

5

Ensaio para a Validação do Equipamento

Neste capítulo, a utilização do equipamento de aquisição de dados será explicada e os ensaios realizados serão ilustrados, podendo o leitor ter um melhor entendimento de todo o processo da validação metrológica.

Como dito anteriormente, foi utilizado um equipamento de aquisição de dados que não tem calibração e, portanto, foi necessário validar suas medições, para que os resultados obtidos pudessem ser confiáveis.

No entanto, como um processo de validação pelo órgão responsável leva tempo, tem um custo bem elevado e no Brasil a área automobilística ainda não tem muitos laboratórios acreditados para fazer essa validação, uma saída possível foi fazer a calibração por meio de comparação laboratorial com os dados medidos por um equipamento já calibrado e certificado.

Este equipamento de comparação é o *Correvit*, que se encontra em uso na área militar da Restinga da Marambaia no CAEx (Centro de Avaliações do Exército), onde ensaios veiculares são realizados. Este equipamento foi importado da Alemanha e é bem conhecido e utilizado. Sua principal função é a medição de velocidade. Foi acoplado a ele um medidor de aceleração lateral e longitudinal, em seus dois canais analógicos.

O *Correvit* e seu medidor de acelerações foram fabricados pela *Corrsys Datron*. Ambos têm calibração internacional dada pelo Laboratório *NeuwGhent Technology*, que fez os ensaios em instrumentos calibrados de acordo com os padrões de rastreabilidade do *NIST*. O *Correvit*, modelo L-400, está de acordo com a norma DIN EM ISO 900ff e o medidor de acelerações, modelo DAA-2103M4, seguiu as especificações da norma ANSI/NCSL Z540-1-1994. Os certificados e especificações técnicas de ambos encontram-se no **Anexo 1**.

5.1. Procedimento de aquisição de dados

Para se coletar os dados de aceleração lateral e de velocidade longitudinal do veículo para realizar a comparação laboratorial, foram realizados ensaios, em um percurso de trajetória fechada, no CAEx, com os dois equipamentos, o *Correvit* e o MQ200-PRO.

A **Figura 1** ilustra o sensor de velocidade do equipamento certificado do Exército, o *Correvit*, que fica preso na lateral do veículo, próximo a roda e a uma distância fixa do chão. Ele funciona como um leitor ótico do chão em movimento. A **Figura 2** mostra o equipamento de fato, ou seja, onde a aquisição é feita e salva em um arquivo de texto. Este equipamento é alimentado pela própria bateria do carro, só que para isso se faz necessária a passagem de um cabo de força até a bateria do veículo.

A **Figura 3** mostra o sensor de medição de aceleração lateral e longitudinal, que é fixado no interior do veículo, no ponto mais próximo de seu centro de gravidade e está conectado no equipamento por cabo coaxial. Por último, a **Figura 4** mostra a interface com o usuário do *Correvit*, que fica acoplada no vidro do carro e tem a função apenas de controle, não podendo fazer uma visualização em tempo real dos dados.



Figura 1 – Sensor de Velocidade do Equipamento *Correvit*.



Figura 2 – Equipamento de Aquisição dos dados do *Correvit*.



Figura 3 – Sensor de medição das acelerações conectado ao *Correvit*.



Figura 4 – Controle de aquisição de dados do equipamento *Correvit*.

As fotos a seguir ilustram o equipamento objeto do estudo desta dissertação. A **Figura 5** mostra o equipamento de aquisição de dados, que pode realizar

medições segundo os três eixos, longitudinal, vertical e lateral. Ele é alimentado pela bateria do veículo (ligação simples) e conectado no painel do carro (embaixo do volante) através de uma conexão OBD-II, usada normalmente para diagnóstico de veículos nas concessionárias. Este cabo foi fabricado e testado de acordo com a norma SAE J2190 de 1995. Ao lado dele se encontra um transformador elevador (em vermelho) de 12 V (ligado na saída interna do veículo de 12 V) para 127 V que alimenta um *notebook*. A única restrição de posicionamento refere-se ao alinhamento do equipamento, que deve ficar paralelo ao chão e à linha de centro longitudinal do veículo.

A **Figura 6** ilustra, do lado esquerdo, o *notebook* usado que permite uma leitura em tempo real dos mensurandos. Uma única entrada serial faz-se necessária para o acoplamento de um conversor serial-USB, porém não é muito aconselhável utilizá-lo já que este pode gerar interferência ao sinal. No lado direito ela mostra o GPS que é ligado ao equipamento, que fica acoplado do lado de fora do veículo. Esse GPS foi usado para a aquisição da velocidade longitudinal do veículo. Mais adiante será visto que seus dados de latitude e longitude também foram usados para a conferência do posicionamento global da pista.

