



Sistema de Aquisição de Dados para Monitorização de Transportes de Carga

Ana Cláudia Ferreira Preto

Relatório de Estágio Curricular de Projeto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança (ESTIG) para
obtenção de grau de Mestre em
Engenharia Industrial
(Ramo Engenharia Eletrotécnica)

Outubro de 2013

Sistema de Aquisição de Dados para Monitorização de Transportes de Carga

Ana Cláudia Ferreira Preto

Relatório de Estágio Curricular de Projeto apresentado à
Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança (ESTIG) para
obtenção de grau de Mestre em
Engenharia Industrial
(Ramo Engenharia Eletrotécnica)

Orientadores:

Eng. Paulo Jorge Pinto Leitão (ESTIG)

Eng. José Alexandre de Carvalho Gonçalves (ESTIG)

Orientador – supervisor:

Eng. José Luís Gonzalez Sanchez (Universidade de Valladolid)

Outubro de 2013

AGRADECIMENTOS

A realização deste relatório de estágio marca o fim de mais uma etapa importante da minha vida. Desta forma, gostaria de agradecer a todos aqueles que contribuíram para a sua concretização,

Ao Cartif, pela possibilidade de estágio;

Ao Professor Doutor José Luís Gonzalez Sanchez pelo acolhimento na Universidade de Valladolid, pelos conhecimentos transmitidos, e pela ajuda disponibilizada ao longo do estágio;

Ao Professor Doutor Paulo Jorge Pinto Leitão por me ter conseguido o estágio, e pela ajuda disponibilizada;

Ao Professor Doutor José Alexandre de Carvalho Gonçalves pelos conhecimentos transmitidos, compreensão e ajuda disponibilizada na elaboração do relatório;

Aos meus pais, pelo apoio e esforço que por mim têm feito ao longo destes anos;

Ao meu irmão que tem sido desde sempre mais que um irmão!

A todos, um muito obrigado!

Resumo

O presente relatório é fruto do trabalho desenvolvido durante o estágio realizado no Cartif, Valladolid, Espanha, onde foi desenvolvido um sistema de aquisição de dados para monitorização de transportes de carga.

O transporte de cargas, principalmente quando estas são frágeis, pode provocar a sua danificação devido às vibrações produzidas resultantes das condições da via de comunicação e da condução do veículo. Devido aos danos provocados aos produtos, torna-se imprescindível o estudo do comportamento de uma palete de carga durante o seu transporte. Para tal, foi desenvolvido um sistema, com recurso a sensores habilitados à captura de dados gerados durante o transporte de mercadorias, nomeadamente, sensor de força resistivo, GPS (*Global Positioning System*) e acelerómetro. Através dos dados capturados pelos sensores e posteriormente tratados por um micro-controlador, torna-se possível a interpretação dos fenómenos decorridos durante o transporte, bem como a sua localização de ocorrência.

O sistema desenvolvido neste projeto foi testado com sucesso em dois percursos diferentes.

Palavras-chave: sistema de aquisição de dados, sensores, micro-controlador.

Abstract

This document reports the work carried out during an internship in Cartif, Valladolid, Spain, where a data acquisition system for monitoring cargo transports was developed.

The cargo transportation, especially when these are fragile, can cause their damage due to the vibration resulting from the road conditions and driving the vehicle. Due to the damage caused to products, it's essential to study the behaviour of a pallet load during the transport. For this purpose, an acquisition system was developed, using sensors enabled to capture the data generated during the transport of goods, namely, resistive force sensor, GPS (Global Positioning System) and accelerometer. Through the gathered data by the sensors and subsequently processed by the microcontroller, it becomes possible to interpret the phenomena elapsed during transportation, as well as the location of occurrences.

The system developed in this project was successfully tested in two different pathways.

Keywords: data acquisition system sensors, micro-controller.

Índice

1- Introdução.....	1
2- Vibrações resultantes durante o transporte de produtos.....	3
3- Sensorização	11
3.1- Sensor de força resistivo	11
3.2- Acelerómetro	15
3.3- GPS	16
4- Sistema de aquisição	18
4.1- Arduino.....	19
4.2- Integração dos sensores ao Arduino	22
4.2.1- Implementação dos sensores de força resistivos ao Arduino.....	22
4.2.2- Acelerómetro ADLX 355 e a sua conexão ao Arduino	23
4.2.3- GPS utilizado e a sua ligação ao Arduino.....	23
4.3- Multiplexagem	24
4.4- Cartão SD.....	26
4.5- Programação	28
5- Testes experimentais	30
6- Conclusões	43
Referências	45

Índice de figuras

Figura 1-Transporte de mercadorias [10]	4
Figura 2- Empilhamento de caixas de transporte de bananas [24]	6
Figura 3- Danos causados nos tomates devido ao seu transporte em caixas inadequadas [26]	7
Figura 4- Constituição do FSR [3]	12
Figura 5-Força versus resistência [3].....	13
Figura 6- Condutância vs força (0-10kg) [3].....	14
Figura 7- Sistema de massa – mola [6]	16
Figura 8- Sistema de GPS [27]	17
Figura 9- Processo de aquisição de dados	18
Figura 10-Diagrama de blocos alusivo ao projeto em questão.....	19
Figura 11– Arduino Mega 2560	20
Figura 12- Esquema de ligação dos sensores de força resistivos ao Arduino	22
Figura 13- Conexão do acelerómetro ao Arduino	23
Figura 14 – Ligação do GPS ao Arduino	24
Figura 15- Esquema de um multiplexador [18].....	25
Figura 16- Esquema ligação do multiplexador ao sensor de força resistivo e ao Arduino	26
Figura 17 – Integração do shield para cartão Sd ao Arduino e, cartão SD.....	27
Figura 18-Exemplo de estrutura de programação do Arduino	29
Figura 19- Serial Monitor	30
Figura 20-Circuito equivalente da ligação dos sensores de força resistivos aos multiplexadores	31
Figura 21- Disposição do acelerómetro para testes	33
Figura 22- Ambiente de teste (mala do carro).....	34
Figura 23– Mapa do primeiro percurso [20]	35
Figura 24- Acelerações nos três eixos	35
Figura 25- Acelerações segundo o eixo x.....	36
Figura 26- Acelerações referente ao eixo y	37

Figura 27- Acelerações segundo o eixo z.....	38
Figura 28-Mapa do segundo percurso [20].....	39
Figura 29- Acelerações segundos os eixos X,Y e Z.....	39
Figura 30- Acelerações segundo o eixo X para o segundo percurso.....	40
Figura 31- Acelerações segundo o eixo Y para o segundo percurso.....	41
Figura 32- Acelerações segundo o eixo Z para o segundo percurso	41

Índice de tabelas

Tabela 1- Características gerais de um FSR [3]	14
Tabela 2- Características do Arduino Mega 2560 [14]	21
Tabela 3– Especificações do cartão SD [15]	28
Tabela 4- Força resultante em função da tensão de saída.....	32
Tabela 5- Força resultante da tensão de saída apresentada pelo FSR	32

1- Introdução

Os produtos, na sua fase de escoamento para os mercados, são dispostos em paletes, e, geralmente estas paletes são sobrepostas a outras. Durante o seu transporte, os produtos sofrem fenómenos de aceleração, frenagem, inclinação e vibração, que contribuem para a sua deformação, ou, até mesmo para a sua rotura.

Numa ida ao supermercado, a maioria dos clientes, já se deparou com produtos danificados expostos, tais como pacotes de leite esmagados, embalagens de farinha e de açúcar rasgadas, entre outros.

A fruta e os ovos são o tipo de mercadoria que requerem um maior cuidado durante o seu transporte. A banana é uma fruta que adquire mau aspeto, sendo este, causado por maçaduras resultantes de um transporte imprudente, que posteriormente levam ao seu apodrecimento. Outro fruto bastante sensível ao transporte é o tomate. Ainda, e noutra actividade, o transporte de ovos férteis requer o máximo de cuidado para que a fertilidade dos ovos não seja posta em causa, bem como para evitar a quebra dos mesmos. Uma vez que, estes tipos de problemas apresentam consequências nos mercados, torna-se indispensável a realização de estudos, com base na captura de dados resultantes durante o transporte de mercadorias. Para que desta forma, estes estudos contribuam para a produção de embalagens otimizadas, de forma a assegurar a recepção final dos produtos nas melhores condições.

Objetivos

No âmbito do estágio realizado na empresa Cartif em parceria com a Universidade de Valladolid (Espanha), de 4 de Março a 27 de Julho de 2013, foi desenvolvido um sistema capaz de efetuar o estudo do comportamento de uma paleta com carga, durante o seu transporte num veículo de transporte de mercadorias (camião). Este estudo recorreu à utilização de um dispositivo dotado de um micro-controlador da ATmega2560 e de um *software* da Arduino.

O sistema desenvolvido foi testado em vários percursos tendo sido possível medir as acelerações e inclinações produzidas na palete, e desta forma concluir acerca das vibrações produzidas pelo transporte na palete.

Organização do documento

Este relatório encontra-se organizado por capítulos, sendo que no segundo, é abordado o problema que levou a desenvolver este projeto, ou seja, as vibrações produzidas durante o transporte de produtos e as suas consequências. No capítulo três são referidos e caracterizados os sensores utilizados no desenvolvimento deste tipo de sistemas. O capítulo quatro descreve o sistema de aquisição de dados desenvolvido, assim como a sua integração aos sensores utilizados, e ainda, a programação e comunicação utilizada pelo mesmo. Também neste capítulo, é referida a necessidade de multiplexagem para suportar a recolha de dados de diferentes sensores. O capítulo cinco compreende os testes experimentais realizados com a palete a ser transportada em dois percursos diferentes. O capítulo seis, e último, apresenta as conclusões obtidas a partir da realização do projeto em causa.

2- Vibrações resultantes durante o transporte de produtos

Os níveis de vibração produzidos nos veículos durante o transporte são complexos e apresentam um papel importante quanto ao nível de dano que os produtos sofrem durante o seu transporte.

No que diz respeito à distribuição, os transportes terrestres, e em particular, o transporte pela estrada, são os que apresentam maior risco de vibração, este risco, pode ser atribuído ao mau estado da via de comunicação. Quando os veículos com rodas atravessam superfícies irregulares, a interação entre o veículo e o terreno dá lugar a um processo dinâmico que produz forças complexas e movimentos dentro do veículo. Os níveis de vibração não são unicamente provocados pelas rugosidades do pavimento, também são originados pelo tipo de veículo, nível de carga e pela velocidade do mesmo.

Nos últimos anos as vibrações produzidas nos veículos de carga têm sido alvo de estudos, de forma a evitar ou minimizar impactos causados nos produtos, são efetuados testes em laboratório aos sistemas de proteção das embalagens.

Estudos realizados em estradas no Norte da América, na China e no Sul-este Asiático [9] demonstraram que, as suspensões pneumáticas apresentam um melhor comportamento e menor nível de vibração que as molas e a que a suspensão mecânica. Ainda, que os níveis de vibração das suspensões mecânicas são 50% superiores às provocadas por suspensão pneumática. E, que a vibração lateral e longitudinal apresenta níveis extremamente inferiores comparativamente às vibrações verticais. Os maiores níveis de vibração em suspensão mecânica foram originados a 4Hz em direção vertical. Na América do Sul, concretamente na Bolívia, foi realizado um estudo de forma a analisar o ambiente da estrada durante 1225 km, observaram-se impactos até 12G em direção vertical. Contudo, os níveis de aceleração foram superiores aos níveis estipulados pelas normas ASTM (*American Society for Testing and Materials*), entre 2 e 10Hz. Em Espanha, o estudo efetuado, analisou as vibrações em função da suspensão, da carga e da velocidade. Verificou-se níveis de vibração inferiores aos medidos no Norte da América e significativamente inferiores aos níveis estipulados pelas normas ASTM, ISTA (*International Safe Transit Association*) e ISSO (*International*

Organization for Standardization). Os maiores níveis de vibração em suspensão pneumática foram produzidos a 2Hz em direção vertical [9].

Na figura seguinte observa-se a sobreposição de paletes num transporte de mercadorias.



Figura 1-Transporte de mercadorias [10]

A fruta é dos produtos mais suscetíveis a danos. Esta exige um tipo de transporte com algum rigor, uma vez que se trata de um alimento fundamental da cadeia de comercialização. A movimentação da fruta ao longo do transporte pode acarretar inúmeros problemas na manutenção da sua qualidade. Danos provocados por esmagação, quedas ou movimentos nas caixas são as consequências mais frequentes. A esmagação da fruta, geralmente ocorre devido ao empilhamento de caixas com conteúdo acima da sua capacidade, ou por compressão das primeiras camadas do produto. As vibrações originadas pelo transporte fazem com que o produto vibre ou se movimente contra superfícies, causando maçaduras ao mesmo.

As perdas de fruta podem ser divididas em 10% no campo, 50% no manuseio e transporte, 30% nas centrais de abastecimento e comercialização e 10% nos supermercados e na casa dos consumidores [22].

A banana é um dos frutos que apresenta maior sensibilidade ao transporte. Uma vez que somente cerca de 40% a 50% das bananas colhidas chegam aos consumidores [23].

Os danos mecânicos provocam o escurecimento da casca e da polpa da banana, causam má aparência e favorecem a entrada de fungos causadores de podridão. Estas consequências refletem-se na queda da qualidade e do preço do produto. Ainda, os danos mecânicos levam ao amadurecimento precoce da banana.

A fruta sofre os maiores danos no momento em que é colocada na embalagem, devido à utilização de embalagens inadequadas e, principalmente, em razão do excesso de carga nelas disposta. Uma caixa apresenta a capacidade para 18 a 20 Kg de fruta, porém esta capacidade é sempre excedida. Para além das bananas serem prensadas, a carga ultrapassa a altura da embalagem, provocando rachaduras e maçaduras nas mesmas [23].

A figura seguinte apresenta o empilhamento de caixas de transporte de bananas.



Figura 2- Empilhamento de caixas de transporte de bananas [24]

Existe um estudo [23] para avaliação dos danos mecânicos causados nas bananas. Este estudo requereu de seis cachos, num total de 995 dedos, sendo 116 pencas e para as testemunhas, quatro cachos de banana, de forma aleatória, num total de 766 dedos. Para a quantificação dos danos, foram contadas as manchas obtidas em cada etapa percorrida pelas frutas, desde a sua colheita até ao seu transporte. A partir deste estudo, verificou-se que o envolvimento dos frutos pelo plástico bolha permite a redução de danos provocados nas bananas [23].

