



Projecto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Determinação da aceleração lateral de conforto em  
curva para veículos automóveis, diferentes condutores  
e "perfis" de condução***

**Marcelo Oliveira Brás**

Leiria, Outubro de 2013



Projecto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Determinação da aceleração lateral de conforto em  
curva para veículos automóveis, diferentes condutores  
e "perfis" de condução***

**Marcelo Oliveira Brás**

Projeto de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Carlos Daniel Henriques Ferreira,  
Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e  
coorientação do Doutor Carlos Fernando Couceiro de Sousa Neves, Professor da Escola Superior  
de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, Outubro de 2013

## ***Agradecimentos***

---

A realização deste projeto contou com o contributo fundamental de um conjunto de pessoas, às quais expresse um enorme agradecimento.

Ao Doutor Carlos Ferreira, orientador, por todo o interesse, disponibilidade, orientação e acompanhamento ao longo de todo o projeto. Ao Doutor Carlos Neves, coorientador, pelo apoio demonstrado;

Ao Mestre Nuno Pires e Engenheiro Diogo Costa, técnicos do Laboratório de Engenharia Automóvel, por toda a disponibilidade e auxílio na preparação do veículo para a realização dos ensaios práticos;

A todos os voluntários que se disponibilizaram para a realização dos ensaios práticos.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **Resumo**

---

O crescimento do número de veículos a circular na via pública tem provocado um aumento da insegurança nas estradas em consequência da quantidade de informação a que o condutor necessita de estar atento. De modo a minimizar este facto, os construtores de automóveis têm-se focado no desenvolvimento de sistemas de auxílio ao condutor que têm como principal função simplificar e aumentar o conforto de condução.

Os avanços realizados nesta área têm sido elevados, o que permite que a condução autónoma seja uma realidade cada vez mais próxima. Contudo, os sistemas introduzidos apresentam um comportamento automático distante do comportamento dos condutores.

Tendo como base os aspetos referidos anteriormente, este trabalho tem como objetivo encontrar uma forma de tornar estes sistemas análogos ao comportamento do condutor, no que diz respeito ao controlo de velocidade em curva. Neste sentido, são realizados estudos das reações de diferentes condutores em situações de condução em ambiente real.

Os estudos são realizados num percurso previamente selecionado e num veículo específico, tendo este sido instrumentado para a aquisição das variáveis necessárias, tais como, condições dinâmicas do veículo e aspetos representativos do comportamento do condutor, como atuação de pedais e batimento cardíaco.

Posteriormente é realizada a análise dos dados recolhidos de forma a encontrar uma função de controlo para a velocidade do veículo em função das acelerações laterais ou raio de curvatura das estradas.

**Palavras-chave:** Comportamento do condutor; Condução autónoma; Aceleração lateral em curva.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## ***Abstract***

---

With the constant growth in the number of cars circulating in public roads, the drivers must gather much more information while driving, increasing the chances of unsafe driving. To minimize this problem, automotive companies have been developing systems that help the drivers to prevent hazardous situations or reduce the damage done when an accident is inevitable.

The development of such systems is being considered of great importance and the advances in these technologies are leading to the autonomous driving to become a reality. However, the behavior of these systems is not close to the behavior of the driver as they should.

The aim of this work is to determine how these systems can behave more like the drivers in the control of the cornering speed. Studies on different drivers in real driving conditions have been performed in order to get enough data to build a standard behavior.

The experimental data is obtained in a selected course with a specific vehicle that has been mounted with enough devices to gather data from all the necessary variables, such as the vehicle's dynamics and the behavior and reactions of the driver – acting on the pedals and heart beats.

The data will then be analyzed in order to find a function for the vehicle speed as a function of lateral acceleration and corner radius.

**Key-Words:** Driver behaviour; Autonomous driving; Lateral acceleration in curve.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Índice

---

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>i</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>iii</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Índice</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>xi</b>
<b>Nomenclatura</b> .....	<b>xiii</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos .....	4
1.3 Estrutura do Documento.....	4
<b>2. Revisão Bibliográfica</b> .....	<b>7</b>
2.1 Introdução.....	7
2.2 Sistemas de Auxílio ao Condutor.....	7
2.2.1 Cruise Control .....	7
2.2.2 Adaptive Cruise Control.....	10
2.3 Caracterização comportamento do condutor.....	13
2.4 Batimento Cardíaco.....	17
<b>3. Análise Comportamento Condutor em Curva</b> .....	<b>21</b>
3.1 Introdução.....	21
3.2 Acelerações Laterais .....	21
3.3 Variáveis de análise.....	22
3.4 Veículo utilizado para a realização dos ensaios práticos .....	23

3.5	Sistema de aquisição .....	24
3.5.1	Sinais do veículo .....	25
3.5.2	Sinais externos ao veículo .....	26
3.5.3	Unidade de leitura e aquisição de dados .....	27
3.5.4	Sistema de visualização e Aquisição de dados para pc .....	28
3.5.5	Montagem sistema de aquisição.....	29
3.6	Metodologia de processamento de dados.....	30
3.6.1	Rotação.....	30
3.6.2	Aceleração lateral.....	31
3.6.3	Velocidade.....	33
3.6.4	Raio .....	35
3.6.5	Batimento Cardíaco.....	36
<b>4.</b>	<b>Ensaio s práticos .....</b>	<b>41</b>
4.1	Introdução .....	41
4.2	Caracterização dos ensaios práticos .....	41
4.2.1	Percurso.....	41
4.2.2	Condições de realizaçã o de teste.....	43
4.2.3	Amostra.....	43
<b>5.</b>	<b>Apresentaçã o e discussã o de resultados.....</b>	<b>45</b>
5.1	Introdução .....	45
5.2	Resultados .....	45
5.3	Discussã o de resultados .....	49
<b>6.</b>	<b>Conclusões .....</b>	<b>53</b>
6.1	Conclusões .....	53
6.2	Trabalhos Futuros .....	54
	<b>Bibliografia .....</b>	<b>55</b>
	<b>Apêndices .....</b>	<b>57</b>

## ***Índice de Figuras***

---

Figura 1: Imagem ilustrativa de condução em pelotão [3].	2
Figura 2: Resultados da pesquisa sobre a segurança da utilização dos sistemas de CC/ACC [5].	4
Figura 3: Diagrama de blocos da unidade de comando do CC [7].	9
Figura 4: Acelerações laterais para diferentes níveis de velocidade com utilização de CC [5].	16
Figura 5: Acelerações laterais para diferentes níveis de velocidade sem utilização de CC [5].	16
Figura 6: Acelerações laterais para dois condutores diferentes em situação de condução normal [5].	17
Figura 7: Relação entre o batimento cardíaco e os diferentes estados emocionais [13].	19
Figura 8 : Diagrama de variáveis em análise.	23
Figura 9: Diagrama de blocos do sistema de aquisição.	24
Figura 10: Gráfico do sinal da velocidade proveniente do quadrante.	25
Figura 11: Placa de condicionamento dos sinais provenientes do veículo.	26
Figura 12: Recetor de batimento cardíaco – HRMI [15].	27
Figura 13: Unidade inercial - MinIMU-9 v2 [16].	27
Figura 14: Plataforma de desenvolvimento - ChipKit Uno32 [17].	27
Figura 15: Aplicação desenvolvida para a aquisição de dados.	29
Figura 16: Sistema de aquisição instalado no veículo.	30
Figura 17: Gráfico de velocidade de rotação ao longo do tempo proveniente do sensor.	31
Figura 18: Gráfico dos dados resultantes do cálculo da rotação.	31
Figura 19: Rotação do veículo em torno do eixo longitudinal ( <i>roll</i> ).	31

Figura 20: Dados da aceleração lateral provenientes do acelerómetro. ....	32
Figura 21: Aceleração lateral com aplicação do filtro. ....	32
Figura 22: Valor final de aceleração lateral ao longo do tempo. ....	33
Figura 23: Dados do teste de calibração da velocidade. ....	34
Figura 24: Dados da velocidade provenientes da conversão ADC. ....	35
Figura 25: Dados da velocidade após conversão para Km/h. ....	35
Figura 26: Gráfico representativo do batimento cardíaco, acelerações laterais e sinal do pedal de travão. ....	37
Figura 27: Gráfico de batimento cardíaco e respetiva análise em frequência para uma condução normal – condutor 1. ....	38
Figura 28: Gráfico de batimento cardíaco e respetiva análise em frequência para uma condução mais agressiva – condutor 2. ....	38
Figura 29: Gráfico de batimento cardíaco e respetiva análise em frequência para uma condução normal – condutor 2. ....	39
Figura 30 : Percurso selecionado para a realização dos testes práticos. ....	42
Figura 31: Gráfico de raios de curvatura ao longo do percurso. ....	42
Figura 32: Gráfico da velocidade em função da aceleração lateral - dados de teste completo e perfil de acelerações. ....	46
Figura 33: Perfil médio da velocidade em função da aceleração lateral. ....	46
Figura 34: Comparação entre raios teóricos e experimentais ao longo do percurso. ....	47
Figura 35: Raio em função da aceleração lateral. ....	48
Figura 36: Raio em função da aceleração lateral - curvas de perfil e média de todas as curvas. ....	48
Figura 37: Gráfico da curva característica do comportamento do condutor e curvas de velocidades. ....	49
Figura 38: Gráfico da curva característica e linha de tendência. ....	51

## ***Índice de Tabelas***

---

**Tabela 1:** Relação entre velocidade em Km/h e valores provenientes da aquisição. .... 34

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# Nomenclatura

---

## Lista de Siglas

$a$	Aceleração [m/s <sup>2</sup> ]
$a_c$	Aceleração centrípeta [m/s <sup>2</sup> ]
$\theta$	Ângulo [°]
$d$	Distância [m]
$g$	Gravidade [m/s <sup>2</sup> ]
$r$	Raio [m]
$v$	Velocidade [Km/h]

## Abreviaturas

ACC	<i>Adaptive Cruise Control</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CC	<i>Cruise Control</i>
ESP	<i>Eletronic Stability Program</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
HRMI	<i>Heart Rate Monitor Interface</i>
I <sup>2</sup> C	<i>Inter-Integrated Circuit</i>
IMU	<i>Inertial Measurement Unit</i>
OBD	<i>On-Board Diagnostic</i>
PCC	<i>Predictive Cruise Control</i>
SG	<i>Stop&amp;Go</i>
SNA	Sistema Nervoso Autônomo
VFC	Variabilidade da Frequência Cardíaca

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

# 1. Introdução

---

## 1.1 Enquadramento

Durante as últimas décadas ocorreu um enorme aumento do número de veículos nas estradas, o qual tem sido responsável por provocar vários problemas para a sociedade. Esses problemas passam pelo congestionamento de estradas, que resulta num impacto negativo para a segurança, consumo de recursos energéticos e ambiente [1]. Este aumento de tráfego tem efeitos diretos nos condutores, como o aumento da quantidade de informação que estes necessitam de processar, obrigando-os a tomar de forma mais rápida uma maior quantidade de decisões. Nas situações de trânsito mais críticas, a quantidade de informação é ainda maior, podendo exceder as capacidades de análise do condutor, aumentando desta forma a probabilidade de ocorrência de acidentes [2].

De modo a contrariar os factos anteriormente descritos, os fabricantes de automóveis têm vindo a desenvolver vários sistemas cuja função é auxiliar o condutor na sua tarefa, através da diminuição da quantidade de informação a que este tem de estar atento, aumentando assim a sua segurança e conforto. Estes sistemas são denominados de sistemas de assistência ao condutor.

O *Cruise Control* (CC), é um dos sistemas presentes nos veículos que pertence ao grupo referido anteriormente e que tem como função controlar de forma automática a velocidade do veículo, mantendo-a segundo um valor predefinido pelo condutor, tornando-se este muito útil, na medida em que liberta o condutor da atuação dos pedais, resultando num aumento do seu conforto. Não se apresentando um sistema viável em todas as situações de trânsito, o CC foi alvo de desenvolvimento de modo a se adaptar a condições com elevada densidade de trânsito, dando origem ao *Adaptive Cruise Control* (ACC). O ACC adiciona

às funções básicas do CC convencional, o controlo da distância ao veículo da frente, sendo para tal efetuado o ajuste da velocidade de forma a manter a distância pretendida.

Atualmente há uma grande investigação no desenvolvimento de sistemas de apoio à condução, de modo a que os veículos autónomos sejam uma realidade cada vez mais próxima. Numa condução autónoma o condutor fica liberto, para além do pedais do controlo da direção e todos os restante sistemas do veículo, podendo aproveitar a viagem para descansar ou realizar outras atividades de trabalho ou entretenimento. Atualmente, a condução autónoma já é possível em situações de trânsito específicas ou controladas, como é o exemplo da condução em comboio/pelotão nas autoestradas, como se mostra na Figura 1.



Figura 1: Imagem ilustrativa de condução em pelotão [3].

A condução em pelotão foi desenvolvida pelo projeto SATRE – *Safe TRains for the Environment*, financiado pela comissão europeia no âmbito do programa Framework 7, com a participação de sete companhias, entre elas a *Volvo Car Corporation*, *Volvo Technology AB*, *IDIADA Automotive Technology SA*. Este projeto terminou com a realização de testes em condições reais de condução em pelotão, tendo sido bastante satisfatória a apreciação global do sistema. A condução em pelotão desenvolvida define que o primeiro veículo, o veículo líder, é conduzido por um condutor profissional (caminhão, autocarro, táxi), sendo este seguido pelos restantes veículos que integrem o pelotão. Para a realização da condução em pelotão os veículos estão equipados com diversos sistemas de auxílio ao condutor, sendo eles o ACC, sistema de travagem de emergência, manter o veículo na faixa de rodagem, aviso de veículo no ângulo morto e sistema de ajuda de estacionamento, sendo as funcionalidades adicionadas mais importantes o interface Homem-Máquina que permite a visualização de informação relativa ao pelotão, assim como entrar e sair do pelotão. Outra função é a comunicação de veículo para veículo, que possibilita a comunicação entre os veículos do pelotão para a transmissão de informação relativa aos movimentos do pelotão a cada

instante. Este método de condução autónoma apresenta vantagens como a poupança de energia, utilização mais eficiente das estradas e aumento do conforto e segurança durante as viagens [4].

A condução em pelotão é um exemplo da necessidade de reproduzir o comportamento do condutor para aumento do conforto e segurança. O veículo líder do pelotão é conduzido por um condutor profissional, facto que torna o comportamento dos restantes veículos semelhante ao que os condutores estão habituados. É também possível reagir a acontecimentos externos inesperados, impossíveis de contemplar na programação do sistema de controlo, resultando num sistema que junta o controlo automático de funções com a análise e supervisionamento humano.

Os sistemas de CC e ACC atualmente existentes nos veículos apenas têm em consideração a velocidade e distância para o veículo da frente, não considerando outras variáveis relacionadas com a dinâmica do veículo, resultam em algumas situações num sentimento de insegurança, levando os condutores e passageiros a não confiar totalmente nos sistemas. Um exemplo da insegurança sentida pelos condutores encontra-se representado por R. Alves et al. em *“Improved Cruise Control for Fuel Economy and Driver’s Safety Feeling”* [5], este trabalho realiza um estudo sobre a segurança dos sistemas de CC/ACC. O resultado do estudo pode ser observado na Figura 2, na qual está presente um gráfico com os resultados relativos a um inquérito realizado, através do qual é possível concluir que a maioria, 68% dos inquiridos, considera os sistemas de CC/ACC seguros. Os restantes condutores consideram que o sistema não é completamente seguro, sendo o principal motivo a insegurança sentida em situação de curva (10 %) [5]. A segurança sentida nestas situações pode levar a reações inesperadas por parte do condutor, como a travagem em curva ou mudanças bruscas de direção, originando situações de elevado perigo.

Atualmente com o elevado foco na condução autónoma a questão da aceitação e confiança nos sistemas por parte dos condutores é de elevada importância, assim o estudo do comportamento do condutor torna-se uma área de investigação pertinente. Neste contexto, este trabalho visa obter modelação do comportamento do condutor em curva para posterior implementação nos algoritmos de controlo de sistemas de apoio à condução para veículos (CC, ACC, Condução autónoma).

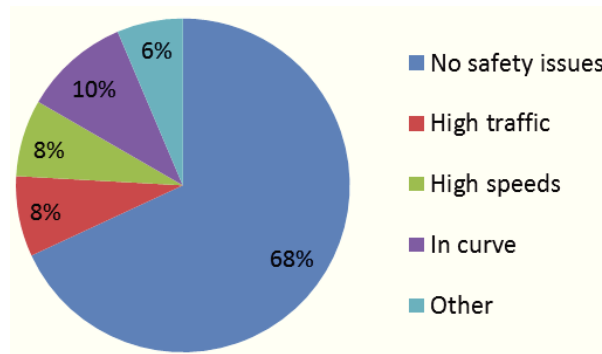


Figura 2: Resultados da pesquisa sobre a segurança da utilização dos sistemas de CC/ACC [5].

