].

No modo de comunicação SPI esta é orientada ao byte e cada função requerida ao cartão SD é sempre accionada pelo envio de um comando de 6 bytes, a cada comando enviado pelo uC, o cartão responde sempre com um byte de confirmação do comando. Como exemplo destes comandos e conseqüente resposta, é apresentada a figura 3.5.2.

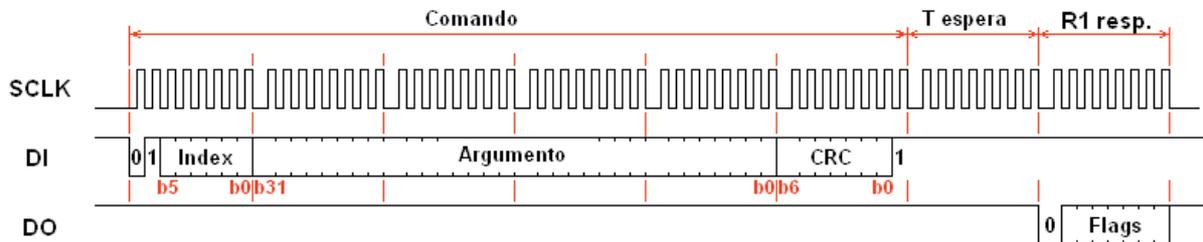


Figura 3.5.2 - Início de comunicação de qualquer pedido ao cartão de memória SD

Com o auxílio da figura 3.5.2 é possível verificar o complexo sistema de comunicação do cartão de memória SD. De notar que os bits de b5 a b0 indicam o código da função requerida pelo uC, o argumento é o corpo do comando onde se insere por exemplo o endereço do bloco a ler num comando de leitura. No fim da mensagem enviada está o *CRC*, campo de verificação de erro, que pode não ser utilizado quando se comunica em SPI, como sucede neste trabalho.

Para uma maior facilidade em comunicar com o cartão SD na fase de inicialização, escrita e leitura de dados, foi utilizado a biblioteca [16] disponibilizada pela *Microchip* que faz a interface entre micro controladores da marca e a comunicação SPI do cartão de memória SD. Com o auxílio desta biblioteca é possível fazer a gravação dos dados em ficheiros de acordo com o sistema de ficheiros FAT32, sendo desta forma possível abrir, num computador pessoal, qualquer ficheiro criado pelo uC. Este facto introduz neste trabalho uma grande vantagem de versatilidade pois os dados adquiridos pelo sistema podem ser guardados e lidos num computador pessoal, permitindo fazer um histórico dos ensaios de potência efectuados.

Para controlar o cartão de memória SD basta iniciar o cartão em modo SPI e para uma fase de inicialização este funciona a 400 kHz por restrição do mesmo, sendo que após a inicialização todos as restantes funções de comunicação com o cartão são feitas com o relógio do SPI a uma frequência de 20 MHz. Depois da inicialização a biblioteca da *Microchip* permite usar o cartão como qualquer outro sistema de criação de ficheiros: Existe uma função de abertura de ficheiro no qual é introduzido o nome e extensão do ficheiro a criar. Em seguida este é escrito linha por linha por meio da criação de uma *string* de dados. Para que o ficheiro não fique corrompido, quando o programa termina, o ficheiro terá que ser terminado com uma função específica para o efeito.

3.6 - Rotações do motor

A aquisição das rotações do motor representa um ponto bastante importante neste trabalho, já que este valor é necessário para aferir a potência e binário do veículo, também é segundo este valor que será apresentado posteriormente o gráfico de potência do veículo.

A forma como se adquire o valor de rotações do motor varia de motor para motor. No caso do veículo de testes usado neste trabalho, as rotações do motor são lidas por um sensor magnético junto do volante do motor. A leitura é apresentada por um sinal de forma de onda sinusoidal gerado pela passagem dos dentes localizados na periferia do volante, estes são também usados como forma de tracção entre o motor de arranque e o volante do motor. O sensor magnético e o volante do motor são apresentados nas figuras 3.6.1 e 3.6.2 respectivamente.



Figura 3.6.1 - Sensor magnético



Figura 3.6.2 - Volante do motor de um Mercedes-Benz 190D 2000 cm³

O volante do motor aqui apresentado tem 35 cm de diâmetro e 144 dentes na sua periferia.

Uma vez adquirida a frequência do sinal pelo sensor e sabendo o número de dentes do volante, saber-se-á o número de rotações do motor. Como exemplo, foi adquirido o sinal vindo do sensor com o motor ao ralenti. A forma de onda do sinal adquirido é apresentado na figura 3.6.3

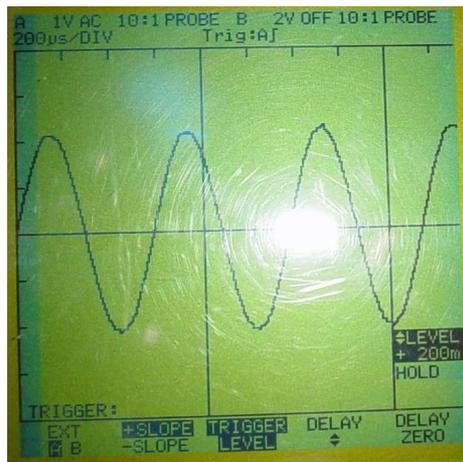


Figura 3.6.3 - Sinal adquirido com o motor ao ralenti

A frequência do sinal apresentado na figura 3.6.3 é de 1,667 kHz, como tal uma volta completa do motor é dada em 0,086 s e por conseguinte o motor está a 694,45 rotações por minuto. É referido no manual [17] que este tipo de motor tem o valor de rotações compreendido entre as 700 e as 750 rpm, como tal o resultado obtido é satisfatório.

Para que o sinal seja adquirido pelo uC, pois é este que irá converter a frequência do sinal em rotações por minuto, o sinal teve que ser condicionado já que é necessário que passe de um sinal com forma de onda sinusoidal, para uma forma de onda quadrada entre os 0 e os 5 V. Para tal foi incorporado entre o sensor magnético e uC, um filtro para cortar a componente DC, bem como um comparador.

3.7 - Velocidade do veículo

A velocidade atingida pelo veículo tem várias aplicações neste trabalho, para além de entrar nas equações referentes à determinação da potência e binário do veículo, também é utilizada para apurar a velocidade máxima atingida no teste de pista, o tempo que este demora entre os 0 e os 100 km/h, bem como as velocidades atingidas em determinados momentos do teste. Como tal a velocidade apresenta papel importante na ponderação do desempenho do veículo e assim, a aquisição de velocidade do veículo de testes tem todo o interesse em ser incorporada neste trabalho.

Na maioria dos automóveis o velocímetro instalado no painel de instrumentos que indica a velocidade do veículo é accionado por uma transmissão mecânica solidária com o movimento dos carretos da caixa de velocidades. Portanto a velocidade com que a transmissão mecânica roda terá que ver com a velocidade com que o veículo esta a percorrer determinada distância.

Para a aquisição do valor de velocidade do veículo utilizado para testar o sistema apresentado neste trabalho, foi aplicado um disco de acrílico solidário com a transmissão mecânica do velocímetro. Este disco foi pintado de negro deixando somente uma faixa transparente, sendo a rotação da transmissão mecânica identificada com a passagem da faixa transparente frente a um LED numa das extremidades e um fotodiodo na outra. A variação de tensão aos terminais do fotodiodo identificam a rotação da transmissão mecânica. O esquema da figura 3.7.1 ilustra o atrás explicado.

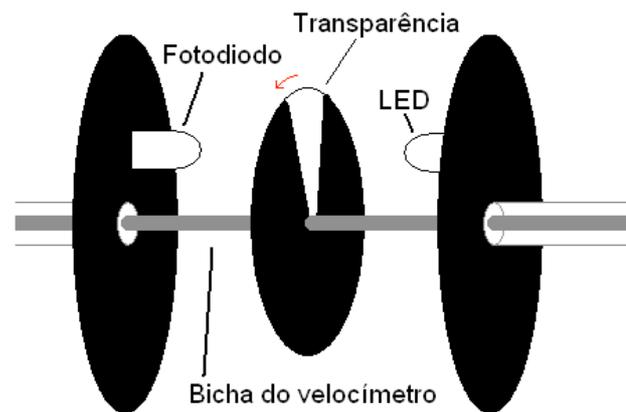


Figura 3.7.1 - Esquema representativo do modo como é adquirido a rotação da transmissão mecânica do velocímetro

Por aquisição de vários valores por este sistema foi encontrada uma relação entre a frequência de rotação do disco e a velocidade do veículo, sendo esta relação de $0,23 \frac{Hz}{km/h}$

Tal como no caso da aquisição do valor de rotações do motor, também a conversão entre a frequência do sinal lido pelo fotodiodo e a velocidade do veículo é feita no uC, como tal também neste caso é necessário condicionar o sinal e desta feita foi utilizado um comparador de modo a que o sinal apresente um tipo de onda quadrada entre os 0 e os 5 V.

4- Resultados obtidos

4.1 -Introdução

Em seguida é pretendido mostrar alguns resultados obtidos através do trabalho apresentado. Dado a forte versatilidade deste tipo de sistema, é permitido aplicar o mesmo a um vasto leque de automóveis, sendo estes veículos de competição como o caso do monolugar da FST, mas também a qualquer veículo automóvel não desportivo. Esta versatilidade é permitida visto que na base do sistema está a aquisição de dados de aceleração, temperatura, humidade, pressão atmosférica, velocidade e rotações do motor que podem ser feitos a qualquer veículo automóvel mediante a devida aplicação do sistema. Este facto permitiu a aplicação deste trabalho a um veículo de testes diferente do monolugar FST, para deste modo a fase de testes deste sistema poder ser levada ao ritmo de desenvolvimento do mesmo. Uma vez terminado os desenvolvimentos do trabalho neste veículo de testes, estava planeado a aplicação e recolha de resultados no monolugar FST, tal não foi possível dado o atraso no desenvolvimento deste sistema e consequente incompatibilidade com as fases de teste do monolugar no Kartódromo internacional de Palmela.

4.2 - Resultados obtidos pela estação meteorológica

Entenda-se como estação meteorológica como o núcleo de recolha de dados referentes à temperatura, humidade e pressão atmosférica. Este núcleo de aquisição de dados tem como principal objectivo a obtenção do valor de densidade do ar onde o teste é efectuado tal como é apresentado no ponto 2.4.1.

Como foi prática ao longo da realização deste trabalho, assim que possível, cada sistema foi testado individualmente e obtido resultados referentes a cada teste. No caso do núcleo de aquisição da densidade do ar era necessário comparar os valores aferidos pelo mesmo, com um sistema calibrado e fiável que desempenhe semelhantes funções de aquisição de temperatura, humidade, pressão atmosférica e consequente aferição da densidade do ar.

Como sistema de comparação foi escolhido a estação meteorológica da central termoeléctrica do Ribatejo que é usada para aferir sobre um vasto leque de parâmetros atmosféricos referentes ao local da central termoeléctrica. Os dados recolhidos por esta estação são de extrema importância para os dados económicos desta central e como tal é periodicamente assegurado a calibração/certificação dos dados por esta recolhidos. Deste modo esta estação meteorológica representa um fiável termo de comparação para os dados recolhidos neste trabalho.