Outro fruto bastante suscetível a danos é o tomate, o qual requer um manuseamento e transporte cuidadoso. Devem ser utilizadas embalagens específicas de modo a reduzir as vibrações produzidas nos tomates, e desta forma chegar aos mercados nas melhores condições. Na figura apresentada em baixo, são visíveis os danos causados pelo transporte de tomates em caixas inadequadas.



Figura 3- Danos causados nos tomates devido ao seu transporte em caixas inadequadas [26]

O transporte de ovos férteis é um problema para o sector da avicultura. Os níveis de vibração e choques resultantes do transporte podem afetar a qualidade dos ovos férteis. Perante este problema, foi efetuada uma pesquisa [25] com base em três carregamentos em diferentes estações do ano (primavera, verão e outono). Recorrendo-se a um camião climatizado com capacidade para 592 caixas de ovos. Foram testados os níveis de vibração e choques em estradas de terra e asfalto, a partir de quatro acelerómetros. Esta pesquisa constatou que, os piores níveis de vibração e choque de carga de ovos ocorrem no sentido vertical (da frente para o fundo), devido às ultrapassagens, frenagens bruscas e alta velocidade. Que as estradas de asfalto provocam níveis de vibração e choques superiores às estradas de terra. E, que as perdas no transporte ultrapassam 1% [25] e são atribuídas às trincas e quebra dos ovos [25].

A partir dos estudos realizados nos últimos anos a diferentes tipos de mercadoria, conclui-se que as vibrações verticais são a principal causa da deformação dos produtos, sendo que estas dependem da carga, do tipo de embalagem, da qualidade da estrada, velocidade (constante, aceleração ou frenagem), da distância, do tipo de suspensão e do número de eixos do camião, da calibragem de pneus e do tipo de amortecedores [25].

As vibrações produzidas manifestam-se através das diferenças espectrais, bem como nos níveis de vibração. A medida e a análise das vibrações reais produzidas por veículos requerem muito esforço, e são dispendiosas. Este problema, levou à adoção de espectros vibracionais, os quais foram desenhados para aproximar a natureza das vibrações reais produzidas pelos veículos durante o seu transporte. Em alguns casos, esses espectros foram obtidos a partir de medidas reais efetuadas sob condições padrão e foram analisadas para produzir uma média típica que varia significativamente dependendo da sua origem. O controlador de vibração aleatória é um procedimento de ensaio amplamente utilizado, o qual é traduzido pela ISO 13355-2001 “*Packaging – Complete, filled transport packages and unit loads – Vertical random vibration test*” [9]. A função PSD (*Power Spectral Density*) tem em conta a ressonância dos veículos de transporte de mercadorias com elevadas densidades espectrais entre 6 e 18 Hz [9]. Algumas das funções espectrais mais utilizadas para a simulação de vibrações na área de desenvolvimento de embalagens, foram prescritas pela *American Society for Testing and Materials* (ASTM), das quais, norma D4728-01 “*Test Method for Random Vibration Testing of Shipping Containers*” e norma D4169-01 “*Standard Practice for Performance Testing of Shipping Containers and Systems*” [9]. As grandes amplitudes de vibração compreendem uma faixa de frequência entre 1 a 13Hz. Estas, ocorrem quando uma frequência interferente está na frequência ressonante de qualquer componente do veículo [11].

Atualmente não existem soluções comerciais para o estudo do comportamento de uma palete com carga durante o seu transporte. Apenas existe, um *software* de simulação “*Working Model 2D*”, o qual necessita do modelo do sistema a testar. Desta forma, torna-se imprescindível a construção de um sistema físico que simule o comportamento de uma palete durante o seu transporte. Esta simulação poderia ser feita a partir de um robô paralelo, tipo plataforma de *Stewart*, sobre o qual se colocaria um sistema de paletes com a integração de sensores habilitados à captura dos dados gerados durante a simulação. O robô seria submetido a um programa de simulação de condução, e através dos dados medidos, seria possível analisar o comportamento do sistema. Ou ainda, este sistema (palete com sensores integrados) poderia ser testado em ambiente real (camião).

Usualmente, sistemas deste tipo podem ser desenvolvidos usando uma placa de aquisição e *software* apropriados como por exemplo o *Labview*, necessitando um computador. Porém, este projeto teve como objetivo a construção de um protótipo de forma a permitir o teste de diferentes elementos (sensores, acelerómetro, GPS, etc.), as características, e a relação com a dinâmica do sistema de transporte (palete-camião). Estes elementos, e a interpretação dos dados, permitem uma solução válida para o sistema, sendo portátil e de baixo consumo.

Uma vez que o suporte informático não apresenta grande importância no que diz respeito à dinâmica do sistema, optou-se por um *hardware* e *software* livre, de forma a cumprir com as exigências do problema levantado. Trata-se de um micro-controlador denominado de Arduino. O Arduino apresenta inúmeras vantagens, tais como, preço acessível, fácil aquisição, e documentação informativa de fácil acesso de forma a esclarecer eventuais dúvidas que possam surgir durante o desenvolvimento do projeto. A utilização de um sistema proprietário, como o *Labview*, poderia facilitar o desenvolvimento do sistema uma vez que dispõem de uma empresa que confere suporte ao produto, mas, este apresenta custos mais elevados tanto para o *hardware* como para o ambiente desenvolvimento. Portanto, sempre que se trate de desenvolver um sistema com elementos *hardware* e *software*, é preciso ter em conta alguns aspetos, tais como [28]:

- Prestação: cumpre os requisitos?
- Tecnologia: alimentação e consumo;
- Custo: dos elementos físicos (sensores, atuadores e controlador) e durante o desenvolvimento (tempo e pessoal);
- Fiabilidade: fundamental em aplicações de suporte vital;
- Experiência e suporte: tanto relativa à experiência própria no desenvolvimento de aplicações como a experiência dos outros;
- Compatibilidade: tanto em *hardware* (por exemplo, compatibilidade com versões anteriores de microprocessador) como *software* (por exemplo possibilidade de reutilizar módulos ou componentes já disponíveis, bem como a sua execução sobre diferentes plataformas);

- Curva de aprendizagem: tempo que leva ao utilizador a familiarizar-se com as ferramentas e com o sistema [28].

Desta forma, o projeto desenvolvido durante o estágio compreendeu o desenvolvimento de um sistema de aquisição de dados, baseado na plataforma Arduino, para a monitorização de transportes de carga de acordo com os requisitos atrás referidos. Este sistema utilizou diversos sensores para capturar os dados resultantes durante o transporte de mercadorias. No capítulo seguinte são caracterizados os sensores utilizados no sistema.

3- Sensorização

A palavra sensor pode ser definida como “aquilo que se sente” [1]. Na eletrônica, um sensor é conhecido como um dispositivo elétrico e/ou mecânico que converte uma grandeza física (luz, magnetismo, pressão, velocidade, temperatura, etc.) num sinal que possa ser transmitido a um elemento indicador, para que este mostre o valor da grandeza que foi medida [2].

Existe uma vasta gama de sensores disponíveis com várias aplicações, os quais devem ser escolhidos mediante as características e funções apresentadas pelos mesmos.

Neste capítulo vão ser abordados vários tipos de sensorização utilizados neste trabalho na análise do comportamento de uma paleta de transporte de mercadorias.

3.1- Sensor de força resistivo

O sensor de força resistivo (“FSR: *Force sensing resistor*”) é um elemento resistivo cuja resistência varia de acordo com a força aplicada sobre a superfície. A saída do FSR depende da área da sua superfície em que a força lhe é aplicada, ou seja, quanto maior for a pressão aplicada, menor é a resistência entre os terminais do FSR.

O FSR é constituído por uma película de polímero condutivo e eléctrodos, estando estas duas partes separadas por um espaçador. Estes sensores não são células de carga nem extensómetros mesmo que apresentem propriedades semelhantes.

A estrutura do sensor de força resistivo é apresentada na figura 4.

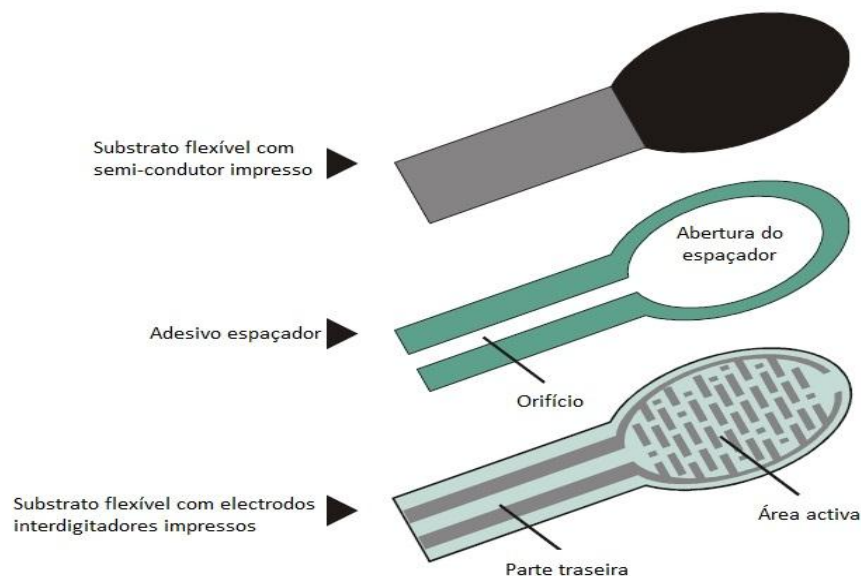


Figura 4- Constituição do FSR [3]

O sensor de força resistivo sem forças aplicadas apresenta um comportamento de um circuito aberto e a resistência apresenta valores superiores a $1M\Omega$.

O início da gama dinâmica, apresentado na figura abaixo, é determinado pelo substrato, pela espessura e flexibilidade do revestimento, pelo tamanho e forma do atuador, e, pelo separador do adesivo espaçador. Eliminar o adesivo, ou mante-lo longe da área activa, gera uma menor resistência de repouso (*stand – off*).

À medida que a sua superfície é pressionada, os eléctrodos da área activa entram em contacto com o material condutivo e conseqüentemente, a resistência entre os dois materiais diminui até ao ponto em que, mesmo sendo-lhe aumentada a pressão aplicada, a resistência não diminui ou diminui muito pouco. Este ponto traduz a saturação do FSR. A resposta apresentada por este sensor é aproximadamente $1/R$.

A pressão de saturação de um FSR é na ordem dos 100 g a 10 kg, e, compreende uma área activa de 12,7 mm.

A figura 5 apresenta o comportamento típico de um FSR.

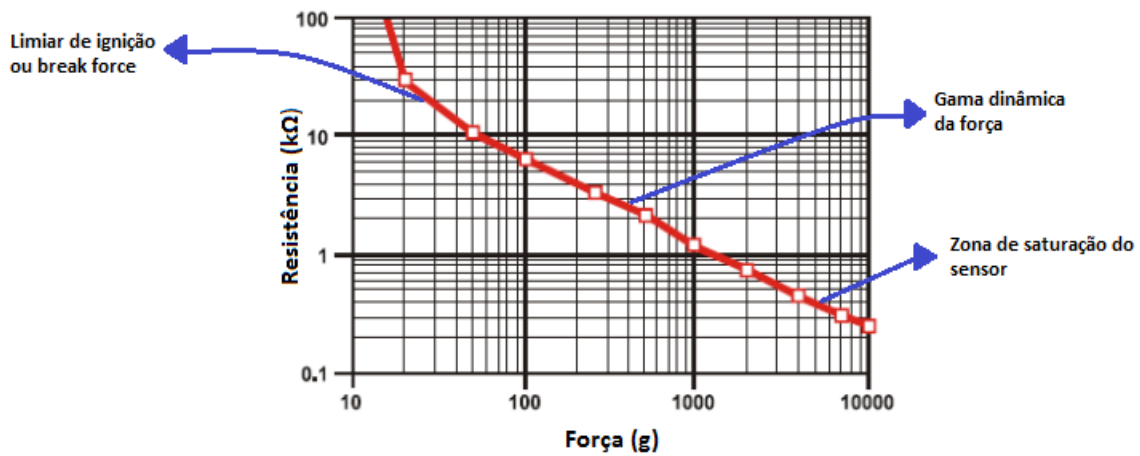


Figura 5-Força versus resistência [3]

Como se pode observar no gráfico apresentado na figura 3, o FSR adquire linearidade a partir dos 50g. Após os 5000g, o sensor de força resistivo perde sensibilidade, provocada pela saturação do mesmo.

A figura abaixo apresenta uma curva típica de repetibilidade. Esta faixa de erro determina a máxima precisão de qualquer medida de força. A difusão ou a largura da faixa dependem essencialmente da capacidade de repetição de qualquer sistema de medição, bem como da tolerância de repetições durante a produção. Geralmente a tolerância de repetibilidade durante intervalos de produção (parte-parte) é de $\pm 15\% \pm 25\%$ da resistência nominal estabelecida [3].

Na figura 6, encontra-se a característica força versus condutância.

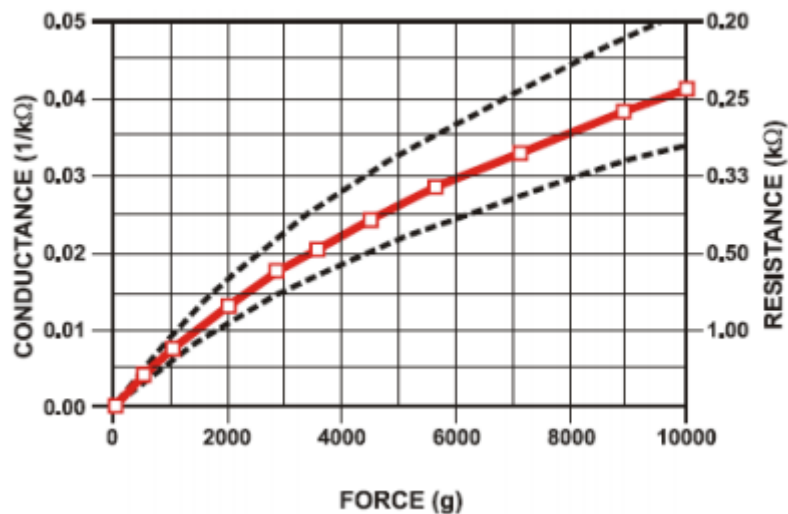


Figura 6- Condutância vs força (0-10kg) [3]

A seguinte tabela apresenta as principais características de um sensor de força resistivo.

