



Projeto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Análise de Folgas/Desgaste em Rótulas de
Suspensão***

Luís André Fernandes Carvalho

Leiria, 30 *Março* de 2017



Projeto

Mestrado em Engenharia Automóvel

***Análise de Folgas/Desgaste em Rótulas de
Suspensão***

Luís André Fernandes Carvalho

Dissertação 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 Sérgio Pereira dos Santos, Professor da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, 30 Março de 2017

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Dedicatória

Dedicado ao crescimento que me proporcionou como aluno, como pessoa.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Quero agradecer aos Engenheiros Carlos Ferreira e Sérgio Santos pelo apoio e paciência durante a realização do projeto.

Ao Engenheiro Paulo Faria pela autorização para utilização das instalações da Cetial para realização dos testes práticos necessários.

Ao Engenheiro Carlos Fernando Couceiro de Sousa Neves pela impressão das caixas em 3D.

E por fim, mas não menos importante, a todo o apoio dos meus pais.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

Com a elaboração deste documento pretende-se realizar um trabalho que se destina à obtenção do Mestrado em Engenharia Automóvel lecionado na Escola Superior de Tecnologia e Gestão – Instituto Politécnico de Leiria.

Como objetivo do projeto pretende-se criar um mecanismo que permita implementar um teste quantitativo na análise do nível de folga/desgaste em componentes do automóvel.

Pretende-se desta forma, substituir a análise visual que normalmente é realizada em muitos componentes de desgaste nos atos de manutenção e inspeção automóvel.

O sistema de aquisição de dados foi projetado partindo do princípio da transmissibilidade: são adquiridos valores com dois acelerómetros e é calculada a sua razão.

Espera-se conseguir construir um sistema de aquisição de dados portátil, de fácil utilização e com capacidade para recolha e armazenamento de informação.

No final, obtendo sucesso na realização do projeto, pretende-se que a sua implementação possa ser uma mais valia na ajuda ao aumento da segurança rodoviária.

Palavras-chave: folga, rótula, transmissibilidade, teste, resultado

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

With the elaboration of this document it's intended to carry out a work that is destined to obtain the Master's degree in Automotive Engineering taught in the Superior School of Technology and Management - Polytechnic Institute of Leiria.

The objective of the project is to create a mechanism to implement a quantitative test in the analysis of the level of damage or wear in some of automobile components.

In this way, it has intended to replace the visual analysis that is normally performed on many wear components in maintenance and automobile inspection acts.

The data acquisition system was designed based on the principle of transmissibility: values are acquired with two accelerometers and its ratio is calculated.

It is hoped to be able to build a portable data acquisition system, easy to use and capable of collecting and storing information.

In the end, achieving success in the realization of the project, it's intended that its implementation can be a benefit in helping to increase road safety.

Keywords: damage, *ball joint*, *transmissibility*, *test*, *result*

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 - Suspensão do tipo Ponte Rígida [10].....	10
Figura 2- Suspensão do tipo Ponte de Dion [11].....	11
Figura 3- Suspensão do tipo Mac Pherson [12].....	13
Figura 4 - Suspensão do tipo Triângulos Sobrepostos [13].....	14
Figura 5 - Suspensão do tipo Multilink [14].....	15
Figura 6 - Rótula de suspensão [15].....	16
Figura 7- Esquema do sistema mola amortecedor [18].....	17
Figura 8 - Evolução do valor da transmissibilidade em função da frequência [18].....	18
Figura 9 - Efeito r_s na transmissibilidade em: a) massas não suspensas, b) massas suspensas [19].....	19
Figura 10 - Efeito ξ na transmissibilidade em: a) massas suspensas, b) massas não suspensas [19].....	20
Figura 11 - Variação do valor de transmissibilidade com aumento de amortecimento do amortecedor.....	21
Figura 12 - Transmissibilidade em função da aceleração vertical.....	22
Figura 13 - Aplicação dos diferentes sensores no veículo.....	25
Figura 14 - Montagem para realização de testes práticos.....	26
Figura 15 - Resultados obtidos.....	27
Figura 16 - Modelo de elementos finitos do apoio.....	28
Figura 17 – Curvas de transmissibilidade obtidas.....	28
Figura 18 - Transmissibilidade para diferentes valores de rigidez dos apoios.....	30
Figura 19 - Esquema de aplicação de sensores e aquisição de dados.....	31
Figura 20 – Comparação de valores de transmissibilidade em: a) atuador 1, b) atuador 2. 32	
Figura 21 - Esquema de montagem e aquisição de dados.....	33
Figura 22 - Resultados obtidos para os diferentes modelos.....	33
Figura 23 - Esquema de aplicação dos sensores.....	34
Figura 24 - Exemplo de resultados para o carro A em piso irregular.....	35
Figura 25 - Esquema de montagem e aquisição de dados.....	36
Figura 26 – Comparação de valores obtidos segundo o eixo dos XX no topo do amortecedor e: a) apoio 1, b) apoio 2, c) apoio 3 e d) apoio 4.....	37
Figura 27 - Máquina com capacidade para 6 rótulas e teste em dois eixos.....	38

Figura 28 - Teste manual para verificar o desgaste em rótulas de suspensão	39
Figura 29 - Utilização de comparador para verificar desgaste na rótula de suspensão.....	40
Figura 30- Fratura observada ao microscópio em rótula.....	42
Figura 31 - Esquema de atuação	43
Figura 32- Acelerómetro MMA 7631 [35]	47
Figura 33 - Arduino Nano [37]	48
Figura 34 - Funduino Nano [38]	49
Figura 35 - Leitor de cartão micro SD [35].....	49
Figura 36 - Led indicativo de presença do cartão e indicativo de início de ciclo e durabilidade do teste [39].....	50
Figura 37 - Bateria recarregável [40]	50
Figura 38 - Desenho da caixa em Autocad	51
Figura 39 - Comutador de três posições.....	51
Figura 40 - Botão de Start [41].....	52
Figura 41 - Caixa para aquisição de dados.....	52
Figura 42 - Esquema em LabView para aquisição de sinal do acelerómetro	53
Figura 43 - Exemplo dos resultados obtidos em Matlab R2015b	57
Figura 44 – Valores obtidos após tratamento de dados no Matlab R2015b.....	58
Figura 45 – Valores lidos diretamente no PicoScope6	58
Figura 46 - Montagem utilizada para aquisição de dados e leitura de valores.....	59
Figura 47 – Dados de teste obtidos em Matlab R2015b	59
Figura 48 – Valores lidos diretamente no PicoScope6	60
Figura 49 – Montagem utilizada para aquisição de dados e leitura de valores.....	60
Figura 50- Exemplo da colocação dos acelerómetros.....	63
Figura 51 - Posição acelerómetros	64
Figura 52 – Valores de aceleração medidos no acelerómetro 1	65
Figura 53 - Valores de aceleração medidos no acelerómetro 2.....	66
Figura 54 - Transmissibilidade global.....	66
Figura 55 - FFT global	67
Figura 56 - Transmissibilidade no eixo dos XX	67
Figura 57 - FFT no eixo dos XX.....	68
Figura 58 - Transmissibilidade em YY	68
Figura 59 - FFT em YY.....	69
Figura 60 - Transmissibilidade em ZZ.....	69

Figura 61 - FFT em ZZ.....	70
Figura 62 - Orientação dos eixos do acelerómetro na caixa.....	70
Figura 63 - Comparação de transmissibilidade entre três veículos diferentes	71
Figura 64 - Intervalo de frequências em que a excitação é mais relevante	72
Figura 65 - Resultado segundo eixo dos ZZ para um veículo com rótulas em bom estado	73
Figura 66 - Resultado para veículo com uma rótula em bom estado e outra danificada no eixo dos ZZ.....	73
Figura 67 – Resultados para posições diferentes dos acelerómetros.....	74
Figura 68 - Colocação dos acelerómetros: a) juntos; b) separados	75
Figura 69 - Transmissibilidade segundo o eixo dos ZZ	76
Figura 70 - Valores de FFT segundo o eixo dos ZZ.....	76
Figura 71 - Teste com ambas as rótulas em bom estado	77
Figura 72 - Teste com algum desgaste na rótula do lado direito.....	78
Figura 73 - Teste com desgaste na rótula do lado direito.....	78
Figura 74 - Teste com muito desgaste na rótula do lado direito.....	79
Figura 75 - Teste em veículo 5 segundo eixo dos ZZ	80
Figura 76- Teste em veículo 4 segundo eixo dos ZZ	80
Figura 77 - Comparação de resultados entre Veículo 1 e Veículo 5	82
Figura 78 - Resultados da evolução do desgaste da mesma rótula.....	84

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de tabelas

Tabela 1 - Condutores vítimas por falha mecânica [4]	2
Tabela 2 - Características dos acelerômetros MMA 7631 [34].....	46
Tabela 3 - Características Arduino Nano [36]	48
Tabela 4 - Características técnicas do banco de suspensão [42]	61
Tabela 5 - Características placas detetoras de folgas [43].....	62

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

k – rigidez da mola

c – coeficiente de amortecimento

f – força

x – deslocamento

t – tempo

TR – transmissibilidade

F_{tr} – força transmitida

F_{ap} – força aplicada

ζ – factor de amortecimento

β – ângulo de fase

ω_n – frequência natural

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

DEDICATÓRIA	III
AGRADECIMENTOS	V
RESUMO	VII
ABSTRACT	IX
LISTA DE FIGURAS	XI
LISTA DE TABELAS	XV
LISTA DE SIGLAS	XVII
ÍNDICE	XIX
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Contextualização	3
1.2. Objetivos	3
1.3. Organização do Relatório	4
2. REVISÃO DA LITERATURA	6
2.1. Tipos de Suspensão e Seus Elementos	6
2.1.1. Eixo Rígido	8
2.1.1.1. Ponte rígida	10
2.1.1.2. Ponte de Dion	11
2.1.2. Suspensão Independente	11
2.1.2.1. Suspensão MacPherson	12
2.1.2.2. Triângulos Sobrepostos	13
2.1.2.3. Multilink	14
2.1.3. Rótula de suspensão	15
	xix

2.2.	Vibrações e Transmissibilidade	16
2.2.1.	Transmissibilidade [16]; [17]	16
2.2.2.	Análise da Transmissibilidade na Suspensão de um Automóvel [19]	18
2.3.	Estudos em que é Utilizado o Conceito de Transmissibilidade	20
2.3.1.	<i>Determination Of Vibration Transmissibility Of The Suspension Mechanism In The Structure Of Car Area Stability</i> [20]	21
2.3.2.	<i>Sensing methodologies to determine automotive damper condition under vehicle normal operation</i> [21]	22
2.3.3.	<i>Sensitivity Analysis For Reducing Critical Responses At The Axle Shaft Of A Lightweight Vehicle</i> [22]	24
2.3.4.	<i>Laboratory Investigation of Seat Suspension Performance Vibration Testing</i> [23]	25
2.3.5.	<i>Vibration Analysis of an Engine Mount</i> [24]	27
2.3.6.	<i>Study Concerning the Influence of the Engine Mounting System on the Vibration Transmissibility to the Truck Cab</i> [25]	29
2.3.7.	<i>Active Vibration Control on a Quarter-car for Cancellation of Road Noise Disturbance</i> [26]	30
2.3.8.	<i>Transmissibility Analysis Of A Car Driver's Seat Suspension System With Na Air Bellow Type Damper</i> [27]	32
2.3.9.	<i>Low Frequency Vibration Analysis On Passenger Car Seats</i> [28]	34
2.3.10.	<i>On-Resonance Transmissibility Methodology For Quantifying The Structure-Borne Road Noise Of An Automotive Suspension Assembly</i> [29]	35
2.4.	Testes a rótulas de suspensão	37
2.4.1.	<i>Ball Joint test systems</i> [30]	38
2.4.2.	Diagnóstico e reparação de avarias no sistema de suspensão [5]	39
2.4.3.	<i>Inspect / Service / Test / Replace</i> [31]	39
2.4.4.	<i>Modern Automotive Technology</i> [9]	40
2.4.5.	Failure Analysis of a Car Suspension System Ball Joint [32]	41
2.4.6.	Design of a Tribological Ball Joint Tester [33]	42
3.	METODOLOGIA	45
3.1.	SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS	45
3.2.	Programação	52
3.3.	Verificação da fiabilidade do sistema	57
3.4.	Banco de suspensão / Placas detetoras de folgas	61

3.5. Montagem	62
3.6. Resultados	63
3.6.1. Primeiro teste	64
3.6.2. Validação e sistematização do teste	71
3.6.3. Comparação de teste ok_ok com ok_danificado	72
3.6.4. Importância da colocação dos acelerômetros	74
3.6.5. Teste em placa detetora de folgas	75
3.6.6. Teste com aumento de desgaste implementado	77
3.6.7. Outros testes	79
4. DISCUSSÃO DE RESULTADOS	81
4.1. Determinação do estado da rótula	81
4.2. Importância da colocação dos acelerômetros	82
4.3. Teste em banco de suspensão e placa detetora de folga	83
4.4. Comparação de resultados	83
5. CONCLUSÕES	85
BIBLIOGRAFIA	87
ANEXOS	91
GLOSSÁRIO	93

1. Introdução

“O conceito de segurança rodoviária prende-se portanto com a prevenção de acidentes de viação com o objetivo de proteger a vida das pessoas.