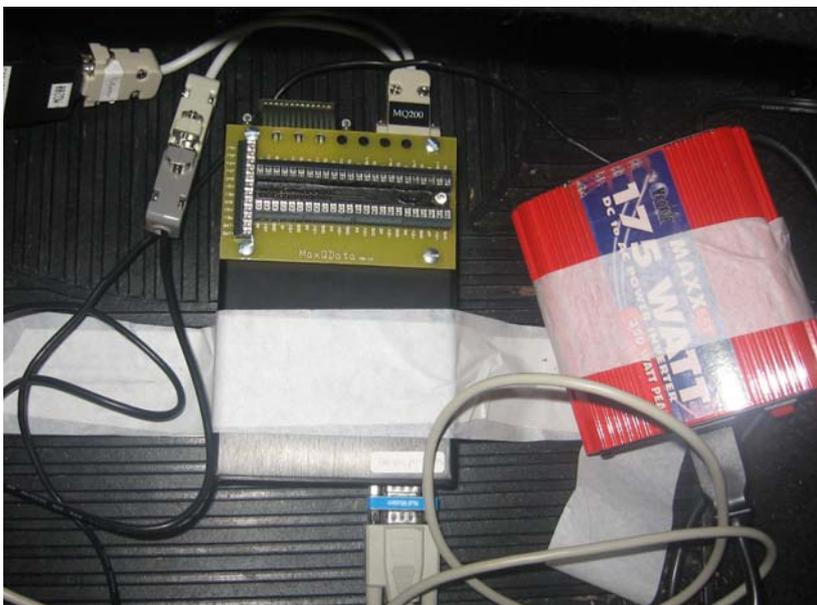


Figura 5 – Equipamento de aquisição de dados MQ200-PRO junto com transformador para alimentação de 127 V do *notebook*.



Figura 6 – Notebook e módulo externo do GPS.

5.2. Resultados obtidos pelo equipamento

O equipamento MQ200-PRO já vem com um software de visualização dos resultados em tempo real. Todas as medições realizadas podem ser vistas apenas selecionando qual variável se deseja visualizar e também faz a reconstrução da trajetória percorrida através dos dados de longitude e latitude aquisitadas pelo GPS, como ilustrado na **Figura 7**.

Comparando a pista gerada pelo GPS e a pista real, **Figura 8**, pode-se perceber uma excelente qualidade na reconstrução da trajetória, dando assim credibilidade ao sistema GPS do equipamento.

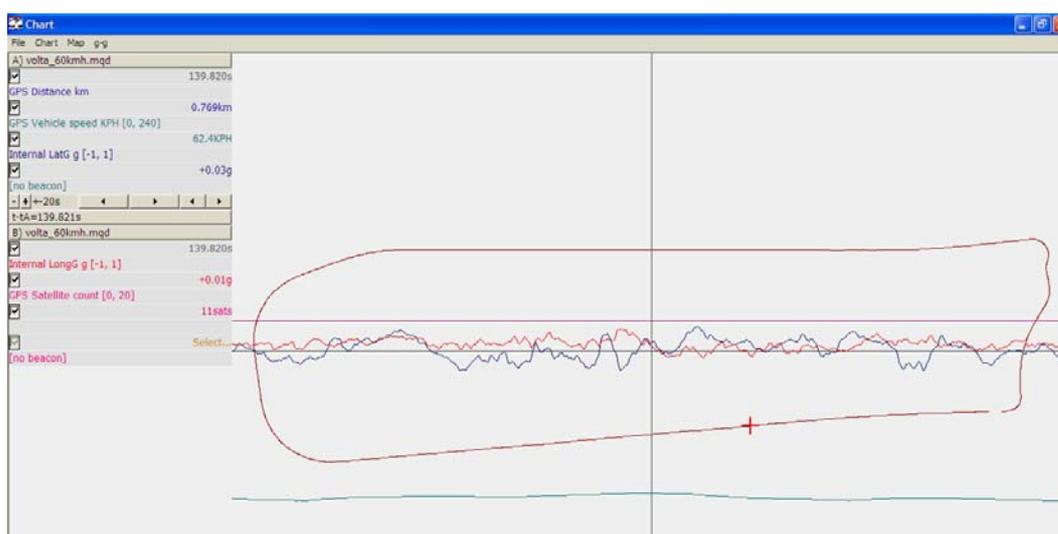


Figura 7 – Tela de visualização do equipamento MQ200-PRO.



Figura 8 – Pista Real dos ensaios vista no programa *Google Earth*.

Para o teste realizado ilustrado acima, os resultados de velocidade e aceleração lateral obtidos com os dois equipamentos podem ser vistos na **Figura 9** e na **Figura 10**. Como se nota, mesmo com a filtragem inicial realizada pelo software, o resultado obtido, principalmente para a aceleração, ainda apresenta um sinal com muito ruído, o que inviabiliza a aplicação do método de reconstrução de trajetória que se pretende realizar.

A solução para este problema foi uma segunda filtragem do sinal adquirido, a ser vista a diante na etapa da simulação computacional.