Tabela 1- Características gerais de um FSR [3]

Parâmetro	Valor	Notas
Faixa de sensibilidade da força	<100 g até >10 kg	Depende da mecânica
Faixa de sensibilidade da pressão	<1,5 psi psi >150 <0,1 kg/cm ² até >10 kg/cm ²	Depende da mecânica
Parte-a-parte repetibilidade da força	± 2% a ±5% da resistência nominal estabelecida	Com um sistema de acionamento repetível
Parte individual da repetibilidade da força	± 2% a ±5% da resistência nominal estabelecida	Com um sistema de acionamento repetível
Resolução da força	melhor que 0,5 %	
Resistência sem aplicar força	>1MΩ	Descarregado
Faixa de temperatura	(- 30 °C a + 70 °C)	
Corrente máxima	1 mA/cm ² da força aplicada	
Tempo de vida	>10 milhões de atuações	
Tempo de subida	1 – 2 microssegundos	

O FSR apresenta algumas limitações, tais como:

- Não é indicado para medidas precisas;
- Este sensor não é apropriado para coletar dados num transporte de mercadorias, uma vez que apresenta uma capacidade até 10 kg;
- Necessidade de uma estrutura (ex: borracha) que permita o contacto com a área de medição (área ativa do FSR);

3.2- Acelerómetro

Um acelerómetro é um sensor que mede aceleração. Este, é, designado por um sensor analógico transdutor capaz de detetar o movimento, apresentando uma capacidade de resposta através de um sinal elétrico perante uma perturbação induzida pela aplicação de força ou da gravidade. Trata-se de um dispositivo competente na deteção das posições horizontal e vertical [7].

A aceleração é uma medida da variação da velocidade e pode ser obtida segundo uma, duas ou três direções, utilizando acelerómetros uni, bi ou triaxiais, respetivamente.

Os acelerómetros para além de medirem acelerações dinâmicas, também medem acelerações estáticas como: inclinação, rotação, vibração, colisão e gravidade [4].

Os princípios de funcionamento que se aplicam ao acelerómetro são: a Segunda Lei de Newton e o sistema de massa – mola.

A Segunda Lei de Newton relaciona força com massa e aceleração através da seguinte equação [5] :

$$F = ma$$

Geralmente, os acelerómetros são constituídos por uma massa de reação suspensa por uma estrutura estacionária. Este sistema é designado por massa – mola, o qual se encontra no interior de um sensor, que por sua vez está unido ao corpo. Sempre que este acelera, a inércia faz com que a massa resista. A força exercida pela massa é equilibrada pela mola e, como o deslocamento permitido pela mola é proporcional à força aplicada, a aceleração do corpo é proporcional ao deslocamento da massa [4].

O sistema de massa – mola é representado na figura abaixo, e, corresponde a um acelerómetro uniaxial. Para cada eixo é necessário um sistema [6].



Figura 7- Sistema de massa – mola [6]

O mercado oferece uma ampla escolha de acelerómetros, possuindo cada um deles características únicas, bem como vantagens e desvantagens. Os acelerómetros mais comuns são: os mecânicos, os piezoelétricos e os piezoresistivos [5].

3.3- GPS

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) é um sistema de navegação baseado em satélite, composto de uma rede de 24 satélites em órbita pelo Departamento Norte – Americano de Defesa.

Inicialmente, o GPS, foi planeado para aplicações militares, porém, nos anos oitenta, o governo fez o sistema disponível para uso civil. Esta aplicação trabalha em qualquer condição temporal, em qualquer lugar do mundo e 24 horas por dia.

Os satélites de GPS circundam a terra duas vezes por dia, numa órbita muito precisa, transmitindo informações precisas para a terra. Os recetores de GPS levam a informação e, triangulação de uso para calcular o local exato do usuário. Essencialmente, o recetor de GPS compara o tempo em que um sinal foi transmitido por um satélite, com o tempo que foi recebido. A diferença de tempo é transmitida para o recetor de GPS.

Um recetor de GPS deve receber um sinal de pelo menos três satélites, para calcular uma posição 2D (latitude e longitude) e movimento de rastro. Com quatro ou mais satélites visíveis, o recetor pode determinar a posição 3D do usuário (latitude, longitude e altitude). Uma vez que a posição do usuário foi determinada, a unidade de GPS pode

calcular outras informações, como: velocidade, proa, rastro, distância de viagem, distância ao destino, tempo de viagem, nascer e pôr-do-sol, entre outros.

Os satélites de GPS transmitem dois sinais de rádio de baixa frequência: L1 e L2. O GPS de uso civil usa a frequência L1 de 1575,42 MHz na faixa de UHF (Ultra High Frequency) [8].

A figura abaixo apresenta o sistema de GPS.



Figura 8- Sistema de GPS [27]

4- Sistema de aquisição

A aquisição de dados pode ser definida como um processo de recolha de grandezas físicas de um sistema objeto de estudo. Estas grandezas podem ser:

- Luz;
- Temperatura;
- Pressão;
- Força;
- Deslocamento;
- Etc..

Uma vez que, todas estas grandezas possuem energia, torna-se necessário para a sua medição, o recurso a dispositivos habilitados à receção desta energia, e à sua conversão num formato digital para posterior visualização, armazenamento, processamento e análise. Estes dispositivos são denominados por sensores. Os sensores convertem grandezas físicas medidas em grandezas elétricas [12].

A figura seguinte ilustra o diagrama de blocos referente ao processo de aquisição de dados.

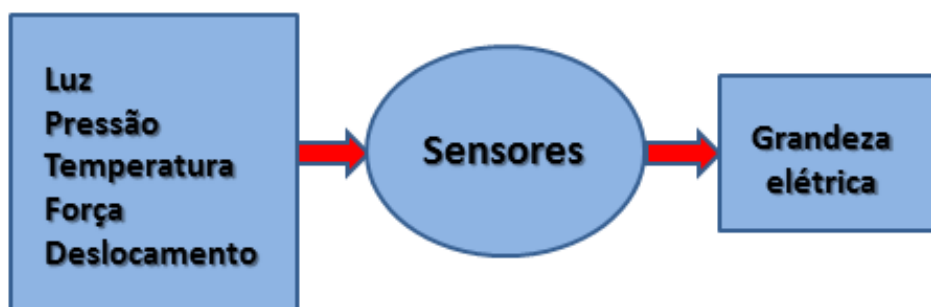


Figura 9- Processo de aquisição de dados

Tradicionalmente é utilizada uma placa de aquisição (*Labview*), a qual recorre a sensores de forma a monitorizar um meio, e apresenta-lo no PC. Neste projeto foi escolhido outro sistema de aquisição, cujo diagrama de blocos é abordado na figura seguinte.

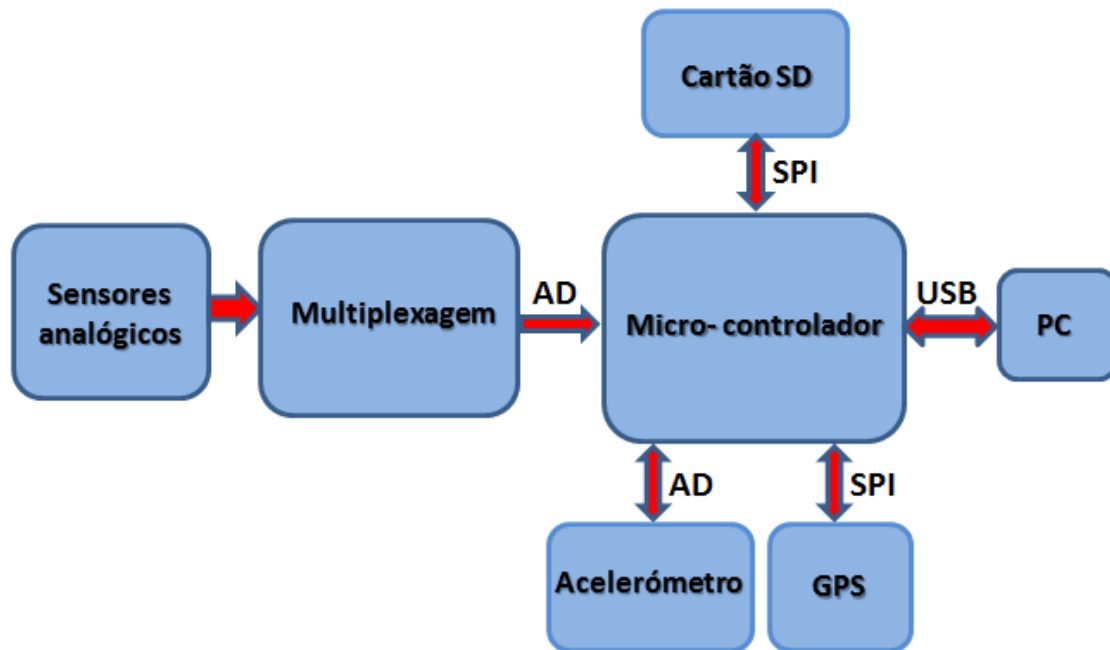


Figura 10-Diagrama de blocos alusivo ao projeto em questão

Os sensores analógicos, nomeadamente os sensores de força resistivos capturam os dados gerados durante o transporte das cargas. Com recurso à multiplexagem torna-se possível a combinação dos vários sinais resultantes dos sensores de força resistivos num só sinal. Os dados capturados chegam à placa do micro-controlador por meio de uma ligação AD (Analógico/Digital). O micro-controlador utilizado neste trabalho foi o ATmega2560, e, é onde os dados são processados. Estes dados, podem ser apresentados diretamente no PC por meio de uma ligação USB (Universal Serial Bus), ou, podem ser armazenados num cartão SD através de uma ligação SPI (Serial Peripheral Interface). Outros sensores, nomeadamente GPS e acelerómetro que geram dados referentes à localização e aceleração, foram ligados ao micro-controlado através de ligações SPI e AD respetivamente. Esses dados, após processamento no Arduino são apresentados no PC através de uma ligação USB.

4.1- Arduino

O Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrónica de código aberto baseada em *hardware* e software flexíveis e acessíveis ao seu manuseamento. Este pode “sentir” o estado do ambiente que o rodeia e pode interagir com a vizinhança, controlando luzes,

motores e outros atuadores. O micro-controlador na placa é programado com linguagem de programação Arduino (baseada em C). Os projectos desenvolvidos com o Arduino podem ser autónomos ou podem comunicar-se com um computador para realização da tarefa, com uso de *software* específico (ex: Flash, Processing, MaxMSP) [13].

O Arduino escolhido para a implementação do projeto foi o Arduino Mega 2560, o qual é apresentado na figura 11.



Figura 11– Arduino Mega 2560

O Arduino é uma placa micro-controlador baseada na ATmega2560 (micro-controlador de 8 bit da Atmel). Trata-se de um Arduino compatível com a maioria dos shields (placas que encaixam no topo do Arduino com intuito a aumentar as suas funcionalidades, ex: shield para cartão SD) [14]. As características do Arduino Mega2560 encontram-se enunciadas na tabela 2.

Tabela 2- Características do Arduino Mega 2560 [14]

Microcontrolador	ATmega2560
Tensão de funcionamento	5V
Tensão de entrada (recomendado)	7-12V
Tensão de entrada (limite)	6-20V
Pinos E/S digitais	54 (15 proporcionam saída PWM)
Pinos de entrada analógica	16
Intensidade por pino	40 mA
Intensidade no pin 3.3V	50 mA
Memoria Flash	256 KB (das quais 8 KB são utilizados pelo gestor de arranque -bootloader)
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Velocidade de relógio	16 MHz

Ainda, o Arduino é constituído por:

- 4 UARTS (portas série de hardware);
- 1 oscilador de cristal de 16MHz;
- 1 conexão por USB;
- 1 conector de alimentação;
- Conector ICSP e botão reset [14];

A comunicação série permite ao Arduino a comunicação com o computador ou com outros dispositivos. As placas Arduino são constituídas pelo menos por uma porta série, esta, denomina-se por UART serie. A comunicação ocorre através dos pinos digitais 0 (RX) e 1 (TX), assim como uma comunicação USB.

O Arduino possui três portas série adicionais:

- Série 1 - pinos 19 (RX) e 18 (TX);

- Série 2 – pinos 17 (RX) e 16 (TX);
- Série 3 – pinos 15 (RX) e 14 (TX).

A comunicação destes pinos com o computador é feita a partir de um conversor USB-série adicional. Para a comunicação externa com outros dispositivos, o pino TX do dispositivo é conectado ao pino RX do Arduino, e o pino RX do dispositivo ao pino TX do Arduino, e ainda, o pino terra (*ground*) do Arduino ao pino terra do dispositivo [16].

4.2- Integração dos sensores ao Arduino

Nos pontos seguintes é abordada a integração dos sensores de força resistivos, GPS e acelerômetro ao Arduino.

4.2.1- Implementação dos sensores de força resistivos ao Arduino

A figura abaixo, apresenta um esquema de montagem de um FSR ao Arduino.

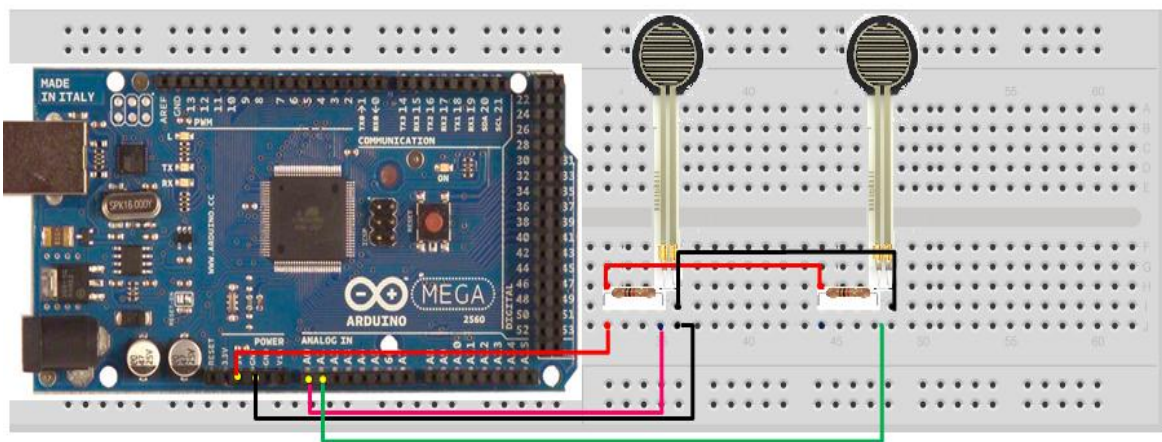


Figura 12- Esquema de ligação dos sensores de força resistivos ao Arduino

Os sensores de força resistivos são alimentados por uma corrente de 5V proveniente do Arduino. Uma das extremidades do sensor é ligada à terra, e, a outra ligada a uma resistência de 1 kΩ. Cada sensor é ligado a uma entrada do multiplexador, e consequentemente, cada multiplexador é ligado a uma entrada analógica no Arduino.