A segurança rodoviária pode dividir-se em primária (ou ativa), secundária (ou passiva) e terciária. A segurança primária é a assistência com que pode contar o condutor para evitar possíveis acidentes (...). A segurança secundária procura minimizar as consequências de um acidente no momento em que este ocorre (...). Por fim, a segurança terciária tem o intuito de minimizar as consequências depois de ocorrer o acidente (...).” [1]

“2011-2020 - Década da Ação para a Segurança Rodoviária

Proclamada pela Assembleia-Geral das Nações Unidas.

No dia 2 de Março, a Assembleia Mundial das Nações Unidas tomou a decisão histórica de, nos próximos dez anos, reforçar a ação dirigida à promoção da segurança rodoviária, com o objetivo de reduzir o número de vítimas mortais de acidentes de viação, apelando ao aumentando das atividades a nível nacional, regional e mundial.

(...)

O Plano de Ação da Década incentiva os Estados-Membros a um maior investimento na elaboração e aplicação de legislação em áreas relacionadas com os principais fatores de risco dos acidentes, tais como:

- Limites de velocidade;
- Redução da taxa de consumo de bebidas alcoólicas;
- Aumento da utilização de cinto de segurança e dos sistemas de retenção de crianças, apropriados;
- Utilização de capacetes.

Outras áreas, como a educação para a segurança, a melhoria da qualidade dos cuidados de emergência, a gestão adequada da infraestrutura rodoviária e a melhoria da segurança dos veículos e do ambiente rodoviário deverão ter prioridade nas ações a desenvolver por todos os países. “ [2]

“O controlo das condições técnicas dos veículos é um imperativo nacional e comunitário, que tem por objetivo a melhoria das condições de circulação dos veículos, através da verificação periódica das suas características e das suas condições de segurança, com particular importância para a salvaguarda da segurança rodoviária.” [3]

Com este projeto pretende-se criar um teste que permita aumentar o rigor das verificações realizadas no que diz respeito à análise de desgaste de alguns componentes do veículo automóvel e desta forma contribuir para o aumento da segurança rodoviária.

Mesmo que na realidade a percentagem de vítimas em acidentes por falhas mecânicas seja baixa como se verifica pela análise da tabela seguinte, até que se atinja o valor zero há sempre algo a fazer.

Tabela 1 - Condutores vítimas por falha mecânica [4]

	Mortos	Graves	Ligeiros	Total (%)	Total Vítimas
2007	2	2	142	146 (0,53)	27347
2008	0	6	95	101 (0,39)	26137
2009	1	9	99	109 (0,39)	27738
2010	1	4	104	109 (0,39)	27994
2011	2	5	97	104 (0,41)	25582
2012	1	5	139	145 (0,62)	23545
2013	0	4	113	118 (0,49)	23860
2014	3	6	59	68 (0,28)	24298

“Os condutores adaptam a sua condução à progressiva deterioração dos órgãos da suspensão e à falta de aderência que isso origina. Muitas vezes nem se apercebem, que estão a conduzir um veículo com os amortecedores em más condições.

Os componentes da suspensão gastos ou incorretamente instalados diminuem a segurança do automóvel. O diagnóstico destas situações é imprescindível para uma maior segurança Rodoviária. O profissional deve alertar os condutores para as causas que este tipo de avarias pode afectar na segurança do veículo. Pelo que ao lidarem com um órgão de extrema importância, tenham em atenção à importância destes elementos na elaboração dos diagnósticos e reparação dos sistemas de suspensão.” [5]

1.1. Contextualização

O interesse em desenvolver uma ferramenta que permita realizar testes quantitativos mas de forma expedita na análise do desgaste/folgas de componentes de um veículo automóvel de forma a avaliar o seu estado com rigor é o mote deste trabalho.

Atualmente no processo inspetivo e, usualmente, no de manutenção automóvel a análise de componentes como rótulas ou casquilhos é feita, na maioria das vezes, de forma visual estando desta forma o resultado dessa análise dependente sempre da opinião do observador.

O método e a ferramenta que se pretendem alcançar para a realização dos testes terão que ser de fácil aplicação e interpretação para que, tanto no âmbito da manutenção como da inspeção automóvel, não se tornem demasiado demorosos e dispendiosos.

Para restringir e direcionar a obtenção de dados e a sua análise vai-se optar pela realização de testes apenas em rótulas de suspensão. Pretende-se tentar encontrar um padrão nos testes realizados e comparar com a análise visual das rótulas para que seja possível validar os testes e posteriormente tentar perceber qual a possibilidade de se alargar o teste a outros componentes.

Os valores obtidos serão apresentados em curvas de transmissibilidade: relação entre as acelerações obtidas em cada um dos acelerómetros.

1.2. Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é a criação de um teste quantitativo para a análise de desgaste/folgas em rótulas de suspensão em veículos automóveis.

Todo o desenvolvimento e elaboração da ferramenta faz parte do processo de criação do teste. Dividindo o objetivo principal em partes sequenciais tem-se:

- Análise dos diferentes tipos de suspensão e seleção do componente a ser analisado;
- Estudo teórico do princípio da transmissibilidade;

- Conhecimento de testes realizados a rótulas de suspensão;
- Programação para aquisição de sinal dos acelerómetros e gravação dos testes;
- Montagem dos componentes;
- Programação para tratamento de dados;
- Realização de testes práticos;
- Análise dos testes realizados.

1.3. Organização do Relatório

O relatório do projeto é organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo é dedicado à introdução. Este capítulo divide-se em três tópicos principais: é feita uma contextualização do tema, são definidos os objetivos do trabalho e sistematizada a organização do relatório.

O segundo capítulo é dedicado à revisão da literatura. Durante este capítulo são abordados quatro temas: é feita uma abordagem aos diferentes tipos de suspensão e seus elementos, é introduzido o tema de vibrações e transmissibilidade, são apresentados e analisados estudos em que é utilizado o conceito de transmissibilidade e apresentados testes que se aplicam a rótulas de suspensão.

No terceiro capítulo é descrita a metodologia utilizada para a elaboração do projeto. Durante este capítulo são descritas e abordadas as etapas que se realizaram para a obtenção do sistema de aquisição de dados, a programação necessária, são descritos o banco de suspensão e as placas detetoras de folgas (elementos de excitação para obtenção de dados), é caracterizada a montagem do sistema de aquisição de dados e são apresentados os resultados.

Durante o quarto capítulo são discutidos e analisados os resultados obtidos. Esta análise é dividida em quatro tópicos diferentes: determinação do estado da rótula, importância da colocação dos acelerómetros, possibilidade de obter testes em banco de suspensão e placa detetora de folgas e é feita a comparação de resultados.

O último capítulo é dedicado à conclusão do relatório. São sugeridas ainda possíveis melhorias ao projeto.

2. Revisão da Literatura

Neste capítulo é feita uma descrição dos vários tipos de suspensão e seus elementos para justificar a escolha do componente onde se pretende realizar os testes. São abordados estudos onde o conceito de transmissibilidade é sistematizado e ainda são analisados estudos onde o conceito de transmissibilidade é utilizado na resolução de diferentes problemáticas. Por fim são dados exemplos de métodos onde o objetivo é a verificação do estado de rótulas de suspensão.

2.1. Tipos de Suspensão e Seus Elementos

“Se o pavimento das faixas de rodagem oferecesse perfeitas condições de rolamento, os automóveis não necessitariam de um sistema complexo de suspensão para proporcionar conforto aos seus ocupantes.

Um bom sistema de suspensão deve incluir molejamento e amortecimento. O primeiro consiste na resistência elástica a uma carga e o segundo na capacidade de absorver parte da energia de uma mola após esta ter sido comprimida. Se esta energia não for absorvida, a mola ultrapassará bastante a sua posição original e continuará a oscilar para cima e para baixo até que essas oscilações cessem.

O amortecimento converte a energia mecânica em energia calorífica. Para reduzir o ruído e aumentar a suavidade, as molas são montadas sobre borracha. O sistema de suspensão inclui ainda o almofadado dos assentos, que também protege contra as vibrações.” [6]

“As suspensões são os órgãos de ligação entre o chassi, ou a carroçaria monobloco, e as rodas. O seu nome deriva do facto de que elas mantêm o chassi ou a carroçaria suspensos sobre as rodas.

Como os pneus por si sós não bastam para absorver completamente os choques provocados pelas asperezas da estrada é necessário que a suspensão seja elástica. As suspensões são, portanto, constituídas por uma cinética que compreende um órgão elástico interposto entre as rodas e o chassi ou a carroçaria monobloco.

Deste modo os movimentos impostos às rodas pelo andamento da superfície da estrada não se transferem diretamente ao chassi e não se transformam em energia de deformação do

elemento elástico. Este elemento normalmente constituído por molas de hélice ou semielípticas pode também ser constituído por barras de torção, gás comprimido e blocos de borracha.

Um molejar adequado do veículo torna-se necessário não apenas para assegurar o melhor conforto de marcha, mas também para a boa conservação do veículo. Com efeito, se as suspensões forem demasiado rígidas, as asperezas da estrada produzem vibrações desconfortáveis para os passageiros e prejudiciais para todos os órgãos do veículo e, em particular, para a carroçaria.” [7]

“A vehicle exists to carry someone or something from one place to another. Implicit in that statement is that in doing so there shall be as little disturbance as possible of who or what is being carried. If the load is inanimate, the less disturbance the less in the way of special packing will be necessary. If animate, then the better the condition after the journey, the longer the journey can be without fatigue. In the case of driver of the vehicle, the less the fatigue, the greater the levels of concentration that can be maintained and safer driver’s performance, especially towards the end of the journey.

The basic need for a suspension system in a vehicle is not entirely caused by human susceptibility to the discomforts of vibration, although isolation from road-induced disturbances is certainly a highly desirable design aim. Maintaining contact between the wheels and the road surface is far more fundamental, as the control and stability of the vehicle relies upon in totally. To add isolation and insulation in the simplest way they could devise, early coachmakers developed the simple leaf spring, preformed to the shape of a semi-ellipse and rolled at the ends to provide easy and flexible attachments.” [8]

“A suspension system has several important functions:

- Supports the weight of the frame, body, engine, transmission, drive train, and passengers.*
- Provides a smooth, comfortable ride by allowing the wheels and tires to move up and down with minimum movement of the vehicle body.*
- Allows rapid cornering without extreme body roll (vehicle leans to one side).*
- Keeps the tires in firm contact with the road, even after striking bumps or holes in the road.*

- *Prevents excessive body squat (body tilts down in rear) when accelerating or heavily loaded.*
- *Prevents excessive body dive (body tilts down in front) when braking.*
- *Allows the front wheels to turn from side-to-side for steering.*
- *Works with the steering system to help keep the wheels in correct alignment.*

As you will learn, a suspension system uses springs, swivel joints, dampening devices, movable arms and other components to accomplish these functions.” [9]

Num veículo a suspensão desempenha um papel fundamental tanto a nível de segurança como de conforto.

É a suspensão que efetua a ligação entre massas suspensas e não suspensas do veículo. A sua geometria permite diferentes deslocamentos verticais nas rodas e as suas características como a rigidez e o amortecimento atenuam as vibrações criadas pelo contacto dos pneus com o solo.

Dependendo do tipo de suspensão utilizado em cada veículo é importante perceber a forma como os seus componentes estão interligados para se conseguir realizar uma correta avaliação do seu estado.

Em seguida são descritos os diferentes tipos de suspensão utilizados nos veículos de forma a conhecer os seus constituintes e perceber a sua colocação no veículo. Desta análise determinou-se que os testes seriam realizados em rótulas de suspensão.

2.1.1. Eixo Rígido

O sistema de suspensão do tipo eixo rígido é maioritariamente utilizado no eixo traseiro. Mas mesmo nos poucos exemplos em que se encontra a equipar o eixo dianteiro não são identificadas rótulas de suspensão como componente integrante. Do ponto de vista da realização deste projeto não vai ser alvo de testes.

“Vantagens:

A característica peculiar é a extrema simplicidade. Na maior parte dos casos, quando se utilizam as molas semielípticas, toda a suspensão de um eixo é constituída só pelo eixo e pelos dois feixes de molas semielípticas, que têm a função de representarem o elemento elástico e a de união cinemática ao chassi. Além disso, esta suspensão permite que o pneu se mantenha com uma inclinação fixa em relação ao solo, seja qual for a inclinação transversal ou longitudinal do veículo.

Desvantagens:

O peso do eixo e das molas é um peso inteiramente não molejado e, além disso, é relevante visto que o eixo deve ser suficientemente rígido para resistir às solicitações devidas ao peso do veículo e às cargas longitudinais e transversais que se verificam quando se trava, em aceleração e quando se curva, sem se deformar de maneira apreciável.