## 1.2 Objetivos

A realização deste projeto tem como objetivo primordial o estudo do comportamento em curva dos condutores, sendo este composto por objetivos mais concretos de modo a facilitar a sua concretização.

Numa primeira fase serão determinados os parâmetros necessários para a caracterização do comportamento do condutor e instrumentado um veículo de testes de acordo. De seguida serão realizados os ensaios práticos com vários condutores voluntários, que possibilitem o estudo do comportamento do condutor numa situação de condução normal em curva.

Por último pretende-se fazer uma análise dos dados de modo a obter um modelo que reproduza o comportamento do condutor.

## 1.3 Estrutura do Documento

De forma a concretizar todos os objetivos, este documento encontra-se dividido em seis capítulos. No presente capítulo é realizado o enquadramento do tema, a descrição dos objetivos e respetiva estrutura do relatório.

O segundo capítulo corresponde à revisão bibliográfica, onde é descrito o estado da arte dos sistemas de auxílio ao condutor, da caracterização do comportamento do condutor, e da análise dos estados emocionais através do batimento cardíaco.

No terceiro capítulo, são abordados as variáveis necessárias para a caracterização do comportamento do condutor, estando este dividido em cinco subcapítulos, introdução, acelerações laterais, variáveis em análise, sistema de aquisição e metodologia de processamento de dados.

No quarto capítulo, é realizada a descrição dos ensaios práticos, englobando esta a descrição do percurso, condições de realização dos ensaios e amostra de condutores.

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos, e posteriormente é feita uma análise crítica aos mesmos, no subcapítulo da discussão.

O sexto e último capítulo corresponde à conclusão, onde são abordadas todas as conclusões alcançadas com este projeto, sendo estas seguidas da apresentação de possibilidades de trabalhos futuros.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 2. Revisão Bibliográfica

---

### ***2.1 Introdução***

A presente revisão bibliográfica resume os principais conteúdos necessários ao desenvolvimento do presente trabalho.

Este capítulo começa por apresentar a descrição de alguns sistemas de auxílio ao condutor, nomeadamente CC e ACC, formando estes um conjunto total que completam as tecnologias dos veículos autónomos. De seguida abordado o tema dos veículos autónomos, sendo referido o seu estado de arte.

Posteriormente são apresentados alguns trabalhos relativos ao comportamento do condutor, nos quais estão indicadas as variáveis adquiridas.

### ***2.2 Sistemas de Auxílio ao Condutor***

Os sistemas de auxílio ao condutor surgiram com a finalidade de retirar tarefas ao condutor, para que a quantidade de informação a que este está sujeito diminui-se, provocando desta forma um aumento do conforto durante a condução, assim como da segurança nas estradas.

#### ***2.2.1 Cruise Control***

O primeiro sistema de CC surgiu nos anos 50, sendo o seu funcionamento completamente mecânico e pouco funcional. Nos anos 80 com a introdução da tecnologia dos microprocessadores nos veículos, este sistema, assim como a maioria dos sistemas presentes nos

veículos, sofreram grande desenvolvimento tornando-se mais funcionais e úteis para o condutor [6].

O sistema de CC é formado por vários componentes, sendo o principal a unidade eletrônica de controlo, a qual recebe os sinais dos botões de controlo, sensor de velocidade, sensores de atuação do pedal de acelerador, travão e embraiagem, tendo como saída o sinal para o atuador de controlo do acelerador.

Através dos botões de controlo é possível selecionar quatro funcionalidades:

Acelerar e definir a velocidade pretendida – o veículo acelera enquanto o botão estiver premido. Quando selecionado apenas uma vez, a velocidade atual é guardada e definida como velocidade de controlo. Após ser definido um valor de velocidade, este comando permite aumentar esse valor.

Desacelerar e definir a velocidade pretendida – este comando permite as mesmas funções que o anterior, estando a única diferença na variação da velocidade, permitindo este reduzir o seu valor.

Desligar o CC – através do botão *on/off*, o sistema é desligado, sendo o valor da velocidade definida guardado em memória até ser desligada a ignição.

Reativação – com este comando, após o CC ter sido desligado, o sistema entra em funcionamento, sendo assumido o valor da velocidade guardada em memória como velocidade de controlo.

Atualmente o sistema de CC está cada vez mais integrado nas unidades de gestão do motor, estando subdividido em vários blocos de funções. Os blocos constituintes do sistema são: circuito de avaliação lógica (7); controlo da aceleração (8); controlo do atuador (10); output (11); memória de velocidades (12); circuito de desativação (15); unidade de monitorização (16).

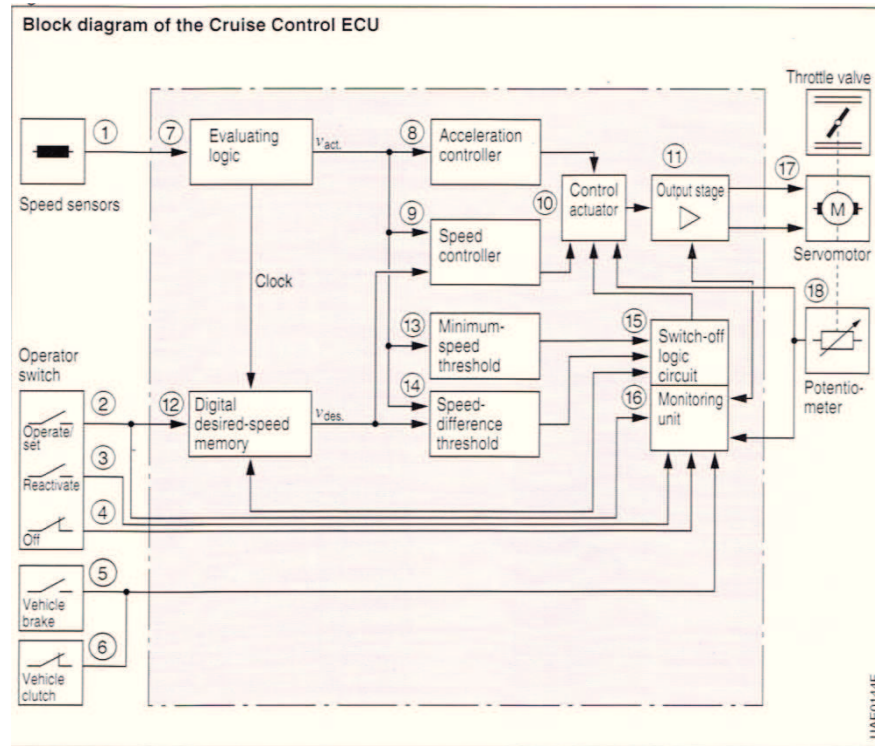


Figura 3: Diagrama de blocos da unidade de comando do CC [7].

O circuito de avaliação lógica (7) condiciona o sinal da velocidade do veículo, convertendo-o de sinal analógico para digital ou introduzindo um sinal alternativo, por exemplo do *Antilock Braking System* (ABS). Este valor é utilizado para comparar com o valor de velocidade desejado que está presente na memória.

Quando a tecla de definição da velocidade pretendida é atuada, o valor de velocidade do veículo é guardado na memória de velocidades (12), sendo a diferença entre este valor e a velocidade atual a variável controlada. A variável de saída dos módulos dos controladores de velocidade e aceleração (12, 8) é um sinal para o controlo da abertura da borboleta, sendo este o sinal de entrada do módulo do controlador do atuador (11). Este controla a saída (11) para o servomotor da borboleta, tendo em conta o sinal de feedback do potenciômetro para a definição do correto ângulo de abertura. O controlador de velocidade (12) é ativo para manter constante a velocidade desejada, entrando o módulo do controlador da aceleração (8) em ação quando a velocidade atual difere da desejada e quando são acionados os botões para acelerar ou desacelerar. Para a desativação do sistema podem ser utilizadas várias formas, pressionando o botão *on/off*, atuação do pedal de travão ou embraiagem, que faz com que a borboleta volte a ser controlada pelo condutor através do pedal de acelera-

dor. Ao ser desativado através do pedal de travão ou embraiagem, o ajuste da borboleta é imediato, enquanto através do botão de *on/off*, a borboleta tem um ajuste progressivo.

O sistema possui algumas limitações no seu funcionamento, as quais implicam a sua desativação de forma automática, quando é atingida a velocidade mínima de funcionamento (cerca de 30 Km/h) e quando a diferença entre a velocidade atual e desejada é elevada. Tendo como objetivo que o CC seja um sistema seguro, com a intervenção de sistemas de segurança como o controlo de tração ou controlo de estabilidade, o sistema de CC desliga-se automaticamente.

A unidade de monitorização (16) é responsável por controlar o funcionamento de todo o sistema. Ao ser detetado algum erro, o sistema é desativado, mantendo-se indisponível até ao fim da viagem [8].

A utilização do CC apresenta diversas vantagens para o condutor a nível de conforto, mas apenas é útil nas situações de condução em estrada aberta com curvas suaves e para grandes distâncias. Quando a quantidade de trânsito começa a aumentar o CC deixa de ser útil, pois torna-se impossível circular a uma velocidade constante, obrigando o condutor a travar devido aos veículos em frente, o que provoca com que o sistema se desligue. Assim surgiu o ACC, o qual se torna mais abrangente que o CC convencional, relativamente às condições em que pode ser utilizado.

### ***2.2.2 Adaptive Cruise Control***

O ACC adiciona á função básica do CC convencional a medição da distância ao veículo em frente e a sua velocidade relativa, sendo esta informação utilizada em conjunto com outras informações recolhidas (posição de outros veículos na mesma ou outras faixas, objetos estacionários), para regular a distância entre veículos. O sistema de ACC é capaz de adaptar a velocidade do veículo de forma a esta coincidir com a do veículo que viaja em frente, mantendo desta forma uma distância de segurança. O condutor pode desligar o ACC a qualquer instante, por exemplo, através da atuação do pedal do acelerador ou travão.

O principal componente que permite a medição da distância é um sensor de distância, sendo mais comum a utilização de um radar, o qual opera numa gama de frequência entre os

76 e 77 GHz, com um alcance de aproximadamente 200 m, estando montado na frente do veículo, alinhado pelo eixo longitudinal do veículo. A análise do feixe do radar refletido nos veículos em frente permite calcular a distância, a velocidade relativa e posição, sendo para este último necessária informação do movimento do veículo, a qual é obtida através dos sensores do sistema de *Electronic Stability Program* (ESP). Com base em toda a informação o sistema determina se os objetos detetados se encontram na mesma faixa ou não, sendo posteriormente determinado qual o objeto de referência para o controlo da distância.

O sistema de ACC, como referido anteriormente necessita de informação proveniente de outros sistemas presentes no veículo, não funcionando como um sistema isolado. Para a comunicação com esses sistemas o ACC está conectado à rede de comunicação presente no veículo, *Controller Area Network* (CAN), sendo os principais sistemas a unidade de gestão do motor, ESP, painel de instrumentos.

Para o controlo da velocidade, é necessária a atuação sobre o motor do veículo, nomeadamente o controlo do acelerador, assim o responsável por esta tarefa é a unidade de gestão do motor, que consoante os dados provenientes do ACC efetua o controlo da aceleração de forma a manter a velocidade, distância pretendida.

O sistema de ESP é utilizado pelo ACC para aquisição de informação relativa à posição do volante, velocidade das rodas, *yaw*, aceleração lateral, permitindo este conjunto identificar se o veículo se encontra em curva. Para além de servir de meio de obtenção de informação, o ESP é também utilizado para a travagem, ocorrendo esta quando a taxa de desaceleração provocada pela desaceleração do motor não é suficiente. Como o ACC é um sistema de conforto a desaceleração máxima está limitada entre os 2 e os 3  $m/s^2$ , assim quando o sistema deteta a necessidade de uma desaceleração mais brusca é solicitado ao condutor que este tome controlo do veículo e realize a travagem.

É através do painel de instrumentos que o condutor se mantém informado do estado do sistema, no qual deve constar informação sobre se o ACC está ligado ou não, os valores de velocidade e distância pretendidos pelo condutor e se está a detetar ou não algum objeto na sua frente.

No seu funcionamento o sistema de ACC possui três modos de controlo, sendo a sua gestão feita de forma autónoma e de acordo com a situação em que se encontra o veículo. O

primeiro modo de controlo é o “cruise control”, no qual apenas é efetuado o controlo da velocidade do veículo de acordo com a velocidade pretendida pelo condutor. O segundo é o “follow-up control” que entra em funcionamento quando é detetado um objeto, atuando de modo a controlar a distância ao veículo em frente. “Control when cornering” é o terceiro módulo de controlo que é ativado quando é detetada uma situação de curva mais fechada, perdendo o sensor o sinal do veículo da frente devido ao seu limitado campo de visão. Nesta situação têm de ser tomadas medidas especiais para a não ocorrência de falhas, assim dependendo do fabricante várias medidas podem ser selecionadas, como manter a velocidade constante, adaptar a taxa de aceleração lateral ou a desativação do sistema de ACC.

Este sistema possui limitações no seu funcionamento, sendo elas o não funcionamento a velocidades inferiores a 30 Km/h, o que torna o sistema inviável para utilização em ambientes citadinos. Facto que permite que ainda seja um sistema alvo de desenvolvimento [8].

A. Rharbali et al. apresentou em “Smart Cruise Control System with Stop&Go and Predictive Road Mapping” [1] um sistema cujo objetivo é a utilização do ACC em situações de trânsito muito congestionado e meios citadinos e a redução de consumo de combustível, sendo utilizado para tal a função *Stop&Go* (SG) e um sistema de previsão da estrada a percorrer, *Predictive Cruise Control* (PCC).

A função SG permite a utilização do sistema de ACC a baixas velocidades e em situações de trânsito muito congestionado, pois quando o veículo da frente para, o sistema diminui a velocidade do veículo e se necessário pára-o, iniciando novamente o seu movimento quando o veículo da frente arranca.

Para o correto funcionamento do sistema de SG, é proposto a utilização de múltiplos sensores ligados entre si para deteção precisa de todo o tipo de veículos em frente e nas faixas adjacentes. Para tal os sensores têm que ser eficientes em distâncias curtas (até 30 m) e na deteção lateral de modo a identificar veículos em curvas suaves.

O sistema utiliza vários sensores para a deteção de obstáculos, com diferentes tipos de tecnologias (radar, laser, ultrassons), e com sobreposição das faixas de deteção. A combinação dos sinais provenientes dos vários sensores tem vantagens como a rápida deteção de

objetos e a minimização da ocorrência de erros devido as más condições atmosféricas ou outras fontes de distúrbio.

A parte de controlo utiliza os sinais dos sensores para efetuar o controlo do movimento do veículo, o qual é realizado através do controlo da velocidade e distância ao veículo da frente. Sendo necessário este controlo cumprir requisitos mínimos como a rapidez na resposta do sistema e a distância de paragem tem que estar compreendida num valor aceitável para o condutor.

A nível dos atuadores a função de SG não necessita de nenhum atuador extra aos que são necessários para o ACC, atuando este sobre os sistemas do acelerador e travão. A principal diferença verifica-se ao nível do valore limite de desaceleração, o qual passa a ser de  $5 \text{ m/s}^2$  [1].

### ***2.3 Caracterização comportamento do condutor***

O ser humano tem um cérebro altamente desenvolvido, com inúmeras capacidades como o raciocínio, a linguagem, a introspeção e a resolução de problemas, posto isto a sua reação aos estímulos difere de pessoa para pessoa. As diferenças no comportamento do ser humano são influenciadas por diversos fatores, como exemplo, cultura, atitudes, emoções, valores, ética, genética. O comportamento do condutor, como este é um ser humano, não é sempre igual, assim dependendo dos estímulos este tende a reagir de forma a encontrar a sua zona de conforto.

O condutor e o veículo formam um sistema, no qual o movimento do veículo está dependente da interação destes. O condutor ao realizar uma manobra desejada recebe as sensações relativas ao movimento do veículo, estímulos, sendo estas sensações utilizadas para a contínua correção da trajetória. Assim as reações do condutor estão diretamente relacionadas com a informação que recebe, sendo esta informação captada de diversas formas como a visão, audição, esforço físico sobre o volante, percepção de acelerações longitudinais e laterais. O estudo do comportamento do condutor tem sido alvo de alguma atenção, pois permite a modelação do comportamento do condutor, detetar comportamentos menos corretos, que permite o aumento da segurança assim como conforto [9].