Os sensores de temperatura/humidade e pressão atmosférica foram colocados junto da estação meteorológica modelo e foram adquiridos dados durante certa de 15 minutos. Os dados comparativos são apresentadas na seguinte tabela 4.2.1.

Tabela 4.2.1 - Valores obtidos pela estação meteorológica modelo e estação meteorológica deste trabalho

| | Estação modelo | Estação deste trabalho | Erro (%) |
|--------------------------------------|----------------|------------------------|----------|
| Pressão atmosférica (kPa) | 1014,2 | 1047,6 | 3,18 |
| Temperatura (°C) | 24,2 | 23,9 | 1,24 |
| Humidade relativa (%) | 55 | 66 | 16,67 |
| Ponto de orvalho (°C) | 14,7 | 17,2 | 14,53 |
| Densidade do ar (kg/m ³) | 1,187 | 1,220 | 2,70 |

Tal como é tratado nos pontos a cima, a pressão atmosférica é adquirida pelo sensor analógico MPXH6101A6U, a temperatura e humidade são adquiridas pelo sensor digital SHT11 e o ponto de orvalho bem como o valor de densidade do ar são aferidos pelas equações (5.3) e (2.8), respectivamente.

De notar que existem algumas diferenças nos valores de pressão atmosférica e humidade relativa que consequentemente demonstra algum desvio nos valores de ponto de orvalho. Apesar desta ligeira diferença, o valor obtido de densidade do ar é bastante aceitável sendo que uma diferença de 0,033 kg/m³ tem uma diminuta influência no valor da força de atrito aerodinâmico onde o valor de densidade do ar é aplicado. Como tal, a forma utilizada neste trabalho de aferição do valor de densidade do ar, mostra-se bastante aceitável.

4.3 - Resultados obtidos pelo sensor de aceleração

O trabalho apresentado tem como base de funcionamento a aquisição de dados da aceleração do veículo, sendo o acelerómetro a fonte de dados de maior importância. A partir destes é possível adquirir o valor de aceleração do veículo no eixo do movimento que permite posteriormente aferir sobre a potência e binário, mas também permite adquirir valores de aceleração lateral dando desta forma possibilidade ao utilizador do sistema ter a noção das forças aplicadas no veículo.

Para demonstrar o funcionamento do acelerómetro deste trabalho foram realizados dois testes: um apresentando a desaceleração de um veículo a quando de uma travagem, e outro a aceleração lateral presente numa curva. Com estes dois testes pretende-se mostrar os resultados da aquisição de aceleração no eixo x e eixo y do acelerómetro usado neste trabalho.

Para levar a cabo estes dois testes o sistema foi aplicado no veículo de testes e a cada 0,02 segundos foi adquirido um novo valor de aceleração e velocidade. Os valores adquiridos foram gravados no cartão de memória.

4.3.1 - Resultados de desaceleração

Servindo este sistema para aferir sobre o desempenho de um veículo automóvel é de extrema utilidade poder-se obter resultados de uma travagem para deste modo perceber o poder de travagem do veículo e efectuar melhoramentos se for caso disso.

Para proceder a este teste de travagem o sistema foi devidamente aplicado ao veículo de testes e este acelerado até atingir uma velocidade de 85 km/h numa estrada plana e praticamente sem vento. Depois de atingir esta velocidade o veículo foi colocado em ponto morto, para que desta forma não entre em consideração a desaceleração devido à força do motor. Após alguns segundos nesta velocidade é aplicado o sistema de travagem do veículo de testes, levando-o à velocidade 0 km/h em 4,12 segundos. Os resultados obtidos neste teste são apresentados em forma de gráfico na figura 4.3.1.

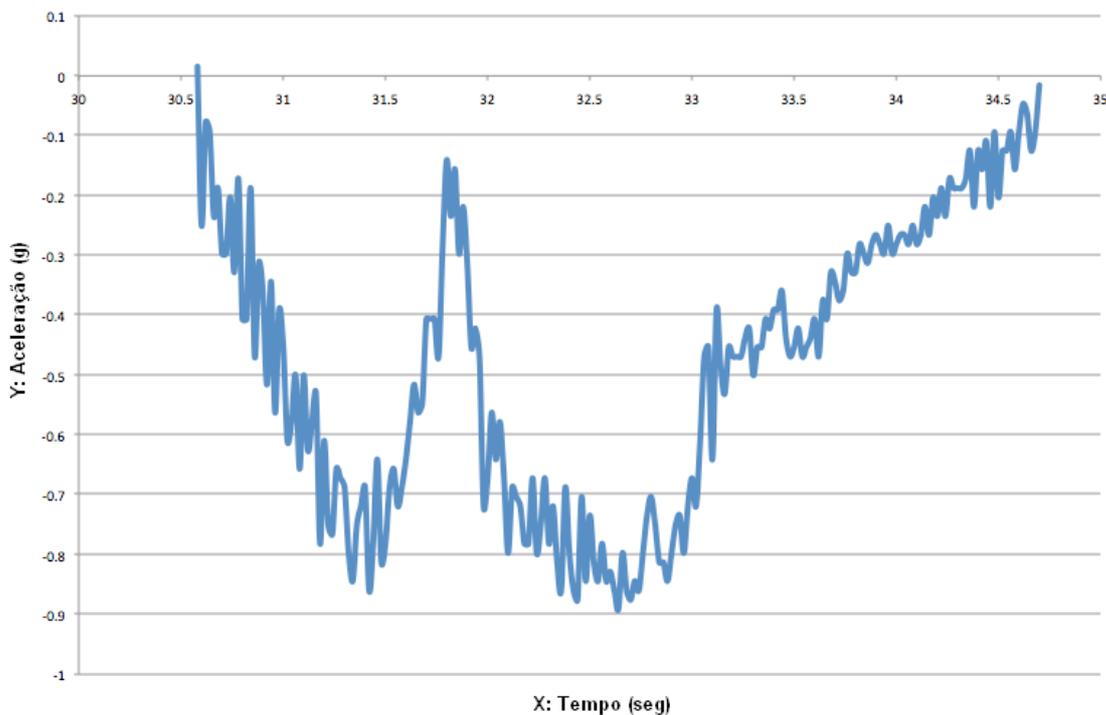


Figura 4.3.1 - Gráfico representativo dos valores de desaceleração obtidos numa travagem

De notar um facto bastante interessante neste teste: pela análise do gráfico da figura 4.3.1 consegue-se perceber o início da travagem quando no instante 30,5 s a aceleração toma valores negativos chegando a atingir o valor de -0,86 g. Após esta desaceleração brusca verifica-se a partir do segundo 31,5 um decréscimo de desaceleração, devendo-se este facto ao bloqueio das rodas. O facto do veículo ter derrapado durante o teste realizado não foi premeditado. No entanto, enriquece bastante o ensaio, uma vez que se verifica a importância deste e dos dados que adquire, permitindo sobre estes se verificar vários factores entre os quais o facto, sobejamente conhecido, de que o bloqueio das rodas de um veículo, a quando de uma travagem, aumenta bastante o tempo que este demora até parar por completo. Perante os dados do teste, o operador do sistema poderia equacionar

a introdução de um sistema ABS de forma a salvaguardar o não bloqueio das rodas numa travagem, aumentando o desempenho de travagem do veículo em teste. Outra conclusão sobre este ensaio, será a contagem do tempo de reacção do piloto, pois se é certo que o veículo entrou em derrapagem no instante 31,5 s , somente no instante 31,8 s é que o piloto acaba com a derrapagem, diminuindo a pressão sobre o pedal, e conseqüentemente dá de novo início à travagem segura. Portanto o piloto demorou 0,3 s a corrigir o modo de travagem, denunciando deste modo o tempo que demorou a reagir.

Pelo gráfico da figura 4.3.1, verifica-se ainda que no instante 31,8 s inicia novamente o período de travagem, chegando a uma intensidade semelhante à atingida no início. Por fim perto do instante 33 s a intensidade de travagem diminui estando o veículo prestes a imobilizar.

Pela tabela 4.3.1 são apresentados alguns dos resultados obtidos neste teste, nos quais tem base o gráfico da figura 4.3.1 .

Tabela 4.3.1 - Valores obtidos no teste de travagem

| Tempo (s) | Velocidade (km/h) | Rotações do motor (rpm) | Aceleração no eixo X (g) |
|-----------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| 30,581 | 85 | 830 | -0,015625 |
| 31,421 | 70 | 811 | -0,859338 |
| 32,241 | 53 | 813 | -0,796875 |
| 33,061 | 32 | 811 | -0,468750 |
| 33,881 | 14 | 766 | -0,281250 |
| 34,701 | 0 | 746 | -0,015625 |

Pelos valores da tabela 4.3.1 é possível verificar que o veículo esteve em ponto morto durante o teste, dado que o veículo de teste tem como níveis de rotação por minuto entre as 750 rpm e as 850 rpm [17]. É possível ainda verificar em pormenor os valores de aceleração adquiridos pelo acelerómetro, bem como o valor de velocidade a cada ponto de aquisição.

4.3.2 - Resultados de aceleração lateral

Um dos testes que este sistema permite adquirir é a aceleração lateral a que está sujeito o veículo. Este tipo de dados permite ao utilizador do sistema ponderar a eficácia de curva do veículo, uma vez que a aceleração lateral sentida é registada pelo acelerómetro disponível no sistema e os dados adquiridos gravados no cartão de memória.

Para apresentar a faculdade de aquisição dos valores de aceleração lateral deste sistema, aplicou-se devidamente o mesmo ao veículo de teste e a uma velocidade compreendida entre os 25 e os 35 km/h, foi percorrida uma rotunda na zona do Parque das Nações em Lisboa. Foi tido em atenção ser uma zona plana e os dados foram adquiridos com intervalos de 0,02 segundos tal como no teste anterior de desaceleração.

Ao percorrer esta rotunda tenta-se exemplificar uma curva acentuada que o monolugar FST possa verificar em pista. De certo que o monolugar FST efectuará curvas bem mais acentuadas que a apresentada neste teste; no entanto, é perceptível a versatilidade do sistema que poderá ser aplicado também num teste em pista onde estará sujeito a acelerações laterais mais fortes.

Pelo gráfico da figura 4.3.2 é possível verificar a aceleração aplicada ao veículo teste durante o ensaio, que demorou 32.6 segundos.