Com o sistema clássico de eixos ou de ponte posterior rígida, o ressaltar de uma roda, ao provocar o ressaltar de toda a ponte ou do eixo, faz perder a aderência com a estrada à outra roda: nestas condições se o veículo estiver a curvar, podem verificar-se inclinações perigosas; se o veículo estiver a marchar a direito, produzem-se ressaltos das rodas no plano da estrada, o que contraria a comodidade da condução.” [7]

A configuração de uma suspensão utilizando um eixo rígido é uma opção ainda utilizada em carros de baixa gama pelo seu custo mais reduzido e por ser bastante resistente.

Em termos de funcionalidade os movimentos de uma roda influenciam a outra afetando assim o comportamento do veículo em estrada.

2.1.1.1. Ponte rígida

Como variante do tipo de suspensão de eixo rígido é apresentado o sistema de suspensão de ponte rígida.

“É utilizada nos veículos de esquema clássico, motor anterior e tração posterior em que não se exigem características de condução e de comodidade muito elevadas, isto é, camiões e automóveis de classe média não desportivos.

Neste caso o eixo incorpora o diferencial e os semieixos e está ligado à carroçaria diretamente pelas molas semielípticas ou por alguns dispositivos simples destinados a suportarem os binários e as cargas de aceleração e de travagem e as cargas laterais quando se curva.” [7]

A figura seguinte é exemplo da configuração do tipo de suspensão ponte rígida.

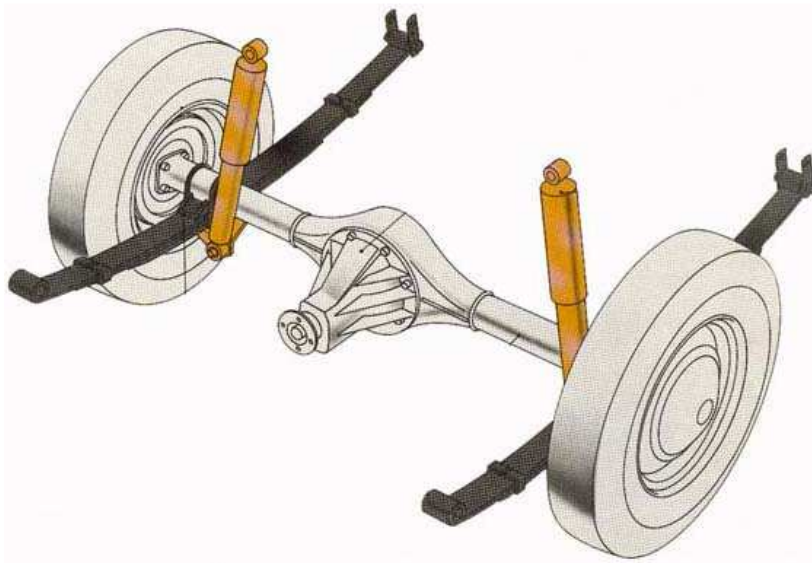


Figura 1 - Suspensão do tipo Ponte Rígida [10]

2.1.1.2. Ponte de Dion

Outra variante do tipo de suspensão de eixo rígido é a configuração denominada de ponte de Dion.

“Com este tipo de suspensão procura-se reduzir ao mínimo o peso das massas não suspensas conservando as vantagens do eixo rígido. Com efeito, o grupo do diferencial que por vezes incorpora também os travões está fixado à carroçaria. O eixo é assim constituído por pontes, para poder reagir às cargas longitudinais e por um sistema de hastes rígidas para as cargas transversais.” [7]

O tipo de suspensão ponte de Dion pode ser caracterizada como se mostra na figura a baixo.

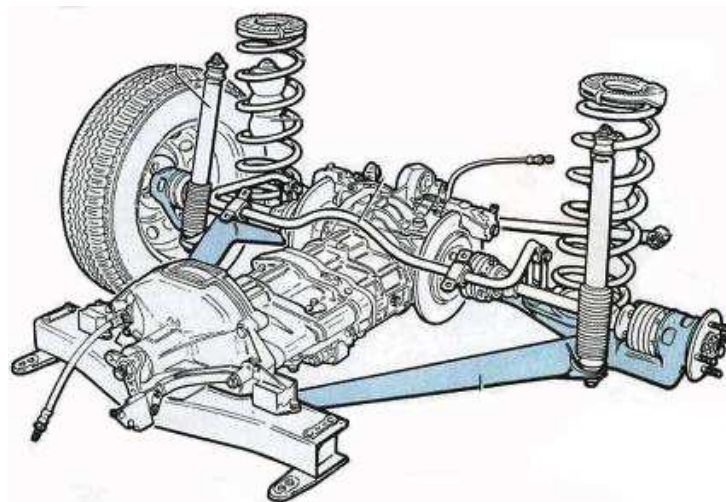


Figura 2- Suspensão do tipo Ponte de Dion [11]

2.1.2. Suspensão Independente

Este tipo de suspensão é mais usual no eixo dianteiro. Este sistema permite que cada roda tenha o seu movimento independente da outra. Desta forma as diferentes oscilações (movimentos e vibrações) transmitidas pelas irregularidades do piso são tratadas de forma individual, ajudando na manutenção do conforto e segurança da condução.

“Vantagens

A principal característica das suspensões de rodas independentes é a de permitir o movimento de uma das rodas de um mesmo eixo, de modo completamente independente ao da outra. Além disso, o peso não molejado é francamente mais baixo do que no caso do eixo rígido e pode ser reduzido quase exclusivamente ao da roda e dos órgãos ligados à roda como o travão, o eixo da roda e a direção. Os órgãos de ligação à carroçaria, como os braços, triângulos, pontes e tirantes, além da mola e amortecedor, devem considerar-se parcialmente como peso molejado.

Desvantagens

As rodas estão ligadas à carroçaria por uma cinemática complexa que provoca durante os ressaltos uma variação dos ângulos característicos das rodas em face da natureza do solo. Além disso, a presença de uniões e articulações causa desgastes e cedências que obrigam a controlos periódicos e ajustes da exata posição da roda.” [7]

A ligação dos componentes é feita por casquilhos e rótulas possibilitando assim uma análise de desgaste nesses componentes.

2.1.2.1. Suspensão MacPherson

Uma das variantes dentro do tipo de suspensões independentes é o tipo MacPherson.

“Utilizada indiferentemente para suspensões anteriores ou posteriores, deriva da suspensão com triângulos substituindo o triângulo superior por um dispositivo de deslizamento linear, geralmente constituído pelo amortecedor, que se emprega também como sede da mola helicoidal. A sua grande difusão atual deriva, com efeito, da possibilidade de poder incorporar num só órgão um braço de suspensão, o amortecedor e a sede da mola, com as vantagens de um custo reduzido, menor peso e volume.” [7]

O sistema de suspensão MacPherson é um sistema simples que utiliza uma mola, um amortecedor e um braço de suspensão inferior. A rótula de suspensão que liga o braço à

manga de eixo é um bom ponto para a realização de testes para este projeto como se pode verificar na figura seguinte.



Figura 3- Suspensão do tipo Mac Pherson [12]

2.1.2.2. Triângulos Sobrepostos

Outra variante de tipos de suspensões independentes é a configuração de triângulos sobrepostos.

“É geralmente utilizada para as rodas da frente. Consiste em dois braços em forma de triângulo, dispostos horizontalmente com a base ligada à carroçaria e o vértice oposto à direção.

Quando se utiliza sobre as rodas traseiras deve acrescentar-se o tirante de direção, ou um ou ambos os triângulos transformam-se em quadrados rígidos.” [7]

Trata-se de um sistema mais robusto que utiliza mais componentes. Permite uma maior afinação no alinhamento dos ângulos de direção dando ao condutor um maior controlo e estabilidade do veículo.

Normalmente cada um dos braços é ligado à manga de eixo por uma rótula de suspensão. Pela figura ilustrativa percebe-se que podem representar pontos de interesse no estudo realizado.

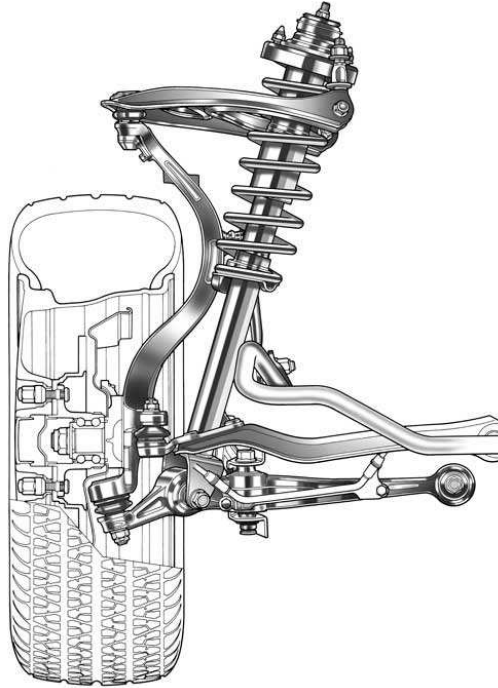


Figura 4 - Suspensão do tipo Triângulos Sobrepostos [13]

2.1.2.3. Multilink

É um sistema de suspensão que utiliza vários braços separados para manter a posição do eixo. Esta configuração permite uma maior liberdade de movimento e também de afinação dos ângulos de direção. Este sistema tanto é utilizado no eixo dianteiro como no traseiro.

As diferentes ligações entre os componentes são realizadas por casquilhos e rótulas existindo desta forma alguns pontos relevantes para o atual estudo como se verifica na figura seguinte.

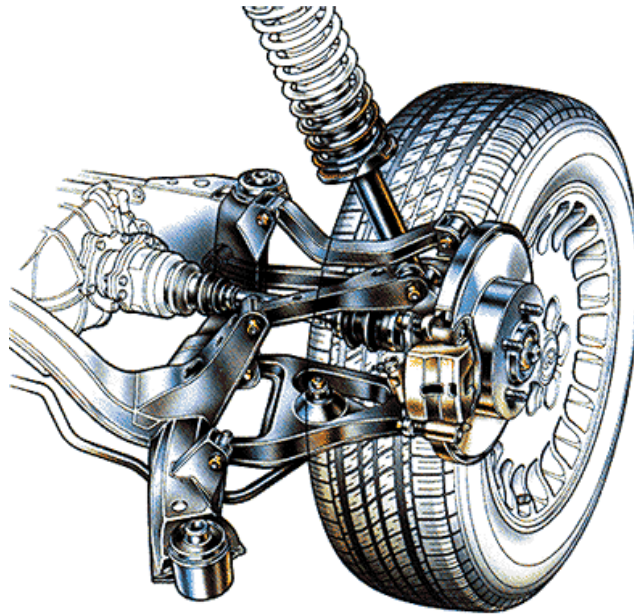


Figura 5 - Suspensão do tipo Multilink [14]

2.1.3. Rótula de suspensão

Nesta secção é, de forma resumida, descrita a constituição de uma rótula de suspensão. Também são apresentados os danos mais frequentemente encontrados.

Na parte central, a rótula é constituída por um perno de cabeça esférica que se estende para o cone. A esfera é envolvida por um invólucro metálico. Normalmente existe entre a esfera e o invólucro material de baixo coeficiente de atrito que permite minimizar o desgaste da esfera e diminuir o ruído provocado pelo movimento. Para realizar esta função existem ainda algumas rótulas que são lubrificadas. A imagem da rótula em corte ajuda na compreensão do que foi descrito anteriormente.

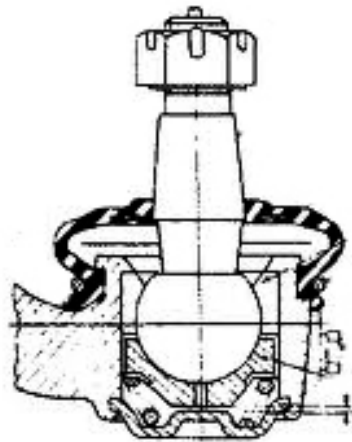


Figura 6 - Rótula de suspensão [15]

Os danos em rótulas aparecem por diferentes causas: quebra do cone por fadiga, empeno causado por embate, desgaste da rótula criando assim folga entre a esfera e o invólucro ou ainda apresentarem deformações ou quebras por defeitos de fabrico.

2.2. Vibrações e Transmissibilidade

O desenvolvimento da ferramenta que irá permitir realizar a medição do desgaste das rótulas de suspensão neste projeto é feito com base no princípio da transmissibilidade. Estando o componente a vibrar são registados os valores de aceleração em dois pontos. O valor de desgaste é quantificado a partir da razão entre os valores lidos em cada acelerómetro.

2.2.1. Transmissibilidade [16]; [17]

De forma geral, a transmissibilidade de vibrações ou ruído é encarada como um problema. Pretende-se, na maioria das vezes que as forças ou movimentos gerados por um objeto não sejam transmitidos a outros objetos próximos.

Com isto pretende-se diminuir os problemas de fadiga, por exemplo, ou num automóvel garantir o conforto dos ocupantes.

A transmissibilidade pode ser determinada pela razão entre uma grandeza transmitida e uma grandeza desenvolvida ou existente (forças, movimentos).