4.2.2- Acelerómetro ADLX 355 e a sua conexão ao Arduino

O acelerómetro usado foi o ADLX 335 da *sparkfun electronics*. Trata-se de um dispositivo pequeno, fino, de baixo consumo, triaxial e com sinais reguladores de tensão de saída. Mede a aceleração com uma escala de $\pm 3G$ e requer uma tensão de 3,3V. Este acelerómetro alimenta-se a uma tensão de 3,3V, e fornece ao Arduino três tensões proporcionais à aceleração de cada eixo X, Y e Z [7].

O acelerómetro ADLX 335 é suficiente para medir as acelerações neste projeto, visto que o esforço desenvolvido não ultrapassa os 12G.

A figura 13 enuncia a conexão do acelerómetro ao Arduino.

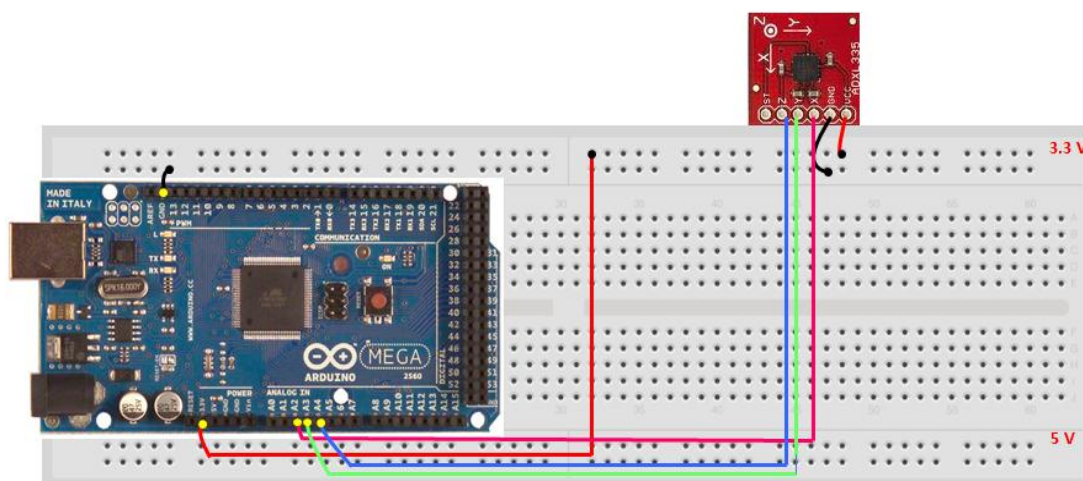


Figura 13- Conexão do acelerómetro ao Arduino

4.2.3- GPS utilizado e a sua ligação ao Arduino

Na implementação deste projeto, foi utilizado o GPS “*Venus GPS*” da *Sparkfun Electronics*. Este aparelho requer uma alimentação de 3,3V provida do Arduino e de uma antena externa de forma a captar o sinal.

A figura 14 refere a ligação do GPS ao Arduino.

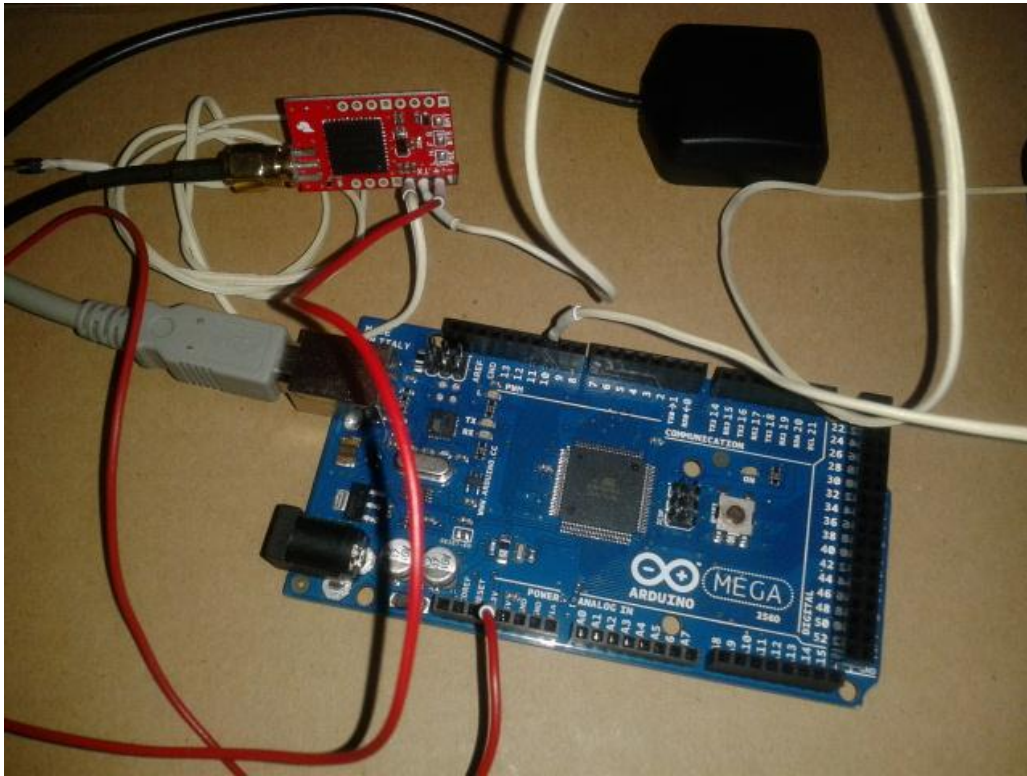


Figura 14 – Ligação do GPS ao Arduino

4.3- Multiplexagem

A multiplexagem representa a operação, a partir da qual, vários sinais analógicos ou digitais são combinados num único sinal, tendo como objetivo a sua transmissão num único canal [17].

Um multiplexador é um circuito usado no controlo de um fluxo de informação, desempenhando um papel equivalente a um comutador. Este, é composto por duas entradas de dados (A e B), por uma saída de dados e por uma entrada de controlo (Sel). Quando a entrada de controlo está a 0 lógico, o sinal de dados A conecta-se à saída. Quando a entrada de controlo está a 1 lógico, é o sinal dos dados B que se liga à saída. A figura 15 apresenta o esquema de um multiplexador, o qual pode ser comparado a um comutador.

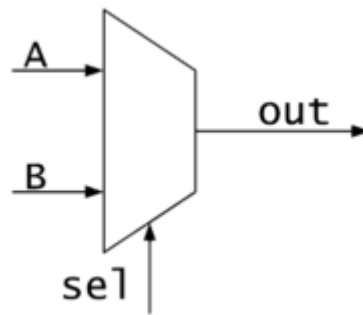


Figura 15- Esquema de um multiplexador [18]

Um multiplexador apresenta as seguintes funcionalidades:

- Seleção de entradas;
- Serializador – converte dados do formato em paralelo para o formato em série;
- Transmissão multiplexada – a partir das mesmas linhas de transmissão, são transmitidos diferentes dados;
- Realização de funções lógicas – utiliza inversores e conecta a 0 ou a 1 as entradas, conseguindo desenhar funções complexas, de um modo mais compacto do que com as portas lógicas tradicionais [18].

O tipo de multiplexador utilizado foi o 74HC4051 da Philips, o qual apresenta as seguintes características:

- 8 entradas, identificadas de A0 a A7;
- Os 3 bit utilizados para direcionar as entradas encontram-se identificados por S0, S1 e S2;
- O *enable* habilita-se a ficar a *LOW* (lógica inversa) [18].

Na figura 16 encontra-se o esquema de ligação do multiplexador ao sensor de força resistivo e ao Arduino.

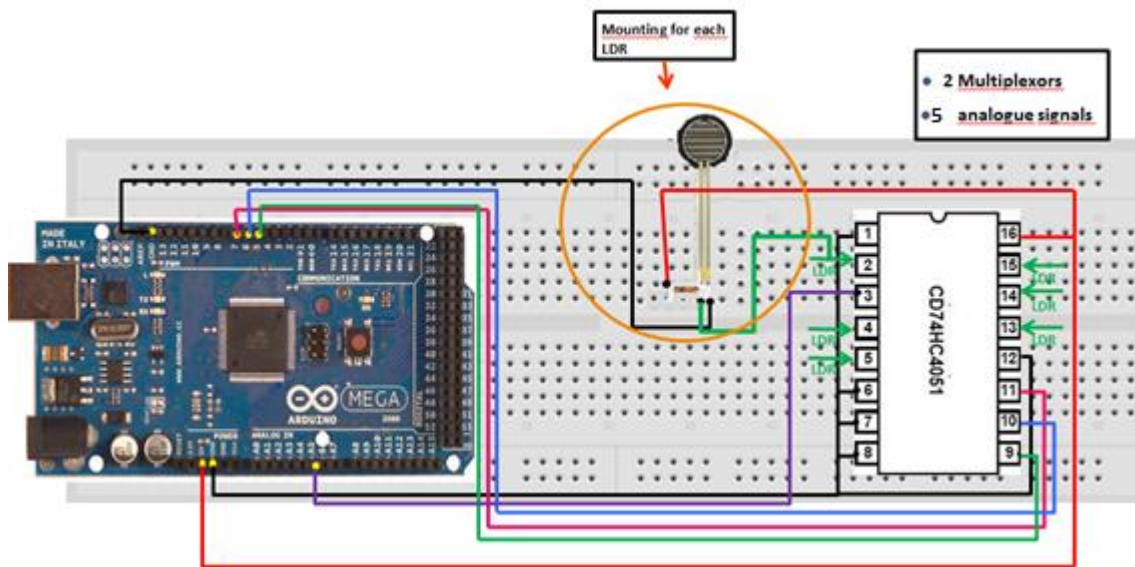


Figura 16- Esquema ligação do multiplexador ao sensor de força resistivo e ao Arduino

4.4- Cartão SD

O cartão SD oferece espaço de armazenamento ao Arduino, e permite ao usuário a possibilidade de ler/escrever no cartão utilizando uma biblioteca *SD library*. Este, apenas ocupa três pinos do Arduino: 11, 12 e 13 (na maioria das placas) ou 50, 51 e 52 (Arduino Mega). Na figura seguinte, é apresentada a integração de um shield para cartão SD ao Arduino, e o cartão SD utilizado.

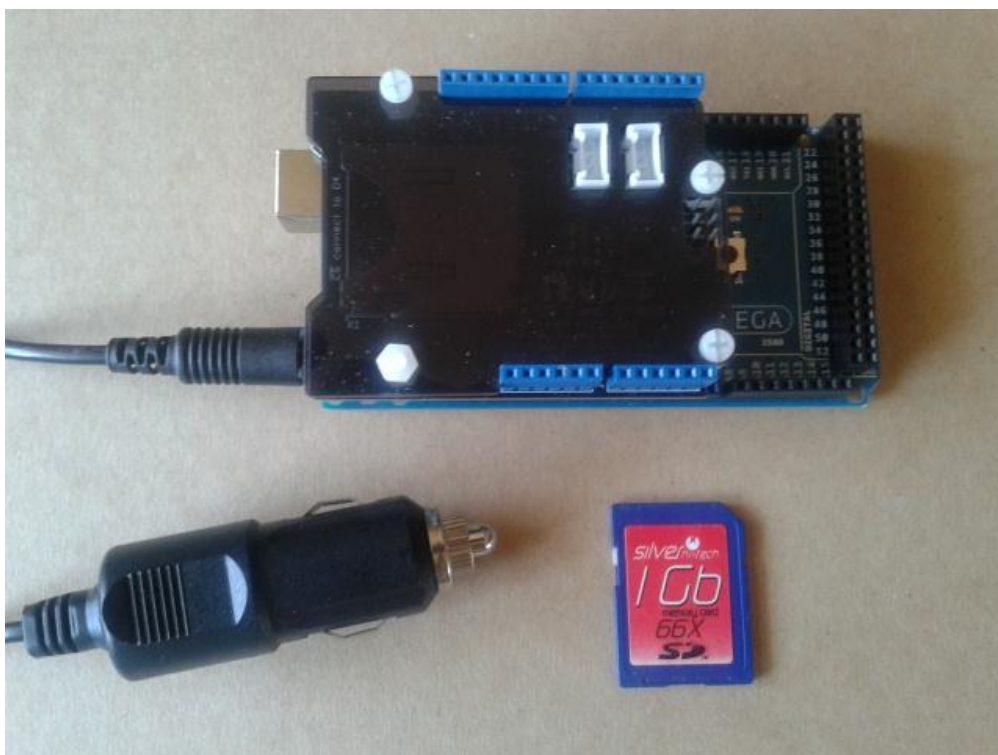


Figura 17 – Integração do shield para cartão Sd ao Arduino e, cartão SD

As características do cartão SD são:

- Compatibilidade com cartões SD, SDHC e micro SD;
- Suporte a comunicações UART (serie) e I²C;
- Suporta a biblioteca SD *library*;
- Possibilidade de empilhar mais de um shield para obter mais espaço de armazenamento [15].

A tabela seguinte apresenta as especificações do cartão SD.