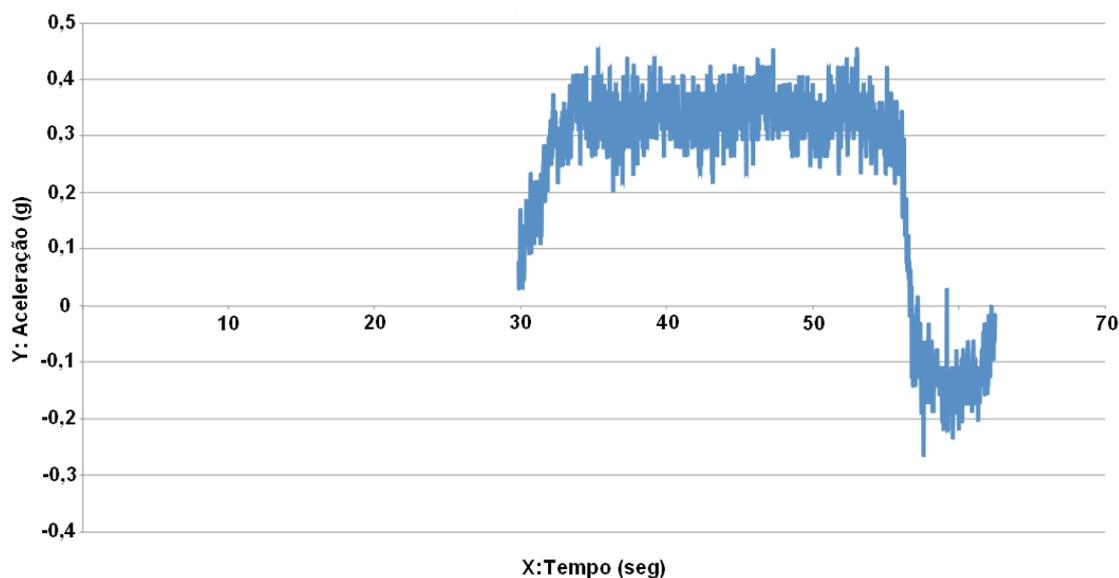


Figura 4.3.2 - Gráfico representativo dos valores de aceleração lateral

Verifica-se pelo gráfico da figura 4.3.2 que somente no instante 30 s é que o veículo dá início à entrada na rotunda sendo somente a partir deste momento que os dados recolhidos têm sentido para este teste. Verifica-se que no instante 32 s o veículo já está dentro da rotunda e em processo de viragem constante, uma vez que o valor de aceleração é praticamente constante. Após duas voltas à rotunda é terminado o processo de viragem no instante 56 s quando se verifica que o veículo começa a virar para o lado oposto, sofrendo deste modo uma aceleração no sentido contrário, indicando a saída da rotunda e conseqüente fim do teste de viragem.

Pela tabela 4.3.2 são apresentados alguns dos resultados obtidos neste teste, nos quais tem base o gráfico da figura 4.3.2 .

Tabela 4.3.2 - Valores obtidos no teste de aceleração lateral

| Tempo (s) | Velocidade (km/h) | Rotações do motor (rpm) | Aceleração no eixo X (g) |
|-----------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| 29,840 | 24 | 972 | 0,078125 |
| 36,360 | 33 | 2083 | 0,328125 |
| 42,880 | 32 | 2046 | 0,312500 |
| 49,400 | 32 | 2078 | 0,328125 |
| 55,920 | 33 | 2037 | 0,296875 |
| 62,480 | 0 | 880 | -0,015613 |

4.4 - Resultados do teste 0 aos 100 km/h

Com o sistema apresentado neste trabalho é possível aferir sobre vários parâmetros de desempenho do automóvel em teste, tal como tem vindo a ser mencionado. Com este sistema é possível também saber o tempo que demora o veículo a chegar à velocidade de 100 km/h. É bastante apreciado este tipo de informação no mundo automóvel, sendo muitas das vezes referido pelos próprios fabricantes, bem como o valor de potência e cilindrada. O tempo que leva um veículo automóvel dos 0 aos 100 km/h é uma forma de aferir sobre o desempenho do veículo, sendo que quanto menos tempo levar a atingir os 100 km/h mais potente será o veículo.

Como tem sido referido nos demais resultados apresentados, a aquisição de dados tem sempre presente o valor de velocidade instantânea, bem como uma etiqueta de tempo referente ao momento que foi adquirido o conjunto de dados memorizados no cartão de memória. Como tal é fácil perceber de que forma será adquirido o valor de tempo entre a velocidade 0 e os 100 km/h. No entanto para que o valor de 0 aos 100 km/h tenha alguma relevância possível de ser conotada com a desempenho do veículo em teste, este terá que ser operado de forma a minimizar o tempo entre o intervalo de velocidades. Como tal o sistema foi devidamente aplicado no veículo de testes e este, partindo de uma posição estacionária, foi acelerado por forma a maximizar a potência debitada pelo motor a cada mudança de caixa de velocidades.

Este teste foi efectuado numa zona plana e os valores foram adquiridos em intervalos de 0,02 segundos e armazenados no cartão de memória para posterior análise.

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 4.4.1 .

Tabela 4.4.1 - Valores obtidos no teste de aceleração dos 0 aos 100 km/h

| Tempo (s) | Velocidade (km/h) | Rotações do motor (rpm) | Aceleração no eixo X (g) |
|-----------|-------------------|-------------------------|--------------------------|
| 0,02 | 0 | 880 | 0,078125 |
| 3,18 | 24,5 | 2938 | 0,218750 |
| 6,36 | 38,9 | 2816 | 0,171875 |
| 9,54 | 62,4 | 3884 | 0,125000 |
| 12,70 | 73,1 | 3627 | 0,171875 |
| 15,88 | 89,1 | 2887 | 0,140625 |
| 16,70 | 100,5 | 3373 | 0,125000 |

Com os dados da tabela 4.4.1 é possível verificar que o veículo demora 16,7 segundos dos 0 aos 100 km/h. De certo que este valor obtido difere bastante das prestações e do tempo que o monolugar da FST efectua dos 0 aos 100 km/h, mas serve este teste para mostrar a versatilidade do trabalho aqui apresentado, sendo que poderá ser facilmente aplicado ao veículo da FST e dado que cada vector de dados é adquirido em intervalos de 0,02 segundos, é seguro dizer que este sistema é adequado às necessidades do monolugar de competição da FST.

4.5 - Resultados de Potência e Binário

Uma vez testados os sistemas que compõem este trabalho, foram adquiridos valores para aferir o valor de potência e binário do veículo. Este teste ocorreu num dia sem vento e numa superfície plana. Da mesma forma como foram recolhidos os dados dos testes acima apresentados, no caso da aquisição de potência e binário também os dados foram adquiridos a uma frequência de 50 Hz e à medida que eram gerados, foram gravados no cartão de memória SD e posteriormente analisados. Em seguida é apresentado pela figura 4.5.1 o gráfico de potência e pela figura 4.5.2 o gráfico do binário do veículo em teste.

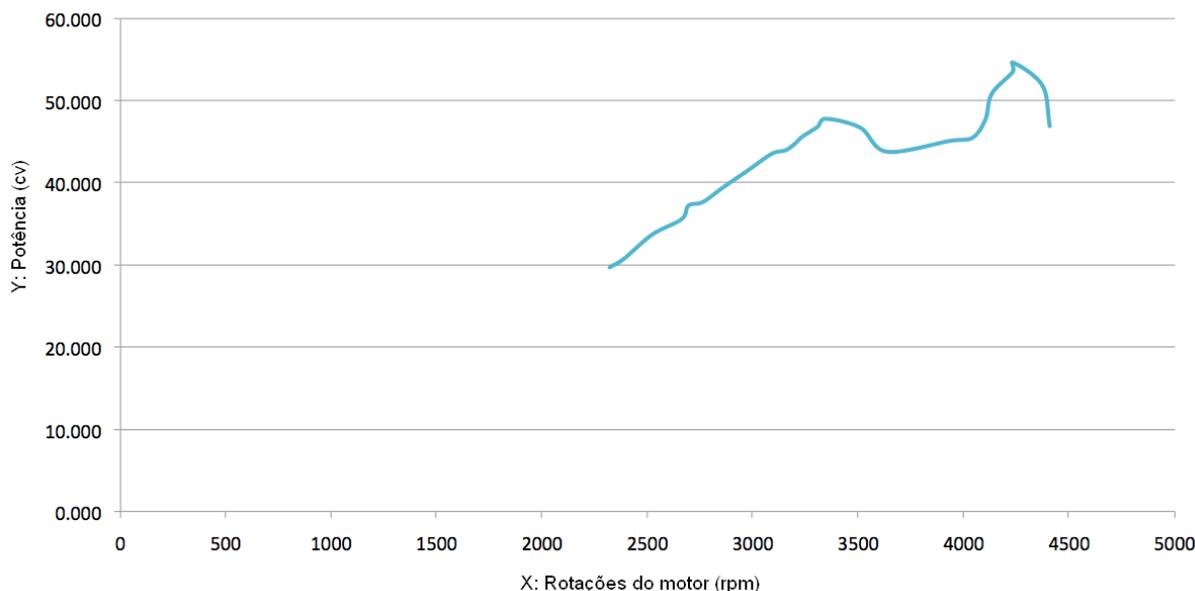


Figura 4.5.1 - Gráfico representativo da potência do veículo

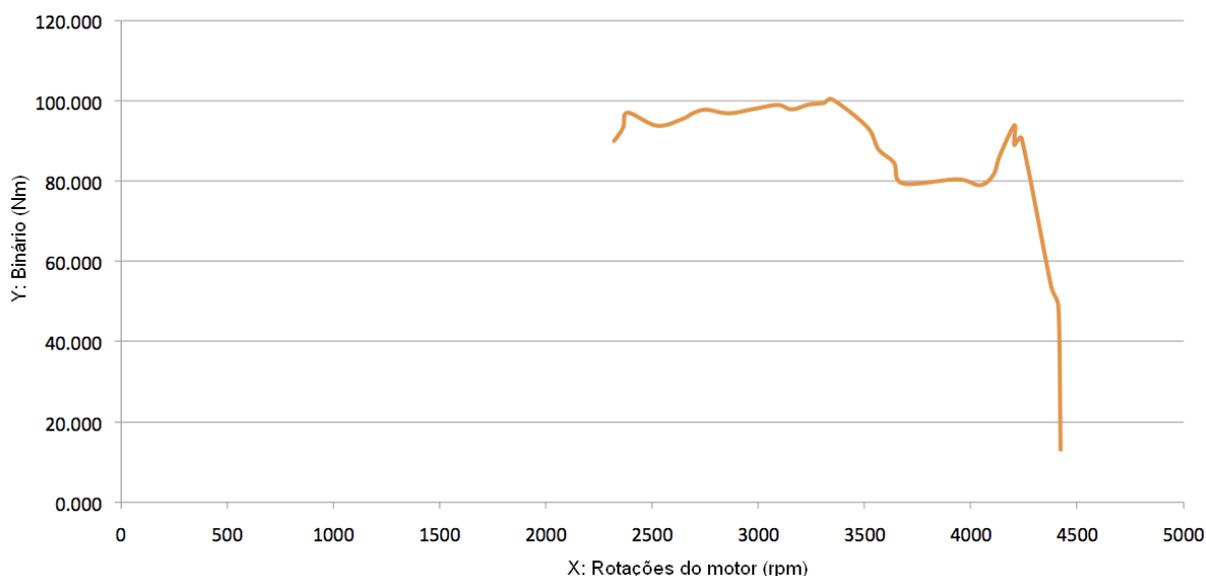


Figura 4.5.2 - Gráfico representativo do binário do veículo

Deste ensaio apresentado pelos gráficos das figuras 4.5.1 e 4.5.2 pode-se concluir que o veículo debitou uma potência máxima de 54,65 cv às 4235 rpm e um binário máximo de 100,39 Nm às 3345 rpm. De notar que entre as 3500 e as 4000 rpm os valores de potência e de binário sofrem uma perturbação algo acentuada o que não representa fielmente a realidade uma vez que o veículo tem um débito de potência e binário relativamente linear.