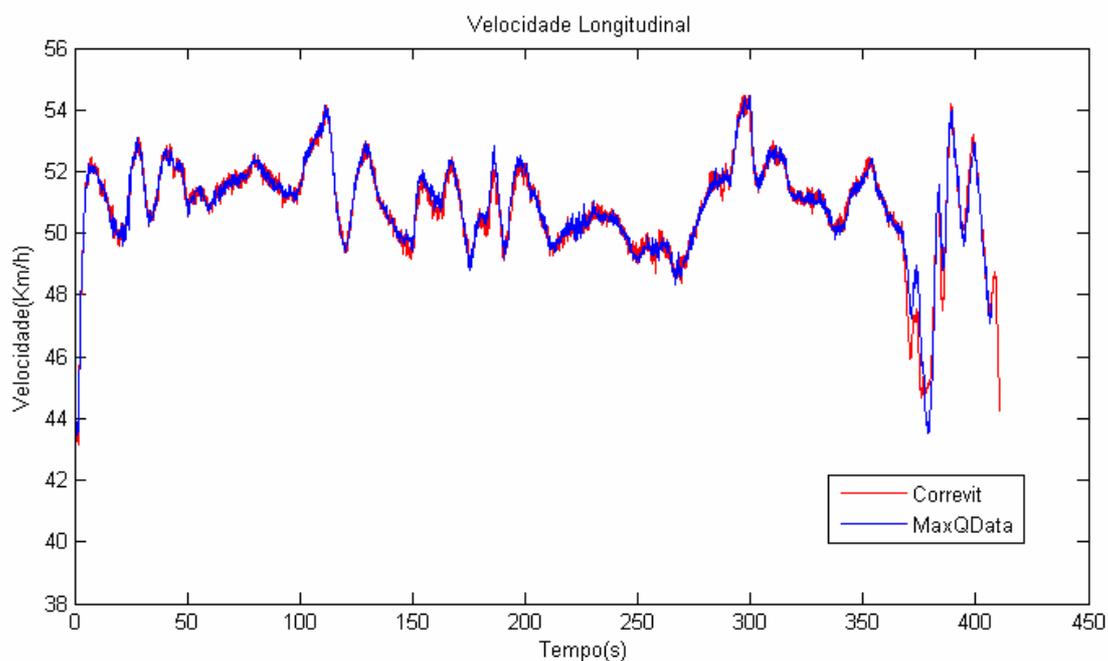


Figura 9 – Comparação da velocidade adquirida pelos dois equipamentos.

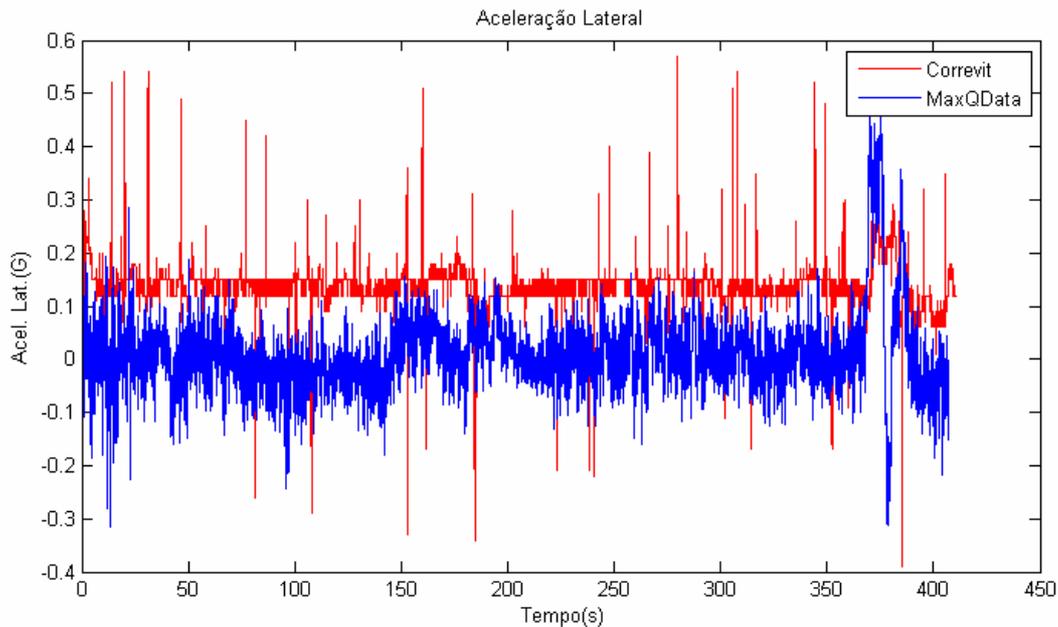


Figura 10 – Comparação da aceleração lateral adquirida pelos dois equipamentos.

Pode-se perceber que na **Figura 10** os sinais adquiridos pelos dois equipamentos estão com uma diferença de aproximadamente 0,12 G constante. Essa diferença pode ser explicada devido a alguma constante de *offset* presente no equipamento *Correvit*. Os eixos coordenados também estão com os sinais invertidos. Tratando-se o sinal do *Correvit*, pode-se obter um sinal bem próximo ao adquirido pelo equipamento MQ200-PRO, como ilustra a **Figura 11**.