Considerando a transmissibilidade de forças.

As forças são transmitidas através de uma mola de rigidez k e de um amortecedor com amortecimento c , como se representa em esquema na figura seguinte.

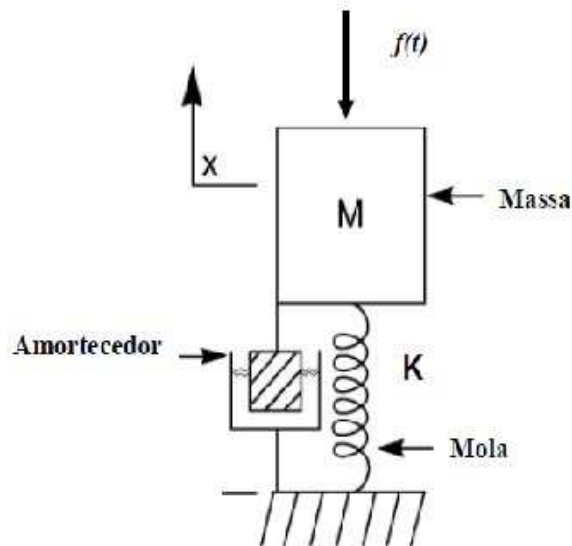


Figura 7- Esquema do sistema mola amortecedor [18]

Da resolução matemática do sistema obtém-se a equação 1 que permite calcular o valor da transmissibilidade.

$$TR = \frac{F_{tr}}{F_{ap}} = \sqrt{\frac{1+(2\xi\beta)^2}{(1-\beta^2)^2+(2\xi\beta)^2}} \quad (1)$$

No gráfico seguinte consegue-se perceber a evolução da transmissibilidade quando aplicados valores diferentes na frequência de excitação sendo apresentados vários exemplos para diferentes valores de coeficiente de amortecimento.

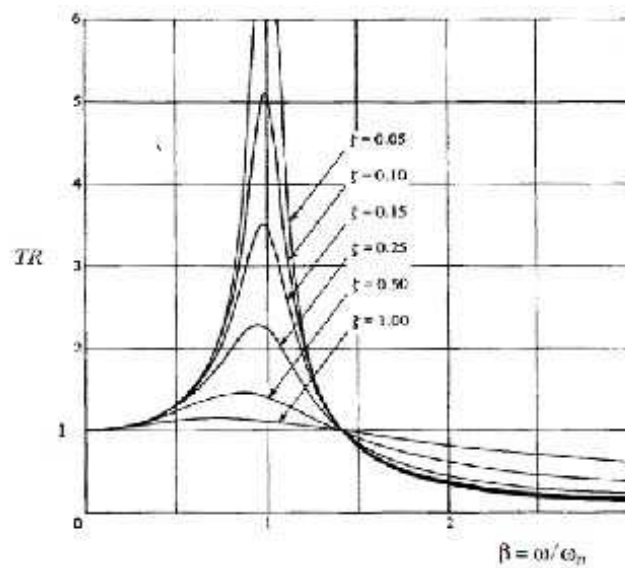


Figura 8 - Evolução do valor da transmissibilidade em função da frequência [18]

Para que se tenha um bom isolamento, o valor da frequência natural (ω_n) como o do amortecimento deverão ser baixos.

Considerando a transmissibilidade de movimento.

O cálculo da transmissibilidade do movimento é dado pela razão entre a amplitude do movimento do sistema e a amplitude do movimento da base.

Desta forma, percebe-se que a transmissibilidade de movimento tem uma evolução similar à transmissibilidade de forças.

2.2.2. Análise da Transmissibilidade na Suspensão de um Automóvel [19]

Neste subcapítulo pretende-se demonstrar a evolução da transmissibilidade na suspensão de um automóvel analisando a sua evolução em diferentes gamas de frequência e onde estas têm maior influência.

Para esta análise parte-se de um modelo de quarto de carro e são utilizadas duas gamas de frequência:

- Baixas frequências (1 a 2 Hz), normalmente associadas à ressonância das massas suspensas;
- Altas frequências (10 a 11 Hz), normalmente associadas à ressonância das massas não suspensas.

As características, parâmetros e valores das molas e amortecedores são escolhidos e alterados de forma a poder comparar diferentes cenários e assim verificar que compromissos se podem fazer para se obter um bom desempenho na maioria das condições.

Esta análise é evidenciada nos gráficos seguintes.

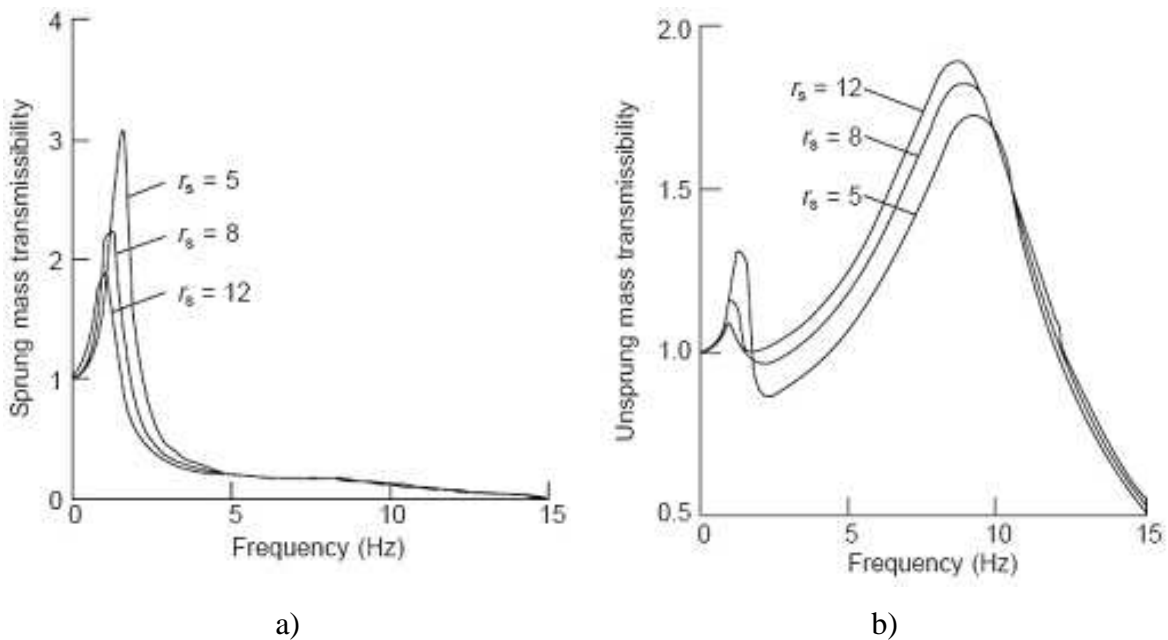


Figura 9 - Efeito r_s na transmissibilidade em: a) massas não suspensas, b) massas suspensas [19]

$$r_s = k_t/k_s$$

Em testes de estrada verifica-se que ao conduzir a menor velocidade os valores de transmissibilidade mais baixos são obtidos com a suspensão de menor rigidez.

Um bom comportamento em estrada exige uma suspensão mais rígida.

O efeito do amortecimento da suspensão na transmissibilidade é evidenciado na figura seguinte.

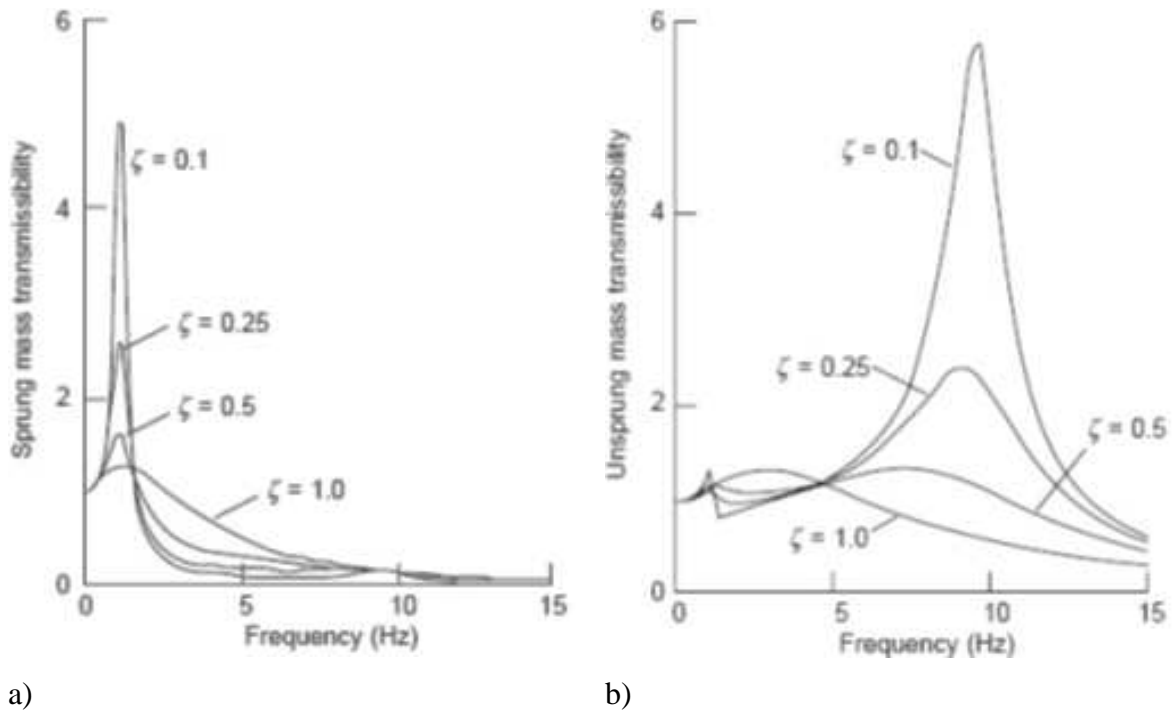


Figura 10 - Efeito ζ na transmissibilidade em: a) massas suspensas, b) massas não suspensas [19]

O controlo da ressonância nas massas suspensas exige elevados níveis de amortecimento, mas resulta num mau isolamento em frequências intermédias

O desempenho das massas não suspensas também requer um elevado nível de amortecimento, mas penaliza a gama de frequências intermédias

2.3. Estudos em que é Utilizado o Conceito de Transmissibilidade

Durante este capítulo será aprofundado o conceito de transmissibilidade e apresentada uma pesquisa para se perceber como este conceito tem sido aplicado em diferentes testes no automóvel.

2.3.1. *Determination Of Vibration*

Transmissibility Of The Suspension Mechanism In The Structure Of Car Area Stability [20]

Com a realização deste estudo Helene Suster Badarau da Universidade de Pitesti (Roménia) faz uma análise à forma como o conforto e estabilidade de um veículo é alterada por diferentes tipos de piso e diferentes condições atmosféricas.

Para isso são utilizados modelos analíticos de análise. Com o modelo do carro de dois graus de liberdade são alterados os valores de amortecimento do amortecedor, rigidez da mola, amortecimento do pneu e rigidez do pneu e elaborados gráficos correspondentes a cada uma das alterações. Uma das curvas é representada na figura seguinte.

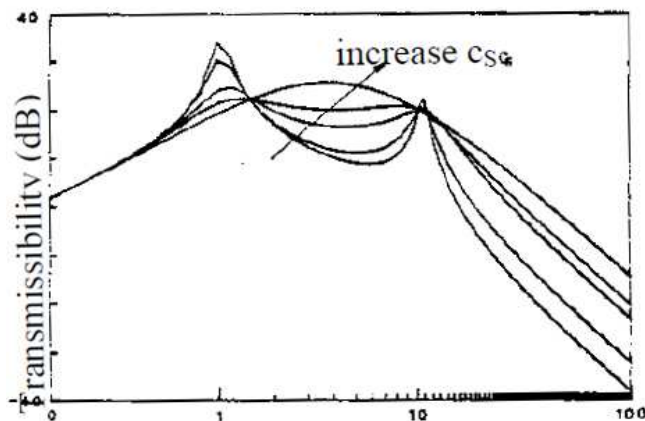


Figura 11 - Variação do valor de transmissibilidade com aumento de amortecimento do amortecedor

Para a simulação da área de conforto é utilizado um modelo dinâmico do carro completo com sete graus de liberdade. É elaborado um gráfico tridimensional com os valores de transmissibilidade em função da aceleração vertical, apresentado em seguida.

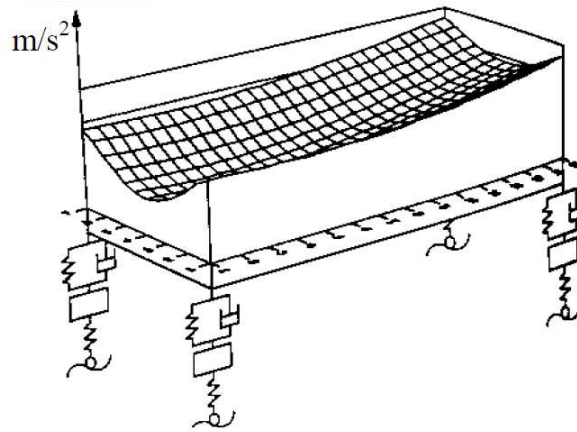


Figura 12 - Transmissibilidade em função da aceleração vertical

Como conclusão, da análise dos resultados obtidos para se alcançar uma situação de conforto ideal seria necessária a utilização de uma suspensão ativa no veículo.