Pelos dados deste ensaio é possível ainda verificar que o débito máximo de potência não ocorre na mesma altura em que se dá o débito máximo de binário e ainda que o veículo após atingir a potência máxima às 4235 rpm, deixa de incrementar este valor, apesar do motor ainda conseguir gerar mais rotações por minuto, sendo o limite perto das 5150 rpm [17].

5 - Identificação do veículo de testes

5.1 - Introdução

Dado que os testes e resultados apresentados neste trabalho têm como referência um veículo de testes, é oportuno fazer a caracterização do mesmo, de modo a serem identificados os dados necessários a introduzir para se aferir sobre os vários pontos deste trabalho.

Neste ponto serão identificados os seguintes dados:

- Massa do veículo;
- Rendimento da transmissão;
- Raio da roda;
- Área frontal;
- Coeficiente arrastamento aerodinâmico;
- Coeficiente de atrito de rolamento;
- Potência;
- Binário.

O veículo utilizado como veículo de testes é um Mercedes-Benz modelo 190D. É um veículo de 1988 de motorização Diesel e 2000 cm³ de cilindrada. Em seguida são apresentados todos os dados do veículo de testes, relevantes a este trabalho.

5.2 - Massa do veículo de testes

A massa do veículo representa um papel importante nas equações para aquisição de potência e binário, assim é de extrema importância que seja adquirida de forma fiável. Para tal o veículo foi pesado numa balança própria para o efeito na central termoelétrica do Ribatejo. Esta balança é usada para pesar os veículos que entram na central termoelétrica para controlar as entradas e saídas de mercadoria, sendo periodicamente calibrada/certificada.

A figura 5.2.1 mostra o veículo sobre a balança, a figura 5.2.2 apresenta o talão de pesagem onde se pode verificar o peso da viatura como sendo 1170 kg



Figura 5.2.1 - Fotografia do veículo de testes sobre a balança de pesagem

| edp | |
|------------------|----------------------|
| TALÃO DE PESAGEM | |
| DATA: | 09-09-20 HORA: 11-27 |
| MATRICULA : | 78-97-HE |
| NOME : | JOAO-RIBEIRO |
| CODIGO : | |
| PRODUTO : | PESAGEM-DO-CARRA |
| ORIGEM : | |
| DESTINO : | |
| 1.a PESAGEM : | 1170 kg |
| 2.a PESAGEM : | 1170 kg |
| LIQUIDO : | 00 kg |

EDP - Gestão da Produção de Energia, S.A.
 CENTRO DE PRODUÇÃO CARREGADO
 Vala do Carregado - 2580-510 CARREGADO - Tel: 263 000 500 - Fax: 263 000 710
 SEDE SOCIAL: Av. José Malhoa, Lote A - 13 - 1070-157 LISBOA.
 Registrado no C. R. C. de Lisboa sob o n.º 3861 - NIPC: 503 293 495 - Capital Social: 1.234.000.000,00 Euros
 2000-102/2710

Figura 5.2.2 - Talão de pesagem referente ao veículo de testes

Importante referir que a pesagem do veículo foi feita sem qualquer passageiro e sem qualquer peso extra e o depósito de combustível meio, tendo este capacidade para 65 l [17]

5.3 - Potência e Binário do veículo de testes

Com o objectivo de apurar a potência e binário deste veículo sobre o qual foi testado o sistema, este foi levado a um banco de potência estático. No dia 4 de Junho de 2009 o veículo foi presente a um teste de potência num banco de potência VAMAG da oficina *MDL Sport* na Pontinha. Este banco de potência só está apto a receber veículos de duas rodas motrizes, o que é suficiente para o automóvel em análise. Este tem como princípio o dinamómetro de inércia. Usa um cilindro maciço onde a roda do veículo faz contacto, à medida que a roda do veículo faz rodar esta massa cilíndrica, um computador adquire os valores de aceleração do mesmo e sabendo à partida a massa do cilindro equaciona-se a potência gerada pelo veículo em teste. A figura 5.3.1 mostra o contacto entre o pneu do veículo e o dinamómetro.



Figura 5.3.1 - Ponto de contacto entre o veículo e o dinamómetro

Antes de ser iniciado o teste foram confirmadas as seguintes acções de segurança: As rodas motrizes do veículo alinhadas com o dinamómetro, colocação de um ventilador na parte da frente do veículo com o propósito de arrefecer o liquido refrigerante do radiador já que o veículo será testado em alto regime que aumenta a temperatura do motor.

Uma vez iniciado o teste o veículo é acelerado até uma velocidade suficiente para ser possível engrenar a quarta mudança, sem que exceda as 1000 rpm. Assegurados este factores, o operador do veículo acciona o acelerador ao máximo e sempre na mesma posição de acelerador é feito uma aquisição de potência e binário ate à rotação máxima do motor do veículo.

A figura 5.3.2 serve para apresentar a disposição do veículo no dinamómetro, bem como o ventilador de arrefecimento adicional.



Figura 5.3.2 - Disposição do veículo no dinamómetro

Em seguida é apresentado pela figura 5.3.3 o resultado obtido pelo teste efectuado no dinamómetro.

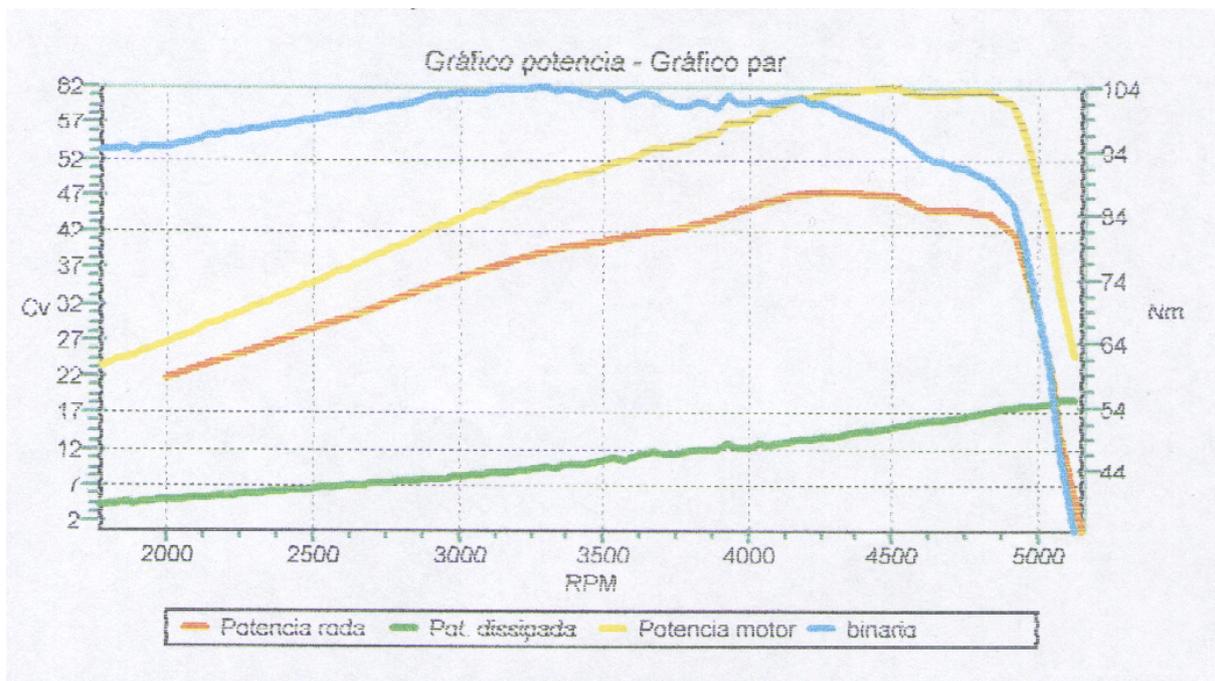


Figura 5.3.3 - Gráfico de potência e binário adquiridos no dinamómetro

É em seguida apresentado, pela tabela 5.3.1, o leque de dados adquiridos no dinamómetro

Tabela 5.3.1 - Dados obtidos no dinamómetro

| | |
|---------------------------|---------------------|
| Potência do motor | 62,0 cv a 4516 rpm |
| Potência à roda | 46,9 cv |
| Potência dissipada | 15,1 cv |
| Binário máximo | 103,6 Nm a 3272 rpm |
| Velocidade máxima | 175,8 km/h |
| Rotações máximas do motor | 5131 rpm |

Este ensaio permitiu ainda aferir o valor do rendimento da transmissão, já que é também adquirido o valor da potência à roda. Deste modo é possível obter o valor de 0,756 como o valor da relação entre a potência gerada pelo motor e a efectivamente debitada na roda.

Uma vez adquiridos os valores de potência e binário num dinamómetro, neste momento é possível confrontar os valores obtidos pelo sistema desenvolvido neste trabalho e os dados do dinamómetro. A tabela 5.3.2 apresenta os valores lidos por estes dois dispositivos.

Tabela 5.3.2 - Comparativo entre os valores de potência e binário do dinamómetro VAMAG e do sistema realizado neste trabalho

| Dinamómetro VAMAG | Sistema de realizado neste trabalho |
|---------------------|-------------------------------------|
| 62,0 cv a 4516 rpm | 54,65 cv a 4235 rpm |
| 103,6 Nm a 3272 rpm | 100,39 Nm a 3345 rpm |

Com base no comparativo da tabela 5.3.2 é possível verificar a proximidade entre os valores apontados por cada um dos dispositivos, sendo a diferença entre ambos de cerca de 8 cv e 3 Nm o que representa um erro inferior a 13% na potência e 3% no binário. Se comparado o gráfico da figuras 5.3.3 com os gráficos das figuras 4.5.1 e 4.5.2, que representam os dados recolhidos num teste em velocidade, pode-se também encontrar semelhanças no intervalo em que ambos têm o nível de potência e binário máximo, sendo em ambos entre os 4200 e 4550 rpm nos resultados de potência e 3200 e os 3400 rpm nos resultados de binário.

5.4 - Área frontal do veículo de testes

Tal como é mencionado no ponto 2.4.2 a área frontal do veículo em teste apresenta um papel importante na aquisição do valor da força de resistência aerodinâmica. Pela figura 5.4.1 são apresentadas as medidas efectuadas junto do veículo.



Figura 5.4.1 - Área frontal do veículo de testes

Através dos dados recolhidos determina-se a área frontal como sendo a largura do veículo multiplicada pela altura, subtraído pelas áreas a vermelho. O valor obtido é 1,94 m².

5.5 - Coeficiente de arrastamento e coeficiente de atrito de rolamento

Para adquirir o valor de coeficiente de arrastamento e coeficiente de atrito de rolamento foram efectuados os ensaios da forma descrita no ponto 2.4.2 e no ponto 2.5, em seguida são apresentados os valores obtidos em cada um dos ensaios e respectivos coeficientes resultantes.