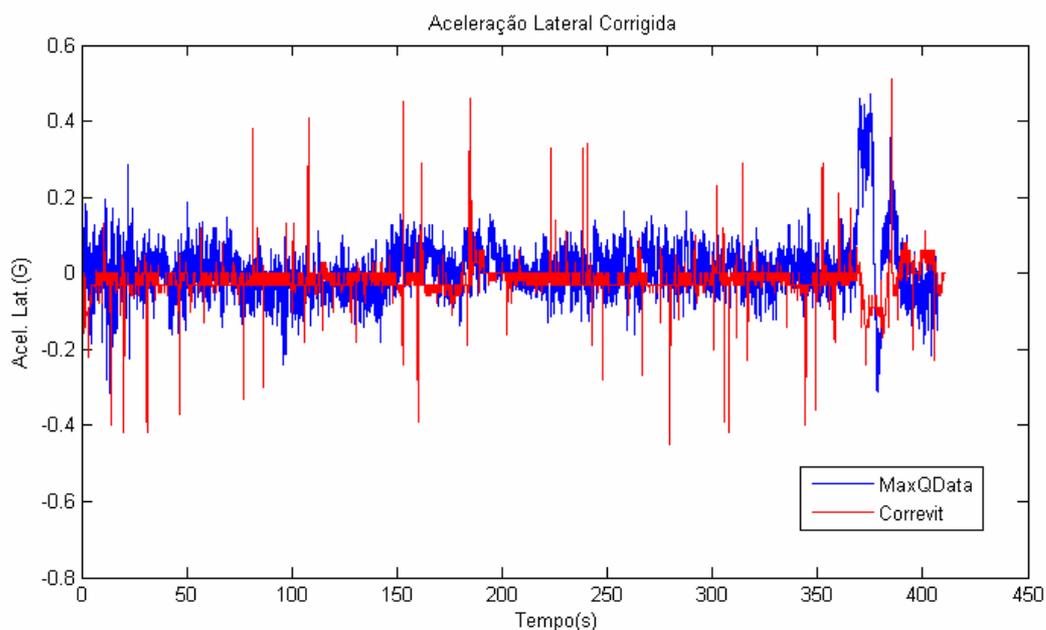


Figura 11 - Comparação da aceleração lateral adquirida pelos dois equipamentos, com correção da constante de 0,12G e inversão do sinal no Correvit.

5.3. Tratamento de sinais

Devido a grande dificuldade de se conseguir realizar os ensaios em pistas próprias para tal finalidade no Estado do Rio de Janeiro, todos os ensaios realizados foram feitos em vias não convencionais. Devido a esse fato, todas as medições ficaram com muito ruído, ficando clara a necessidade de uma maior preocupação e dedicação ao tratamento de sinais.

Mesmo em pistas “ideais” é inevitável o surgimento de ruído no sinal obtido e é desejável suavizá-lo no sentido de eliminar os sinais de altas frequências. Porém, realizar esse procedimento não é tão simples, pois o sinal adquirido contém basicamente pontos de alta frequência, principalmente nas mudanças de aceleração e frenagem do veículo.

O nível de ruído total nos acelerômetros deve-se a diversas causas, tais como o projeto mecânico do sensor, a forma de leitura eletrônica do sinal, o fator de amortecimento e aos efeitos de resistências elétricas. Na **Figura 12** apresenta-se o princípio de um sensor onde são consideradas as duas principais fontes de ruído em acelerômetros MEMS, o ruído eletrônico e o chamado ruído Browniano.

Observa-se que ao movimento externo que deve ser detectado por um sensor é adicionado um ruído Browniano devido ao ar ou gás que se choca com a estrutura interna (corpo de prova). Em seguida, este deslocamento deve ser convertido em um sinal eletrônico.

Entretanto os circuitos de conversão estando sujeitos a fontes de ruído eletrônico fazem com que a observação de saída não represente apenas o deslocamento do corpo de prova do sensor. O movimento Browniano das partículas de ar ou do gás dentro dos compartimentos do encapsulamento do sensor pode representar uma força significativa para um dispositivo com dimensões MEMS. Por isso a grande necessidade de se realizar um estudo mais aprofundado na filtragem de sinais.

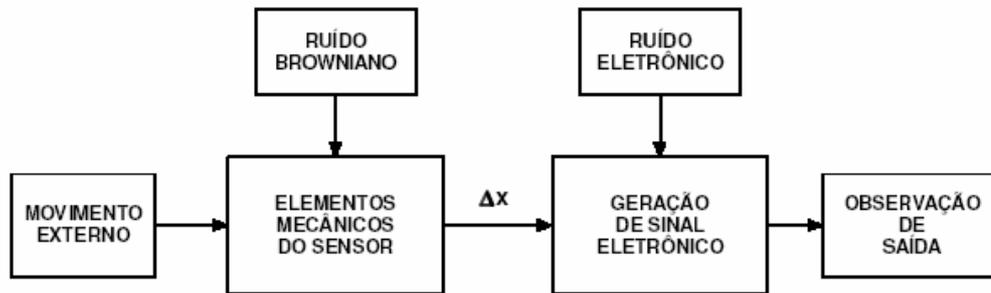


Figura 12 – Tipos de Ruídos em Sensores MEMS.

Para se eliminar os ruídos captados pelo equipamento, pode-se inicialmente utilizar um filtro passa-baixas (permite a passagem apenas das frequências baixas, cortando assim todas as frequências altas) na tentativa de reduzir o ruído.

O equipamento utilizado na aquisição de dados já faz um primeiro tratamento do sinal obtido, utilizando um filtro no seu software de visualização. Esse filtro é um passa-baixas, de ordem 21, com frequência de corte de 10,7 Hz, com -40dB de atenuação (em 21,3Hz) e a metodologia de filtragem utilizada é a FIR (*Finite Impulse Response*). No entanto, só esse filtro não foi suficiente para a remoção do ruído, como visto no item anterior, necessitando assim da realização de uma segunda filtragem.

Para fazer toda a simulação de trajetória o software *Matlab7.3* foi utilizado, e como ele já tem algumas caixas de edição de filtros (*toolbox* de processamento de sinais), foi possível, de forma razoavelmente simples, gerar um filtro capaz de retirar o ruído do sinal.