Brighenti et al. tendo como objetivo a diminuição de acidentes, patenteou um método de análise do comportamento do condutor denominado de “Road Vehicle Driver Behaviour Analysis Method” [10], o qual consiste na aquisição de vários parâmetros associados ao condutor, assim como do veículo e com base nestes deteta os comportamentos menos corretos. Para esta análise são recolhidos o ângulo da direção e de *yaw*, assim como a velocidade da sua variação, acelerações laterais e longitudinais, velocidade do veículo, velocidade de cada uma das rodas, pressão de travagem e sinal de posição *Global Positioning System* (GPS).

Através do sinal de GPS e uma característica dinâmica direcional (ângulo de direção, ângulo *yaw*, aceleração lateral), é determinada a posição em que se circula, assim como o tipo de secção da estrada (curva, reta). Os restantes dados são analisados continuamente, sendo assumido como comportamento de risco quando detetados elevados desvios dos valores normais [10].

Com objetivos semelhantes ao de Brighenti et al., T. Toledo e T. Lotan apresentaram um sistema de aquisição de dados no carro, *In-Vehicle Data Recorder* (IVDR), com intuito de monitorizar e analisar o comportamento do condutor em situação de condução normal e em situação de colisão. Este sistema de IVDR desenvolvido tem a designação de “DriveDiagnostics”, sendo constituído por quatro camadas: medição, identificação, análise e comunicação. A primeira camada, módulo de medição, adquire acelerações em duas dimensões, velocidade do veículo numa taxa de quarenta amostras por segundo, e ainda a posição através do GPS. A de identificação efetua o tratamento dos dados, possuindo esta algoritmos padrão de reconhecimento que permitem identificar mais de vinte tipos de manobras, incluindo estas mudanças de faixa com e sem aceleração, travagens e acelerações bruscas e excesso de velocidade. Posteriormente é analisada a qualidade da execução das manobras, para a avaliação do risco da condução, sendo classificada em três categorias, cauteloso, moderado e agressivo. A última camada, comunicação, fornece a informação relativa aos dados adquiridos, podendo esta ser realizada *offline* e em tempo real.

Apos a realização de testes de validação verificou-se que este é um sistema capaz de monitorizar o comportamento do condutor, produzindo estatísticas indicadoras da segurança da condução [11].

Com o propósito de melhorar os sistemas existentes de aquisição de dados para a caracterização do comportamento do condutor, J. Rodrigues et al. [12] verificou que o sistema tinha que cumprir os seguintes critérios: não intrusivo, compreensivo, acessível remotamente e em tempo real, utilização intuitiva. Os dados a adquirir baseiam-se na correlação entre posição, tempo e informação da estrada com os níveis de *stress* e resposta emocional do condutor. A análise deste parâmetro justifica-se com a relação entre o sentimento de raiva e a ocorrência de acidentes, o facto de certas zonas provocarem mais *stress*, aumentando o sentimento de risco, sendo estes estudados com recurso à observação do ritmo cardíaco.

A arquitetura do sistema baseia-se em três blocos principais: sensores, unidades a bordo do veículo e servidor central. Os dados provenientes dos sensores são adquiridos pelas unidades, as quais são responsáveis pela agregação e transmissão desses dados para o servidor central, sendo este responsável pelo seu processamento. A informação fica disponível para visualização através do servidor central ou através da ligação sem fios.

Os dados adquiridos provêm de três localizações principais, GPS, *On-Board Diagnostic* (OBD) e dispositivo de medição de batimento cardíaco. Através da comunicação via OBD é obtido a temperatura interior e exterior do veículo, rotação do motor, velocidade, consumo instantâneo, posição do pedal de acelerador, com uma taxa de dez amostras por segundo. O GPS fornece a latitude, longitude, altitude, velocidade e inclinação da estrada. A informação dos sinais vitais é adquirida através de uma tecnologia denominada de *Vital-Jacket*, a qual consiste numa t-shirt inteligente desenvolvida para a análise dos sinais vitais e transmissão destes através de comunicação sem fios.

O sistema revelou-se útil não só na caracterização do comportamento do condutor, como na identificação e mapeamento de troços de estrada mais perigosos. A utilização deste sistema num elevado número de veículos permite a análise dos dados de modo a serem utilizados para vários fins, como informação em tempo real do estado do condutor, o estado das estradas, tempos de viagem, estilos de condução, congestionamentos, consumo de combustível [12].

A aplicação de sistemas de auxílio na condução requer um estudo do comportamento do condutor para se tornarem o mais parecido com o modo de atuação do condutor. A atuação destes sistemas, como por exemplo o CC/ACC, ocorre de modo diferente ao que o condutor está habituado, levando este a sentir alguma insegurança no sistema.

Um destes exemplos foi apresentado por R. Alves et al. [5], já referido anteriormente, que mostrou que alguns condutores não consideram o sistema de CC/ACC completamente seguro, principalmente em situação de curva. Em curva o condutor está sujeito a acelerações laterais, as quais variam com a velocidade e raio da curva, sendo o sentimento de insegurança sentido devido a essas acelerações durante a utilização do CC em curva, pois em situação de condução normal, os condutores tendem em reduzir a velocidade enquanto curvam, mantendo os valores de aceleração lateral dentro da sua zona de conforto.

Através de testes que consistiam em percorrer um determinado trajeto com e sem a utilização do CC, e em diferentes velocidades (100 Km/h, 120 Km/h e 140 Km/h), nos quais eram adquiridos valores relativos à aceleração lateral e velocidade do veículo, é possível verificar a diferença de valores de aceleração lateral para cada uma das situações.

Com o resultado dos testes verificou que com o CC ligado, Figura 4, os valores da aceleração lateral são muito superiores aos valores referentes à situação em que o condutor tenta manter a velocidade constante, Figura 5. Verificando nesta ultima situação, uma redução da velocidade com o aumento da aceleração lateral.

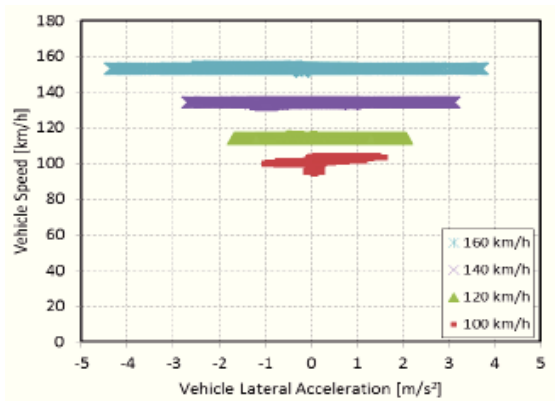


Figura 4: Acelerações laterais para diferentes níveis de velocidade com utilização de CC [5].

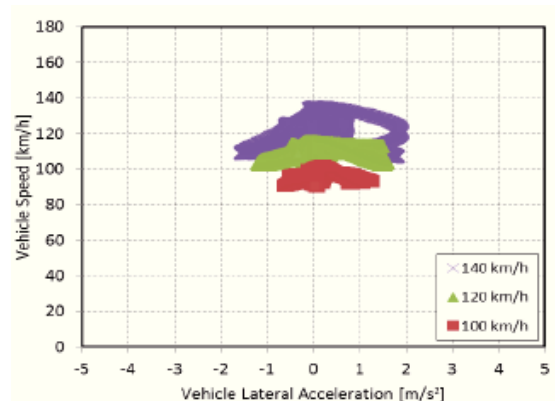


Figura 5: Acelerações laterais para diferentes níveis de velocidade sem utilização de CC [5].

Através dos testes realizados, verificou ainda que o valor de aceleração lateral para o qual o condutor se sente seguro está inversamente relacionado com a velocidade, pois a velocidades mais baixas é suportado uma aceleração mais elevada, enquanto para velocidades mais elevadas o valor da aceleração é suportado é menor, Figura 6.

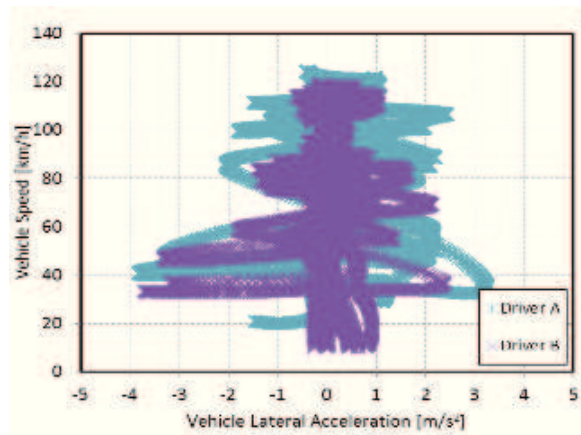


Figura 6: Acelerações laterais para dois condutores diferentes em situação de condução normal [5].

De forma a eliminar o sentimento de insegurança sentido durante a utilização do CC em situação de curva, foi proposto que os valores de aceleração lateral têm de estar compreendidos entre  $\pm 1 \text{ m/s}^2$  para uma gama de velocidades entre os 100 e os 140 Km/h [5].

O estudo do comportamento do condutor não se encontra claramente explicado, pois não são referidos dados relativamente à amostra de condutores analisados, assim como o tipo trajeto e informação relativa às curvas percorridas, nomeadamente o seu raio. A solução proposta não se encontra validada, pois não é referida a realização de testes relativos a esse processo, facto que implica um estudo de todo o problema para a realização do mesmo.

## 2.4 Batimento Cardíaco

O Sistema Nervoso Autónomo (SNA) é a parte do sistema nervoso responsável pelo controlo das funções básicas para a vida, como o batimento cardíaco, a respiração. Este é amplamente considerado como não sendo totalmente autónomo, pois representa um interface entre o sistema nervoso central e o corpo. As alterações na regulação corporal são mediadas pelo SNA, segundo os eventos do dia-a-dia, como emoções, *stress* mental e físico, ansiedade, interações sociais.

O modelo de *stress*, amplamente aceite, envolve a perceção e avaliação de um estímulo como uma ameaça, levando a uma consequente ativação de um conjunto de reações fisiológicas, as quais são caracterizadas como “resposta ao stress”. O estímulo tanto pode ser

proveniente de estímulos externos, assim como emoções internas, as quais recorrem a sentimentos como preocupação, ansiedade, insegurança, desconforto.

Como resposta aos agentes de *stress* e diferentes estados emocionais, ocorrem alterações fisiológicas no sistema, sendo essas alterações mais sensíveis a nível dos batimentos cardíacos, facto pelo qual se revela um ótimo espelho para a sua análise.

A análise do estado emocional através do batimento cardíaco torna-se mais perceptível através da sua variabilidade. A Variabilidade da Frequência Cardíaca (VFC) é considerada uma medida da função neuro-cardíaca, a qual reflete as interações entre o coração, o cérebro e a dinâmica do SNA. Como o próprio nome indica, o VFC, representa a variação do ritmo cardíaco no domínio da frequência, dados que permitem observar padrões de batimento cardíaco caracterizadores de diferentes estados emocionais.

Através do estudo destes parâmetros R. McCraty et al [13], relacionaram o batimento cardíaco com diferentes estados emocionais, como representa a Figura 7. Através desse relacionamento verificaram que para estados de ansiedade, *stress*, raiva, frustração, desconforto, o batimento cardíaco torna-se incoerente, em relação a VFC, verifica-se variação ao nível das frequências muito baixas, gama de frequências associada ao sistema nervoso simpático. A incoerência no batimento cardíaco deve-se à falta de sincronismo entre os dois ramos do SNA, o sistema nervoso simpático e parassimpático. Em contraste para um estado emocional de apreciação, cuidado, compaixão, amor, é gerado um batimento cardíaco mais coerente, suave e ordenado e na análise espectral da frequência do batimento cardíaco é possível verificar a existência de um pico de elevada amplitude na zona das frequências baixas. Estas variações verificam-se devido ao aumento do sincronismo entre ambos os ramos do SNA e aumento na atividade parassimpática. Por fim um estado de relaxamento resulta num batimento cardíaco de maior frequência e menor amplitude, resultando num aumento do VFC na zona das altas frequências, refletido de um aumento da atividade parassimpática.

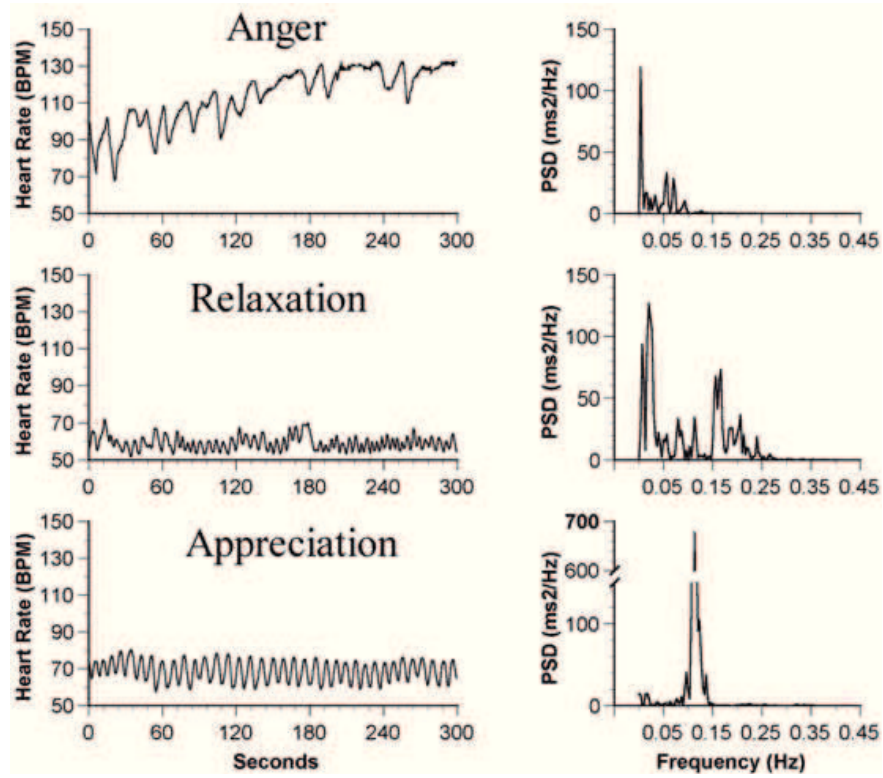


Figura 7: Relação entre o batimento cardíaco e os diferentes estados emocionais [13].

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **3. Análise e Comportamento Condutor em Curva**

---

### ***3.1 Introdução***

O presente capítulo tem como objetivo a descrição dos parâmetros associados à análise do comportamento do condutor, sendo para tal abordados os temas da aceleração lateral, seleção das variáveis para a análise do comportamento do condutor, descrição do sistema de aquisição e metodologia de processamento de dados.

### ***3.2 Acelerações Laterais***

As condições dinâmicas dos veículos são determinadas através do estudo das forças que atuam sobre o veículo durante o seu movimento. Este estudo passa por conhecer como e em que situações estas se fazem sentir, sendo este determinante para encontrar o ponto de estabilidade do veículo.

Para uma situação em que o veículo se encontra em curva ou mudança de direção, ocorre um aspeto diferente, pois as forças tomam diferentes direções. Assim durante uma situação de mudança de direção aparecem forças que atuam transversalmente ao movimento do veículo, “puxando-o” para fora da curva, sendo normalmente denominadas por acelerações laterais. Estas acelerações laterais permitem determinar a capacidade do veículo percorrer a curva numa condição de estabilidade.

Atualmente os veículos de passageiros podem atingir valores de acelerações laterais até  $10 \text{ m/s}^2$ , sendo que a grande maioria dos condutores se mantem numa gama de acelerações que ronda os  $4 \text{ m/s}^2$ . Dentro da gama de acelerações  $0 - 10 \text{ m/s}^2$ , podem ser encontradas quatro subdivisões.

A primeira gama de acelerações laterais compreende os valores entre os 0 e os  $0.5 \text{ m/s}^2$ . Esta gama é normalmente denominada de gama de pequenos sinais, sendo os seus valores associados a um movimento retilíneo. As variações devem-se a irregularidades na estrada e a ocorrência de ventos laterais.

A gama seguinte contém a gama de valores entre  $0.5$  e  $4 \text{ m/s}^2$  e é denominada de gama linear. Estes valores de aceleração devem-se às manobras realizadas durante a condução como a descrição de curvas, mudanças de direção, mudanças de faixa de rodagem.

A gama dos valores de aceleração compreendidos entre  $4$  e  $6 \text{ m/s}^2$  é classificada como gama de transição. A classificação dada a esta gama de valores está relacionada com o tipo de veículo, assim para os veículos de passageiros normais, esta gama continua a fazer parte da gama de transição. No caso de se tratar de veículos capacitados de utilização fora de estrada, cujos limites de aceleração situam-se perto dos  $6/7 \text{ m/s}^2$ , esta é classificada de gama limite.