Tabela 5.5.1 - Resultados dos ensaios relativos à determinação dos coeficientes de arrastamento e de rolamento

| | Ensaio 1 de alta velocidade | Ensaio 2 de baixa velocidade |
|-------------------------------------|---|---|
| Velocidade inicial | $v_{a1} = 70 \text{ km/h}$ | $v_{a2} = 40 \text{ km/h}$ |
| Velocidade final | $v_{b1} = 60 \text{ km/h}$ | $v_{b2} = 30 \text{ km/h}$ |
| Intervalo de tempo | $t_1 = 10,37 \text{ s}$ | $t_1 = 15,14 \text{ s}$ |
| Velocidade média | $v_1 = 65 \text{ km/h}$ | $v_2 = 35 \text{ km/h}$ |
| Desaceleração média | $a_1 = 0,964 \frac{\text{km} / \text{h}}{\text{s}}$ | $a_2 = 0,661 \frac{\text{km} / \text{h}}{\text{s}}$ |
| Coeficiente de arrastamento | 0,376 | |
| Coeficiente de resist. ao rolamento | 0,015 | |

O resultado dos dois coeficientes apresentados na tabela 5.5.1 são obtidos pelas equações (2.12) e (2.14) anteriormente apresentadas. Estes ensaios foram feitos numa estrada asfaltada, plana e sem irregularidades no piso.

Resumindo os dados referentes ao veículo de testes, é apresentada a tabela 5.5.2 com os valores relevantes ao sistema apresentado neste trabalho.

Tabela 5.5.2 - Principais dados do veículo de testes

| | |
|--|----------|
| Massa do veículo | 1170 kg |
| Rendimento da transmissão | 0,756 |
| Raio da roda | 0,3 m |
| Área frontal | 1,94 m |
| Coefficiente arrastamento aerodinâmico | 0,376 |
| Coefficiente de atrito de rolamento | 0,015 |
| Potência | 62,0 cv |
| Binário | 103,6 Nm |

6 - Arquitectura do Software

6.1 - Introdução

Neste capítulo é apresentada e aprofundada a programação do uC realizada neste trabalho. Como já mencionado anteriormente o uC utilizado é o dspic30f6012a que incorpora o módulo CAN_PIC-FST. Este tem como frequência de relógio 16 MHz e alimentação a 5 V. A programação é feita em linguagem C e tem como compilador o C30 disponibilizado pelo fabricante.

6.2 - Corpo principal do programa

Para uma melhor percepção do corpo do programa é apresentada a figura 6.2.1 com um diagrama do programa realizado.

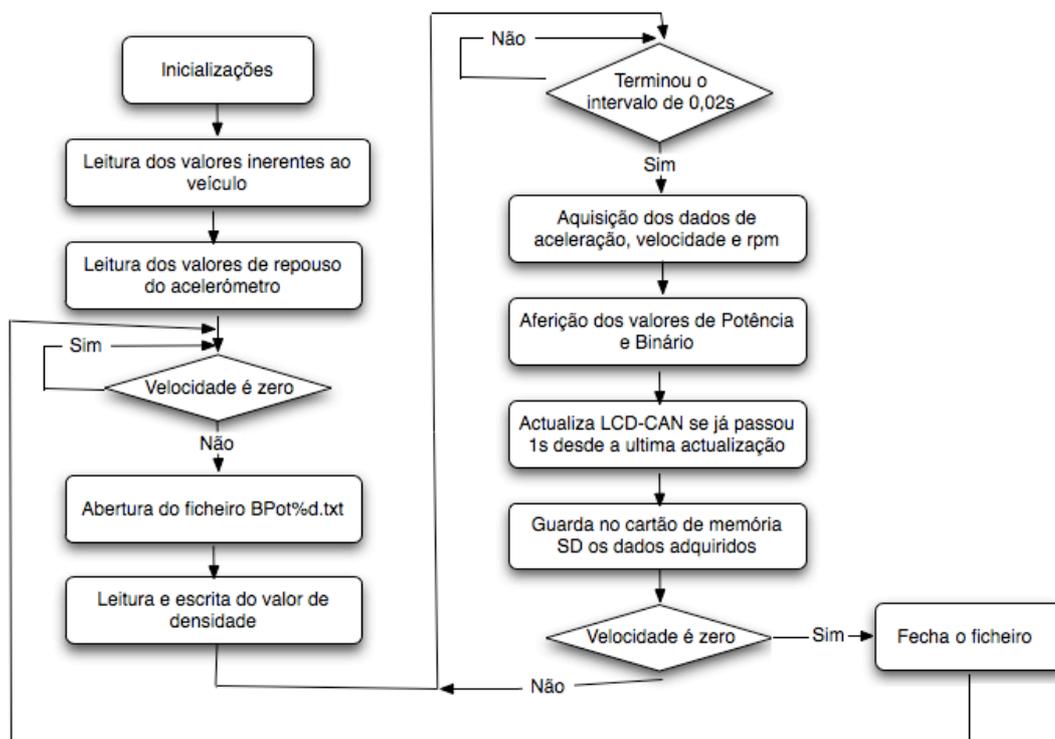


Figura 6.2.1 - Diagrama de blocos referente à arquitectura do programa principal

Tal como indica o diagrama da figura 6.2.1 a primeira fase do programa incide na inicialização de todos os módulos necessários ao programa, tais como:

- Timer 1, 2 e 3;
- Módulo UART;
- Módulo de interrupções;
- Módulo de comunicação SPI, acelerómetro e cartão de memória SD;
- Módulo de escrita na EEPROM do uC;
- Módulo CAN;
- Módulo Analógico-Digital;
- Módulo de comunicação I2C e sensor de temperatura/humidade.

Pretende-se de seguida abordar detalhadamente cada passo ilustrado pela figura 6.2.1

Esta fase de inicialização somente é executada uma vez no programa. Neste ponto todos os módulos de comunicação bem como os portos necessário para a aquisição de dados dos sensores, estão configurados.

No passo seguinte é lido do cartão de memória, um ficheiro de nome dv.txt (dv iniciais das palavras, dados veículo) onde estão guardados os dados referentes ao veículo a monitorizar. Este ficheiro é criado pelo utilizador num computador pessoal e guardado no cartão de memória SD antes mesmo do programa ter início. Este ficheiro tem uma distribuição de dados fixa, na qual é guardado os valores de massa do veículo, rendimento da transmissão, raio da roda, área frontal, coeficiente de arrastamento, coeficiente de atrito ao rolamento e velocidade do vento. Desta feita o uC tem em registo interno os valores característicos do veículo que posteriormente serão usado no cálculo da potência e binário do motor.

De seguida é lido da memória interna do uC, o valor de repouso do acelerómetro. Foi tomada esta medida de guardar o valor de repouso do acelerómetro, uma vez que apesar de internamente este ter um valor de repouso no qual os valores de aceleração no eixo X e Y são de valor zero e Z 1g, não é de todo prático que na montagem do sistema no veículo se consiga encontrar este ponto de repouso interno. Como tal, e com o intuito de facilitar o posicionamento do sistema, é possível indicar ao uC qual o valor de inclinação zero, ou seja, de repouso do acelerómetro. Posteriormente, quando são lidos os valores de aceleração, estes são confrontados com os valores reais de repouso aplicando-se os ajustes necessários.

O facto dos valores de repouso serem gravados na EEPROM do uC em vez de serem gravados no cartão de memória SD, deve-se ao facto de na prática os valores de repouso não serem frequentemente alterados. Como tal, este valor terá que ser guardado numa memória não volátil e num sistema que confie ao cartão de memória a sua versatilidade, podendo o cartão ser mudado sem que o valor de repouso do sistema tenha que ser novamente adquirido.

A EEPROM do uC tem capacidade para 4096 bytes e é independente da memória de dados e de programa.

Como anteriormente mencionado em relação ao cartão de memória, para que o ficheiro onde são escritos os dados adquiridos não seja corrompido, este tem que ser devidamente terminado. Existe assim a necessidade de se encontrar um indicador ao qual será associado o fecho do ficheiro de dados. Este indicador é a velocidade do veículo, já que estando o veículo imóvel, os dados recolhidos pelo sistema não são relevantes. Assim, após ter terminado a leitura da EEPROM, o uC espera que o veículo inicie a marcha. Caso a velocidade seja diferente de zero, significa que os dados gerados são relevantes e como tal é aberto um novo ficheiro para acomodar os dados gerados. Depois do ficheiro ser aberto é aferido o valor de densidade do ar e guardado na primeira linha do ficheiro.

Após a fase de inicializações o programa entra num ciclo de aquisição de dados cujo intervalo de aquisição é controlado pelo *timer1* que define a contagem de 0,02 segundos entre aquisições. Deste modo após a aquisição e escrita na memória o uC espera pelo início de um novo ciclo de aquisição.

O intervalo de aquisição é fixo tendo sido escolhido com base no volume de dados necessário para caracterizar o desempenho de um veículo. Como exemplo, o Ferrari F430 produzido actualmente, demora 3,5 segundos a atingir a velocidade de 100 km/h. Se eventualmente este sistema fosse aplicado neste veículo e com intervalo de aquisição de 50 Hz seriam adquiridos 175 conjuntos de dados, sendo este um volume aceitável de dados para se tomar conhecimento do desempenho do veículo.

No final de cada ciclo, para além do LCD-CAN ser actualizado de segundo a segundo e os dados gravados no cartão de memória SD, é verificado se a velocidade é zero, denunciando desta forma que o veículo está imóvel, não se justificando a aquisição de dados como já foi mencionado. Em caso afirmativo, o programa passa novamente para a fase de espera que o veículo entre novamente em marcha. Note-se que neste caso, o ficheiro é terminado assegurando desta forma que os dados recolhidos no ensaio não ficam corrompidos. Se eventualmente o veículo voltar a ter velocidade superior a zero, então o sistema abre um novo ficheiro com o nome BPot%d.txt , correspondendo o campo %d a um valor inteiro que é incrementado assim que o ficheiro é aberto. Desta forma os ficheiros não são sobrepostos, sendo que o primeiro ficheiro aberto tem o nome BPot0.txt e o seguinte BPot1.txt e assim por diante.

Cada um dos ficheiros criados tem uma construção específica que permite a identificação de cada uma das linhas de dados e a abertura directa do ficheiro por um programa de tratamento de dados como por exemplo o *Microsoft Excel* . A organização de cada um dos ficheiros é a seguinte:

Tabela 6.2.1 - Organização do ficheiro BPot0.txt

| | | | | | | | | | |
|---------|---|----------------|----------|---------|-----------|-----|------------|----------|---------|
| Linha 1 | 0 | temperatura | humidade | pressão | densidade | | | | |
| Linha 2 | 1 | etiqueta_tempo | eixoX | eixoY | ângulo | rpm | velocidade | potência | binário |
| Linha 3 | 1 | etiqueta_tempo | eixoX | eixoY | ângulo | rpm | velocidade | potência | binário |

Como se verifica a primeira linha do ficheiro apresenta os dados da estação meteorológica e é identificada pelo número 0 no início da linha. As restantes linhas que são identificadas com o número 1 no início representam os dados de cada aquisição em intervalos de 50 Hz. A separação entre os valores é feita por meio de um *tab* que permite a separação dos dados visualmente, mas também para que seja permitido a qualquer programa identifica separadamente cada valor como é o caso do programa *Microsoft Excel*, por exemplo.