Para um melhor entendimento da necessidade de filtragem, os passos descritos e os resultados obtidos no artigo utilizado como base para a metodologia de reconstrução da trajetória, Symonds & Casanova & Sharp [1], serão mostrados a seguir.

No artigo, o filtro aplicado foi o passa-baixas de Chebyshev II, ordem 13, com banda de passagem de 0,2 vezes a frequência de Nyquist (Frequência de Nyquist = Frequência de amostragem/2) e a metodologia de filtragem usada foi a IIR (*Infinite Impulse Response*). Depois de utilizado o filtro, usou-se uma interpolação cúbica (*cubic spline*). Tanto o filtro quanto a interpolação foram

gerados através de observação a partir de tentativa e erro. A resposta em frequência do filtro do artigo pode ser vista nas **Figura 13** e **Figura 14**.

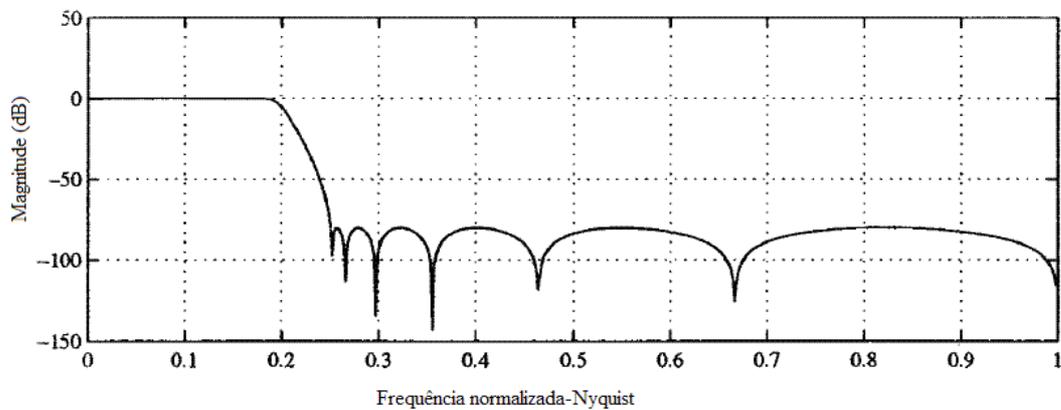


Figura 13 - Resposta em Frequência do Filtro de Symonds & Casanova & Sharp [1], Magnitude.

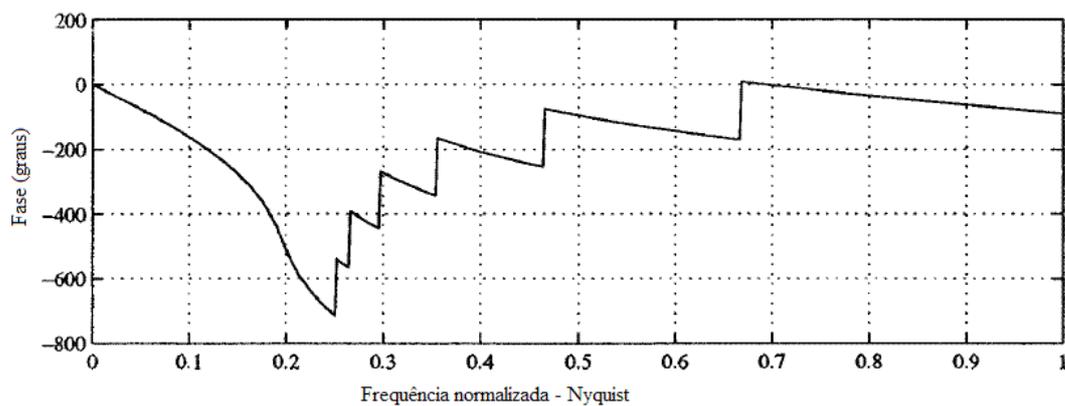


Figura 14 – Resposta em Frequência do Filtro de Symonds & Casanova & Sharp [1], Fase.

Os sinais inicialmente adquiridos com muito ruído, estão ilustrados na **Figura 15** e na **Figura 16**. Com a aplicação do filtro descrito acima, a filtragem dos sinais teve um excelente resultado, como ilustrado na **Figura 17** e na **Figura 18**.

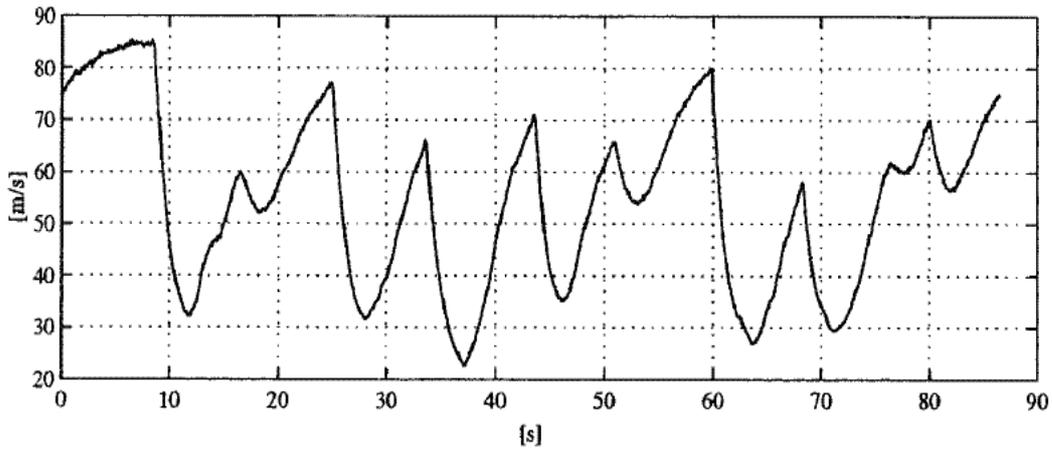


Figura 15 – Velocidade Longitudinal sem filtragem adquirida por [1].