Tabela 3– Especificações do cartão SD [15]

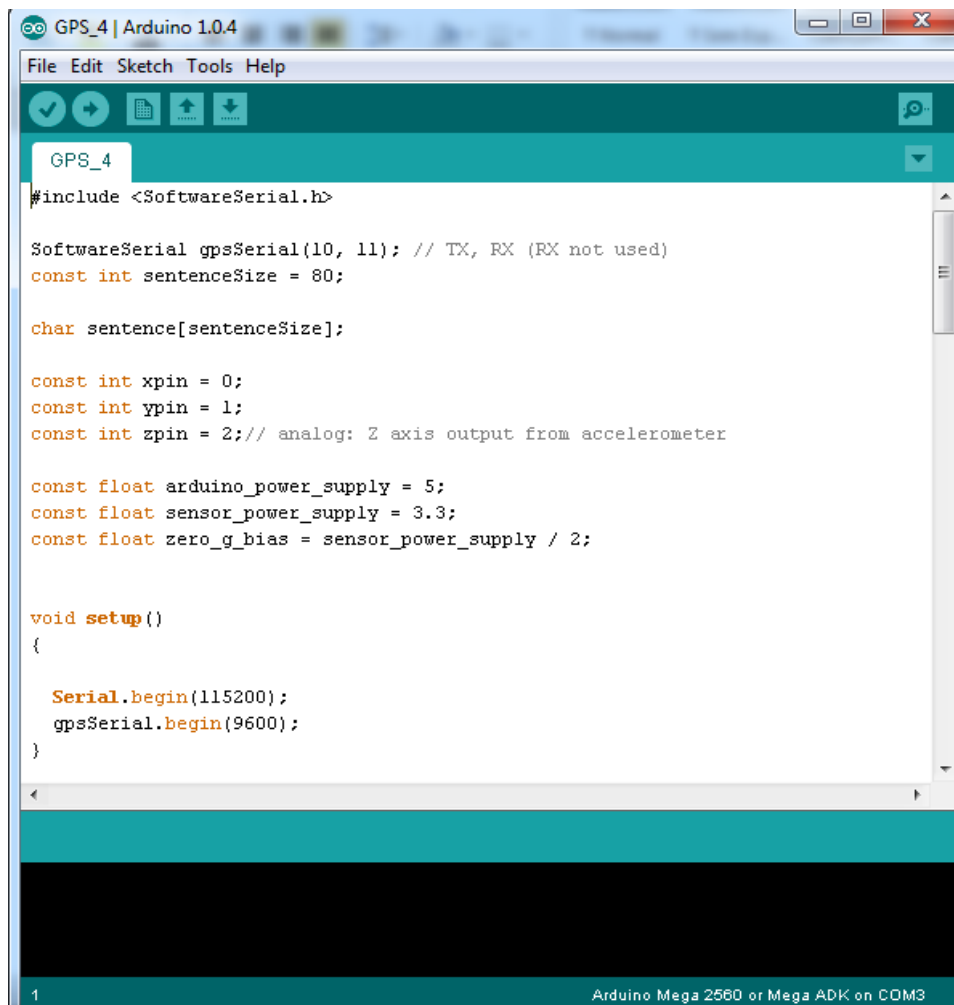
Designação	Min	Característico	Máx	Unidade
Tensão	3,5	5	5,5	V
Corrente	0,159	100	200	mA
Tipo de cartão suportado	SD (<=16G); Micro SD (<=2G); SDHC (<=16G)			/
Dimensões	68,7 x 53,5 x 19,00			mm
Peso	14,8			g

4.5- Programação

O Arduino é acompanhado de um ambiente de desenvolvimento integrado (*Integrated Development Environment ou IDE*). Trata-se de um aplicativo de *software*, que permite a edição do programa em linguagem C, a sua compilação para o micro-controlador, e através das interfaces de comunicação entre o computador e o Arduino, a realização de testes.

O programa para o Arduino, é dividido em duas partes principais: *Setup* e *Loop*. A função *Setup* serve para inicializar o programa, e o programa escrito dentro da função *Loop* é executado indefinidamente [21].

A figura 18 ilustra a estrutura de um programa.



```
GPS_4 | Arduino 1.0.4
File Edit Sketch Tools Help
GPS_4
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial gpsSerial(10, 11); // TX, RX (RX not used)
const int sentenceSize = 80;

char sentence[sentenceSize];

const int xpin = 0;
const int ypin = 1;
const int zpin = 2; // analog: Z axis output from accelerometer

const float arduino_power_supply = 5;
const float sensor_power_supply = 3.3;
const float zero_g_bias = sensor_power_supply / 2;

void setup()
{
  Serial.begin(115200);
  gpsSerial.begin(9600);
}

1 Arduino Mega 2560 or Mega ADK on COM3
```

Figura 18-Exemplo de estrutura de programação do Arduino

O programa após ser compilado e enviado para o micro -controlador, apresenta os dados gerados na opção serial monitor da ferramenta Arduino, como se pode visualizar na figura 19. Posteriormente, estes dados são “tratados” com recurso ao *software* Microsoft Excel.

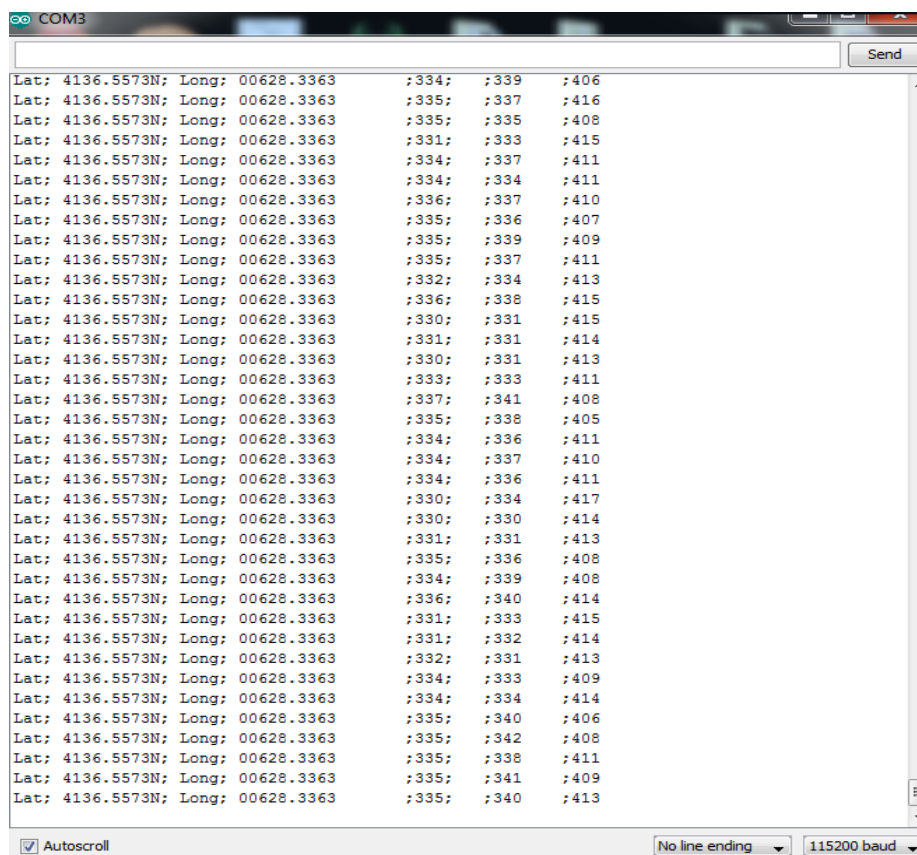


Figura 19- Serial Monitor

Os testes realizados neste projeto são apresentados no ponto 5, os quais recorrem a dois programas, um para a captura de dados provenientes do sensor de força resistivo, e outro para os sensores de GPS e acelerómetro.

5- Testes experimentais

Inicialmente pretendia-se dispor 10 sensores de força resistivos numa palete e capturar os dados gerados durante o seu transporte. Sendo, 5 dos sensores de força resistivos colocados na base da palete e os restantes sensores no meio da mercadoria. E, para cada 5 sensores de força resistivos utilizar um multiplexador. Por falta de meios (transporte de mercadorias e palete com carga), este teste não chegou a ser realizado. Porém, o seu circuito equivalente foi construído a partir do *software* “Altium Protel DXP”, e, encontra-se apresentado na figura 20.

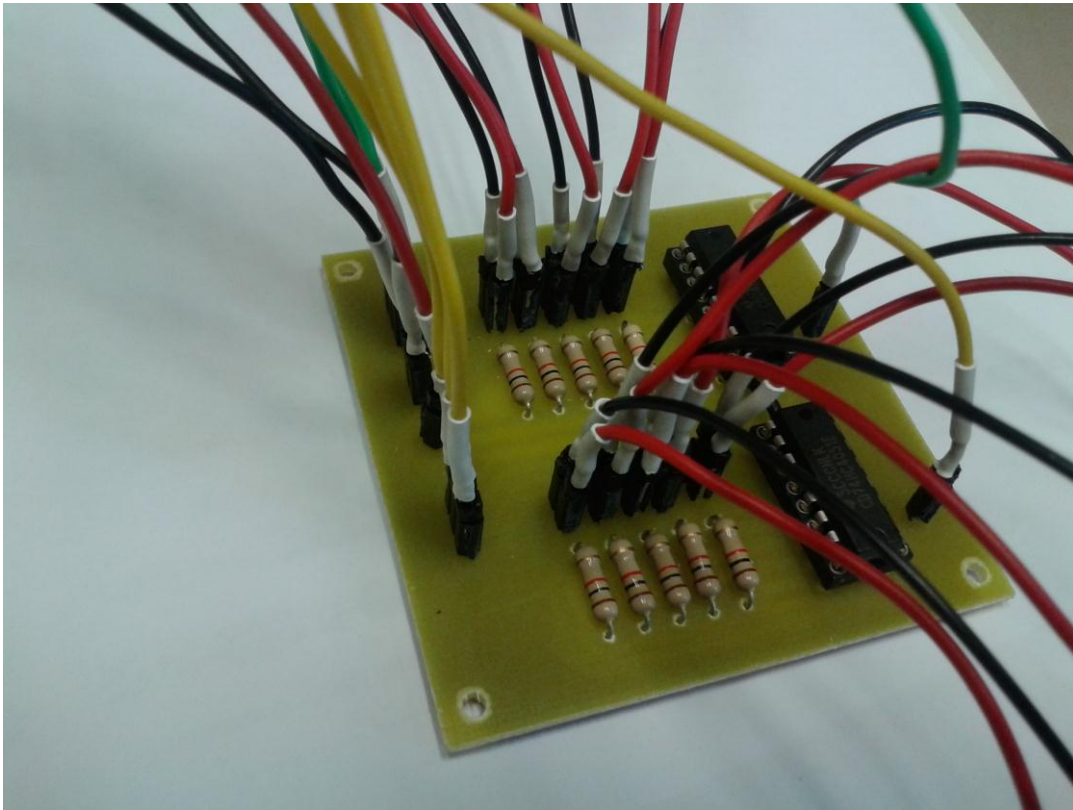


Figura 20-Circuito equivalente da ligação dos sensores de força resistivos aos multiplexadores

Durante e após o estágio realizaram-se testes experimentais de forma a validar o sistema desenvolvido.

O primeiro teste experimental foi executado na empresa Cartif, o qual teve como objetivo a calibração dos sensores de força resistivos. Para tal, recorreu-se a pesos conhecidos. E, para cada peso, efetuou-se três medições. A partir da tensão de saída gerada, obteve-se a força exercida, sendo desta forma possível avaliar o erro. A tabela 4 apresenta as forças correspondentes a cada peso.

Tabela 4- Força resultante em função da tensão de saída

Pesos	Força (g)		
	1º teste	2º teste	3º teste
P20 (20g)	-14	0,071277	2,35952
P50 (50g)	69,67307	97,39611	92,40519
P100 (100g)	155,4508	218,5751	216,0446
P100-A (100g)	137,3043	64,15329	203,4254
P500 (500g)	421,6627	517,9282	641,376
P1000 (1000g)	1067,818	1270,185	946,0491
P2000 (2000g)	1977,083	1505,82	2021,278

Neste teste, utilizaram-se pesos de 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 500, 1000 e 2000 gramas, porém, só se obteve a força resultante a partir de 20g. Este facto é devido ao sensor de força resistivo não apresentar sensibilidade quando sujeito a pesos pequenos. O mesmo pode ser observado a partir da tabela 4, para os testes com o peso de 20 gramas.

Ainda, foram realizadas outras medições, sendo algumas executadas através da sobreposição de alguns pesos sob o sensor de força resistivo. A tabela 5 faz referência aos resultados obtidos.

Tabela 5- Força resultante da tensão de saída apresentada pelo FSR

Pesos (g)	Força (g)
100	83,455425
500	616,06466
550	495,88617
1000	954,74951

A partir das medições apresentadas nas tabelas anteriores, verifica-se que para valores de pesagem maiores, obtém-se um erro inferior, ou seja, os valores de força resultantes a partir da tensão de saída aproximam-se do valor do peso exercido. Desta forma, é possível prever uma maior precisão para pesos superiores.

Posteriormente realizaram-se testes com o propósito de analisar as vibrações resultantes do transporte ao longo de dois percursos. Para tal, usou-se um sensor GPS e um

acelerómetro. Estes sensores foram conectados ao Arduino. O acelerómetro foi fixado no topo de uma caixa, de forma a obter os valores de repouso para a componente de aceleração segundo os eixos X,Y e Z (0; 0; 9,8). A caixa em questão apresentava uma carga de 2Kg, e, a mesma foi colocada na mala do carro, como se pode observar na figura 22. Os dados produzidos ao longo dos dois percursos foram processados pelo Arduino, e de seguida, enviados para o PC através de uma ligação USB. A figura seguinte apresenta o acelerómetro fixo na caixa, bem como a sua ligação e a do GPS ao Arduino.