6.3 - Interrupções ao programa principal

Neste programa recorre-se à utilização de 7 interrupções, nomeadamente: Interrupção *timer* 1, Interrupção de *timer* 2 e 3, Interrupção de UART, Interrupção de CAN e interrupção de porto 1 e 2. Cada uma destas interrupções destinam-se a melhorar o modo como o uC responde aos eventos fora do ciclo principal de aquisição de dados. De seguida é aprofundado cada uma destas interrupções.

É com o auxílio da interrupção do *timer* 1 que é conseguido identificar o período de tempo de 0,02 s requerido para marcar o intervalo de aquisição de dados. Cada *timer* é constituído por 16 bits, portanto cada um tem período de 0,0041 s desde 0x0 a 0xFFFF. Sendo que cada interrupção é feita na transição de 0x0 para 0xFFFF basta que se conte 4 interrupções e que à quarta interrupção se defina como ponto de início, em vez de 0x0 o valor de 0xE204 que equivale a um intervalo de tempo de 0,0036 s. Desta forma é accionada uma *flag* indicando que o intervalo de 0,02 s foi atingido.

As interrupções de porto 1 e *timer* 2 actuam de forma coordenada para que seja adquirido o valor de velocidade e de forma semelhante as interrupções de porto 2 e *timer* 3 são usadas para adquirir o valor de rotações do motor. Como já foi mencionado anteriormente, para adquirir o valor de velocidade e rotações do motor, é necessário obter a frequência do sinal e posteriormente converter este valor em velocidade ou rotações por minuto. Portanto é necessário que o uC tenha a capacidade de receber este sinal e aferir sobre a frequência do mesmo. Para tal é usado uma interrupção ao porto bem como um *timer* para calcular o tempo entre interrupções do mesmo. Desta forma quando existe uma interrupção no porto, o *timer* é iniciado com o valor de 0x0 e fica a contar até que ocorra nova interrupção, neste instante o valor do *timer* é guardado numa variável que indica o intervalo de tempo entre dois flancos ascendentes do sinal à entrada do porto.

Para além da capacidade de envio de mensagens CAN, este sistema necessita de ser capaz de processar a recepção de mensagens CAN também, para tal foi implementada uma interrupção dedicada à leitura do *buffer* de recepção de mensagens CAN, assim que o endereço de CAN deste sistema seja accionado.

Para a detecção de erros ao longo do desenvolvimento do projecto, foi incorporado neste sistema a possibilidade de comunicar directamente com um computador pessoal. Com esta ferramenta é possível enviar e receber parâmetros à media que o programa principal está a decorrer, facilitando desta forma a despistagem de erros. Para implementar a capacidade de recepção de mensagens vindas do computador pessoal, foi configurada uma interrupção que está dedicada à leitura do *buffer* de recepção UART e conseqüente identificação da mensagens enviada.

Este sistema de comunicação assenta na comunicação serie com o computador pessoal, é usado o protocolo de comunicação UART entre o uC e o integrado FT232R que por sua vez envia a mensagem por meio de um cabo de USB convencional. Ao nível do computador pessoal, as mensagens são lidas como que uma comunicação série tal como numa comunicação do tipo RS232.

Através deste sistema de envio e recepção de mensagens, ficaram implementados três comandos que permitem ao utilizador accionar processos secundários ao programa principal, nomeadamente:

- Com o envio do caracter *r* o uC dá inicio ao processo de aquisição do valor de repouso do acelerómetro;
- Com o envio do caracter *s* o utilizador impõem ao uC o iniciar do ciclo principal mesmo que o veículo esteja imóvel;
- Com o envio do caracter *f* é imposto o fecho do ficheiro actual e abertura de um novo.

6.4 - Ecrã de CAN

Dado que todas a comunicações entre os diversos sistemas implementados no monolugar FST são feitas através da comunicação CAN e já que este sistema não foi aplicado no mesmo, foi implementado ao nível do uC um protocolo de comunicação CAN de maneira a comunicar com um ecrã CAN desenvolvido num trabalho anteriormente efectuado (SUBA a hidrogénio). Este ecrã de 21x2 caracteres tem como interface um uC PIC 18F2480 e um receptor CAN MCP2551 que converte o sinal de CANH e CANL num sinal entendido pelo PIC, este receptor é idêntico ao usado na placa CAN_PIC-FST.

Foi configurado ao nível do uC PIC 18F2480 um endereço específico e foi alterado o código de maneira a que apresente os valores de velocidade, rotações do motor, potência e binário gerados pelo veículo a cada instante. A figura 6.4.1 apresenta o ecrã referido, mostrando um conjunto de valores enviados por CAN. O uC dspic30F6012a montado na placa CAN_PIC-FST foi programado para que em intervalos de um segundo, seja enviado para o ecrã os dados atrás referidos.



Figura 6.4.1 - Ecrã CAN BUS com valores exemplo

A configuração do módulo CAN foi feita de acordo com a implementada pela equipa FST, como tal esta é feita a uma frequência de 1 MHz de modo a que ao ser inserido na rede do monolugar FST as mudanças sejam mínimas.

A introdução deste ecrã no presente trabalho, pretende testar e garantir que ficam a operacionais as funcionalidade de CAN neste projecto, contudo o facto deste trabalho usufruir de um sistema que mostra a potência do veículo pode ter algumas aplicações tais como: Este ecrã pode estar implementado no volante do piloto e em directo ser mostrado o valor de potência e binário; Já como este sistema tem a particularidade de aferir o valor de potência do veículo, sempre que o piloto estiver prestes a chegar ao valor limite de potência, o ecrã mostrará um aviso de que a mudança acaba de debitar a potência máxima do veículo, sendo neste momento aconselhada a troca para uma mudança mais alta.

7 - Hardware utilizado

7.1 - Introdução

Em seguida são apresentados os sistemas de hardware constituintes deste trabalho, bem como os que intervirão para a despistagem de erros no seu desenvolvimento.

7.2 - Módulo CAN_PIC FST

Como já foi mencionado anteriormente este trabalho tem como base o módulo CAN_PIC FST, tal como é feito em todos os projectos ligados ao FST. Este módulo incorpora um uC dspic30f6012a, um regulador que permite alimentar o uC através da bateria 12V do veículo, um controlador MCP2551 que faz a interface entre a comunicação CAN e o uC. Este módulo tem ainda todos os portos do uC disponíveis em quatro fichas que permitem a ligação de circuitos periféricos ao módulo.

O uC tem um cristal de 16 MHz e estando configurado para funcionar a 16 milhões de instruções por segundo, consome 150 mA [5] quando alimentado a 5 V.

7.3 - Módulo periférico

É neste módulo que se encontram os demais sensores usados neste trabalho, a interface de comunicação entre o uC e o computador pessoal, o cartão de memória SD, bem como um regulador 3.3 V do tipo TPS76333. A figura 7.3.1 ilustra o estado final do módulo periférico bem como a identificação dos sistemas por esta constituídos.

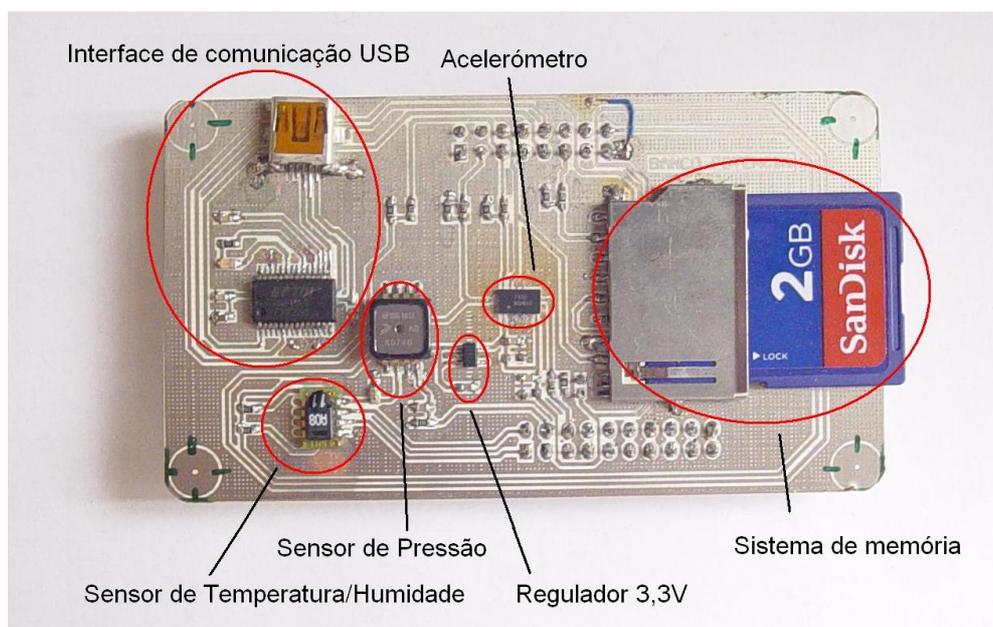


Figura 7.3.1 - Fotografia ao módulo Banco de Potência

De notar pela figura 7.3.1 que foi adoptada a ficha *microUSB* para deste modo poder ser incorporada neste módulo que tem dimensões idênticas ao módulo CAN_PIC FST. Este módulo é aplicado por cima do módulo CAN_PIC FST de modo a ser possível uma maior economia de espaço quando este sistema é montado no veículo.

7.4 - Módulo CAN USB

Para ser testado o funcionamento do protocolo de comunicação CAN entre o uC e a rede de comunicação CAN do monolugar FST, foi utilizado o módulo CAN USB que permite através de um programa em linguagem C# interpretar as mensagens enviadas e recebidas pelo uC, num computador pessoal. Este módulo possui um controlador CAN idêntico ao usado no módulo CAN_PIC FST. Tem ainda um uC do tipo 18F4550 da *Microchip* que converte as mensagens recebidas em CAN por comunicação do tipo USB com o computador pessoal, bem como um conversor SPI-CAN MCP2515 que converte mensagens CAN em SPI, uma vez que, ao contrário do uC do módulo CAN_PIC FST, este não possui controlador CAN interno.

7.5 - Módulo LCD CAN

O módulo LCD CAN, confere a este trabalho a aplicação de uma comunicação CAN, já que com este é possível que sejam visionados alguns dos valores que o uC está a adquirir à medida que faz o teste ao veículo. Este módulo LCD CAN é constituído por um ecrã de 21x2 caracteres e um circuito que faz a interface entre os 16 portos do ecrã e a mensagem CAN que é enviada pela uC. Para além do ecrã este módulo tem um uC do tipo 18f2480 que faz o controlo entre a recepção mensagens CAN e os respectivos caracteres a mostrar no ecrã. Este sistema usa também um controlador CAN semelhante ao usado no módulo CAN_PIC FST e CAN USB.

8 - Conclusões

Com o trabalho realizado foi possível concretizar um sistema de aquisição de dados de um veículo motorizado que permite a sua caracterização e aferição de desempenho. Para obter os resultados atingidos foi necessário um estudo teórico prévio focado na dinâmica e nas forças aplicadas a um veículo. De seguida foram estudados os dispositivos que permitiram levar a cabo este trabalho, desde sensores, sistemas de comunicação e sistemas de armazenamento de dados.