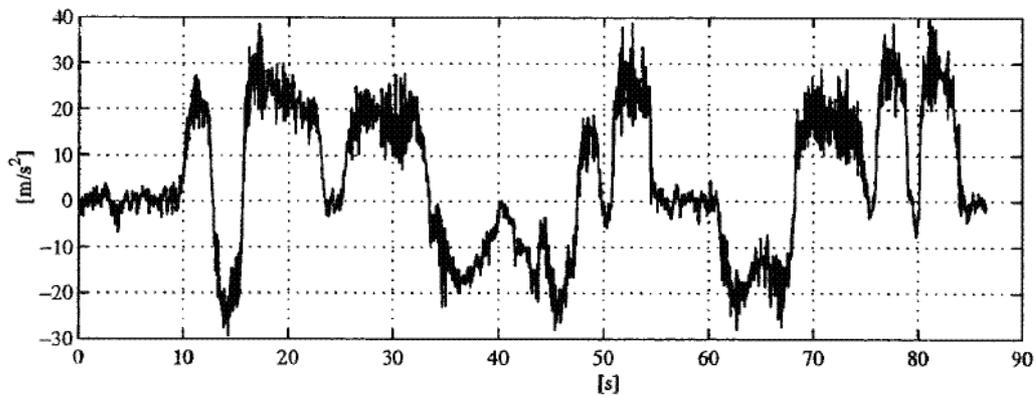


Figura 16 – Aceleração Lateral sem filtragem adquirida por [1].

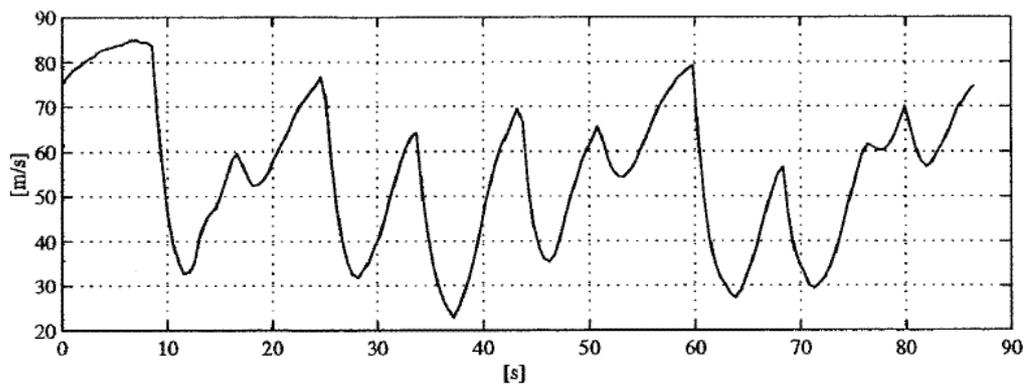


Figura 17 - Velocidade Longitudinal com filtragem realizada em [1].

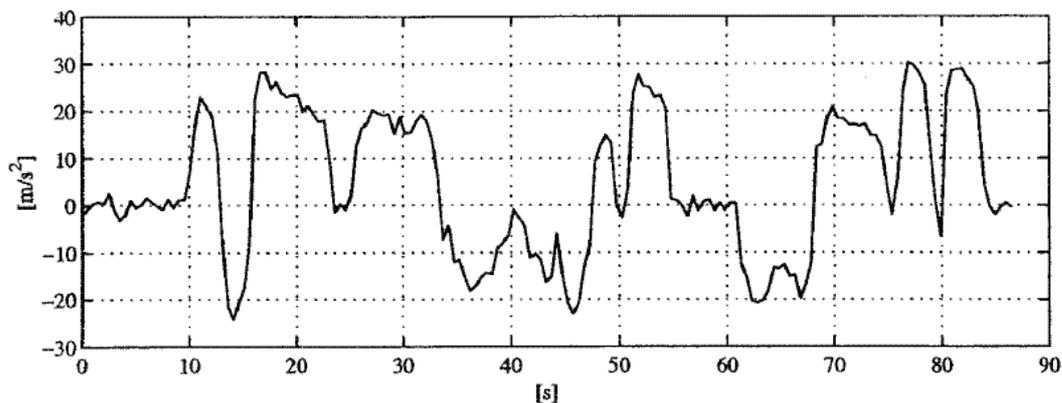


Figura 18 - Aceleração Lateral com filtragem realizada em [1].

Para o equipamento estudado nesta dissertação (MQ200-PRO), os sinais adquiridos, sem filtragem, podem ser vistos na **Figura 19** e na **Figura 20**, referentes ao teste realizado com a velocidade constante de 60 km/h.