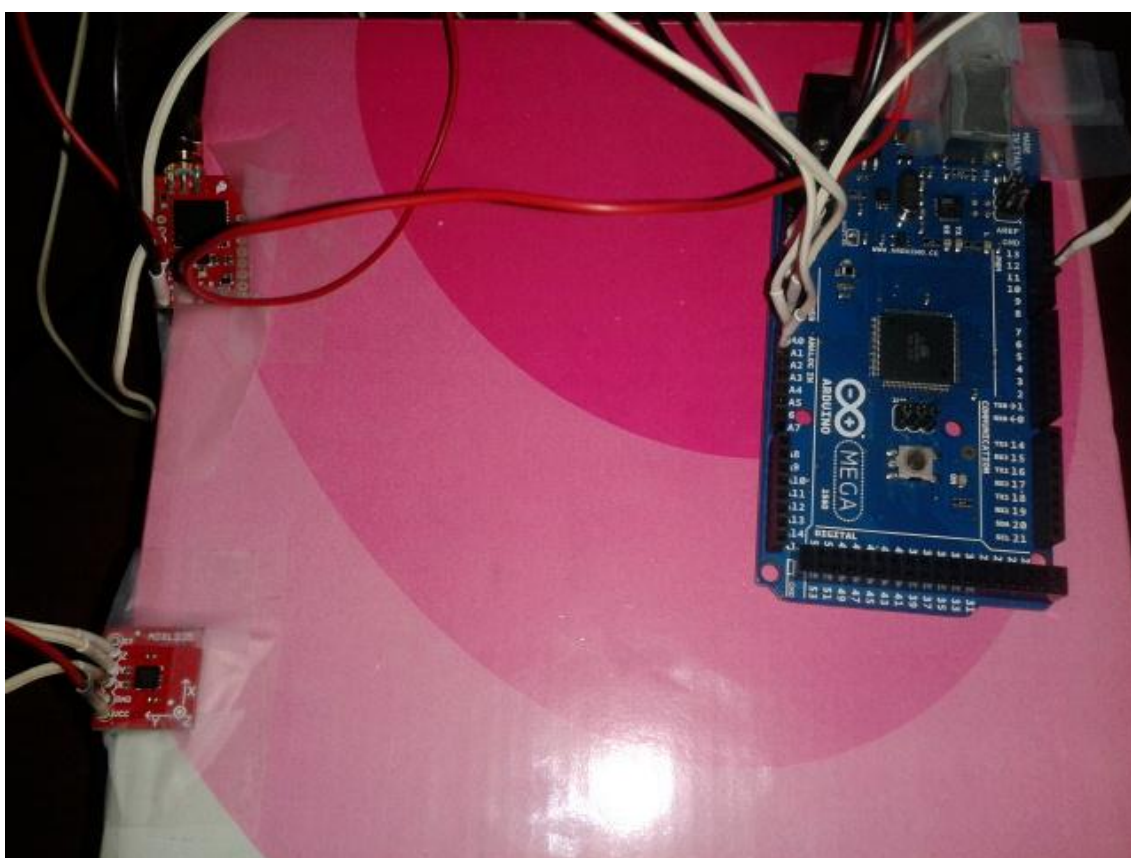


Figura 21- Disposição do acelerómetro para testes

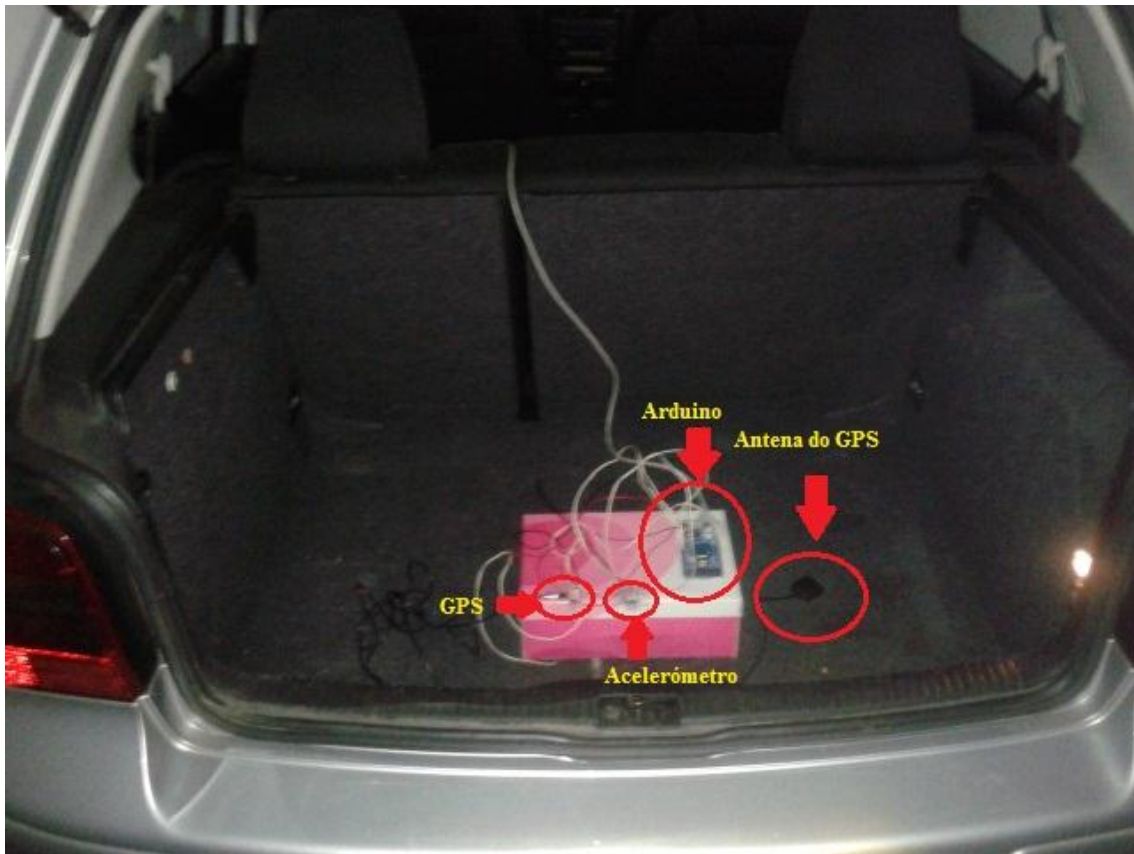


Figura 22- Ambiente de teste (mala do carro)

De forma a calibrar o acelerómetro, recolheram-se os dados gerados pelo acelerómetro durante o seu repouso. Foram calculadas as médias para cada eixo (X,Y e Z), e obtido o *offset*. Desta forma, foi possível obter as acelerações geradas pelos três eixos.

O primeiro percurso foi efetuado ao longo de 7,4 Km, o qual é apresentado na figura 23.

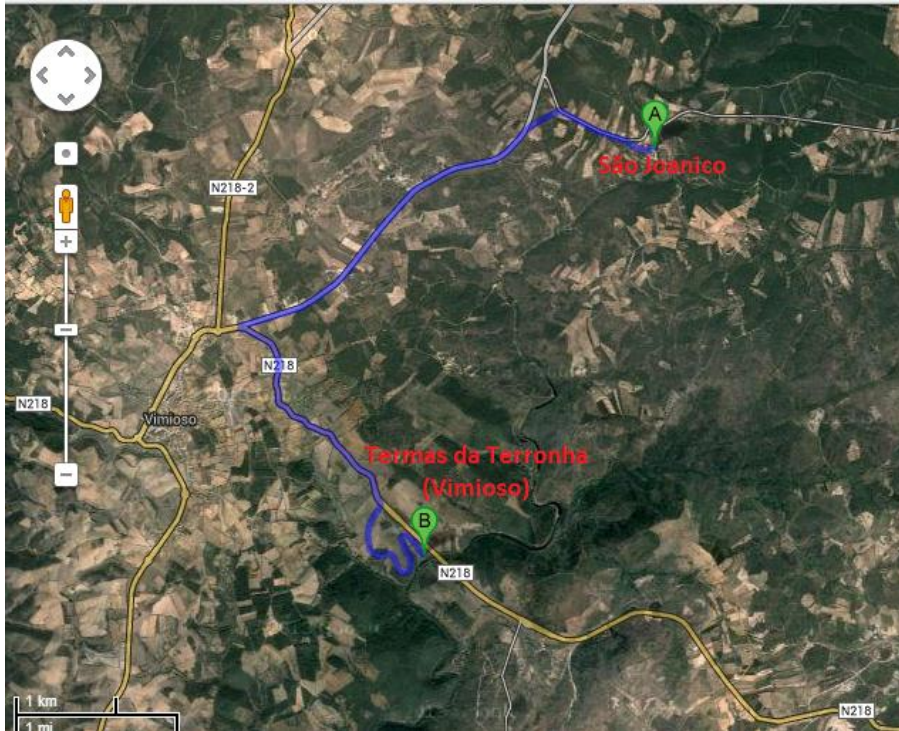


Figura 23– Mapa do primeiro percurso [20]

A figura seguinte ilustra o comportamento da caixa ao longo do percurso, segundo os eixos x, y e z.

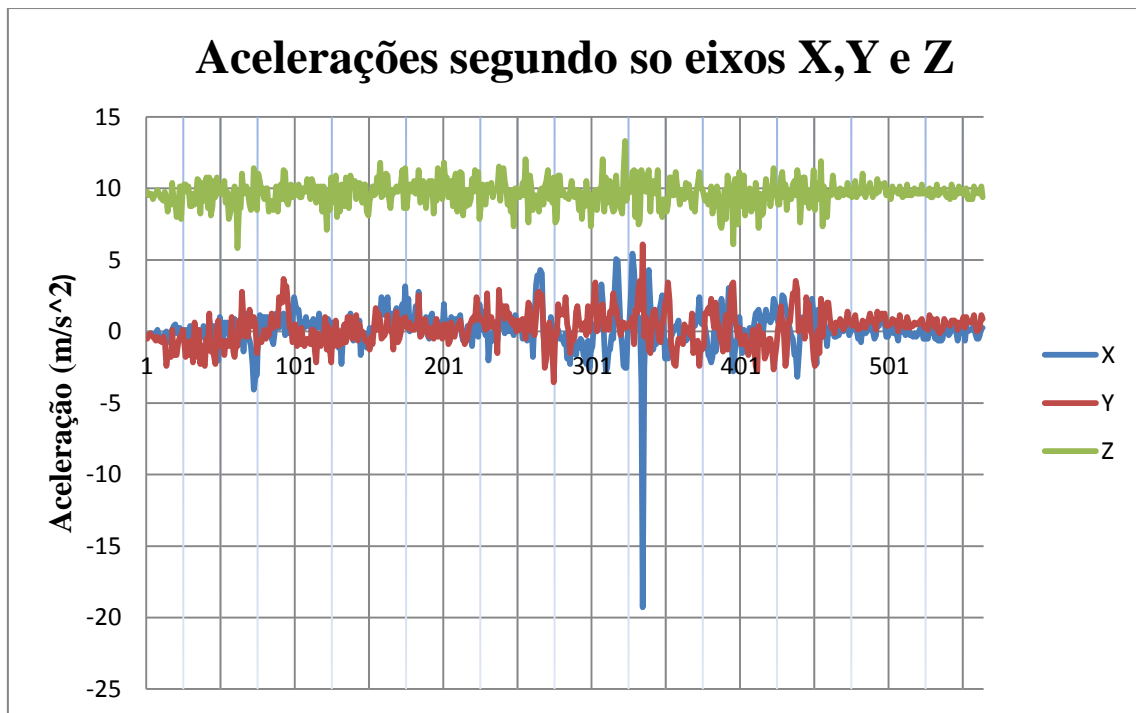


Figura 24- Acelerações nos três eixos

A partir das acelerações geradas segundo os três eixos, e, das coordenadas de GPS emitidas, torna-se possível a interpretação das características da via de comunicação.

Nas figuras seguintes pode-se analisar com maior detalhe as acelerações desenvolvidas ao longo dos 7,4km.

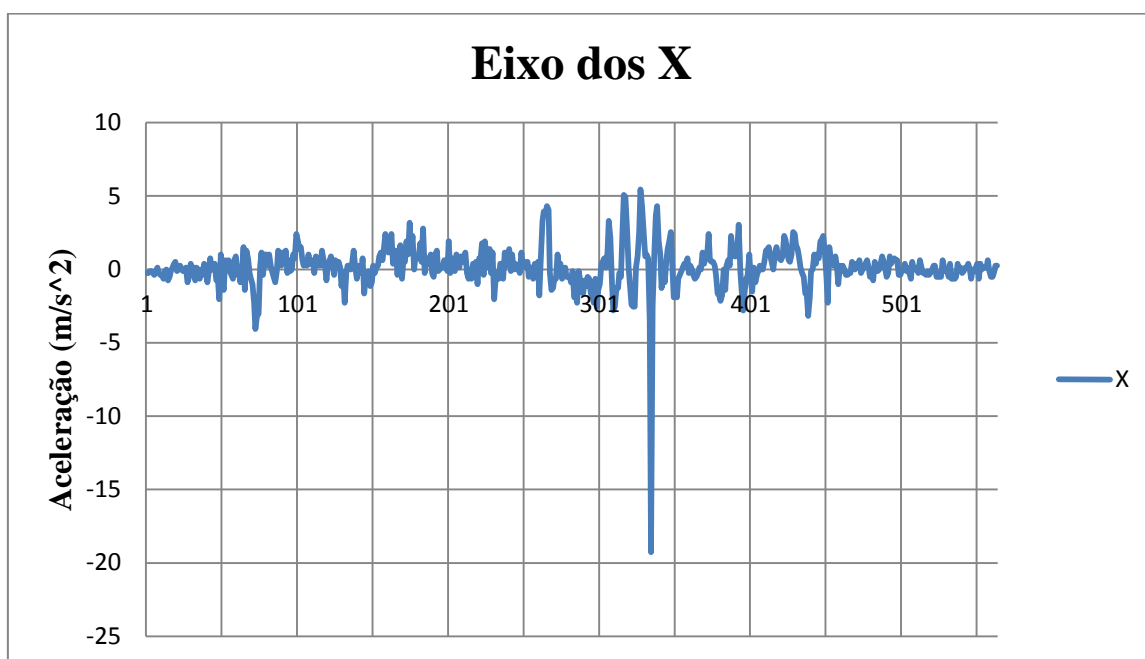


Figura 25- Acelerações segundo o eixo x

Segundo o eixo dos x, representado pela figura 25, observa-se com relevância uma desaceleração ocorrida segundo as coordenadas (Latitude: 4135,0587 N; Longitude: -6,307840 W), esta desaceleração é caracterizada pela existência de uma curva.