Neste trabalho foi construído uma placa de circuito impresso de modo a receber os diversos dispositivos constituintes deste trabalho. Na placa de circuito impresso foram tidas em atenção as suas dimensões para da melhor forma ser possível aplicar este sistema no monolugar FST.

Todos os sistemas deste trabalho foram testados individualmente e confrontados com dados de sistemas modelo, sendo desta forma possível aferir sobre a veracidade dos dados por estes adquiridos.

Foi provada a versatilidade deste trabalho, sendo possível incorporá-lo em qualquer veículo automóvel.

Os objectivos deste trabalho foram atingidos sendo agora possível a equipa FST aferir sobre um leque de dados referentes à desempenho do seu monolugar.

9 - Referências

- [1] Robert Bosch GmbH, *Automotive handbook*, Wiley, 2004.
- [2] Paul A. Tipler, Gene Mosca, *Physics for Scientists and Engineers*, W. H. Freeman, 2003.
- [3] John D. Cutnell, Kenneth W. Johnson, *Physics*, Wiley, 2006.
- [4] Vasco de Brederode, *Fundamentos de aerodinâmica incompressível*, V. de Brederode, 1997.
- [5] Microchip, *dsPIC30F6011A/6012A/6013A/6014A Data Sheet*.
- [6] Analog Devices, *Small, Low Power, 3-Axis ± 3 g Data Sheet*.
- [7] Sensirion, *SHT1x Data Sheet*.
- [8] Freescale Semiconductor, *Integrated Silicon Pressure Sensor Data Sheet*.
- [9] Honda Track Data For Formula Student
- [10] Oliveira, Jordão, Caldeira, Banco de Ensaio portátil para veículos motorizados, Projecto Final de Curso de Engenharia Electrotécnica do IST, 1997.
- [11] Pedro Santos, Paulo Santos, Banco de Testes Portátil para Avaliar o Desempenho de Veículos Motorizados, Projecto Final de Curso de Engenharia Electrotécnica do IST, 2002.
- [12] Freescale Semiconductor, *Tree Axis Low-g Digital Output Accelerometer MMA7455L, Data Sheet*
- [13] Freescale Semiconductor, *Tilt Sensing Using Linear Accelerometers, by Kimberly Tuck*
- [14] Matej Andrejasic, *MEMS Accelerometers, University of Ljubljana Faculty for mathematics and physics Department of physics, 2008*
- [15] SanDisk Secure Digital Card, *Product Manual version 1.9, December 2003*
- [16] Peter Reen Microchip Technology Inc., Implementing File I/O Functions Using Microchip's Memory Disk Drive File System Library, AN1045
- [17] Haynes Service and Repair Manual Mercedes-Benz 190, 190E & 190D, Haynes publishing 1999
- [18] João Nuno Andrade Ribeiro, Banco de Potência Formula Student, Projecto em Engenharia Electrónica, 2009.

10 - Anexos



Figura 10.1 - Modo de encaixe entre a placa de circuito impresso do modulo CAN_PIC FST (baixo) e modulo Banco de Potência (cima)



Figura 10.2 - Placa de circuito impresso do modulo CAN_PIC FST (direita) e do modulo Banco de Potência (esquerda)

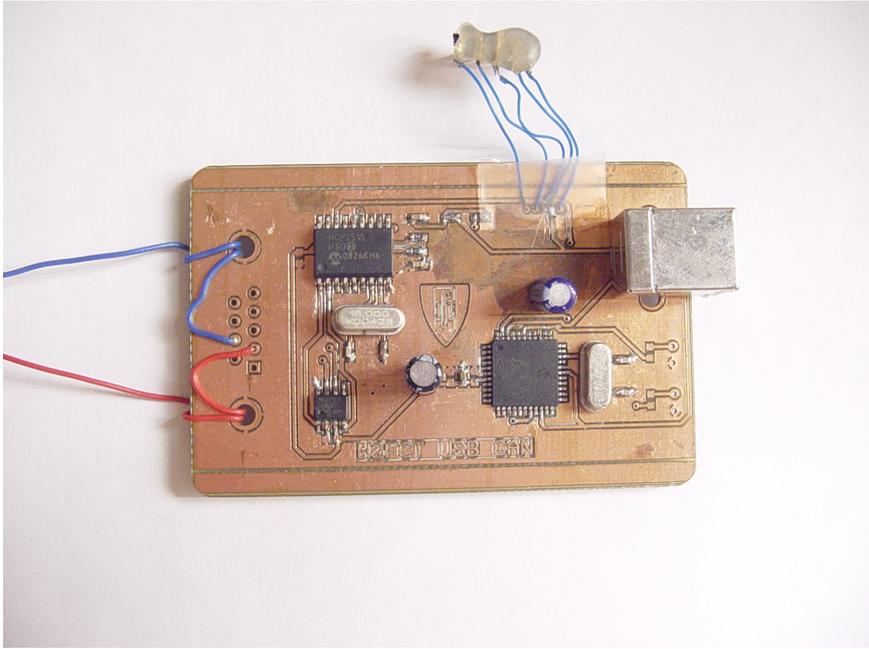


Figura 10.3 - Placa de circuito impresso do modulo CAN USB

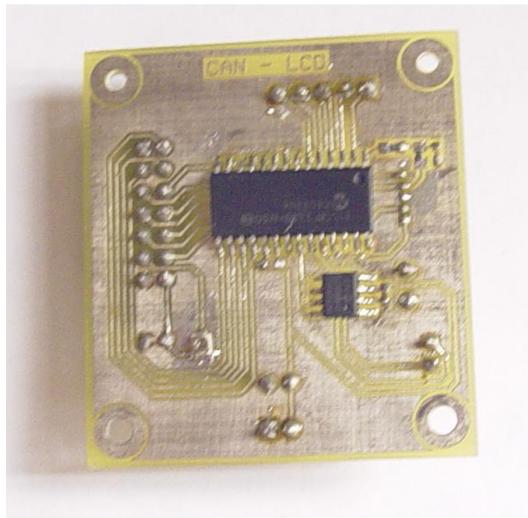


Figura 10.4 - Placa de circuito impresso do modulo LCD CAN

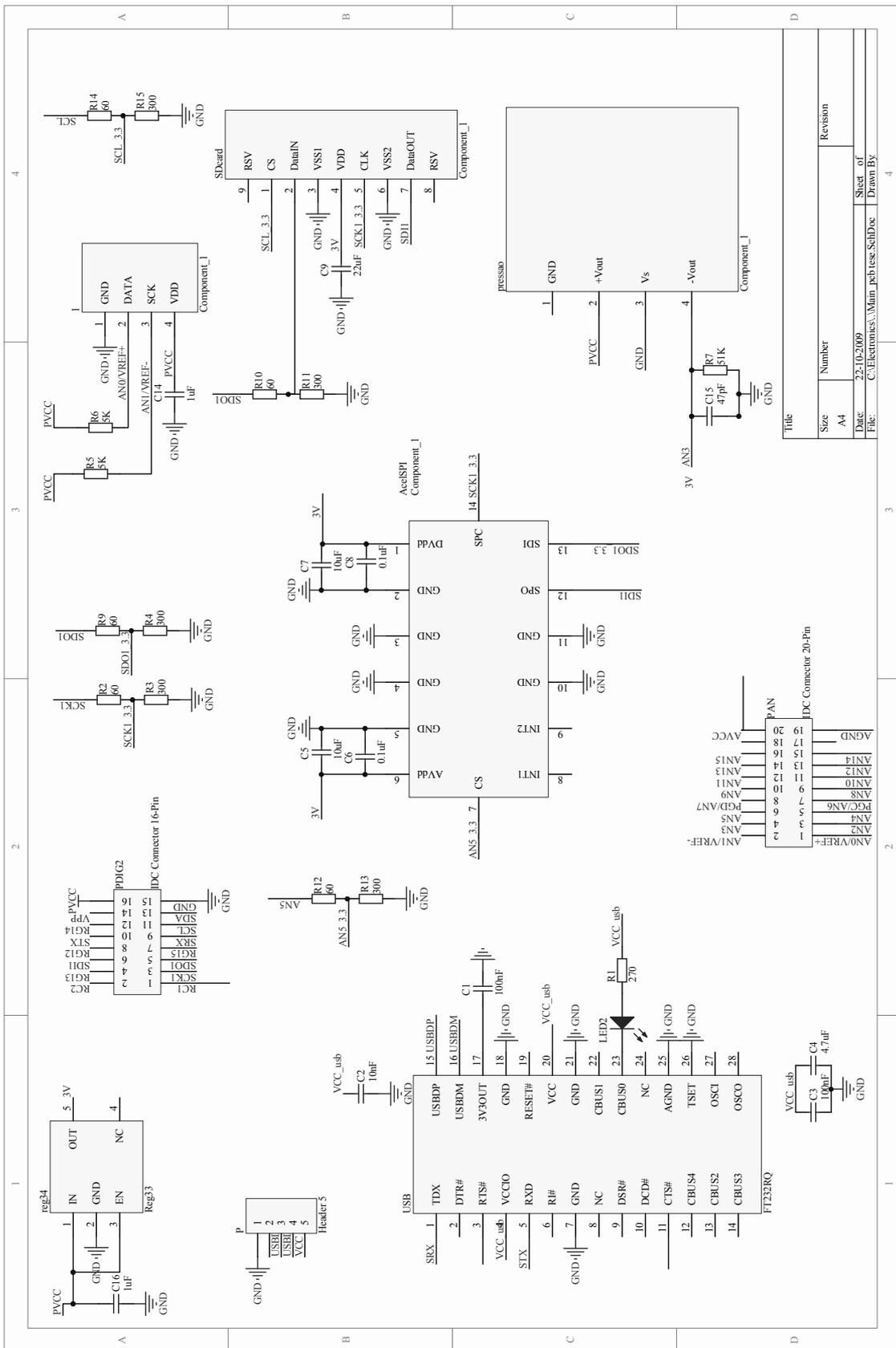
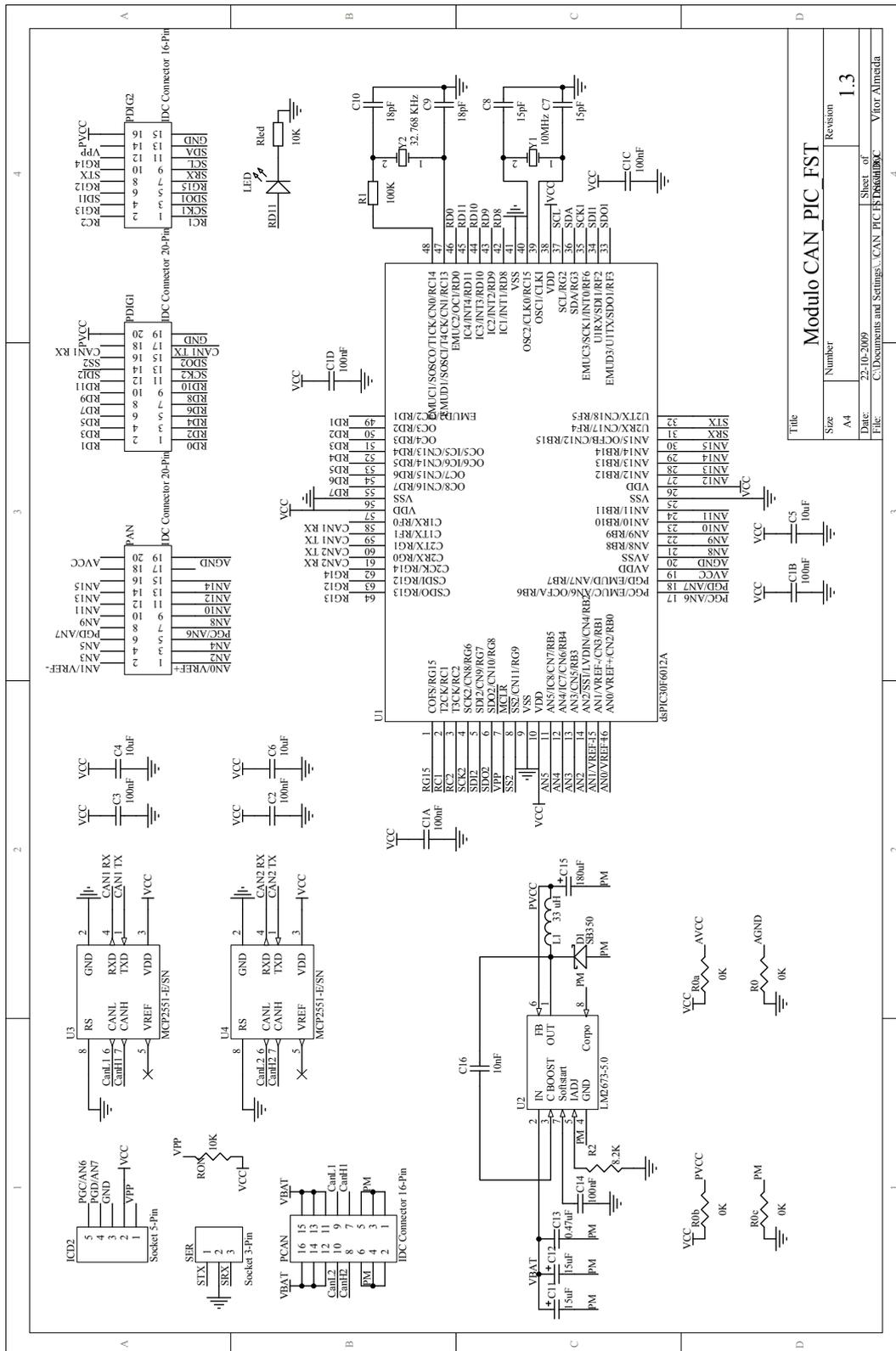