A gama limite é a última e abrange os valores superiores a  $6 \text{ m/s}^2$ . Esta gama de valores é atingida em condições de condução mais extremas, podendo estar-se numa situação de limite da estabilidade do veículo [14].

### ***3.3 Variáveis de análise***

A caracterização do comportamento do condutor engloba diversos aspetos, sendo para tal necessária o estudo das variáveis associadas ao seu comportamento. A escolha destas variáveis está diretamente relacionada com a situação concreta que se pretende estudar. Para o estudo da aceleração lateral de conforto em curva, é necessário ter em conta aspetos como o raio da curva e velocidade. Assim os parâmetros recolhidos têm que permitir a descrição do movimento do veículo e a representação das atitudes do condutor face a cada situação.

As variáveis alvo de análise encontram-se representadas no diagrama da Figura 8, sendo elas as acelerações e rotações longitudinais, transversais e verticais, a posição do pedal do acelerador do veículo, o estado do travão, a velocidade do veículo e o batimento cardíaco. As variáveis descritas anteriormente, podem ser divididas em dois grupos, com base no tipo de análise que permitem fazer, ou seja, se permitem descrever o comportamento do

veículo ou o comportamento do condutor, estando ambos os grupos relacionados pois o comportamento do condutor provoca alterações diretas no comportamento do veículo, mas o comportamento do veículo vai ser responsável pelas reações do condutor.

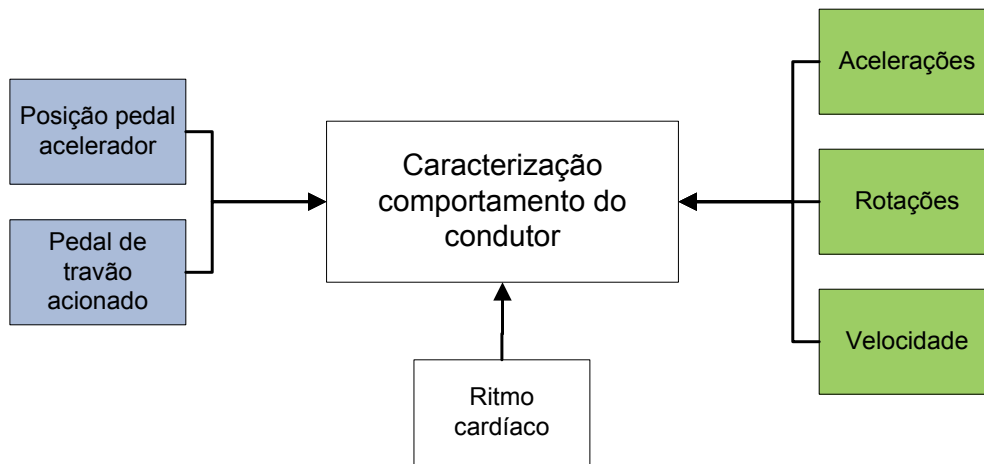


Figura 8 : Diagrama de variáveis em análise.

Os dados relativos às acelerações, rotações e velocidade, permitem a descrição do movimento do veículo, as acelerações longitudinais permitem determinar se o veículo se encontra em fase de aceleração ou de travagem, as acelerações laterais possibilitam a identificação de curvas ou mudanças de faixa descritas pelo veículo. A rotação medida pela unidade inercial determina a inclinação da estrada e do veículo, permitindo desta forma a identificação de subidas ou descidas assim como a inclinação em curva.

Na descrição do comportamento do condutor, os dados adquiridos são a posição do pedal de acelerador, o acionamento do pedal do travão e o batimento cardíaco. Os sinais provenientes do acelerador e do travão permitem conhecer as reações dos condutores, provocadas pelo comportamento do veículo. O batimento cardíaco revela o estado de conforto do condutor, permitindo saber se as acelerações sentidas se mantem em níveis que permitam o conforto do condutor.

### ***3.4 Veículo utilizado para a realização dos ensaios práticos***

A realização dos ensaios práticos necessita de um veículo, para a sua concretização. Assim o veículo selecionado é da marca Volkswagen<sup>®</sup>, modelo “Polo”, do ano de 1995, estando este equipado com um motor de 1300 cc, de aproximadamente 55 cv. A seleção deste está

relacionada com o facto deste ser um veículo de um segmento representativo do parque automóvel, de estar disponível para instrumentação e circulação em via publica.

### 3.5 Sistema de aquisição

A aquisição de dados consiste no processo de leitura de condições físicas reais e na sua conversão para amostras de informação digital, possibilitando o seu tratamento computacional. O desenvolvimento de um sistema de aquisição inicia-se pela determinação dos parâmetros de aquisição como frequências de aquisição, quantidade de informação, número de grandezas e sua caracterização.

As grandezas a adquirir, já referidas na secção 3.3, são a velocidade do veículo, a atuação o pedal de travão, a posição do pedal de acelerador, o batimento cardíaco do condutor e a informação relativa as condições dinâmicas do veículo.

Os sinais referidos anteriormente podem ser divididos em dois grupos, os sinais provenientes do veículo de testes e os sinais provenientes de sistemas externos ao veículo. Assim a informação relativa à velocidade do veículo, pedal de acelerador e travão compõem o grupo dos sinais do veículo, enquanto os restantes, batimento cardíaco e dados inerciais formam o outro grupo como consta na Figura 9.

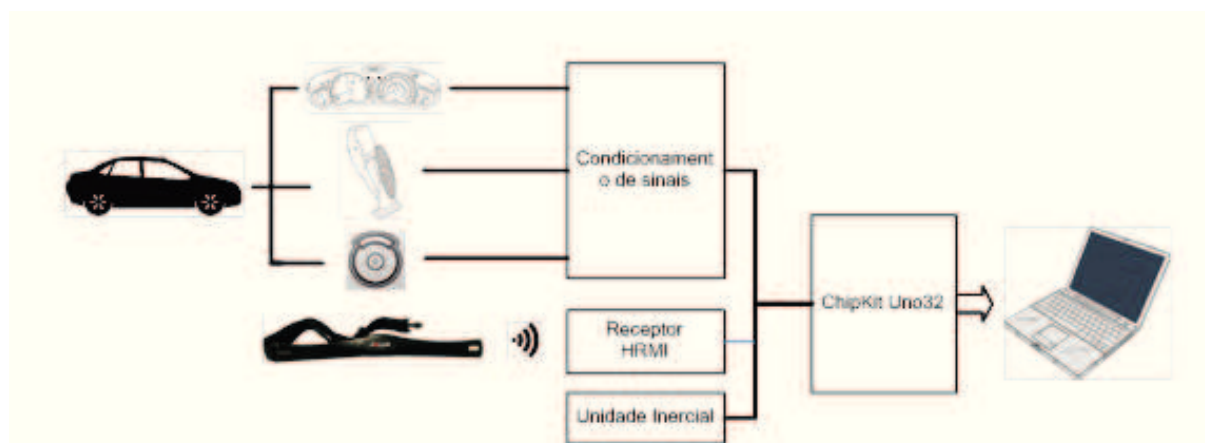


Figura 9: Diagrama de blocos do sistema de aquisição

### 3.5.1 Sinais do veículo

Os dados da velocidade foram conseguidos através da informação que é enviada para o quadrante do veículo. Esta informação está presente na forma de um sinal em frequência compreendido entre os 0 e os 8 V, como se pode ver através da Figura 10.

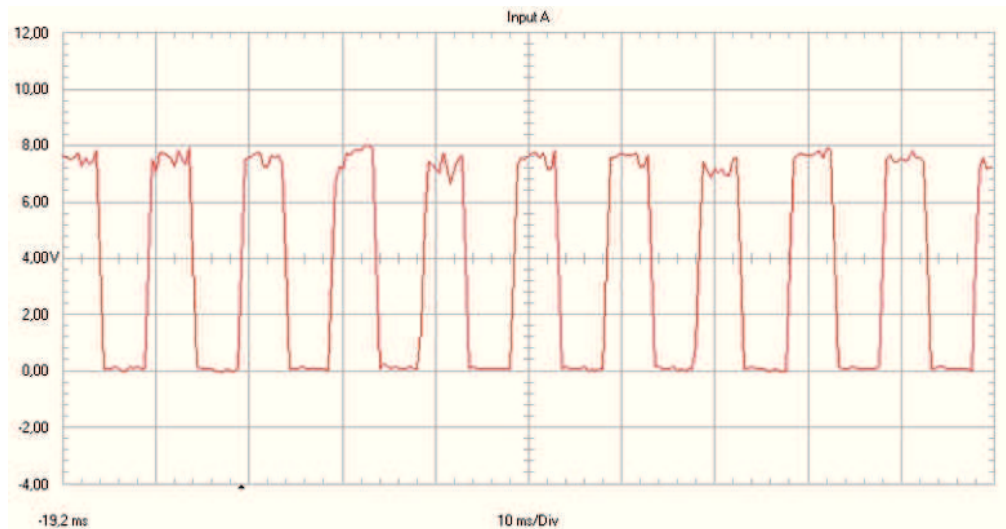


Figura 10: Gráfico do sinal da velocidade proveniente do quadrante.

Devido aos níveis verificados para o sinal, foi necessário adicionar um circuito de condicionamento. Sendo primeiramente efetuado um isolamento do sinal através de um amplificador de instrumentação da Analog Devices<sup>®</sup> com a referência “AD623”, seguido de conversão para um sinal em tensão compreendido entre 0 e 3.3 V, através de um conversor frequência – tensão da Microchip<sup>®</sup>, com a referência “TC9400”. Para montagem destes, foi utilizado o circuito recomendado de acordo com a ficha técnica dos fabricantes.

O sinal da posição do pedal de acelerador corresponde a um sinal em tensão, variável em função da posição, compreendido entre os 0 e 5 V. A este sinal foi adicionado um isolamento e condicionamento, tendo sido utilizado um circuito integrado idêntico ao do isolamento do sinal correspondente à velocidade, resultando este com uma gama de tensões entre 0 e 2.5 V.

O sinal do pedal de travão, é um sinal do tipo *on/off*. Este sinal é obtido no próprio pedal, representando um valor de tensão máxima de aproximadamente 12 V. Como condicionamento foi aplicado a este um isolamento ótico, resultando um sinal com tensão máxima de 3.3 V.

Todo o condicionamento necessário para a aquisição destes sinais foi concentrado numa placa, a qual está representada na Figura 11, podendo o seu circuito elétrico ser consultado no Apêndice A.

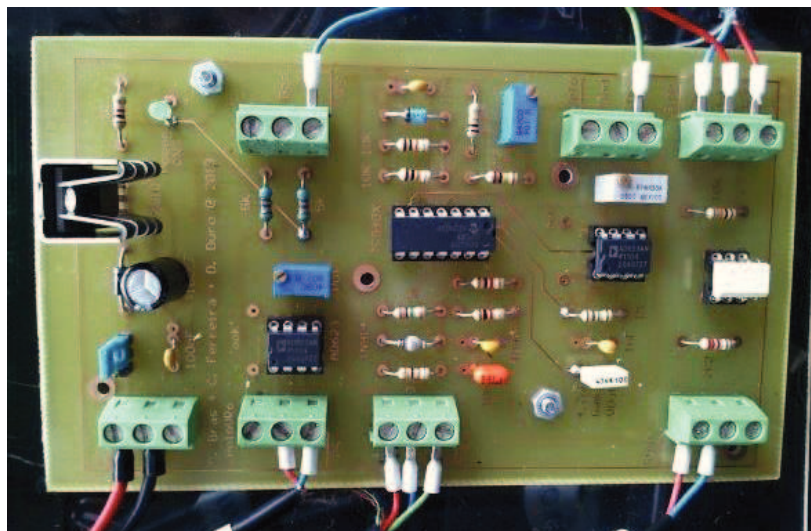


Figura 11: Placa de condicionamento dos sinais provenientes do veículo.

### 3.5.2 Sinais externos ao veículo

Os sinais provenientes de módulos externos são adquiridos através de dois módulos específicos, o recetor do sinal de batimento cardíaco e a unidade inercial. Estes estão configurados para efetuarem comunicação do tipo I<sup>2</sup>C.

O sinal referente ao batimento cardíaco é obtido através da utilização de um sensor de frequência cardíaca e respetivo recetor. Como sensor foi utilizada uma banda transmissora da marca POLAR<sup>®</sup>, modelo “T31”, e como recetor, uma placa desenvolvida em conjunto pela “SparkFun” e “danjuliodesigns”, denominado por “Heart Rate Monitor Interface” (HRMI). A HRMI foi desenvolvida para receber o sinal do transmissor, o qual corresponde a um sinal equivalente a um eletrocardiograma, seguindo-se da sua conversão para batimento cardíaco em batimentos por minuto.

Na medição dos valores relativos aos dados dinâmicos do veículo foi utilizada a unidade inercial “MinIMU-9 v2”, da Pololu<sup>®</sup>. Esta IMU é composta por dois sensores, um giroscópio com a referência “L3GD20”, que permite a medição de velocidade de rotação em 3 eixos com uma gama máxima de  $\pm 2000^\circ/\text{s}$ . O segundo sensor tem a função de magnetómetro e acelerómetro, permitindo este a medição em três eixos até  $\pm 16\text{ g}$ . Na medição preten-

didada para aquisição, esta foi configurada com uma escada de medição de acelerações de  $\pm 8$  g e com a escala máxima para medição das rotações.



Figura 12: Recetor de batimento cardíaco – HRMI [15].

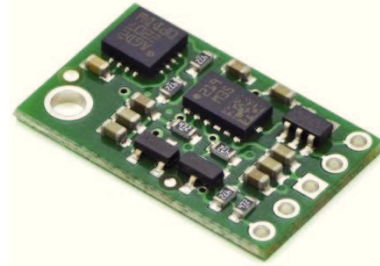


Figura 13: Unidade inercial - MinIMU-9 v2 [16].

### 3.5.3 Unidade de leitura e aquisição de dados

Como unidade de aquisição foi utilizada a plataforma de desenvolvimento “ChipKit Uno32”, da Microchip®. Esta unidade tem como função a concentração de todos os sinais do sistema de aquisição, sendo utilizadas duas portas associadas a conversores analógicos – digitais para os sinais da velocidade e pedal de acelerador, uma porta digital para o sinal do pedal do travão e as portas relativas à comunicação I<sup>2</sup>C, para a ligação dos dois módulos externos.



Figura 14: Plataforma de desenvolvimento - ChipKit Uno32 [17].

A programação da plataforma de desenvolvimento foi realizada através da utilização do aplicativo específico para o efeito, o “Multi-Platform Integrated Development Environment”, MPIDE. Na construção do código foram utilizadas as bibliotecas fornecidas pelos fabricantes dos componentes, no que diz respeito aos módulos externos, sendo o código desenvolvido composto pelas funções de leitura dos diversos sinais e seu envio através de comunicação série. O código do programa é composto pelas funções de iniciação do acele-

rômetro e giroscópio, funções para a leitura de cada um dos sinais e função de construção da mensagem. O ciclo principal do programa é realizado com uma frequência de 10 Hz, contemplando este a leitura dos diversos sinais e escrita da mensagem de saída. A mensagem de saída contém a informação de todas as variáveis medidas, sendo o seu formato “AX=±0.00 AY=±0.00 AZ=±0.00 GX=±0000 GY=±0000 GZ=±0000 HR=0000 PA=0000 V=0000 TR=0”. O envio da mensagem é realizado através da comunicação série, estando esta configurada para uma velocidade de 115200 bps.

### ***3.5.4 Sistema de visualização e Aquisição de dados para pc***

A aquisição, registo dos valores propriamente dito, é realizada através do *software* LabView<sup>®</sup>, no qual foi desenvolvido um aplicativo para a leitura da mensagem enviada pelo “ChipKit” e posterior criação de ficheiro com a informação relativa a todo o teste.

O aplicativo desenvolvido é composto por quatro blocos com funções distintas, funcionando estes em conjunto de modo a completar todo o processo de aquisição, os quais podem ser consultados no Apêndice B.

O primeiro bloco, o qual inicia a aplicação, é o bloco da comunicação. Este bloco é composto pelas funções de configuração da comunicação como a especificação da porta utilizada, definição da velocidade utilizada e tamanho da mensagem. Tendo sido configurada uma comunicação com uma taxa de transmissão de dados de 115200 bps, sem paridade, com um stop bit e 8 *bits* de informação.