2.3.2. Sensing methodologies to determine automotive damper condition under vehicle normal operation [21]

Neste artigo Carlos Ferreira, Paulo Ventura, Raul Morais, António L.G. Valente, Carlos Neves e Manuel C. Reis pretendem com o estudo realizado desenvolver um método para avaliação do estado dos amortecedores.

No artigo são sugeridos dois métodos experimentais distintos para controlar a eficiência dos amortecedores num sistema de suspensão. Inicialmente é feita a simulação analítica dos métodos. Depois de validados são implementados em diferentes veículos onde se realizam vários testes de estrada com amortecedores em diferentes estados.

“Métodos de avaliação”

O primeiro método proposto assenta numa análise do sistema de suspensão.

São registados valores em dois pontos exteriores do amortecedor: um ponto fixo no topo e um móvel a meio. Relacionando os valores obtidos nos dois pontos consegue-se fazer uma análise de transmissibilidade do sistema e inferir relativamente ao estado da suspensão.

Na segunda proposta a análise é feita ao amortecedor. São registados valores diretamente do interior da câmara de pressão do amortecedor. Através dos valores obtidos relacionados com a aceleração registada na roda é feita uma análise de transmissibilidade deste sistema. Fatores como a carga do veículo, temperatura do óleo e pressão no interior do amortecedor são tidos em conta para análise do seu desgaste.

São simulados em Matlab Simulink vários cenários:

- verificação do efeito da carga na transmissibilidade entre massas suspensas e não suspensas;
- verificação do efeito da constante de rigidez da mola na transmissibilidade;
- verificação do estado do amortecedor na transmissibilidade

“Resultados experimentais”

A realização de testes com amortecedores em condições conhecidas (novos, médio uso ou danificados) permitiu através da análise da transmissibilidade reconhecer um padrão de valores e validar desta forma os testes.

Testes realizados em estrada com três veículos diferentes e com utilização de amortecedores em diferentes condições.

No interior do amortecedor são colocados sensores em pontos opostos para medir a pressão, temperatura e aceleração.

Testes de estrada em que é verificada a transmissibilidade entre as acelerações sentidas nos dois pontos onde são colocados os sensores para amortecedores em diferentes estados.

Da análise dos valores obtidos é verificado o efeito da carga na transmissibilidade, o efeito do estado dos amortecedores, da pressão dos pneus e da temperatura do óleo do amortecedor.

Conclusões

As metodologias utilizadas permitem identificar o estado dos amortecedores.

O processo de instalação dos sensores não é difícil.

Este tipo de aquisição de sinais vai permitir o aumento do controlo das condições do amortecedor por parte do condutor.

2.3.3. Sensitivity Analysis For Reducing Critical Responses At The Axle Shaft Of A Lightweight Vehicle [22]

Neste estudo C. -J. Kim, Y. J. Kang, B. -H. Lee e H. -J. Ahn abordam o problema da ressonância num eixo com barra de torção acoplada.

É pretendido abordar a problemática através de uma análise sensitiva baseada em valores de transmissibilidade.

São colocados acelerómetros no sistema de travagem e no eixo como demonstra a figura. Os valores adquiridos vão ser comparados e através de uma análise de transmissibilidade é pretendido perceber em que quantidade cada componente contribui para a ressonância do eixo, quais as frequências mais críticas e se é possível realizar alguma alteração no material ou forma do componente com a contribuição mais significativa.



Figura 13 - Aplicação dos diferentes sensores no veículo

Para recolha de dados são aplicados no veículo:

- acelerómetros: pinça de travão, eixo traseiro e apoio do eixo;
- sonómetro: roda traseira esquerda;
- velocímetro: traseira do veículo.

São realizados testes em diferentes condições:

- velocidades diferentes: 10 km/h, 20 km/h, 30 km/h;
- diferentes direções de deslocamento: para a frente e para trás;
- diferentes tipos de travagem: sem travagem, travagem lenta e travagem de emergência.

Os resultados são analisados para determinar qual o componente que contribui, na gama de frequências de maior influência, com a maior quantidade de vibração.

Atendendo a um compromisso entre custo de alteração e resultados obtidos é escolhido o componente a alterar e é realizada uma simulação da modificação do componente com análise analítica do modelo proposto.

Identificados os componentes: apoio do eixo e braço do eixo

A modificação do componente escolhido permite a redução do ruído provocado

2.3.4. Laboratory Investigation of Seat Suspension Performance Vibration Testing [23]

Com este projeto Alan G. Mayton, Joseph P. DuCarme, Christopher C. Jobes e Timothy J. Matty pretendem analisar em laboratório diferentes tipos de assentos de veículos.

Vão ser realizados testes em que os diferentes assentos são sujeitos a vibrações verticais e analisados os resultados. São medidas as acelerações provocadas pelo banco de ensaio e as que são sentidas nos assentos. A partir da razão entre os valores obtidos é determinada a transmissibilidade do respetivo assento.

Com este estudo pretende-se perceber o efeito das vibrações transmitidas pelo assento ao corpo e encontrar uma solução que permita atenuar esse efeito com aplicação de uma suspensão no assento.

Os ensaios são realizados colocando o assento num sistema hidráulico capaz de produzir oscilações com diferentes acelerações e frequências. São aplicados dois acelerómetros: um na estrutura rígida outro no centro do assento como é evidenciado na figura.

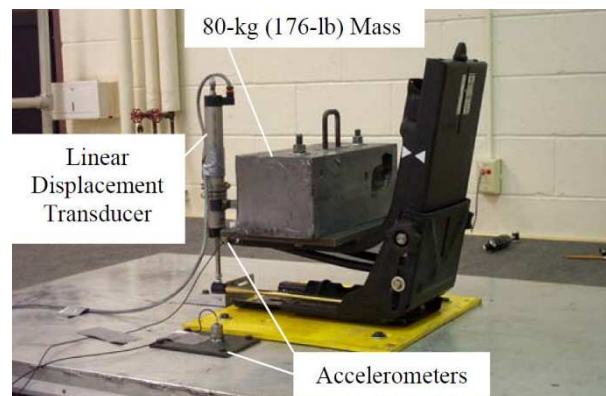


Figura 14 - Montagem para realização de testes práticos

São realizados testes utilizando diferentes configurações de suspensões aplicadas aos assentos:

- #1: duas molas lineares montadas na vertical em paralelo com um amortecedor
- #2: esquema idêntico ao #1 com diferença do peso ajustável
- #3: mola pneumática e um amortecedor normal
- #4: mola espiral e um amortecedor
- #5: Rheonetic design mais #4
- #6: Rheonetic design mais #3

Os resultados são obtidos em curvas de transmissibilidade como está demonstrado na figura.

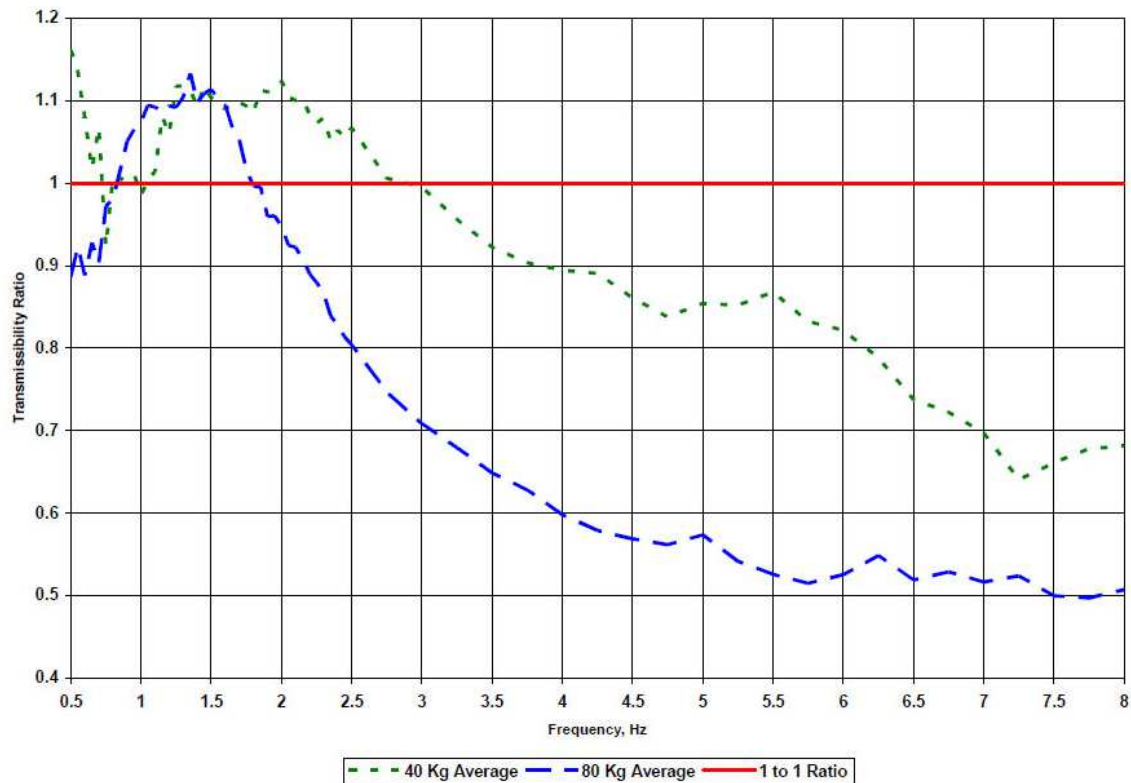


Figura 15 - Resultados obtidos

Com a realização dos ensaios são detetadas as gamas de frequência em que as vibrações transmitidas aos assentos são amplificadas.

Os resultados obtidos sugerem que a aplicação da tecnologia Rheonetic melhora o isolamento das vibrações transmitidas.

2.3.5. *Vibration Analysis of an Engine Mount [24]*

Com a elaboração deste trabalho Fernando M. D. Ramos pretende verificar a transmissibilidade em diferentes tipos de apoios de motor e realizar a modelação de um apoio que permita diminuir as vibrações provocados pelo motor que são transmitidas ao chassis e caixa de velocidades.

São realizados testes práticos para determinar as características dos apoios estudados de forma a conseguir projetar um modelo analítico o mais próximo do real possível. São

realizados testes práticos para determinar as características do material de forma a conseguir fazer uma modelação tal como é demonstrada na figura seguinte.

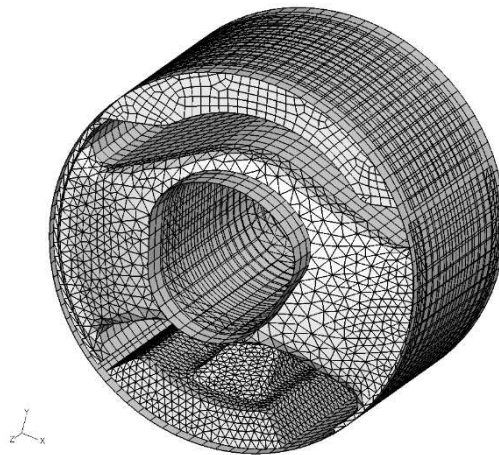


Figura 16 - Modelo de elementos finitos do apoio

São determinadas as frequências de vibração a que o apoio está sujeito consoante o regime de rotação do veículo.

Depois de encontradas diferentes soluções são elaboradas curvas de transmissibilidade para perceber qual a melhor solução a adotar.

Dos testes realizados os resultados são apresentados na figura seguinte.

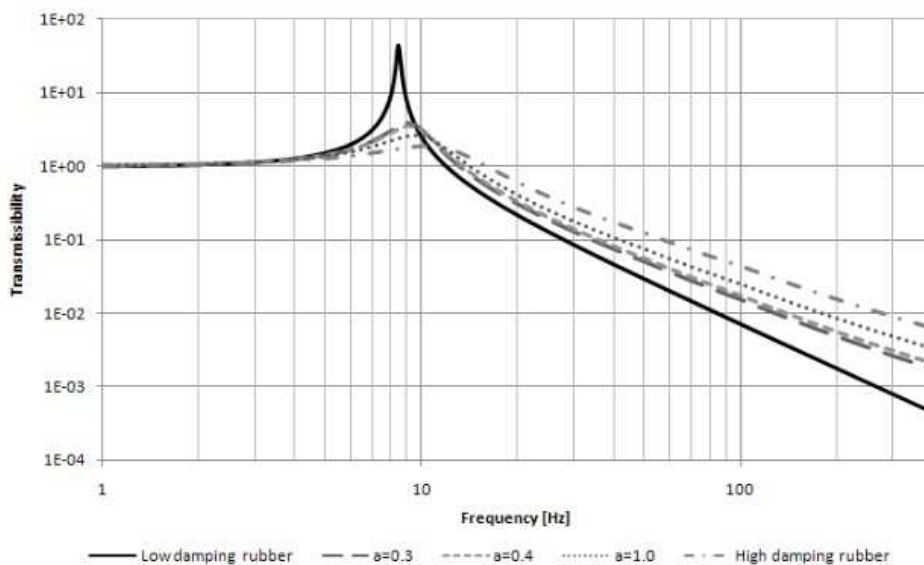


Figura 17 – Curvas de transmissibilidade obtidas

A resposta encontrada para limitar a transmissibilidade não é compatível com o suporte das solicitações provocadas pelo motor. Uma solução intermédia seria conceber um apoio construído com dois tipos de borracha em paralelo.