Figura 10.5 - Esquema elétrico da placa de circuito impresso do módulo Banco de Potência



| | | | |
|-------|--|----------|---------------|
| Title | | Revision | |
| Size | Number | | |
| A4 | | | 1.3 |
| Date: | 72-10-2009 | Sheet of | |
| File: | C:\Documents and Settings\... \CAN_PIC_FST\ModuloCAN_PIC_FST.dwg | Author | Vitor Almeida |

Figura 10.6- Esquema eléctrico da placa de circuito impresso do modulo CAN_PIC FST

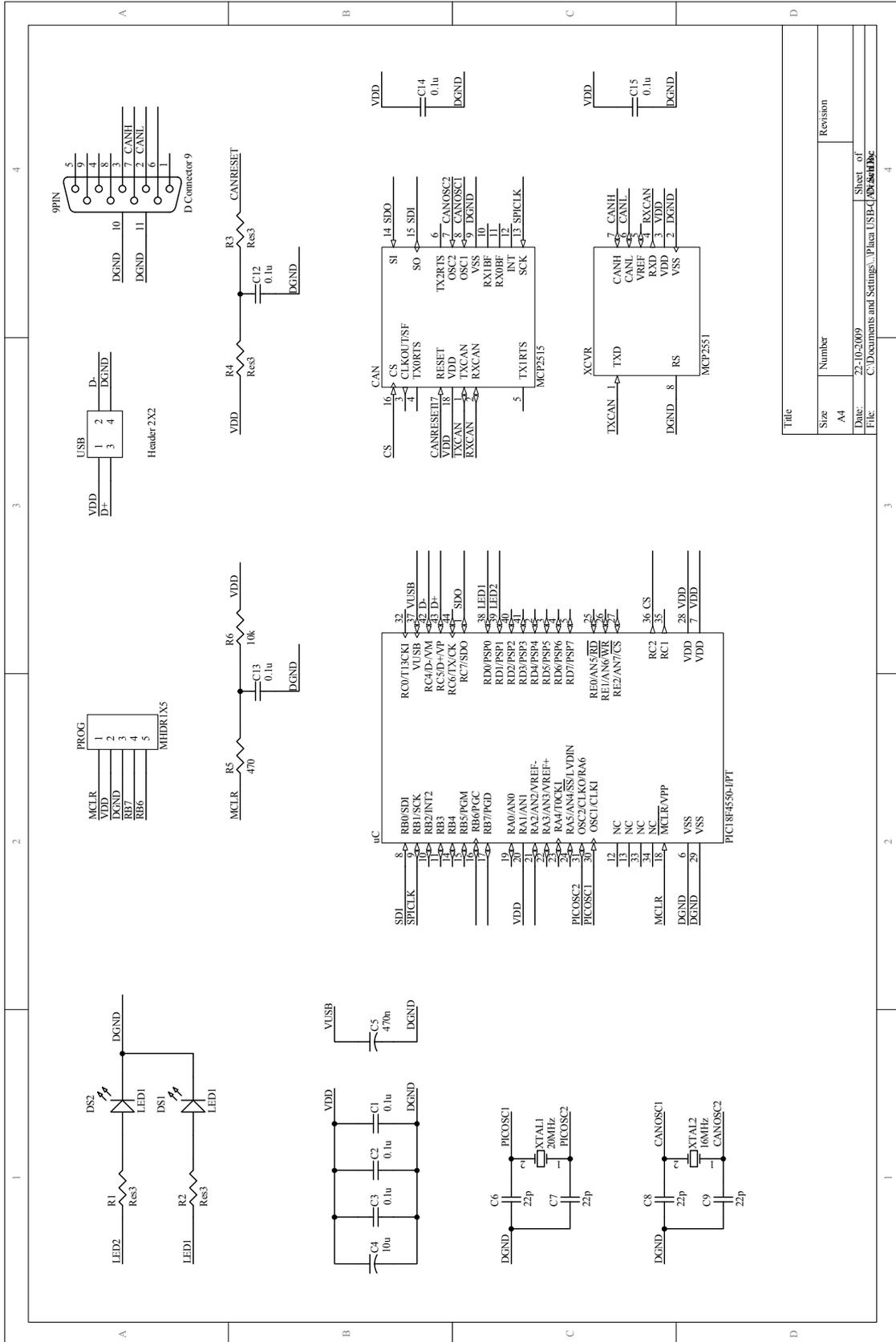


Figura 10.7 - Esquema eléctrico da placa de circuito impresso do modulo CAN USB

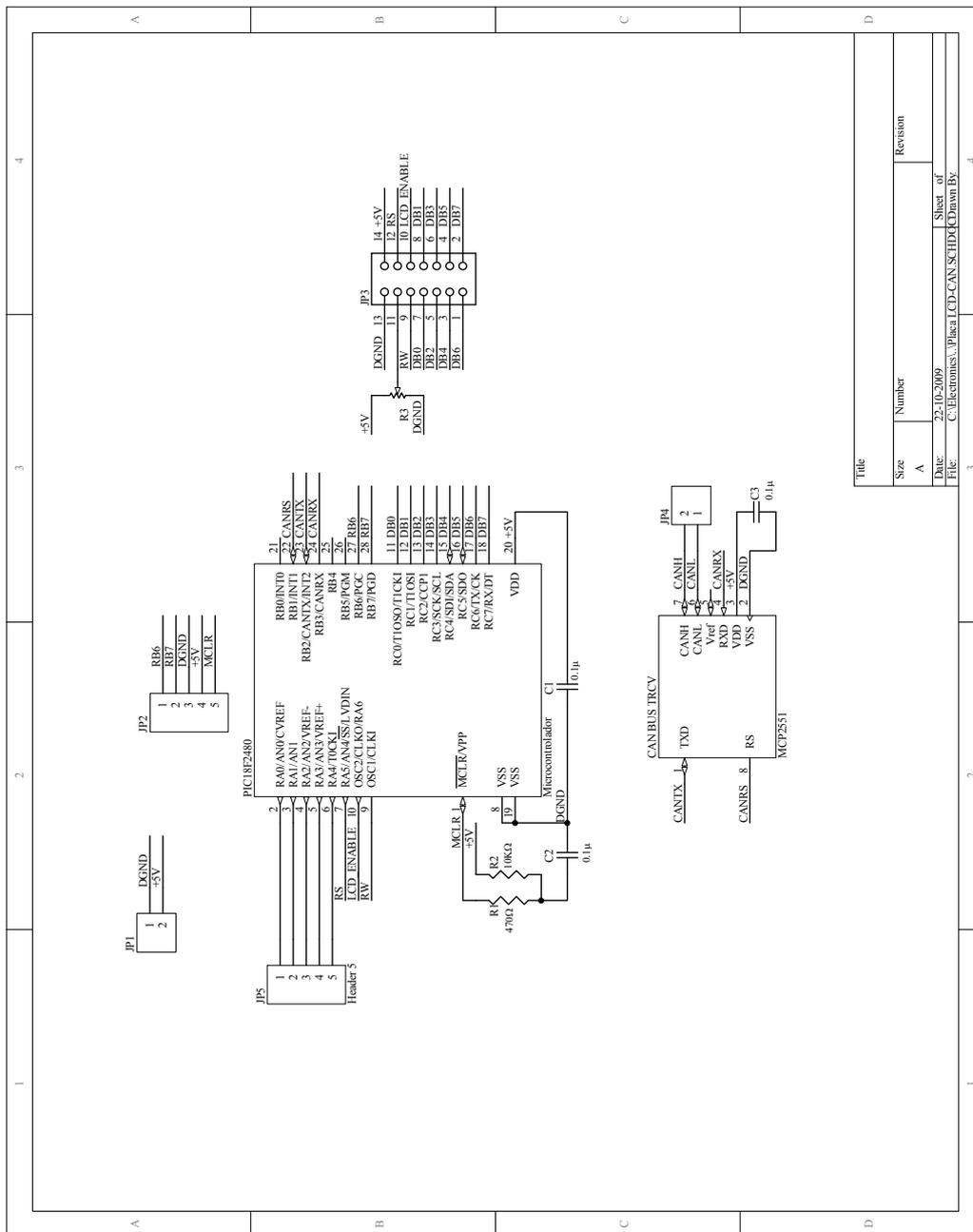


Figura 10.8 - Esquema eléctrico da placa de circuito impresso do módulo LCD CAN