Após a receção de dados no bloco da comunicação a informação segue para o bloco de leitura. Este bloco é responsável por fazer a dissecação da mensagem proveniente da plataforma de desenvolvimento, de modo a corresponder cada parte da mensagem à respetiva variável em análise. Para o efeito, é utilizada a função “Match Pattern Function”, a qual efetua o reconhecimento de uma expressão na mensagem, e destaca a informação seguinte até encontrar um espaço em branco. Ao ser efetuado o destacamento de cada expressão esta é guardada numa variável específica, através da qual é mostrada a informação no ambiente gráfico da aplicação.

A aquisição dos dados é realizada no bloco de aquisição de dados, no qual são recebidas todas as variáveis e são colocadas em memória. À informação proveniente da placa de de-

envolvimento, é adicionado um campo relativo à hora de aquisição de cada trama de dados.

O bloco final corresponde ao bloco de saída e criação de ficheiro de dados. Este bloco é invocado quando é pressionado o botão para guardar dados, sendo realizado por este a criação do ficheiro *Excel* com os dados que constam em memória e posterior saída do aplicativo.

Graficamente este aplicativo contém botões para o início e fim da comunicação, guardar dados, um campo para seleção da porta de comunicação e para visualização em tempo real de todas as variáveis adquiridas, como se pode ver através da Figura 15.

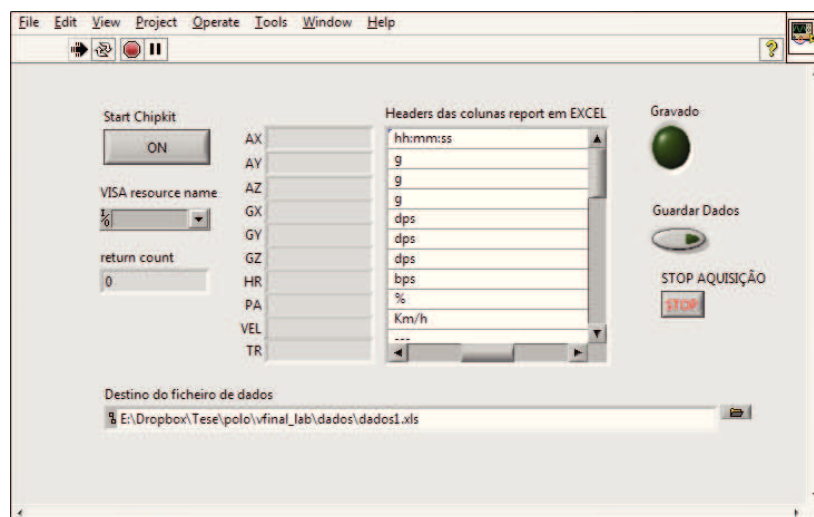


Figura 15: Aplicação desenvolvida para a aquisição de dados.

### 3.5.5 Montagem sistema de aquisição

O sistema de aquisição de dados foi instalado no veículo selecionado para a realização dos ensaios práticos, sendo instalada para tal, uma cablagem para a obtenção dos sinais provenientes do veículo, concentrando-se esta na zona central do veículo, ou seja, entre o travão de mão e o seletor da caixa de velocidades. Nesta zona foram instalados os restantes componentes do sistema de aquisição, a unidade de aquisição e os dois módulos externos, tendo sido fixo todo o conjunto ao veículo, Figura 16.

A escolha desta localização para a colocação do sistema deve-se ao facto de um dos módulos ser a unidade inercial, tendo esta que estar o mais perto do centro do veículo, assim

como o módulo recetor da frequência cardíaca, que necessita de estar perto do local do condutor, de modo a manter-se dentro do alcance de receção do transmissor.

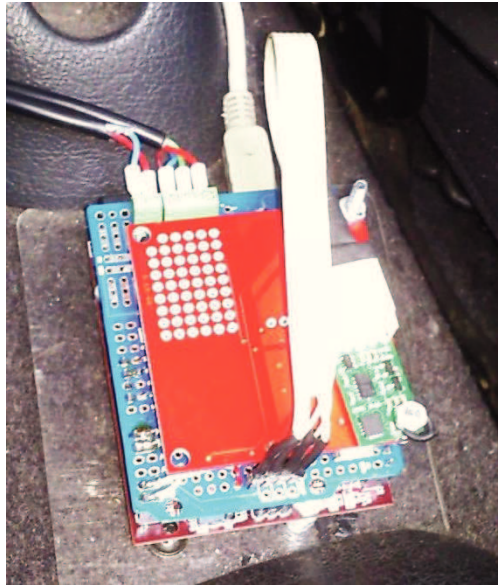


Figura 16: Sistema de aquisição instalado no veículo.

### ***3.6 Metodologia de processamento de dados***

Para a análise dos dados recolhidos, foi utilizado o *software* de cálculo numérico MatLab<sup>®</sup>. Através deste *software*, é efetuada a leitura dos ficheiros de dados correspondentes aos testes, seguindo-se a análise dos diferentes parâmetros.

Para a análise de dados, cada um dos sinais recolhidos necessita de processamento, como aplicação de filtros, compensações. De seguida são apresentadas os métodos utilizados para o processamento dos dados, sendo que os gráficos utilizados foram selecionados de entre a amostra de dados, de forma a serem meramente indicativos dos processos utilizados.

#### ***3.6.1 Rotação***

O cálculo da rotação é realizado através dos dados provenientes dos giroscópios. Estes dados de saída, Figura 17, representam a velocidade de rotação ao longo do percurso.

Para a obtenção dos valores de rotação, foi necessário efetuar o cálculo do deslocamento com base na velocidade de rotação obtida. Tendo em conta que a taxa de aquisição é de 10 Hz, ou seja, cada valor obtido representa a velocidade num décimo de segundo, efetuou-se cálculo da rotação através de uma função de integração numérica cumulativa trapezoidal. Os dados resultantes da operação anterior, como é visível na Figura 18, não apresentam os valores corretos de rotação, verificando-se assim necessidade da aplicação de um filtro para remoção das baixas frequências. Deste modo foi aplicado um filtro passa alto do tipo “Equiripple”, com uma frequência de corte igual a 0.005 Hz, obtendo-se os valores para a rotação como se pode ver na Figura 19.

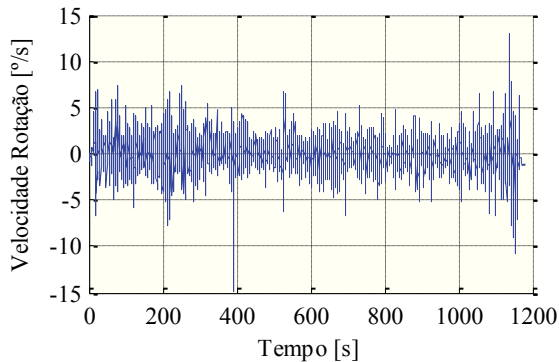


Figura 17: Gráfico de velocidade de rotação ao longo do tempo proveniente do sensor.

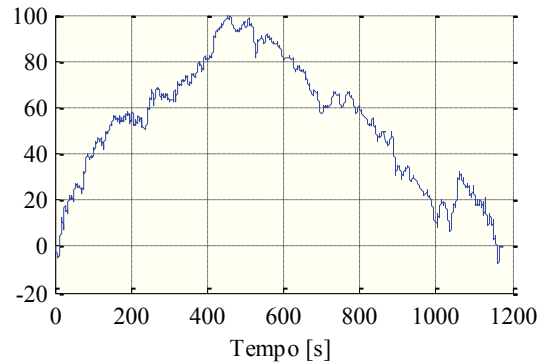


Figura 18: Gráfico dos dados resultantes do cálculo da rotação.

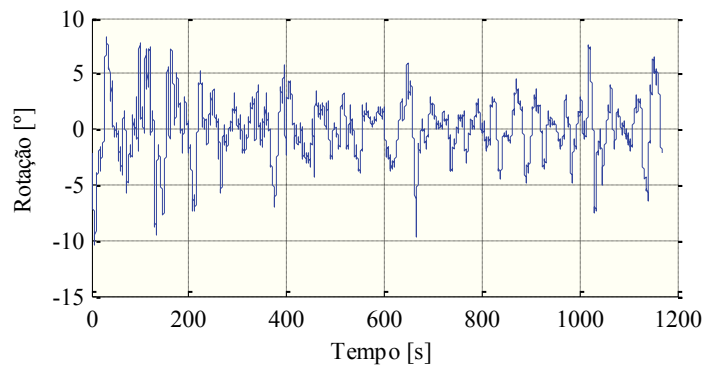


Figura 19: Rotação do veículo em torno do eixo longitudinal (*roll*).

### 3.6.2 Aceleração lateral

Os valores de acelerações provêm do acelerómetro, sendo estes disponibilizados em g.

A análise destes parâmetros inicia-se com a remoção do valor de *offset* do sensor, de toda a gama de dados, seguindo-se a aplicação dum filtro passa baixo do tipo “Equiripple”, com 0.5 Hz de frequência de corte, para remoção das elevadas frequências. Estas frequências representam ruído, sendo este originado pelas vibrações provocadas pelo funcionamento do veículo. A presença de ruído no sinal pode ser verificada através da análise das diferenças entre a Figura 20 e a Figura 21, as quais correspondem aos dados da aceleração proveniente do sensor e ao sinal após a aplicação do filtro.

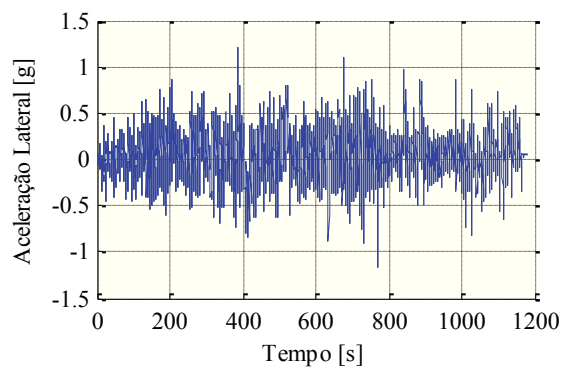


Figura 20: Dados da aceleração lateral provenientes do acelerómetro.

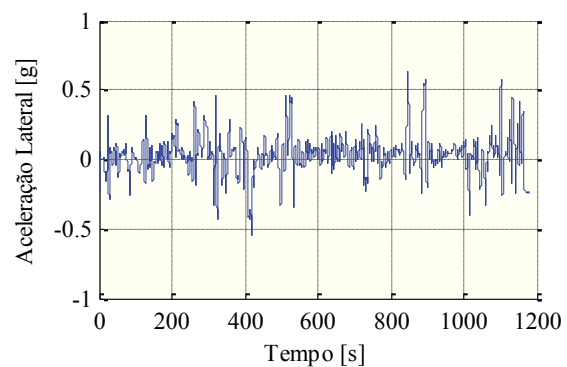


Figura 21: Aceleração lateral com aplicação do filtro.

Posteriormente é realizada uma compensação com os valores de rotação em torno do eixo longitudinal do veículo, ou seja a inclinação do veículo. Esta compensação é realizada através da subtração ao valor de aceleração medido, o valor da inclinação do veículo.

Para a realização desta operação, é necessário encontrar uma relação entre o valor de inclinação em graus e o seu correspondente em g. Assim para esta correspondência foi utilizada a equação (3.1), a qual representa através da função seno uma relação entre ângulo e aceleração, onde  $a$  corresponde à aceleração e  $\theta$  ao valor da inclinação em graus.

$$a = 9.81 \times \sin(\theta) \quad (3.1)$$

Através desta relação é determinado o valor em g para cada rotação. Após a determinação do valor, este é subtraído aos valores de aceleração, sendo obtido o valor final da aceleração lateral do veículo, como é visível na Figura 22.

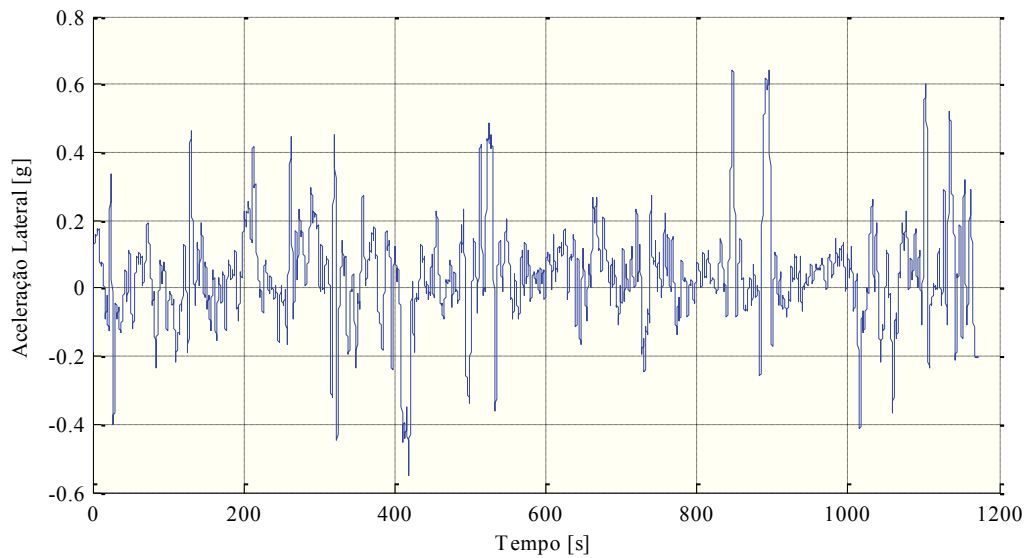


Figura 22: Valor final de aceleração lateral ao longo do tempo.

### 3.6.3 Velocidade

Como referido anteriormente, o sinal da velocidade é lido com recurso a um conversor analógico digital, sendo a informação fornecida pela placa de desenvolvimento um sinal digital, entre os 47 e os 1023. Deste modo é necessário a aplicação de filtros para remoção de ruído e posterior conversão para unidade de Km/h.

A determinação da relação entre os valores obtidos da conversão e a velocidade do veículo foi possível com o recurso ao banco de teste de potência, presente no Laboratório de Engenharia Automóvel.

O banco referido anteriormente é da marca MAHA<sup>®</sup>, modelo “LPS 2000-R100/2”, tendo como principais características a capacidade de realização de testes de veículos com dois eixos motrizes, uma velocidade máxima de 260 Km/h, um máximo de 260 kW de potência por eixo, peso máximo de 2.5 toneladas. Este permite realizar testes de potência máxima instantânea, potência a regimes de rotação pré-definidos e a velocidades pré-definidas, simulação de carga, recuperação, calibração do odómetro e calibração do taquímetro.

Para a obtenção da relação da velocidade foi realizado um teste do velocímetro, o qual consiste em percorrer vários patamares de velocidades predefinidos, permitindo desta forma aferir a diferença entre o velocímetro e a velocidade medida através dos rolos. Paralelamente às medições realizadas pelo banco, eram também recolhidos dados através do sis-

tema de aquisição desenvolvido, sendo a velocidade o único parâmetro relevante a adquirir, estando este representado na Figura 23.

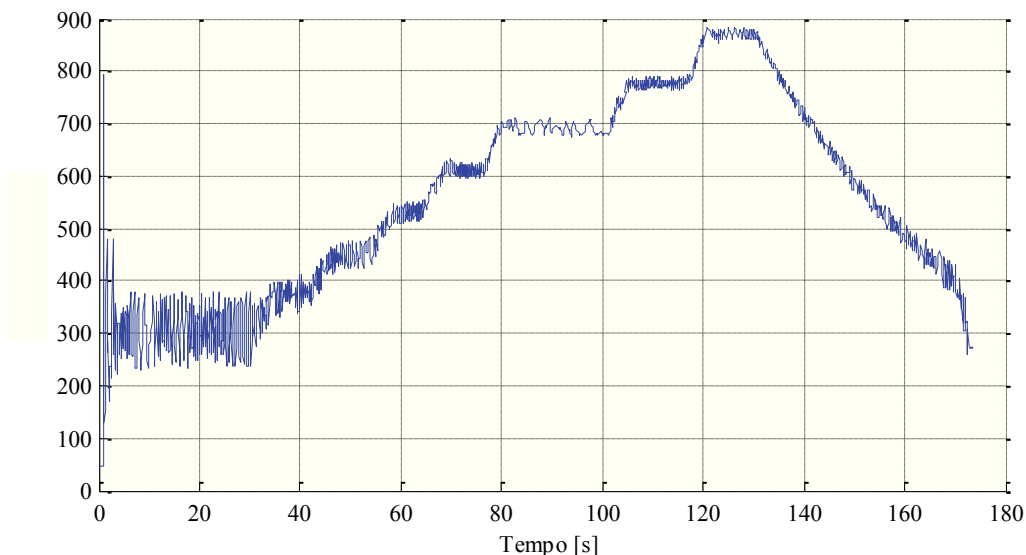


Figura 23: Dados do teste de calibração da velocidade.