2.3.6. Study Concerning the Influence of the Engine Mounting System on the Vibration Transmissibility to the Truck Cab [25]

Com este estudo Cornelia Stan, Daniel Iozsa e Razvan Oprea pretendem avaliar a influência dos apoios do motor no isolamento das vibrações transmitidas à cabine do veículo pelo motor.

É elaborado um modelo analítico e validado através de ensaios práticos em estrutura real similar ao modelo desenvolvido. Para o cálculo das transmissibilidades são colocados acelerómetros na estrutura do veículo nos mesmos pontos em que são determinadas as acelerações no modelo analítico.

Verificada a transmissibilidade variando as características nos apoios em processo analítico. Os resultados são apresentados na figura seguinte.

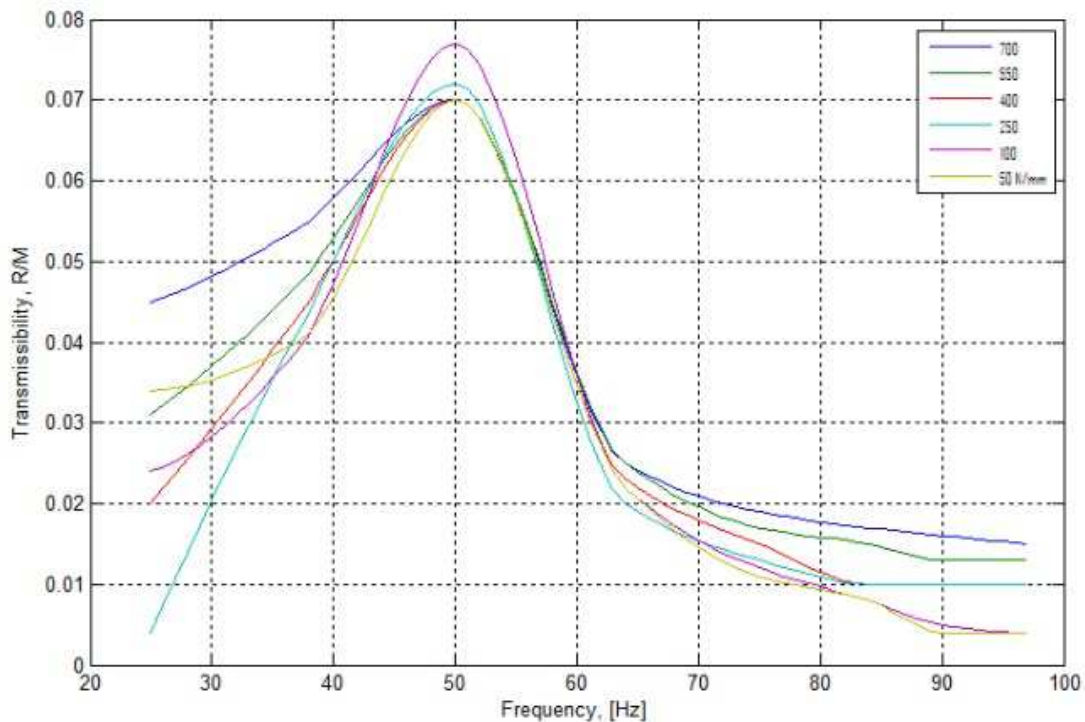


Figura 18 - Transmissibilidade para diferentes valores de rigidez dos apoios

Com os resultados obtidos percebe-se qual a frequência crítica de funcionamento do sistema e ajuda na seleção de apoios da estrutura de forma a se conseguir minimizar o valor de transmissibilidade para a estrutura e permitir aos ocupantes manter os níveis de conforto durante a utilização do veículo.

2.3.7. Active Vibration Control on a Quarter-car for Cancellation of Road Noise Disturbance [26]

Com este estudo Walid Belgacem, Alain Berry e Patrice Masson pretendem fazer uma análise de forma a perceber como pode ser diminuído o ruído sentido no interior do veículo provocado pelas vibrações da estrada.

Para a realização da parte experimental é utilizado um modelo de quarto de carro recorrendo a uma suspensão do tipo McPherson colocada numa bancada que simula as vibrações produzidas em estrada.

Como está demonstrado no esquema seguinte, são colocados sensores em diferentes pontos do modelo.

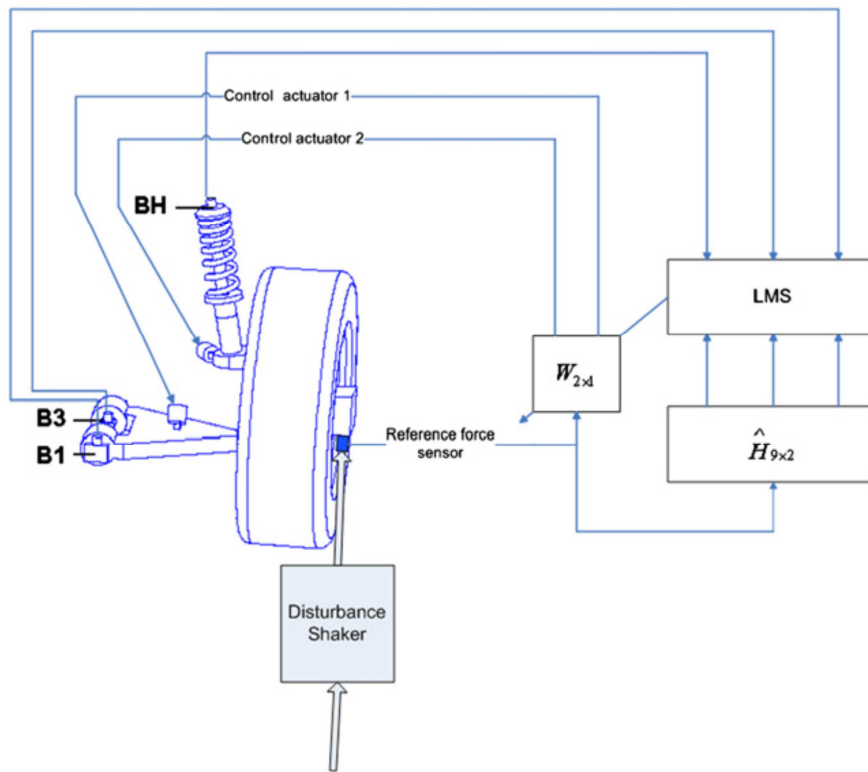


Figura 19 - Esquema de aplicação de sensores e aquisição de dados

Como forma de apresentação de resultados são comparados os valores esperados teoricamente com os obtidos experimentalmente. São traçados gráficos independentes para os dois atuadores controlados como é evidenciado na figura seguinte.

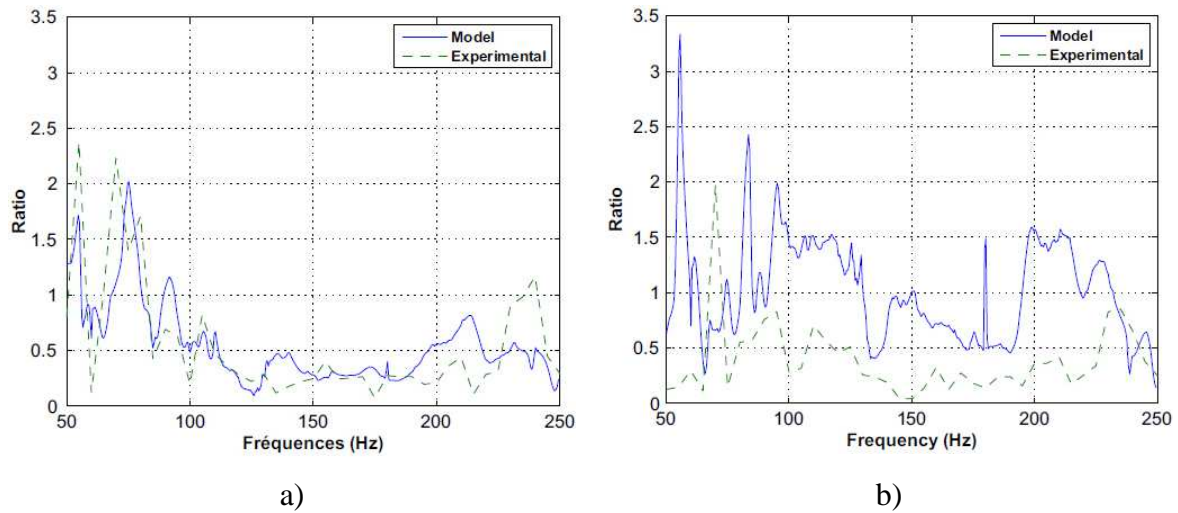


Figura 20 – Comparação de valores de transmissibilidade em: a) atuador 1, b) atuador 2

2.3.8. Transmissibility Analysis Of A Car Driver's Seat Suspension System With Na Air Bellow Type Damper [27]

Com este estudo Ashish Parekh, S. B. Kumbhar e S. G. Joshi pretendem realizar uma análise a diferentes sistemas de suspensão aplicados a um banco de um veículo.

Para a elaboração do projeto são tidos em conta seis modelos diferentes para a suspensão do banco. Estes variam no tipo de amortecimento e rigidez e na quantidade dos componentes utilizados. Na figura seguinte está exemplificado um tipo de suspensão elaborada e é visível o local de aplicação dos sensores que permitem traçar as curvas de transmissibilidade.

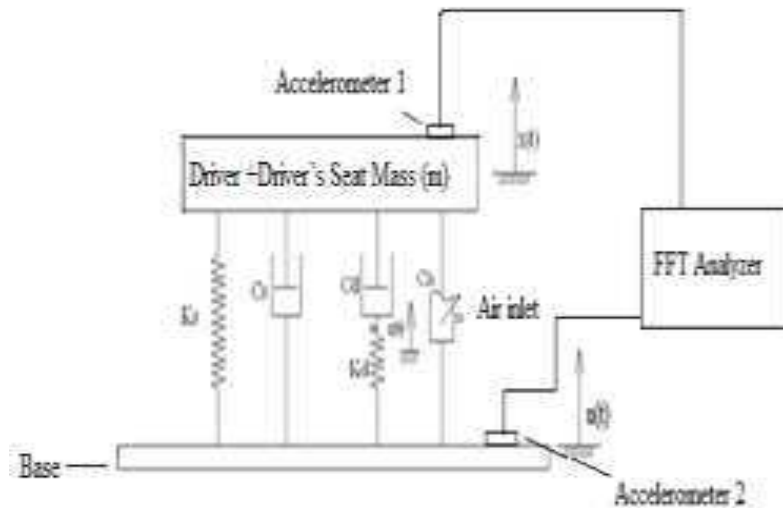


Figura 21 - Esquema de montagem e aquisição de dados

Depois de definidos analiticamente os modelos são traçadas curvas teóricas de transmissibilidade correspondentes a cada um deles e comparadas entre si.

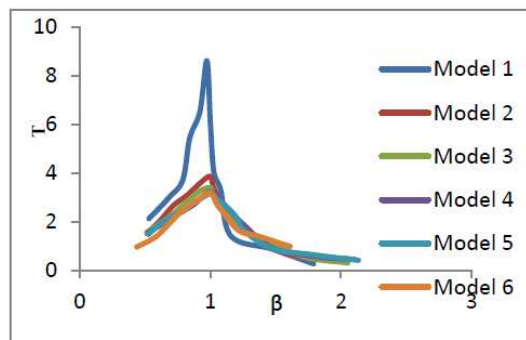


Figura 22 - Resultados obtidos para os diferentes modelos

Posteriormente os sistemas são recriados fisicamente e realizados testes de forma a traçar novamente curvas de transmissibilidade correspondentes a cada uma das situações propostas. São traçados novamente gráficos em que é feita uma comparação entre os valores teóricos e os valores obtidos em ensaio e ainda gráficos com a comparação entre os valores obtidos apenas nos ensaios práticos.

Da comparação de resultados chegaram à conclusão que tanto analiticamente como de forma experimental a solução que tem uma maior redução de transmissibilidade é a mesma.

2.3.9. Low Frequency Vibration Analysis On Passenger Car Seats [28]

No presente estudo Francis Augustine Joseph, Jason Cherian Issac e T. J. Paulson pretendem analisar as vibrações sentidas no banco de um veículo através da leitura de transmissibilidades.

Os valores de transmissibilidade são obtidos pela razão entre as acelerações medidas nos acelerómetros colocados um no chão e outro no banco. No banco está uma carga constante de 60 kg.