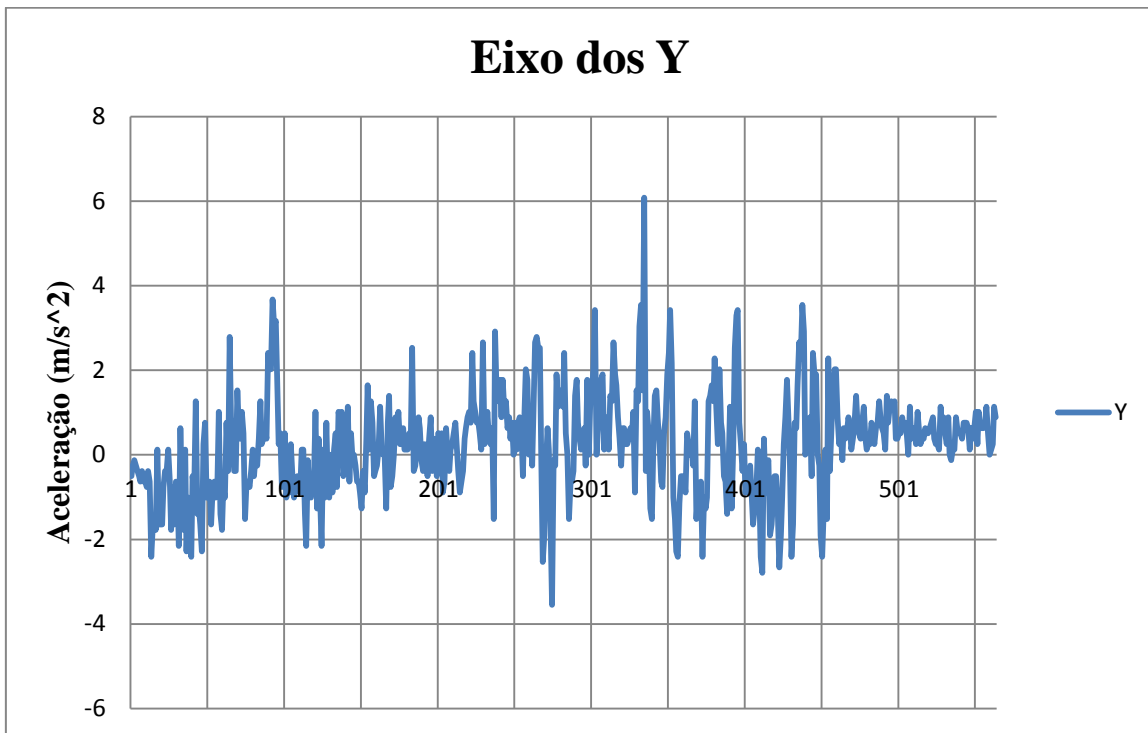


Figura 26- Acelerações referente ao eixo y

Através da figura 26 a qual apresenta o eixo dos y, repara-se na ocorrência de uma desaceleração e de uma aceleração com maior realce. A desaceleração apresenta as coordenadas (Latitude: 4135,5362 N; Longitude: -6,311616W), e a aceleração segundo este eixo, corresponde à desaceleração referente ao eixo dos x.

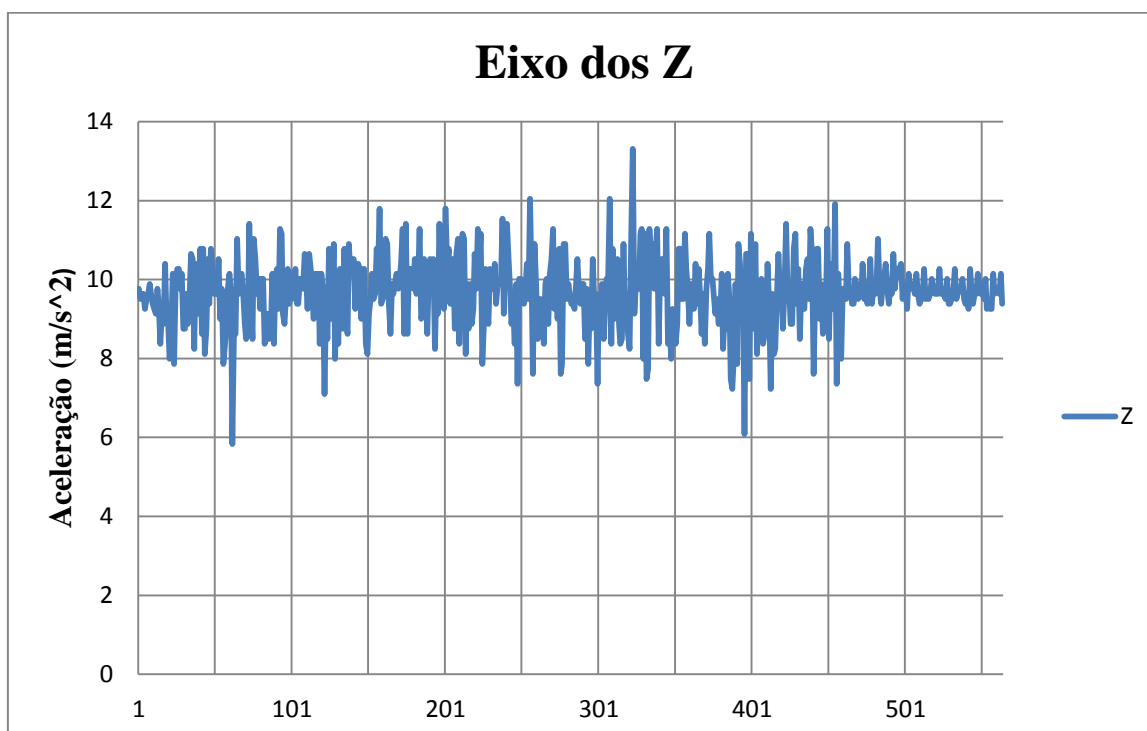


Figura 27- Acelerações segundo o eixo z

A figura anterior apresenta as acelerações segundo o eixo dos z. Estas acelerações são resultado das vibrações verticais ocorridas durante o percurso. As vibrações verticais podem ser fruto das irregularidades da via de comunicação, e, das vibrações geradas pelo automóvel.

O segundo percurso é apresentado na figura 28. Este decorreu ao longo de 10,4km, tendo início nas Termas da Terronha (Vimioso), passando pelo centro da vila de Vimioso, e terminando na aldeia de São Joanico.

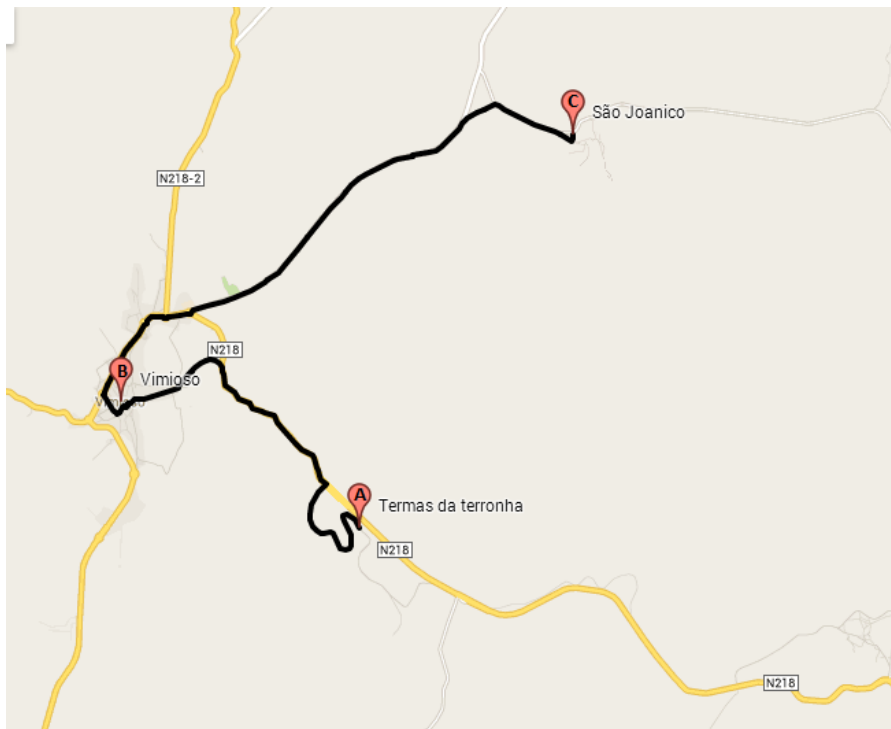


Figura 28-Mapa do segundo percurso [20]

A figura seguinte relata as acelerações produzidas para os três eixos para este percurso.

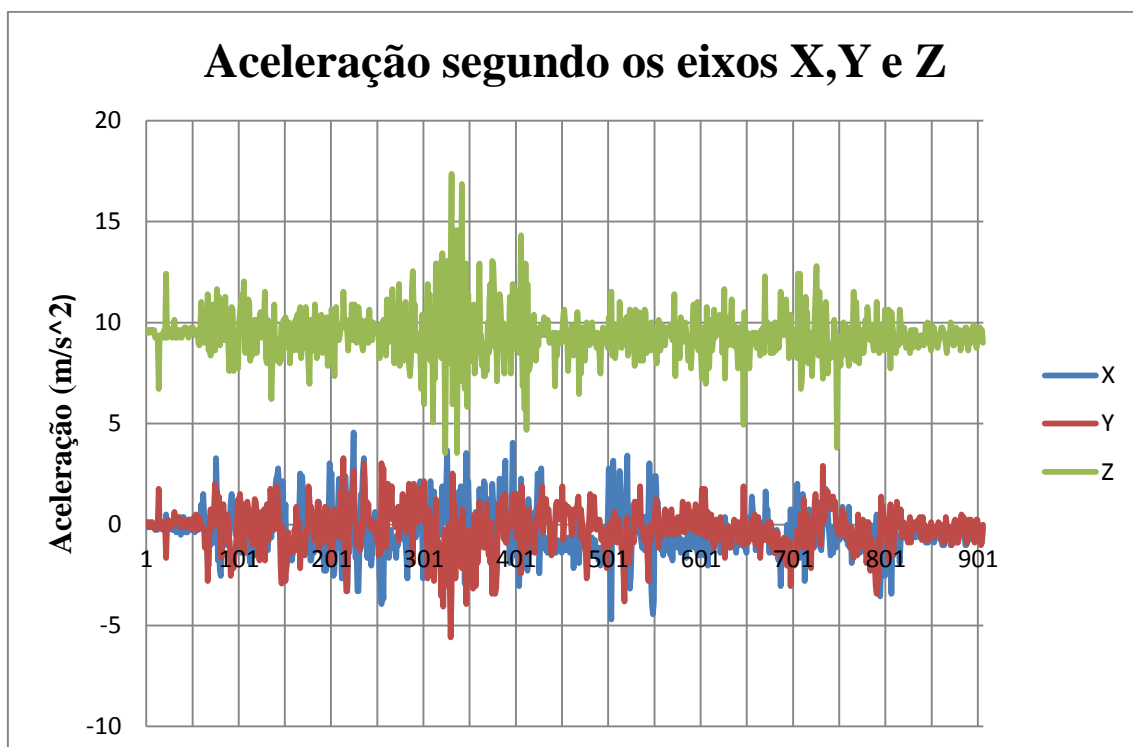


Figura 29- Acelerações segundos os eixos X,Y e Z

As próximas figuras expõe ao pormenor as acelerações resultantes para os eixos X, Y e Z.

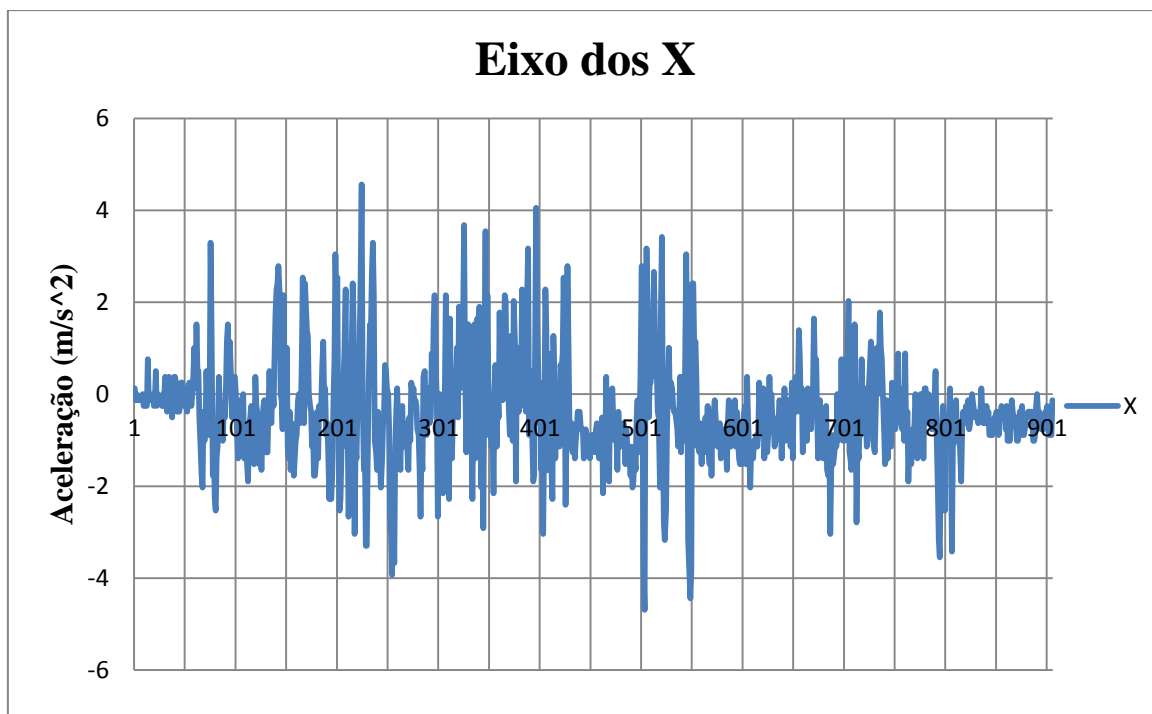


Figura 30- Acelerações segundo o eixo X para o segundo percurso

A existência de curvas é visível no mapa do segundo percurso. Esta característica da via de comunicação é responsável pelas acelerações e desacelerações ocorridas segundo o eixo dos X, como se pode observar na figura referente ao eixo em causa.