Posteriormente com a confrontação da informação fornecida do teste de velocímetro e os valores adquiridos foi possível encontrar uma relação entre a velocidade do veículo e o sinal obtido, como se pode ver através da Tabela 1. Os valores provenientes do velocímetro foram obtidos através da média dos valores correspondentes a cada patamar de velocidade, e os valores de velocidade em Km/h, foram obtidos pelos dados provenientes do banco de testes.

**Tabela 1:** Relação entre velocidade em Km/h e valores provenientes da aquisição.

<b>Velocidade Km/h</b>	0.00	17.20	36.50	55.7	75.40	94.40	113.80	133.20	153.20
<b>Valor lido ADC</b>	47.00	305.88	385.53	449.00	529.90	610.14	681.04	776.17	871.64

Aos dados provenientes do sensor de velocidade, representados na Figura 24, é inicialmente efetuada uma análise para remoção dos valores limites da escala, pois dependendo da

posição em que o sensor fica a realizar a leitura, este tanto apresenta o valor mínimo, como o máximo. Posteriormente a esta operação é aplicado um filtro de média móvel onde são utilizados os dois valores anteriores para a realização desta. Por fim, para a realização da conversão, foram utilizadas interpolações, com os valores presentes na Tabela 1, resultando desta os dados presentes na Figura 25.

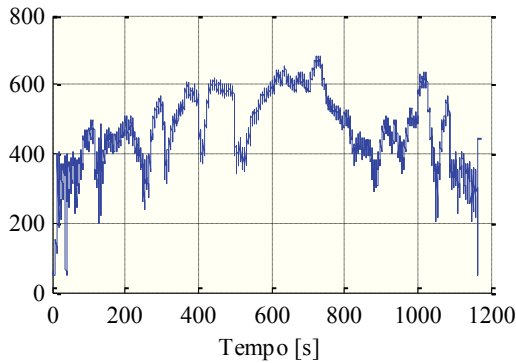


Figura 24: Dados da velocidade provenientes da conversão ADC.

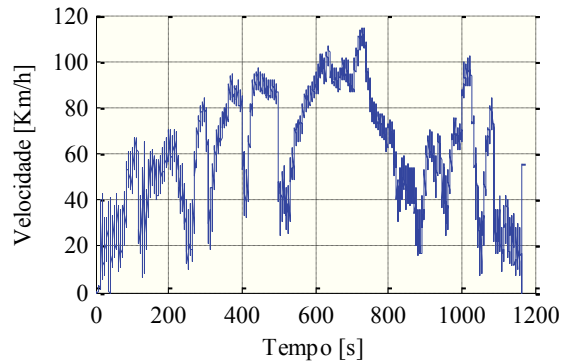


Figura 25: Dados da velocidade após conversão para Km/h.

Com os valores resultantes da velocidade, foram realizados cálculos para a determinação da distância percorrida. Este valor foi obtido com base na taxa de aquisição de dados, sendo a sua relação demonstrada através da equação (3.2), onde é realizada a multiplicação da velocidade pelo tempo correspondente a cada amostra, ou seja, a distância percorrida em cada instante. De seguida é feito o somatório de todos esses valores, resultando na distância total percorrida.

$$d(i) = v(i) + d(i - 1) \tag{3.2}$$

### 3.6.4 Raio

O raio ao longo do percurso é calculado, através dos dados recolhidos relativos à aceleração lateral e velocidade do veículo, estando estes relacionados pela equação (3.3), a qual corresponde à equação da aceleração centrípeta, onde  $a_c$  representa a aceleração centrípeta,  $v$  a velocidade e  $r$  o raio.

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad (3.3)$$

### 3.6.5 *Batimento Cardíaco*

Ao solicitar aos condutores que estes mantivessem uma condução típica do dia-a-dia durante os ensaios práticos, prevemos que esta seja do seu completo agrado. Esta é uma situação que nem sempre se verifica, pois durante a condução podem surgir situações que o condutor não esteja à espera, levando a uma situação de maior tensão e menor conforto. Desta forma é necessária a identificação destes acontecimentos para posterior compensação nos resultados.

A forma de deteção deste tipo de situações pode ser realizada através da análise das atitudes do condutor, sendo esta possível através do estudo da atuação dos pedais de acelerador e travão e do batimento cardíaco, como referido no subcapítulo 3.3.

A análise destes parâmetros em conjunto com a aceleração lateral permite identificar que para valores de acelerações mais elevados, o condutor tende a travar, sendo por essa razão considerado um estado de menor conforto. Um exemplo desta situação pode ser visto na Figura 26, a qual representa o excerto dos dados recolhidos de um ensaio, onde é possível ver, aproximadamente aos 480 s, um exemplo da situação referida anteriormente, ou seja, ocorre um valor de aceleração lateral mais elevado, fazendo com que o condutor atue o travão. É também possível verificar que no instante seguinte à ocorrência deste caso, o batimento cardíaco sofre um aumento, o que representa uma situação de anômala.

Uma vez que a verificação do estado de condução de conforto se reflete diretamente a nível dos batimentos cardíacos, foi optado apenas pela verificação desta variável para a compensação do valor de aceleração lateral relativo ao estado de conforto.

Através da revisão bibliográfica relativa ao batimento cardíaco, referida no subcapítulo 2.4, verificou-se a possibilidade da avaliação do estado emocional de cada sujeito através da análise em frequência desta variável.

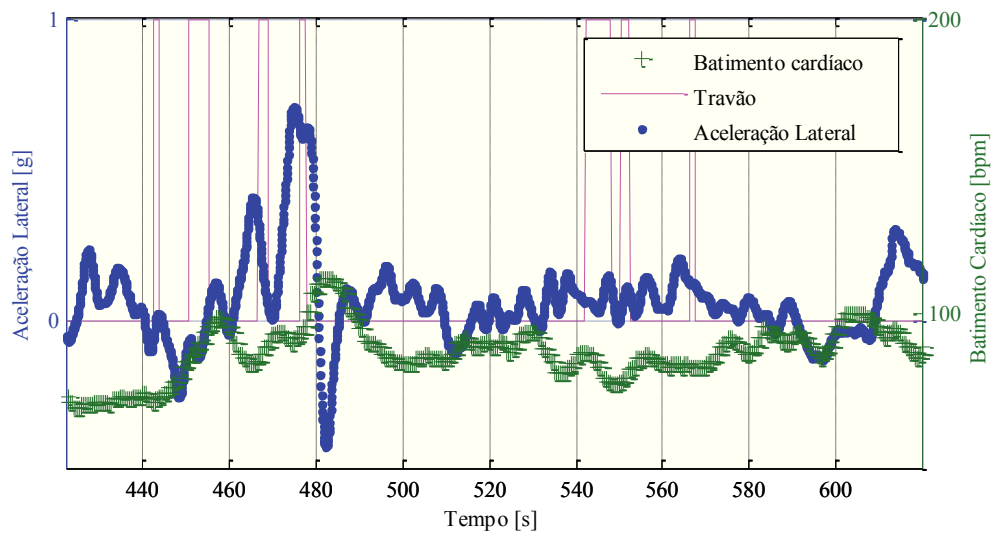


Figura 26: Gráfico representativo do batimento cardíaco, acelerações laterais e sinal do pedal de travão.

Através dos padrões da VFC, apresentados por R. McCraty em “Emotional Stress, Positive Emotions and Psychophysiological Coherence” [13], associados aos diferentes estados emocionais, não foi possível a identificação de uma relação clara com a análise em frequência do batimento cardíaco dos condutores. Posto isto, foi realizada uma aquisição de dados de batimento cardíaco para situações específicas de condução.

Foram selecionados alguns condutores, para que conduzissem o veículo de testes, sem que tivessem conhecimento concreto do que seria analisado. Deste modo foi pedido que numa primeira fase realizassem uma condução tranquila, sendo posteriormente pedido uma condução mais agressiva.

Com a análise dos dados recolhidos durante estes ensaios, foi possível verificar que para o mesmo condutor em ambas as situações de condução, não foram encontradas diferenças significativas na análise em frequência do batimento cardíaco, como está visível na Figura 27, que representa uma condução tranquila, e da Figura 28, que representa uma condução mais agressiva. Através análise da VFC é possível verificar a ocorrência de um ligeiro pico em torno dos 0.1 Hz.

A análise dos dados referentes aos restantes condutores demonstrou a ocorrência de uma variação mais acentuada nas frequências muito baixas, como é visível na Figura 29, para as diferentes solicitações de condução. Estes resultados levam a uma outra hipótese para associação da VFC, com o estado de conforto ou desconforto durante a condução.

O condutor 1, cujos resultados foram apresentados na Figura 27 e Figura 28 possuía um elevado conhecimento do percurso, o que faz com que este se sentisse confortável para a realização deste, tanto para a situação normal como agressiva, notando-se apenas uma diferença mais significativa a nível dos valores máximos do batimento cardíaco (superiores na condução mais agressiva). Enquanto outros voluntários não detinham conhecimento tão abrangente a nível do percurso, estando estes mais vulneráveis a situações que não estariam à espera. Assim pode-se concluir que as situações que pretendemos identificar, ou seja, situações inesperadas, correspondem a variações da frequência do batimento cardíaco nas frequências abaixo dos 0.05 Hz.

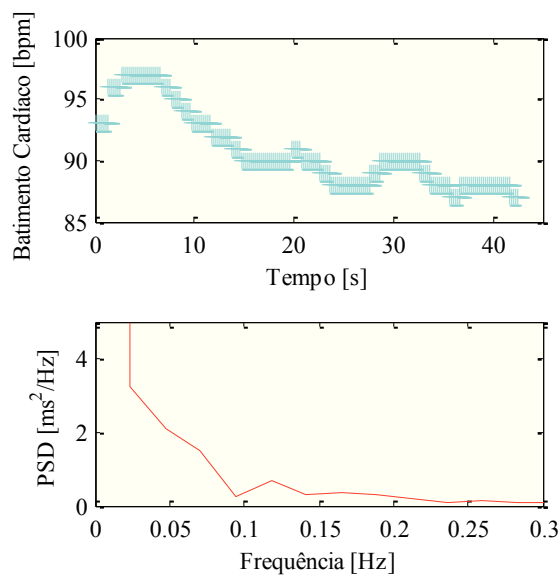


Figura 27: Gráfico de batimento cardíaco e respetiva análise em frequência para uma condução normal – condutor 1.

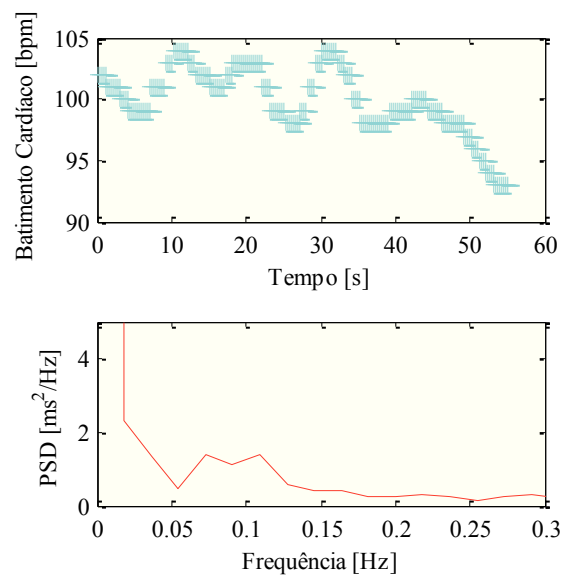


Figura 28: Gráfico de batimento cardíaco e respetiva análise em frequência para uma condução mais agressiva – condutor 2.

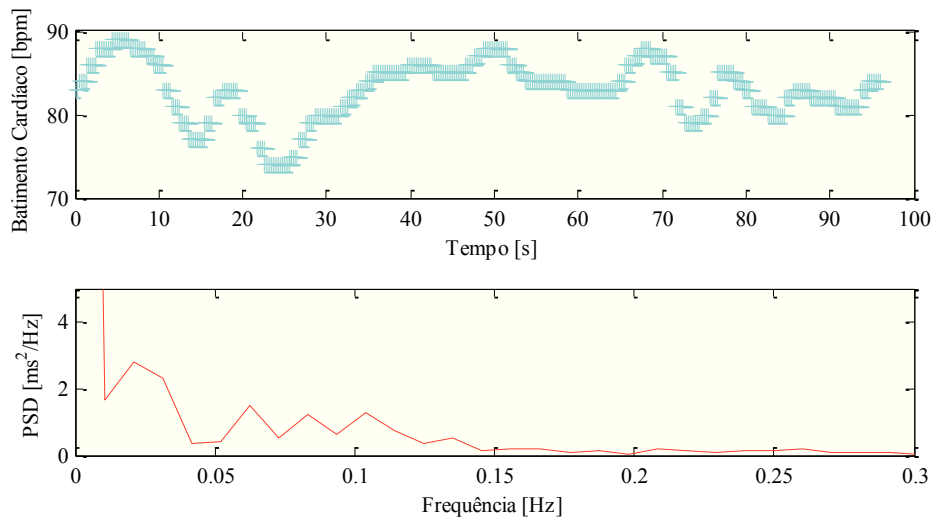


Figura 29: Gráfico de batimento cardíaco e respectiva análise em frequência para uma condução normal – condutor 2.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## **4. Ensaaios práticos**

---

### ***4.1 Introdução***

A realização dos ensaios práticos necessita de uma cuidada preparação e caracterização, de modo a que estes completem todos os pontos necessários em análise. Assim neste capítulo é efetuada a caracterização dos ensaios, sendo esta focada a nível do percurso, condições de realização e amostra de voluntários.

### ***4.2 Caracterização dos ensaios práticos***

#### ***4.2.1 Percurso***

A escolha do percurso ideal para a realização dos testes práticos foi feita de acordo com os parâmetros necessários ao estudo. Assim o percurso selecionado tem de permitir uma ampla faixa de velocidades, várias curvas com diferentes raios e diversas situações de condução.

O percurso selecionado localiza-se nas imediações da cidade de Leiria, tendo uma extensão de aproximadamente 22 Km, como esta representado na Figura 30. Este percurso engloba diversos tipos de estrada, desde zonas de cidade, até vias rápidas, permitindo desta forma ter uma gama de velocidades abrangente, até aos 120 Km/h.



Figura 30 : Percurso selecionado para a realização dos testes práticos.

O percurso tem início e fim no ponto assinalado na Figura 30, estando este situado no campus 2 do IPL. Dos cerca de 22 Km de extensão do percurso, são realizados aproximadamente, 6 Km em cidade, 4.5 Km em vias rápidas, 7.5 Km em estradas nacionais e 4 Km em autoestrada, sendo este percorrido numa média de 20 minutos.

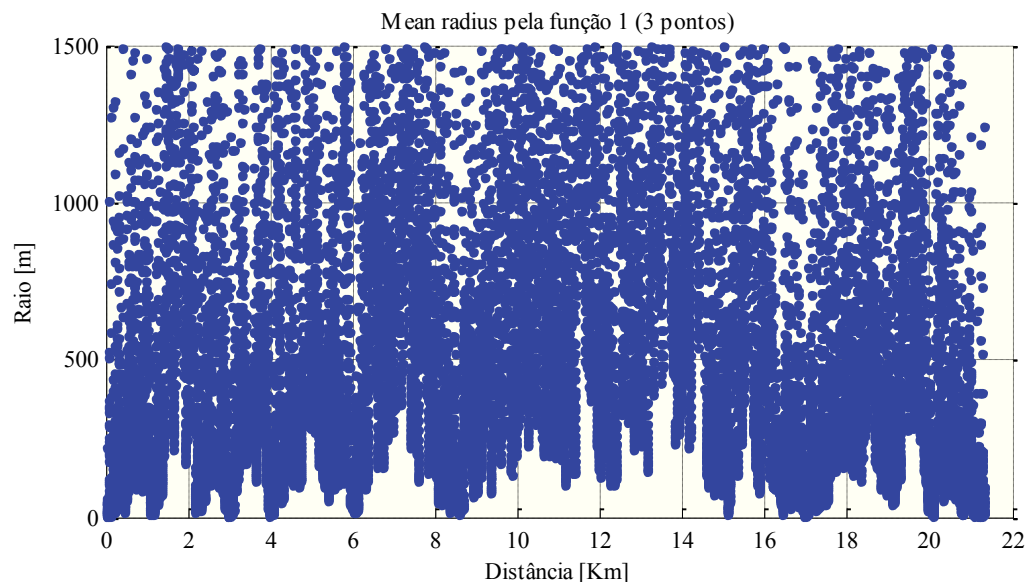


Figura 31: Gráfico de raios de curvatura ao longo do percurso.