Velocidade Logitudinal

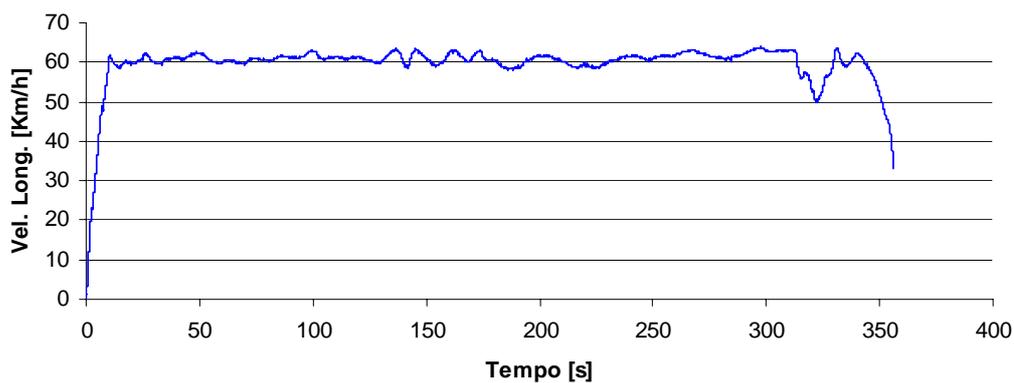


Figura 19 – Velocidade Longitudinal obtida pelo MQ200-PRO no ensaio de 60 km/h.

Aceleração Lateral

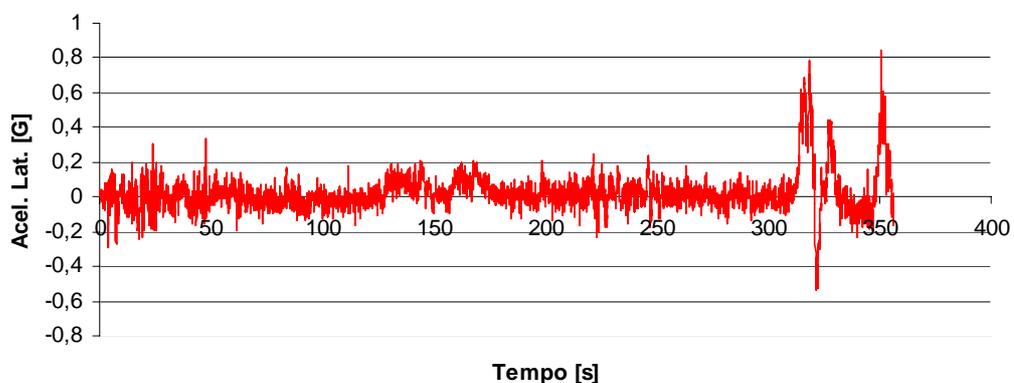


Figura 20 – Aceleração Lateral obtida pelo MQ200-PRO no ensaio de 60 km/h.

Ao utilizar o mesmo filtro do artigo [1] no sinal adquirido pelo MQ200-PRO, os resultados não foram satisfatórios, necessitando assim desenvolver um filtro um pouco diferente, mantendo apenas a interpolação cúbica. Com isso, os resultados foram muito bons, como pode ser visto abaixo.

Para gerar o novo filtro foi utilizada a função “*filtfilt*” da *toolbox* de processamento de sinais do *Matlab7.3*. As **Figura 21** e **Figura 22** ilustram a resposta em frequência do filtro utilizado para a filtragem do sinal. Na realidade, este filtro foi aplicado apenas ao sinal de aceleração, pois para o sinal de velocidade só a interpolação cúbica foi necessária para se obter um resultado aceitável. O resultado da filtragem com interpolação pode ser visto nas **Figura 23** (Velocidade Longitudinal) e na **Figura 24** (Aceleração Lateral).

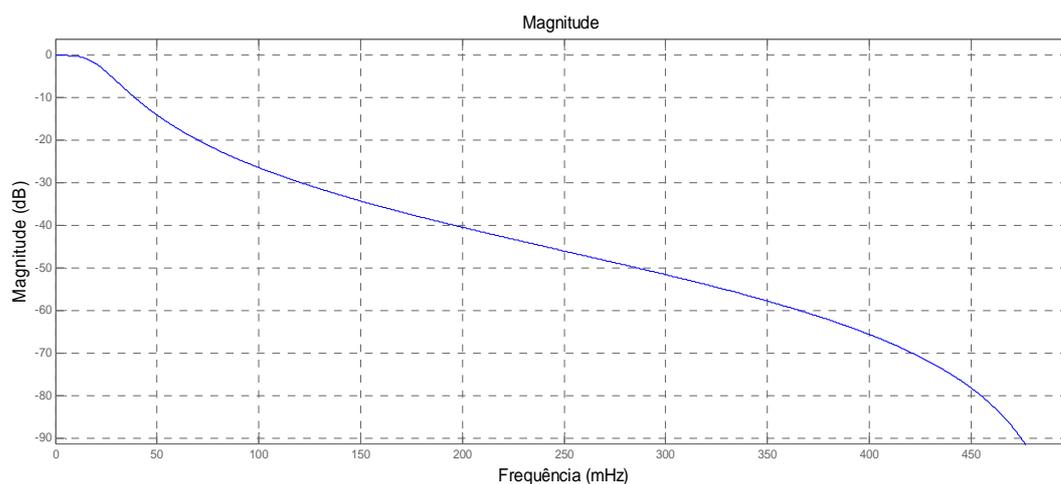


Figura 21 - Resposta em Frequência do Filtro utilizado, Magnitude.