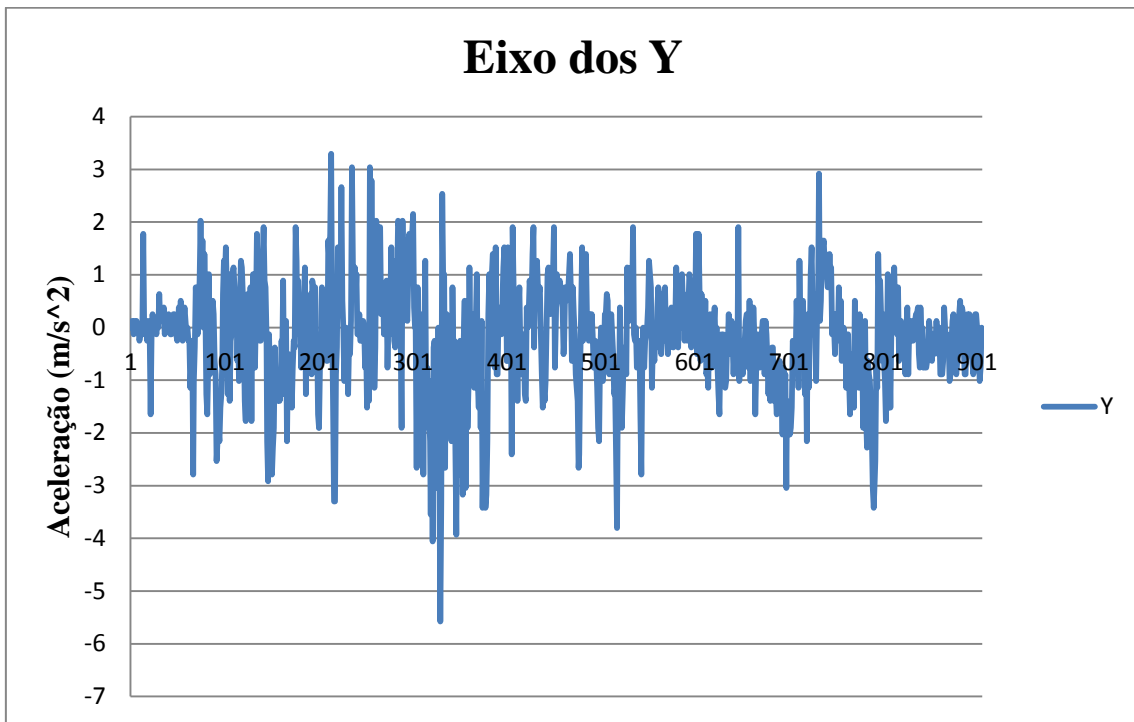


Figura 31- Acelerações segundo o eixo Y para o segundo percurso

A partir da observação da figura 31, obtém-se a mesma interpretação que para a figura referente ao eixo dos X.

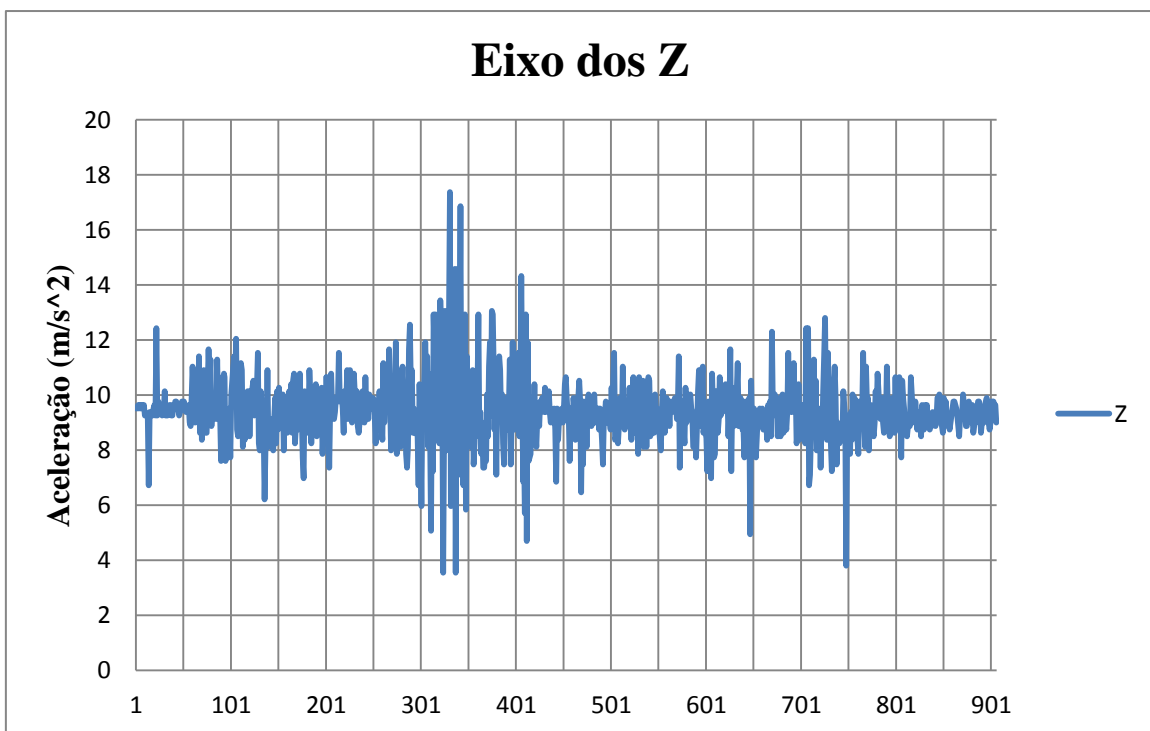


Figura 32- Acelerações segundo o eixo Z para o segundo percurso

As acelerações segundo o eixo dos Z, como foi concluído para o primeiro percurso, advêm das irregularidade da via de comunicação, das vibrações produzidas pelo veículo, e neste percurso, devido ao pavimento do centro da vila ser em paralelos.

As acelerações resultantes dos testes realizados para os dois percursos não são tão significativas, uma vez que a faixa de aceleração do acelerómetro escolhido varia aproximadamente entre -29,4 a 29,4 ($\pm 3G$). Apenas no primeiro percurso, e para o eixo dos X é que se obteve uma desaceleração significativa. Ainda, observou-se a existência de bastante ruído.

6- Conclusões

Os produtos, durante o seu transporte para os mercados ficam expostos a certos fenómenos (aceleração, frenagem, vibração, sobreposição de paletes, etc.), os quais levam à deformação dos mesmos.

A partir de um estudo, com base em recolha de dados gerados durante o transporte de uma paleta com carga, é possível averiguar as vibrações causadas pelas condições e características da via de comunicação, e pelas vibrações produzidas pelo transporte de mercadorias. Este tipo de estudo, recorre a sensores e, possibilita a produção de embalagens de proteção adequadas para o tipo de produto a transportar. Desta forma, os impactos provocados podem ser reduzidos ou até mesmo inexistentes.

Dos sensores utilizados nos testes experimentais, o sensor de força resistivo demonstra não ser adequado para o estudo em ambiente real, uma vez que se trata de um sensor de pouca precisão, apresenta erros na ordem dos 25% e não linearidade de saída, necessita de uma estrutura que lhe permita contacto com a superfície em estudo. Ainda, este sensor apresenta um limite na sua capacidade máxima de gama de medida (10 kg), o que o torna limitado para a captura de dados da maioria do tipo de carga a transportar.

Os testes realizados com os sensores GPS e acelerómetro em simultâneo, permitem avaliar para uma dada posição (coordenadas de GPS) a origem das vibrações produzidas (irregularidades ou características da via de comunicação).

O sistema de aquisição utilizado consente um manuseamento fácil e acessível devido ao seu *hardware* e *software*.

O cartão SD oferece a capacidade de armazenamento de dados capturados durante o transporte, para uma posterior análise e tratamento a partir do *software* Microsoft Excel.

Como trabalho futuro sugere-se a substituição do sensor de força utilizado por um sensor capaz de satisfazer os requisitos impostos pelo projeto em causa, nomeadamente precisão, e gamas de medida mais adequadas. Desta forma, os extensómetros seriam uma alternativa ao sensor de força resistivo. Trata-se de transdutores passivos, os quais permitem medir a força exercida a partir da deformação resultante. Estes transdutores

apresentam uma vasta aplicação a nível industrial, de investigação em engenharia e em todos os campos onde se requeira medições precisas de força.

Quanto ao sistema desenvolvido para a captura de dados, este, deverá ser integrado numa palete com carga. Ainda, deverão ser sincronizadas as aplicações (sensor de força resistivo, GPS e acelerómetro), e testadas em simultâneo em ambiente real, como por exemplo num camião, permitindo desta forma, uma análise rigorosa das vibrações produzidas, e do comportamento obtido pela palete ao longo do seu transporte. As vibrações resultantes do teste deverão ser alvo de uma análise espectral, de forma a distinguir as vibrações resultantes do veículo das vibrações produzidas pela via de comunicação. E ainda, as acelerações resultantes do mesmo deverão ser filtradas, com o intuito de eliminar o ruído.

Referências

- [1] Luís Fernando Patsko, Aplicações, Funcionamento e Utilização de Sensores, Manual informativo, 2006; [acesso em 26 de Março 2013]
- [2] Documento informativo sobre sensorização; link:
<http://www.isa.cie.uva.es/~maria/sensores.pdf>; [consulta em 1 de Abril de 2013]
- [3] Interlink Electroniks, FSR Force Sensing Resistor Integration Guide and Evaluation Parts Catalog, documento informativo; [consulta em 8 de Abril de 2013]
- [4] Lúgia J. Figueiredo, Ana R. Gafaniz, Gustavo S. Lopes e Rúben Pereira, Aplicações de acelerómetros, Monografia, 19 de Dezembro de 2007; [acesso em 17 de Abril de 2013]
- [5] Carlos Giménez, Teoría y Aplicaciones de la informática 2, trabalho prático, Setembro de 2009, site: <http://www.jeuazarru.com/docs/Acelerometro.pdf> [consulta em 26 de Abril de 2013]
- [6] Página de internet sobre o princípio de funcionamento do acelerómetro; link:
<http://www.eletrica.ufpr.br/edu/Sensores/1999/joao/funcionamento.htm> [acesso em 6 de Maio de 2013]
- [7] Página de internet com informação sobre o acelerómetro adxl 335; link:
<http://alonsodub.wordpress.com/2012/09/18/adxl335-acelerometro-eje-x-y-z/>
[consulta em 14 de Maio de 2013]
- [8] Gps Center, página de internet, link: <http://www.gpscenter.com.br/index64.html>
[consulta em 5 de Junho de 2013]
- [9] M. A. García Romeu, Análisis de vibraciones en el Transporte para su replicación, simulación y ensaio en laboratório, Artículo, Primer Congreso de Logística y Gestión de la Cadena de Suministro Zaragoza, 12 y 13 de Setembro de 2007.
[consulta em 12 de Junho de 2013]
- [10] Figura retirada da página de internet com o link: <http://brunotir.pai.pt/> [acesso em 20 de Agosto de 2013]

- [11] Scania, Falta de conforto causado por vibrações; link:
http://til.scania.com/groups/bwd/documents/bwm/bwm_0000508_16.pdf [consulta em 21 de Julho de 2013]
- [12] Departamento de informática da Escola Superior Técnica de Viseu, Sistemas de aquisição de dados, documento informativo, link:
http://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/maeb/im/Teorica_Bibliografia/Cap_E_Sistemas%20de%20Aquisi%C3%A7%C3%A3o%20de%20Dados/1-Introdu%C3%A7%C3%A3o/DAQ_portugues.pdf [consulta em 26 de Agosto de 2013]
- [13] Página do Arduino, link: <http://playground.arduino.cc//Portugues/HomePage>
[consulta em 1 de Setembro de 2013]
- [14] Documento informativo, site: <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>
[consulta em 1 de Setembro de 2013]
- [15] Seeed, Sd Card Shield V4.0, Página de internet, link:
http://www.seeedstudio.com/wiki/SD_Card_shield_V4.0 [consulta em 3 de Setembro de 2013]
- [16] Página de internet, link: <http://playground.arduino.cc/Referencia/Serial> [consulta em 3 de Setembro de 2013]
- [17] IST, Redes de Comunicações, site:
https://dSPACE.ist.utl.pt/bitstream/2295/731490/1/Cap4_RT_10.pdf [consulta em 4 de Setembro de 2013]
- [18] Igor Gonzalez Martín, página de internet, 2008, site:
http://arduino.cc/es_old/Tutoriales/74HC4051 [acesso em 20 de Junho de 2013]
- [19] Edwin Jhovany Alzate Rodríguez, Jose William Montes Ocampo, Carlos Armando Silva Ortega, Medidores de deformacion por resistencia: Glgas extensiométricas, artigo, Scientia et Technica Año XIII, NO 34, Mayo de 2007 [consultado em 10 de Setembro de 2013]
- [20] Google maps, link: www.googlemaps.pt [consulta em 10 de Setembro de 2013]

- [21] Equipa de robótica UFES, Mini curso Arduino, documento informativo, 2012
[acesso em 13 de Setembro de 2013]
- [22] Michelim, Valquiria de Oliveira; Hartmann, Ivana; Nornberg, Marcele Leal; Zago, Pâmella Cassol; Benedetti, Franceliane Jobim; Perdas influenciadas pelo transporte e manuseio inadequado de frutas, Trabalho de pesquisa_Unifra. [consulta em 20 de Setembro de 2013]
- [23] Juliana Sanches; Paulo A. M. Leal; José H. Ssaravali; Silvia Antoniali; Avaliação dos danos mecânicos causados em banana “Nanicão” durante as etapas de beneficiamento, transporte e embalagem; Artigo científico; 2004. [acesso em 22 de Setembro de 2013]
- [24] Figura retirada da página de internet: <http://paixaocapixaba.com.br/?p=9544>
[acesso em 22 de Setembro de 2013]
- [25] Aérica C. Nazareno; Iran J. O da Silva; Afrânio M. C. Vieira; Frederico M. C. Vieira; Késia O. S. Miranda; Níveis de vibração e choques em diferentes estradas durante o transporte de ovos férteis; Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental vol. 17 no. 18; 2013; [acesso em 22 de Setembro de 2013]
- [26] Figura retirada da seguinte página de internet:
<http://www.iea.sp.gov.br/out/verTexto.php?codTexto=2160> [acesso em 22 de Setembro de 2013]
- [27] Figura retirada da seguinte página de internet:
<http://www.pt10g.com/2011/10/22/gps-obrigatorio-em-todos-os-telemoveis-antes-de-2018/> [acesso em 22 de Setembro de 2013]
- [28] Klaus Felinto de Oliveira; Estratégias utilizadas na adoção de sistemas de software livre: um estudo exploratório; Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul; Documento informativo; [acesso em 1 de Outubro de 2013]