A Figura 31 apresenta o valor dos raios ao longo do percurso, permitindo esta verificar a existência de diversas curvas com diferentes raios. Os valores dos raios que constituem o percurso foram determinados através do conhecimento das suas coordenadas geográficas.

Com o conhecimento dessas coordenadas, através de três pontos consecutivos é determinado o raio respetivo. Como o raio para zonas de estrada reta, tende para valores infinitos, foi selecionado o valor de 1500 m, como valor de raio máximo para representação gráfica e análise de percurso. Este foi definido tendo em consideração a equação da aceleração centrípeta, e a velocidade máxima permitida por lei, 120 Km/h. Assim para as condições descritas anteriormente, obtém-se uma aceleração lateral de aproximadamente  $0.74 \text{ m/s}^2$ , valor considerado baixo.

#### **4.2.2 Condições de realização de teste**

Para a realização dos testes práticos, foram definidas inicialmente as condições em que estes se iriam realizar, assim como as indicações fornecidas aos voluntários para a realização do mesmo.

Os testes foram realizados todos no mesmo veículo, em condições atmosféricas idênticas, ou seja, com o pavimento seco e sem chuva, e em horários de menor trânsito, minimizando os fatores externos passíveis de afetar os resultados.

Na realização de todos os testes foi pedido aos voluntários que tivessem uma condução típica de dia-a-dia, sendo estes os responsáveis pela seleção da velocidade de circulação, de modo a protagonizar uma viagem do seu conforto. Posteriormente e antes da realização do teste eram informados, especificamente, acerca do percurso, assim como efetuavam uma fase de condução de adaptação ao veículo.

#### **4.2.3 Amostra**

Na realização dos ensaios práticos recorreu-se à colaboração de voluntário para a condução do veículo durante o percurso determinado. A seleção dos voluntários foi realizada de modo a tornar a amostra o mais uniforme possível a nível de idades e género. Assim a amostra de voluntários contou com trinta condutores, sendo aproximadamente 33 % do sexo feminino e os restantes 77 % do sexo masculino. A nível das idades obteve-se uma média de aproximadamente 31 anos para a totalidade da amostra, tendo o voluntário mais velho 64 anos e o mais novo 21 anos. Para os diferentes géneros a média de idades situa-se nos 27 e 33 anos para o sexo feminino e masculino, respetivamente.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 5. Apresentação e discussão de resultados

---

### 5.1 Introdução

Após a realização de todos os ensaios práticos e respetiva análise dos dados recolhidos, foram obtidos os resultados finais relativos ao comportamento do condutor em curva. Assim o presente capítulo apresenta os resultados obtidos, sendo de seguida efetuada a discussão dos mesmos.

### 5.2 Resultados

O comportamento do condutor em curva é influenciado pela aceleração lateral sentida por este, sendo para tal este parâmetro fundamental na apresentação dos resultados, assim como a velocidade, pois este é o parâmetro que o condutor controla. Posto isto, os resultados são apresentados em função destas duas variáveis.

A aceleração lateral de cada ensaio prático é composta por diversos valores, correspondendo estes tanto a situação de curva como de estrada reta. Deste modo, para efeitos de análise é considerado apenas o perfil do gráfico das acelerações, como é visível na Figura 32, a qual representa a velocidade em função das acelerações laterais e o respetivo perfil, para um condutor selecionado ao acaso. Este perfil é obtido através da média dos 5 valores de aceleração mais elevados para cada valor de velocidade, compreendido entre os 0 e os 150 Km/h.

O perfil de velocidades é obtido para todos os ensaios realizados, sendo posteriormente realizada a sua média, de modo a determinar um perfil de velocidades em função das acelerações padrão, possível de caracterização do comportamento dos condutores numa condu-

ção normal. Estes diferentes perfis assim como a sua média podem ser visualizados através da Figura 33.

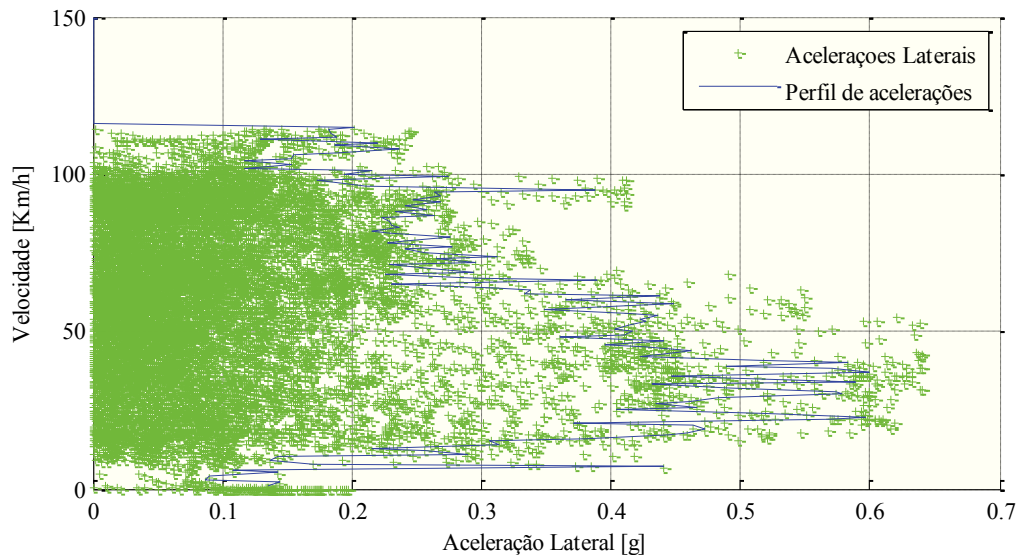


Figura 32: Gráfico da velocidade em função da aceleração lateral - dados de teste completo e perfil de acelerações.

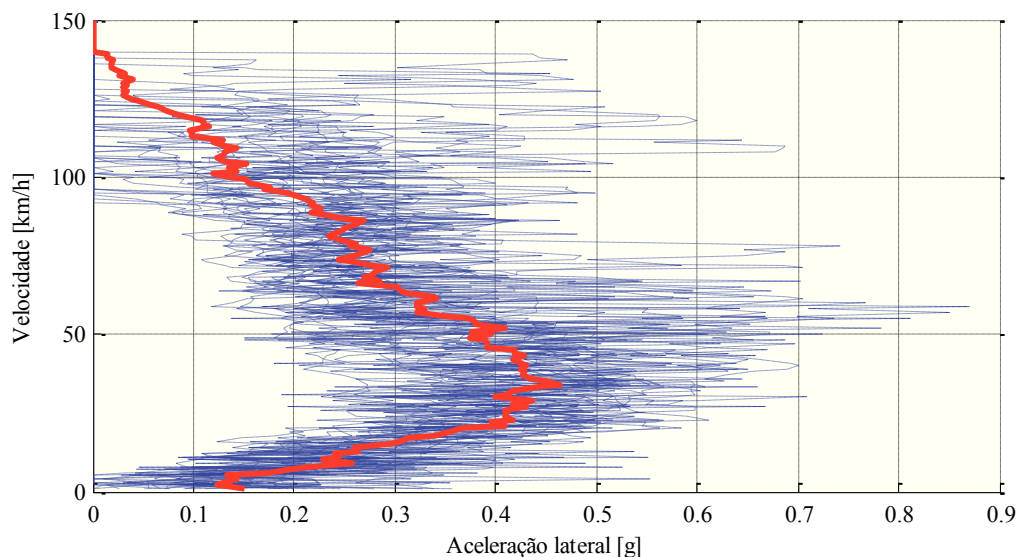


Figura 33: Perfil médio da velocidade em função da aceleração lateral.

Na equação da aceleração centrípeta, além dos dois parâmetros referidos anteriormente, velocidade e aceleração, entra também o raio de curvatura, assim, de forma a relacionar os dados obtidos com o percurso utilizou-se uma outra forma de análise.

A segunda forma de análise consiste na representação da aceleração lateral em função do raio. O valor de raio utilizado, como referido no subcapítulo 3.6.4, é obtido através da aceleração lateral e da velocidade. A Figura 34 representa os valores de raios do percurso, sendo um o valor teórico e o outro o obtido através dos ensaios práticos. As discrepâncias detetadas são justificadas com as diferentes trajetórias que podem ser optadas pelos condutores durante o percurso.

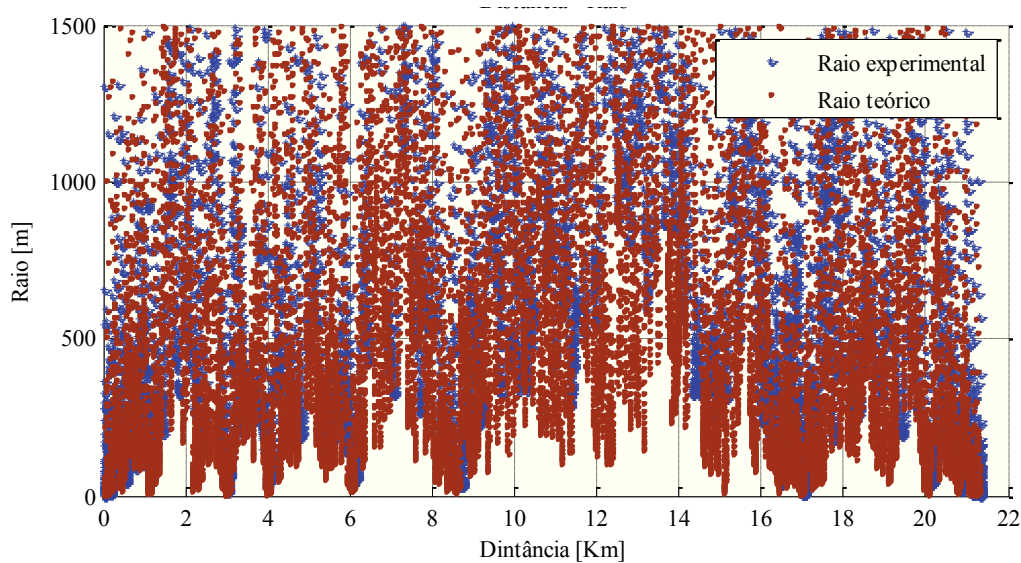


Figura 34: Comparação entre raios teóricos e experimentais ao longo do percurso.

A relação entre a aceleração lateral e o raio está visível através da Figura 34, a qual representa esta relação para um teste selecionado ao acaso. Também para esta análise foi representada a curva de perfil desta relação, sendo esta obtida através da seleção do maior valor de raio para cada intervalo de 0.01 g da aceleração lateral. Para a análise total, é encontrada esta curva para todos os ensaios, seguindo-se o cálculo da sua média, sendo o resultado a função de caracterização do comportamento do condutor em curva, Figura 36.

A Figura 37 representa a curva média das acelerações, à qual foram adicionadas linhas indicadoras das gamas de velocidades. Estas linhas foram obtidas através do cálculo da aceleração lateral para níveis específicos de velocidades, 50, 80, 100, 120, 140 Km/h, com base nos valores dos raios do percurso. Nesta as curvas indicadores de velocidade encontram-se disposta ascendentemente por ordem crescente.

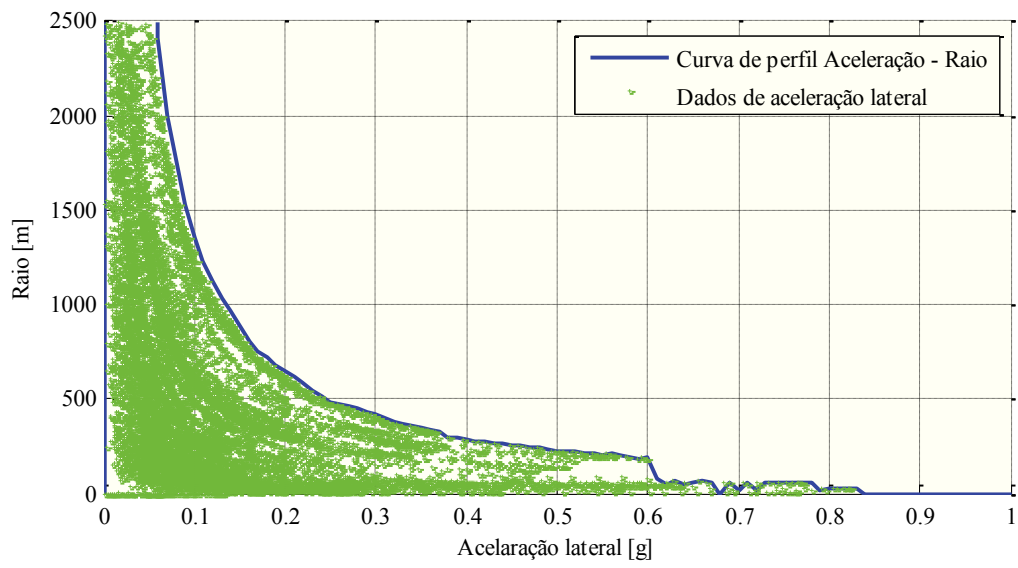


Figura 35: Raio em função da aceleração lateral.

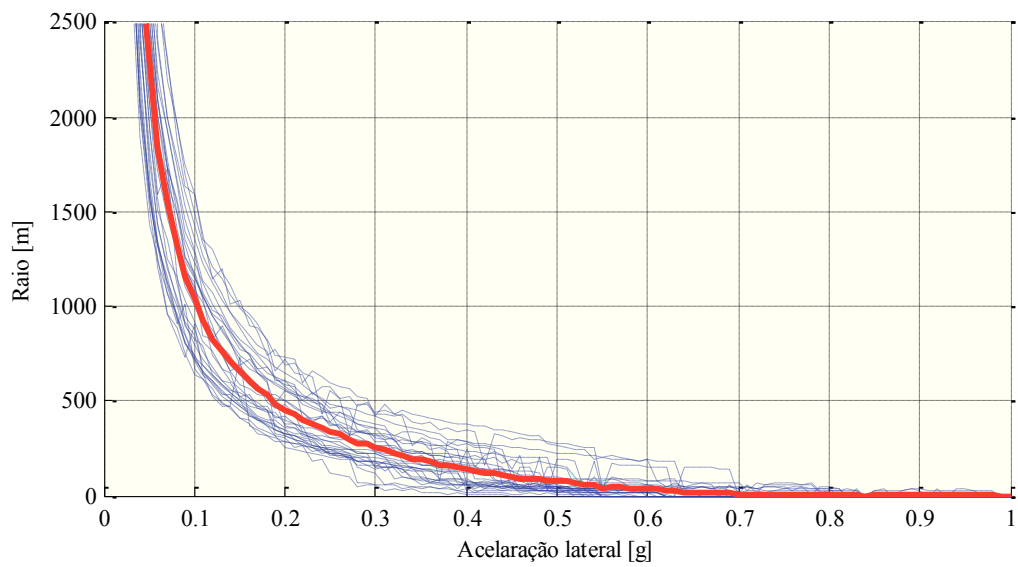


Figura 36: Raio em função da aceleração lateral - curvas de perfil e média de todas as curvas.

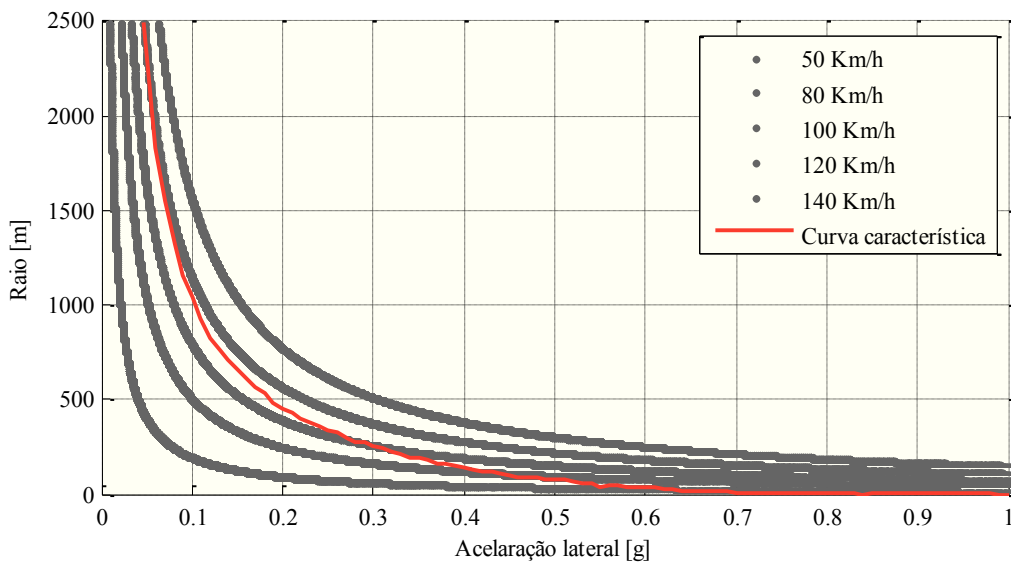


Figura 37: Gráfico da curva característica do comportamento do condutor e curvas de velocidades.