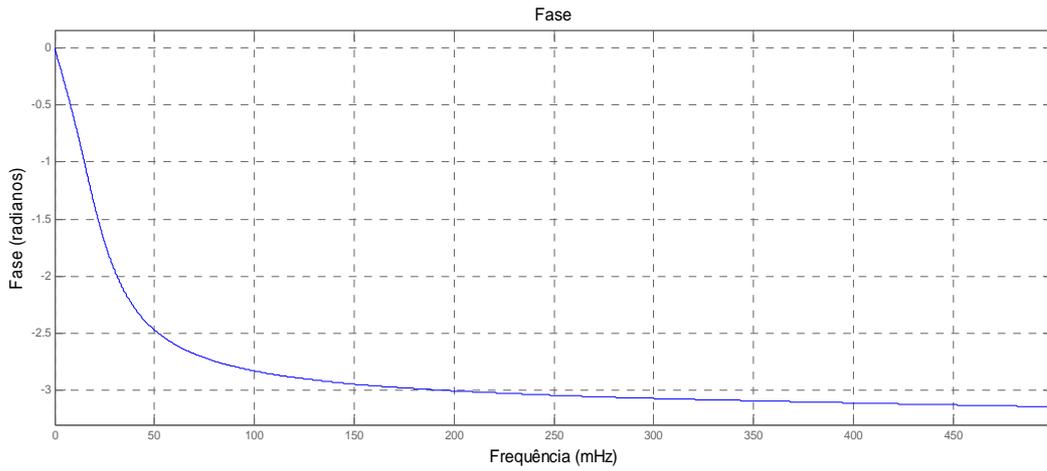


Figura 22 - Resposta em Frequência do Filtro utilizado, Fase.

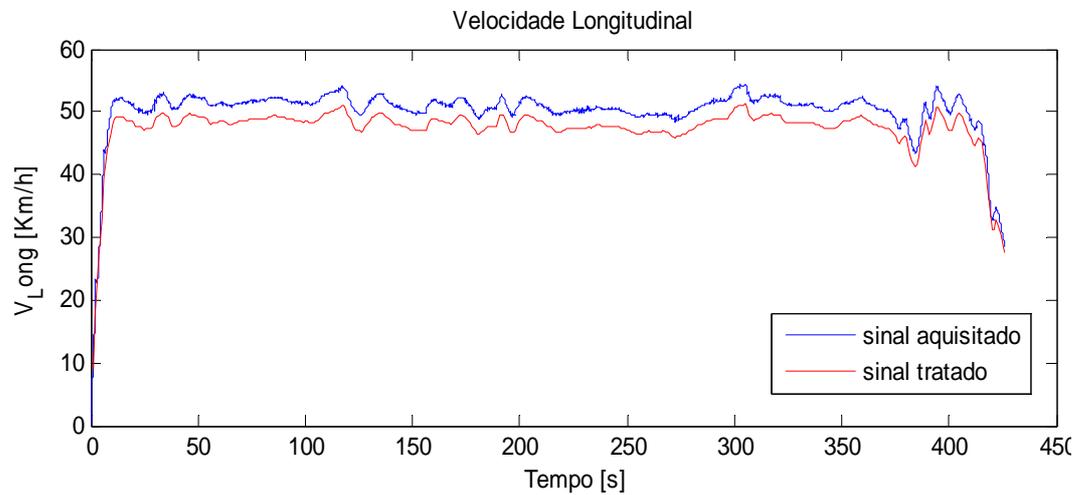


Figura 23 – Resultado da filtragem dos dados aqisitados de velocidade longitudinal.

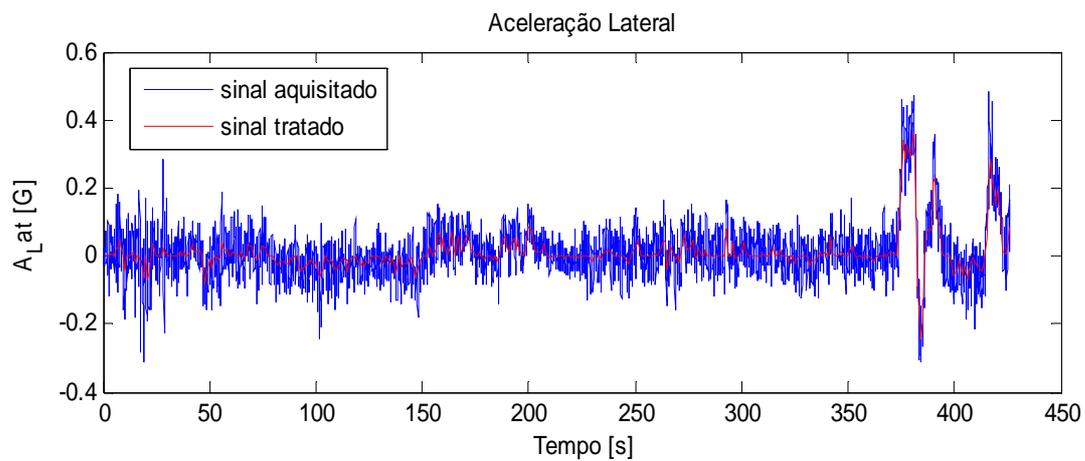


Figura 24 - Resultado da filtragem e interpolação dos dados aqisitados de aceleração lateral.