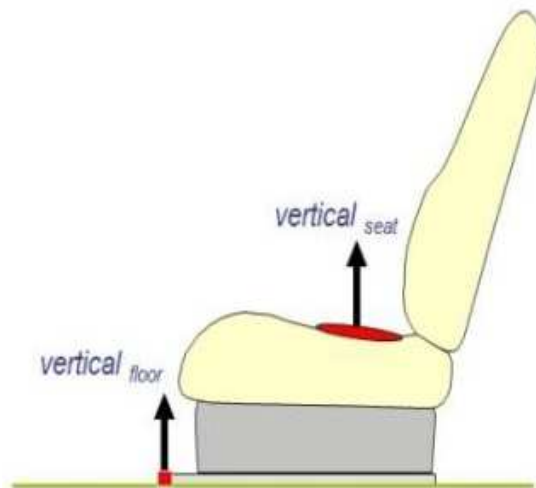


Figura 23 - Esquema de aplicação dos sensores

São realizados testes práticos em quatro carros diferentes e dois tipos de piso. Dos dados recolhidos são analisados os valores e comparados entre si. É exemplo do tipo de dados adquiridos gráfico evidenciado na figura seguinte.

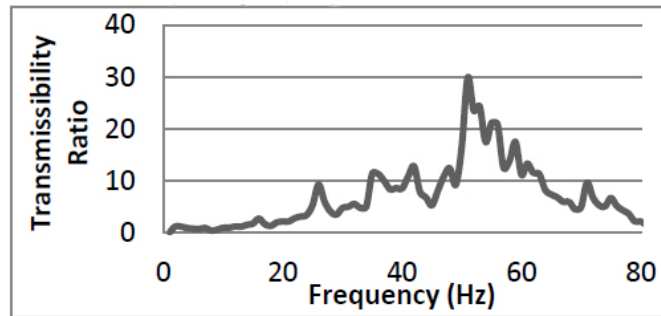


Figura 24 - Exemplo de resultados para o carro A em piso irregular

O estudo permitiu determinar que gama de frequências é mais relevante para o conforto dos passageiros nas diferentes situações testadas.

2.3.10. On-Resonance Transmissibility Methodology For Quantifying The Structure- Borne Road Noise Of An Automotive Suspension Assembly [29]

Com a elaboração do presente artigo H. Douville, P. Masson e A. Berry pretendem estudar a possibilidade de quantificar e reduzir a quantidade de ruído no interior do veículo através do estudo da transmissibilidade.

São realizados testes em laboratório em modelo de quarto de carro sendo colocados vários acelerómetros em diferentes pontos da suspensão. A excitação é proporcionada por um instrumento com capacidade para controlar a frequência de vibração. A figura seguinte esquematiza a montagem utilizada na obtenção dos dados.

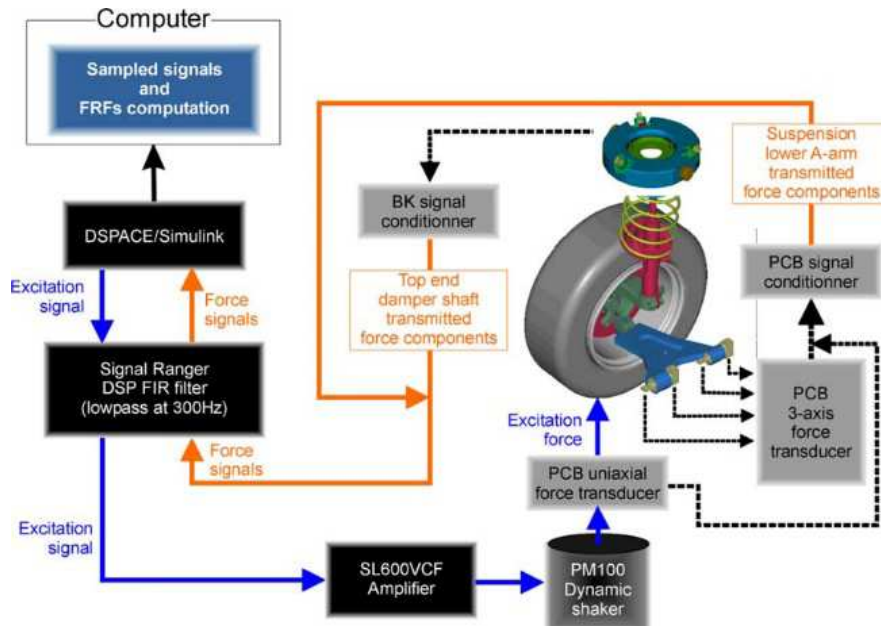
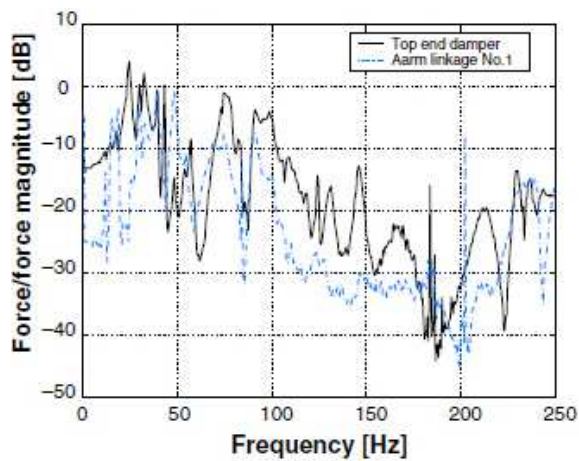
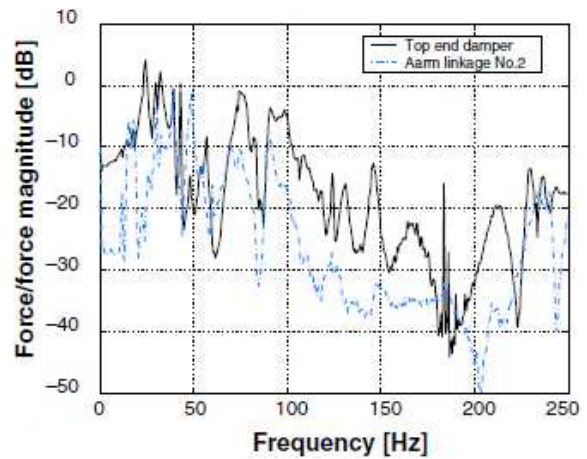


Figura 25 - Esquema de montagem e aquisição de dados

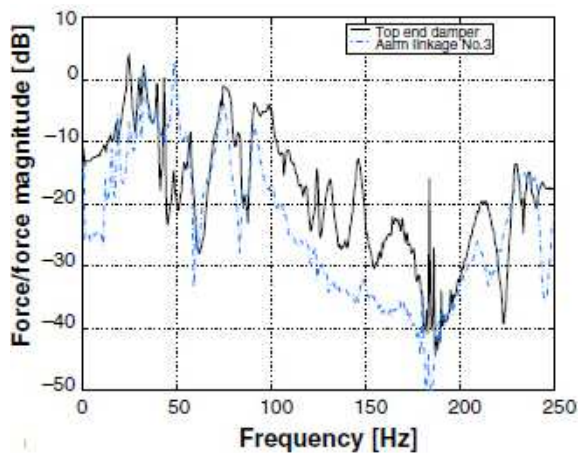
Os valores obtidos são analisados eixo a eixo e globalmente. São determinadas curvas de transmissibilidade na zona do apoio do braço de suspensão e no topo do apoio do amortecedor. Posteriormente são comparados os resultados como ilustra a figura seguinte.



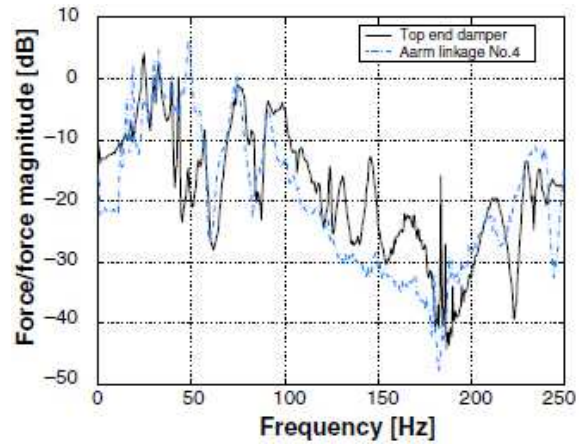
a)



b)



c)



d)

Figura 26 – Comparação de valores obtidos segundo o eixo dos XX no topo do amortecedor e: a) apoio 1, b) apoio 2, c) apoio 3 e d) apoio 4

O exemplo representa uma análise para o eixo dos XX. A mesma análise é feita para os restantes eixos.

Da análise dos resultados são determinados os eixos segundo os quais a transmissão de vibração é mais relevante e em que parte dos componentes isso acontece mais severamente.

2.4. Testes a rótulas de suspensão

“The relative movements of steering levers and rods, especially track rods, demand the use of joints capable of moving, fortunately within limited angles, in any direction. These movements are most easily accommodated by use of ball joints. The ball pin is usually made of case-hardened or possibly through-hardened steel. The thread on the end of the shank is generally left unhardened. If the taper, its length and diameter and the engaging load (usually by way of a recommended tightening torque on the nut) are correctly chosen in relation to the overhang of the ball centre and the loads applied in service there will be no tendency of the shank to loosen even if the nut should subsequently slacken or be removed.” [8]

Neste subcapítulo serão evidenciados alguns métodos utilizados para a deteção de desgaste

em rótulas de suspensão.

2.4.1. *Ball Joint test systems* [30]

Com este equipamento as rótulas são analisadas de forma individual fora do sistema de suspensão do automóvel.

Podem ser realizados testes em que é possível variar a frequência de excitação, a força exercida e a temperatura no interior da câmara de teste.

As máquinas de teste podem diferir no número de rótulas que podem testar em simultâneo e no número de eixos em que o teste pode ser realizado. A marca tem equipamentos com as seguintes opções de teste:

- duas rótulas testadas em três eixos;
- duas rótulas testadas em cinco eixos;
- seis rótulas testadas em dois eixos;

Na figura seguinte é evidenciado uma máquina com capacidade para testar seis rótulas em simultâneo.



Figura 27 - Máquina com capacidade para 6 rótulas e teste em dois eixos

2.4.2. Diagnóstico e reparação de avarias no sistema de suspensão [5]

Numa vertente de manutenção e reparação este manual sugere que para verificar se existe folga na rótula de suspensão se desloque a roda na vertical como a figura ilustra.



Figura 28 - Teste manual para verificar o desgaste em rótulas de suspensão

É sugerido também que, ao se verificar a perda de óleo lubrificante pelo guarda-pó, se proceda à substituição da rótula.

Neste documento é elaborada uma tabela de diagnóstico em que a uma suspensão ruidosa é associada, entre outras possíveis causas, o desgaste das rótulas de suspensão e como correção é sugerida a sua substituição.

2.4.3. *Inspect / Service / Test / Replace* [31]

Neste documento é sugerida a utilização de um comparador para verificar o desgaste da rótula.

A oscilação da roda é realizada na vertical e tanto pode ser provocada manualmente como com o auxílio de um objeto rígido. Através da leitura do valor do comparador é determinado o estado da rótula. A colocação do comparador é evidenciada na figura a baixo.



Figura 29 - Utilização de comparador para verificar desgaste na rótula de suspensão

2.4.4. Modern Automotive Technology [9]

“Ball Joint Service

Worn ball joints cause the steering knuckle and wheel assembly to be loose on the control arms. A worn ball joint might make a clunking or popping sound when turning or when driving over a bump.

Ball Joint Lubrication

Ball joint wear is usually a result of improper lubrication or prolonged use. The load carrying ball joints support the weight of the vehicle while swiveling into various angles. If dry, the joints can wear out quickly.

Grease fittings or lube plugs are provided for ball joint lubrication. If plugs are provided, they must be replaced with grease fittings before the joint can be lubricated. A grease gun is used to inject chassis grease into the ball joint grease fittings.

Checking Ball Joint Wear

To check for ball joint wear, inspect the ball joint wear indicator or measure the play in the joint. With a ball joint wear indicator, simply inspect the shoulder on the joint to determine ball joint's condition. If the shoulder on the joint is recessed, the joint should be replaced.

Another way to check ball joint wear involves jacking up the vehicle and physically moving control arm and joint. Depending upon the type suspension, you may need to raise the vehicle by the frame or by the lower control arm.

With the suspension properly raised, use a long steel pry bar to wiggle the tire up and down and sideways. While wiggling, note the amount of movement in the ball joints. Refer to service manual specifications and replace any ball joint worn too much.” [9]

2.4.5. Failure Analysis of a Car Suspension System Ball Joint [32]

Com a realização deste estudo E. A. Ossa e C. C. Palacio, M.A. Paniagua pretendem determinar a causa da rotura de uma rótula de suspensão. São as opções defeito do material, carga excessiva ou deficiente desenho.

A fratura é inicialmente observada ao microscópio ótico, o que é evidenciado na figura seguinte, e posteriormente são retiradas amostras para se poderem analisar as microestruturas do material.