### 5.3 Discussão de resultados

A análise representada na Figura 32 e Figura 33, mostra a aceleração máxima para cada valor de velocidade, as quais indicam que os valores de aceleração lateral tendem a diminuir com o aumento da velocidade, para velocidades superiores aos 30 Km/h. Até este patamar de velocidades as acelerações têm valores mais baixos, os quais são justificados pela falta de curvas com raios suficiente mente pequenos que permitam atingir valores de aceleração superiores, pois para estas velocidades a tolerância a acelerações mais elevadas é maior.

Existe uma grande diferença entre os vários voluntários que realizaram os ensaios, no que respeita às acelerações que estes normalmente estão habituados a sentir. Esta diferença encontra-se visível na Figura 33, através da diferença de valores da curva média para os valores dos testes com valores de acelerações mais elevados.

A segunda análise realizada, representada da Figura 35 à Figura 37, mostra a aceleração limite para cada valor de raio. Na Figura 35 verifica-se, a existência de um ponto onde ocorre uma descida mais brusca da linha de perfil, a qual corresponde ao ponto de aceleração limite, podendo as acelerações superiores a esta ser consideradas como superiores ao valor limite de conforto para o condutor.

Na Figura 36, assim como na Figura 33, está também visível a diferença entre o perfil de acelerações para cada condutor. É também visível, e como esperado, que para os raios de curvatura mais pequenos as acelerações são superiores.

A presença das linhas de velocidade representadas na Figura 37, permitem uma análise da gama de velocidades associada a cada ponto da curva característica do comportamento, e ainda referir que velocidades na ordem dos 120 Km/h, se verificarão para raios superiores aos 2000 m e com uma aceleração lateral a rondar os  $0.07 \text{ m/s}^2$ . Para os 100 Km/h, só se verificará com acelerações laterais inferiores a  $0.1 \text{ m/s}^2$  e que para os 80 Km/h, as acelerações laterais serão no máximo de  $0.3 \text{ m/s}^2$ .

A diferença entre as duas análises representadas verifica-se principalmente ao nível da apresentação dos dados, uma vez que através da equação da aceleração centrípeta, os três parâmetros utilizados, estão diretamente relacionados. Sendo o segundo método considerado mais apropriado para análise pretendida, uma vez que permite mais facilmente a percepção das acelerações associadas a cada raio.

Desta forma foi encontrada uma função que descrevesse a curva característica do comportamento do condutor em situação de curva. Para tal recorreu-se ao *software Microsoft Excel*, e à sua função de linha de tendência para obtenção da função.

A aproximação foi realizada através de uma regressão linear de 6ª ordem, com a qual se obteve a equação (5.1), cuja representação se encontra na Figura 38, onde é possível verificar a elevada correspondência com a curva característica. Sendo esta equação apresentada como função de caracterização do comportamento do condutor em curva.

$$y = 173430x^6 - 607752x^5 + 844991x^4 - 593400x^3 + 222148x^2 - 43090x + 3720.2 \quad (5.1)$$

A curva característica de representação do comportamento do condutor, não pode ser considerada como satisfatória para todos os condutores, pois como esta se baseia numa média de valores, haverá sempre condutores que terão a opinião de que as acelerações são elevadas demais ou baixas demais. Assim não é pretendido que os valores limites sejam o ideal para todos os condutores, mas demonstrar a existência de uma tendência para o controlo da velocidade, em função do percurso.

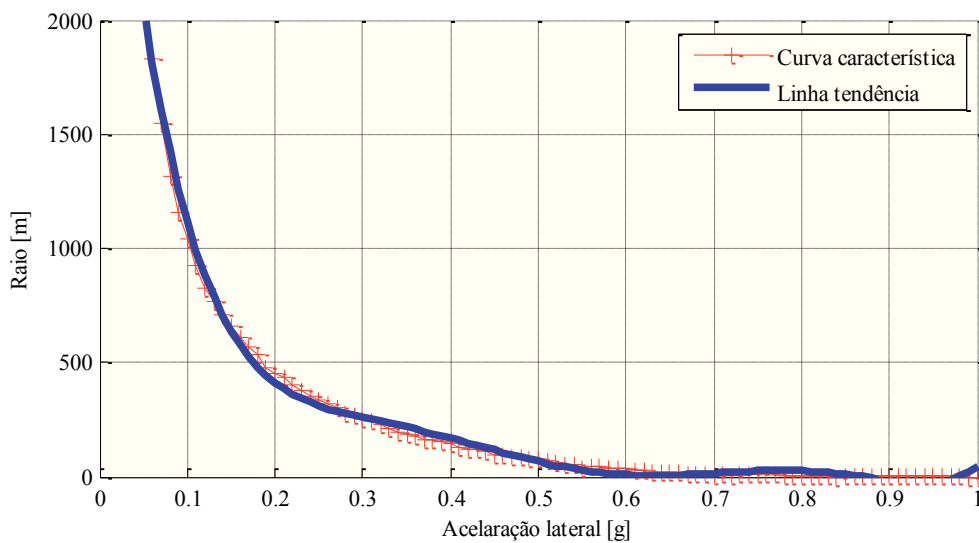


Figura 38: Gráfico da curva característica e linha de tendência

Os resultados alcançados relativamente à caracterização necessitam de uma validação, sendo para tal necessária a sua introdução num algoritmo de controlo de velocidade. Não sendo realizado neste trabalho, são, deixadas as formas idealizadas para a sua aplicação, sendo estas duas. A primeira consiste num controlo mais simples, apenas com base nos valores de aceleração medidos em tempo real, seguindo-se com base nestes o controlo direto da velocidade.

A segunda forma da aplicação tem uma vertente mais preventiva e permitindo uma forma de controlo mais suave, sendo para tal necessário recorrer a informação da localização geográfica do veículo, assim como do percurso a percorrer. Com o conhecimento da estrada que se pretende percorrer, antes de se alcançar a curva, o sistema calcula um raio aproximado da curva, com o qual determina a velocidade limite, iniciando-se o ajuste da velocidade, se necessário, antes de chegar à curva. Continuando também a ser aplicado a este o controlo direto com base nas acelerações laterais medidas pelo sistema.

*Esta página foi intencionalmente deixada em branco*

## 6. Conclusões

---

### 6.1 Conclusões

Os objetivos do presente projeto tinham como finalidade o estudo do comportamento do condutor, tendo, através da sua realização alcançadas diversas conclusões relativas ao tema.

No que respeita ao funcionamento dos sistemas de auxílio ao condutor, verificou-se que estes têm um comportamento de “máquina”, o qual corresponde a um comportamento pouco semelhante ao que o ser humano está habituado, transmitindo-lhe uma sensação de desconforto.

No estudo do comportamento do condutor, foram selecionados como parâmetros em análise a atuação dos pedais do veículo e batimento cardíaco, tendo sido verificado posteriormente, que a atuação dos pedais, nomeadamente do pedal de travão, que se reflete através de um aumento do batimento cardíaco.

A análise das condições dinâmicas do veículo, foram adquiridas as acelerações e rotações nos três eixos e a velocidade do veículo, sendo principalmente a aceleração lateral do veículo e a rotação no eixo longitudinal deste. Com a velocidade, foi também obtida a distância percorrida.

O batimento cardíaco mostra-se uma variável de elevado potencial para a análise do estado do condutor, permitindo um controlo do conforto sentido por este. A sua aplicação na análise dos dados obtidos através dos ensaios práticos, revelou-se complexa, visto que esta análise necessita de ser efetuada em curtos espaços de tempo, correspondendo estes a instantes onde o condutor estará a descrever uma curva.

A seleção do percurso para a realização dos ensaios foi correta, permitindo abranger diversas situações de condução e descrever diferentes curvas a diferentes velocidades. A amostra selecionada como foi comentado nos resultados, foi bastante abrangente em termos dos valores de aceleração considerados de conforto.

Com toda a análise dos ensaios realizados foi obtida uma função de caracterização do comportamento do condutor em curva, sendo esta, demonstrativa de que a seleção de uma velocidade constante para todo o percurso, não se assemelha ao comportamento humano. A velocidade pode ser controlada através do conhecimento do raio do percurso e da aceleração lateral, à qual o veículo está sujeito.

Esta caracterização do comportamento do condutor em curva, não se verificará ideal para todos os condutores, pois representa uma média de diversos condutores, sendo necessária a análise e reprodução individualizada para cada condutor do seu comportamento, para que este o considere ideal.

## **6.2 *Trabalhos Futuros***

Da realização deste projeto surgem aspetos considerados de relevo para continuação do estudo, sendo eles a validação e implementação da curva característica do comportamento do condutor, através dos métodos propostos, ou através de outros considerados mais adequados.

A realização do presente estudo para diferentes condições climatéricas e estado do pavimento, de forma verificar a existência de uma diferença no comportamento.

A realização do estudo do comportamento do mesmo condutor, para situações de condução diferentes, como exemplo, uma condução de conforto e uma condução mais agressiva, de forma a verificar a existência de um possível fator de relação entre estas duas.

## Bibliografia

---

- [1] H. Bousfiha, M. Hasri, and Y. Salih-alj, “Smart Cruise Control System with Stop&Go and Predictive Road Mapping,” 2012.
- [2] J. P. Lauffenburger, M. Basset, F. Coffin, and G. L. Gissinger, “Driver-aid system using path-planning for lateral vehicle control,” *Control Eng. Pract.*, vol. 11, no. 2, pp. 217–231, Feb. 2003.
- [3] “Sartre.” [Online]. Available: <http://sartre-project.eu/en/Sidor/default.aspx>. [Accessed: 20-Dec-2012].
- [4] T. R. Project, E. Chan, C. Engineer, C. S. Park, M. Road, and E. Coelingh, “Operating Platoons On Public Motorways : An Introduction To The SARTRE Platooning Programme.”
- [5] R. Alves, C. Ferreira, and T. Fernandes, “Improved Cruise Control for Fuel Economy and Driver’s Safety Feeling,” in *FISITA 2012 World Automotive Congress*, 2012.
- [6] M. A. Jarrahz, “CRUISE CONTROL TECHNOLOGY REVIEW,” vol. 23, no. 4, pp. 259–271, 1997.
- [7] H. Bauer, *Automotive electrics and electronics*. R. Bosch, 1999.
- [8] R. Bosch, *Automotive Electrics, Automotive Electronics*. Bentley Pub, 2007.
- [9] L. F. B. Maximo, “Estudo do Comportamento Dinâmico de um Veículo de Passageiros em Manobras de Handling,” Universidade Católica de Minas Gerais.

## BIBLIOGRAFIA

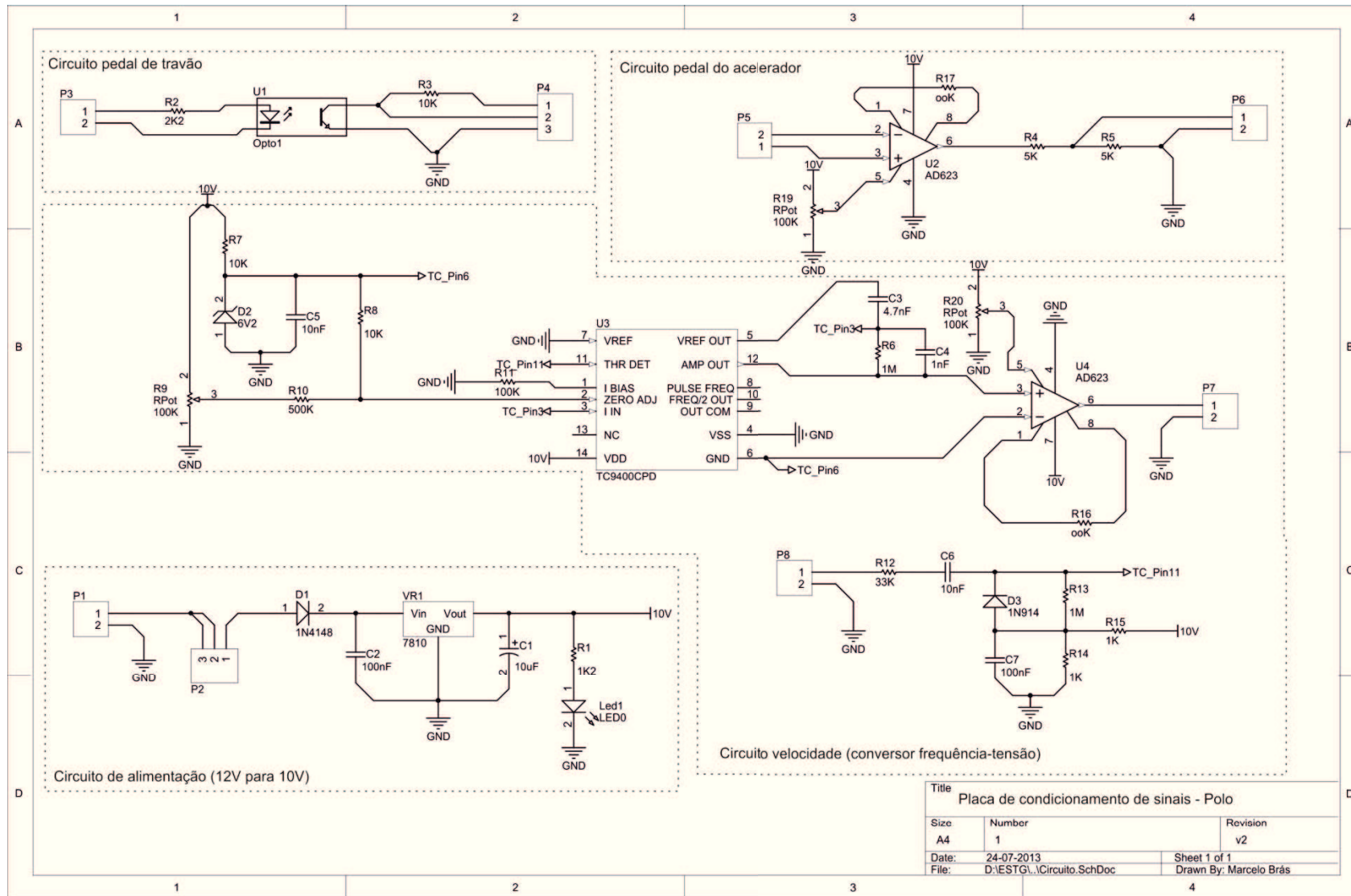
- [10] A. Brighenti and J. Biancat, "Road Vehicle Drive Behaviour Analysis Method." Google Patents, 30-Jul-2010.
- [11] T. Toledo and T. Lotan, "In-Vehicle Data Recorder for Evaluation of Driving Behavior and Safety," *Transp. Res. Rec.*, vol. 1953, no. 1, pp. 112–119, Jan. 2006.
- [12] J. G. P. Rodrigues, F. Vieira, T. T. V. Vinhoza, J. Barros, and J. P. S. Cunha, "A non-intrusive multi-sensor system for characterizing driver behavior," *13th Int. IEEE Conf. Intell. Transp. Syst.*, pp. 1620–1624, Sep. 2010.
- [13] R. Mccraty and D. Ph, "Emotional Stress , Positive Emotions and Psychophysiological Coherence."
- [14] R. B. GmbH, *Bosch Automotive Handbook*. Wiley, 2008.
- [15] "SparkFun." [Online]. Available: <https://www.sparkfun.com/products/8661>. [Accessed: 21-Sep-2013].
- [16] "Pololu - Robotics & Electronics." [Online]. Available: <http://www.pololu.com/picture/view/0J4032>. [Accessed: 21-Sep-2013].
- [17] "Diligent Inc." [Online]. Available: <http://www.diligentinc.com/Products/Detail.cfm?Prod=CHIPKIT-UNO32>. [Accessed: 21-Sep-2013].

# Apêndices

---

- A. Circuito elétrico da placa de condicionamento dos sinais provenientes do veículo**
- B. *LabView* – Diagrama de blocos do sistema de aquisição**

### C. Circuito elétrico da placa de condicionamento dos sinais provenientes do veículo



Title		
Placa de condicionamento de sinais - Polo		
Size	Number	Revision
A4	1	v2
Date:	24-07-2013	Sheet 1 of 1
File:	D:\ESTG\...\Circuito.SchDoc	Drawn By: Marcelo Brás

## A. LabView - Diagrama de blocos do sistema de aquisição