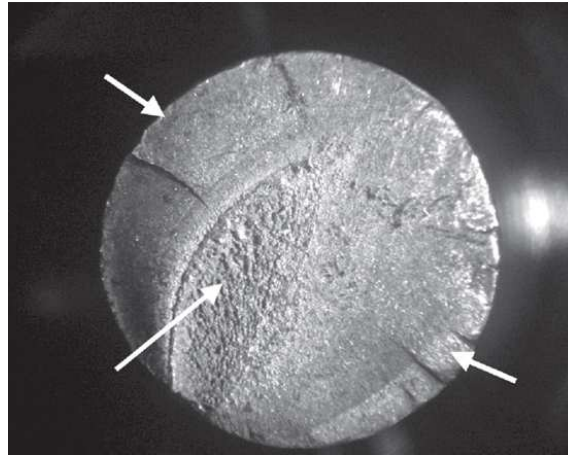


Figura 30- Fratura observada ao microscópio em rótula

Através das características do material analisado é criado um modelo analítico onde se verifica quais as zonas de maior tensão. O desenho da rótula é alterado e com o modelo analítico verifica-se novamente quais as zonas de maior tensão.

Como conclusões do trabalho foi determinado que a rotura da rótula foi causada por fadiga, o material utilizado é apropriado mas o tratamento térmico tem defeito e é também proposta uma alteração no desenho da rótula para diminuir a zona de concentração de tensões.

2.4.6. Design of a Tribological Ball Joint Tester

[33]

Ao realizar este estudo S. Raes, T. Devreese e J. De Pauw, De Baets pretendem elaborar um sistema de teste de rótulas que lhes permita fazer testes axiais e de rotação nos três eixos.

No artigo começa por ser descrita de que forma as rótulas podem ser utilizadas e ainda a constituição de cada rótula.

É feita uma análise cinemática e dinâmica dos esforços a que a rótula está sujeita e referidos os elementos que na prática provocam esses esforços.

São referidos alguns testes que existem disponíveis para avaliar o estado da rótula. Dessa pesquisa é verificado que usualmente não são utilizadas as seis variáveis (esforços axiais e momentos).

Desta forma o teste a que se propõe realizar permite avaliar a rótula recriando através de três atuadores os esforços axiais e momentos a que a rótula está realmente sujeita. Na figura seguinte é evidenciado todo o sistema criado para a simulação dos esforços.

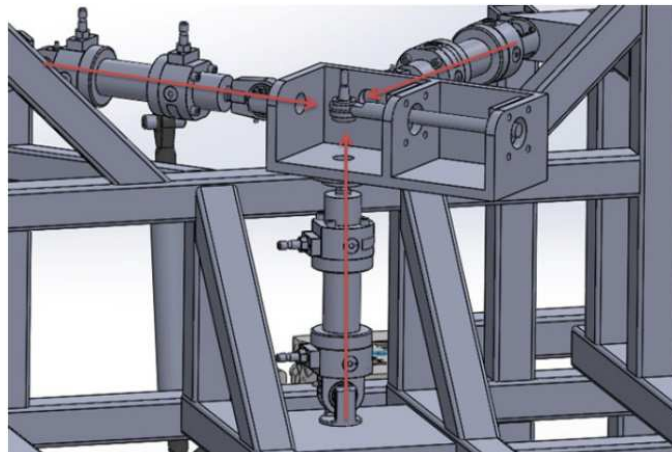


Figura 31 - Esquema de atuação

O sistema criado pode ser adaptado a diferentes rótulas. Com a análise permitida por este teste o desempenho das rótulas pode ser aumentado.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3. Metodologia

Durante este capítulo serão descritos os passos realizados para a obtenção da ferramenta de testes e a forma como os dados serão analisados.

Partindo do conceito de transmissibilidade, são utilizados dois acelerómetros para obtenção de dados.

Os componentes necessários para o funcionamento da ferramenta são caracterizados e evidencia-se a forma como se desenvolveu a programação para que seja possível fazer a leitura dos dois acelerómetros em simultâneo e nos três eixos a uma taxa de aquisição de dados onde se tenha toda a informação necessária. A gravação dos dados será referida nesta fase.

É descrita a forma como é realizada a análise dos dados recolhidos que tem como objetivo determinar a transmissibilidade nas rótulas submetidas a teste.

Por fim é descrita a forma como é verificada a fiabilidade dos valores adquiridos.

3.1. Sistema de aquisição de dados

Neste subcapítulo são descritos e caracterizados os componentes utilizados na montagem da ferramenta de aquisição de dados.

Para leitura de valores são utilizados dois acelerómetros MMA 7361 de três eixos. Do *datasheet* tira-se que:

“The MMA7361LC is a low power, low profile capacitive micromachined accelerometer featuring signal conditioning, a 1-pole low pass filter, temperature compensation, self test, 0g-Detect which detects linear freefall, and g-Select which allows for the selection between 2 sensitivities. Zero-g offset and sensitivity are factory set and require no external devices.”

The MMA7361LC includes a Sleep Mode that makes it ideal for handheld battery powered electronics.

This module can be used for signal disposal, unipolar low-pass filter and temperature compensation technology because it use low-cost micro capacitive accelerometer and four ranges which is optional for user choosing in four of the sensitivity. This device include a low-pass filter and zero g compensation.

This product also provides sleeping mode and so it's ideal choice for products with battery handheld devices.” [34]

Tabela 2 - Características dos acelerômetros MMA 7631 [34]

Característica	Símbolo	Mínimo	Típico	Máximo	Unidade
Gama de funcionamento					
Tensão de alimentação	V_{DD}	2.2	3.3	3.6	V
Corrente de alimentação	I_{DD}	-	400	600	μA
Corrente de alimentação em descanso	I_{DD}	-	3	10	μA
Gama de temperatura de funcionamento	T_A	-40	-	+85	$^{\circ}C$
Gama de aceleração, XX's, YY's, ZZ's					
g= 0	g_{F8}	-	± 1.5	-	G
g= 1	g_{F8}	-	± 6.0	-	G
Sinal de saída					
Zero-g ($T_A=25^{\circ}C$, $V_{DD}=3.3$)	V_{OFF}	1.485	1.65	1.815	V
Zero-g	V_{OFF}, T_A	-2	$\pm 0,5$	+2	$mg/^{\circ}C$
Sensibilidade ($T_A=25^{\circ}C$, $V_{DD}=3.3$)					
1.5g	$S_{1.5g}$	740	800	860	mV/g
6g	S_{6g}	190.6	206	221.5	mV/g
Sensibilidade	S, T_A	-0.0075	± 0.002	+0.0075	$\%/^{\circ}C$
Gama de resposta					
XY	f_{-3dBXY}	-	400	-	Hz
Z	f_{-3dBZ}	-	300	-	Hz
Impedância de saída	Z_0	-	32	-	$k\Omega$
Deteção do 0g	$D_{g_{detect}}$	-0,4	0	+0.4	g
Auto teste					

Resposta de saída					
X_{OUT}, Y_{OUT}	Δg_{STXY}	+0.5	-0.1	-	g
Z_{OUT}	Δg_{STZ}	+0.8	+1.0	+1.2	g
Entrada baixa	V_{IL}	V_{SS}	-	$0.3V_{DD}$	V
Entrada alta	V_{IH}	$0.7V_{DD}$	-	V_{DD}	V
Ruído					
Densidade do poder espectral RMS (0.1 Hz – 1 kHz)	n_{PSD}	-	350	-	$\mu g/\sqrt{Hz}$
Tempo de controlo					
Tempo de resposta em carga	$t_{RESPONSE}$	-	1.0	2.0	ms
Tempo de resposta ativo	t_{ENABLE}	-	0.5	2.0	ms
Tempo de resposta auto teste	t_{ST}	-	2.0	5.0	ms
Frequência de ressonância do sensor					
XY	$f_{GCELLXY}$	-	6.0	-	kHz
Z	f_{GCELLZ}	-	3.4	-	kHz
Frequência interna de amostragem	f_{CLK}	-	11	-	kHz
Desempenho de saída					
Gama de escala completa de saída ($I_{OUT}=3 \mu A$)	V_{FSO}	$V_{SS}+0.1$	-	$V_{DD}-0.1$	V
Não linearidade, $X_{OUT}, Y_{OUT}, Z_{OUT}$	NL_{OUT}	-1.0	-	+1.0	%FSO
Sensibilidade dos eixos	$V_{XY,XZ,YZ}$	-5.0	-	+5.0	%

Os acelerómetros utilizados têm o aspeto apresentado na figura seguinte.

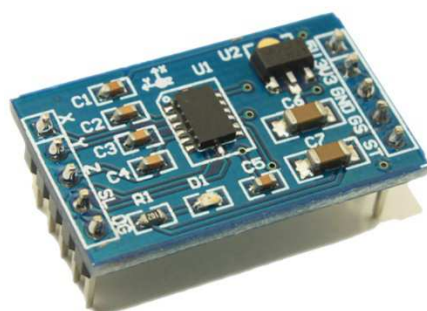


Figura 32- Acelerómetro MMA 7631 [35]

O processador, onde é feita a leitura dos valores de aceleração, é constituído por dois componentes: um Arduino Nano acoplado a um Funduino Nano.

- Arduino Nano: componente que processa a informação. Da programação deste consegue-se determinar um tempo de teste, frequência de aquisição de dados e encaminhar os dados recolhidos para um cartão micro SD. Retirado do seu *datasheet* temos:

“The Arduino Nano is a small, complete, and breadboard-friendly board based on the ATmega328 (Arduino Nano 3.0) or ATmega168 (Arduino Nano 2.x). It has more or less the same functionality of the Arduino Duemilanove, but in a different package. It lacks only a DC power jack, and works with a Mini-B USB cable instead of a standard one. The Nano was designed and is being produced by Gravitech.” [36]

Tabela 3 - Características Arduino Nano [36]

Microcontrolador	Atmel ATmega 168 (nano 2.3) ou ATmega 328 (nano 3.0)
Tensão de funcionamento (nível lógico)	5 V
Tensão de entrada (recomendada)	7-12 V
Tensão de entrada (limites)	6-20 V
Pinos digitais I/O	14
Pinos analógicos de entrada	8
Corrente DC para pinos I/O	40 mA
Memória flash	16 KB (ATmega 168) ou 32 KB (ATmega 328)
SRAM	1 KB (ATmega 168) ou 2 KB (ATmega 328)
EEPROM	512 bytes (ATmega 168) ou 1 KB (ATmega 328)
Velocidade do relógio	16 MHz
Dimensões	0.73" X 1.70"

Visualmente o Arduino Nano utilizado é semelhante ao apresentado na figura a baixo.

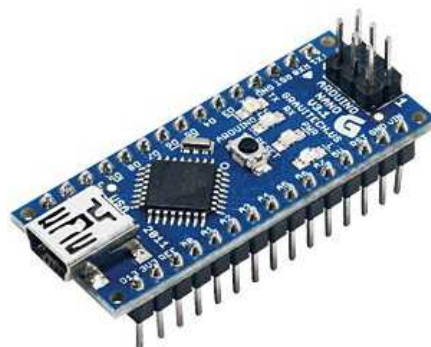


Figura 33 - Arduino Nano [37]

- Funduino Nano: componente que permite a ligação do Arduino Nano aos restantes componentes (acelerómetros, botões, led's, interruptores e fonte de alimentação).

O componente utilizado é evidenciado na figura seguinte.

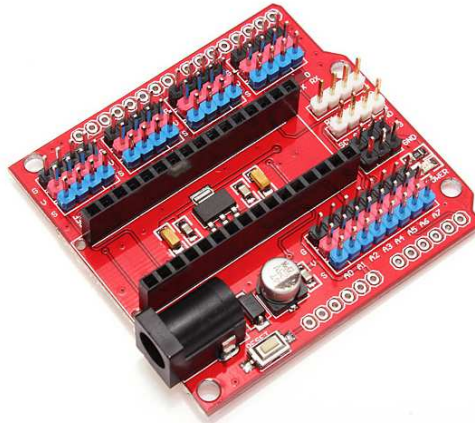


Figura 34 - Funduino Nano [38]

Para a gravação dos dados é utilizado um leitor de cartões micro SD da marca Catalex, modelo MicroSD Card Adapter v1.1.

Funciona com uma tensão entre os 4.5 e os 5.5 V e uma corrente de 200 mA. As suas dimensões são 4.6 x 2.4 x 0.7 (cm) e pesa cerca de 5 g.



Figura 35 - Leitor de cartão micro SD [35]

Os dados adquiridos pelo Arduino Nano são gravados com o auxílio do leitor de cartões. Isto permite a leitura e tratamento dos dados por um sistema exterior à ferramenta de aquisição.

Led's: são utilizados dois led's vermelhos na montagem. Um que fica ligado indicando a presença do cartão micro SD ou fica a piscar se o cartão não estiver colocado. O segundo led liga quando se dá início ao teste e desliga quando o teste termina.

As suas ligações são em chumbo, são fixados com porca, têm tensão de alimentação de 5V e revestidos com uma caixa em ABS preto. É exemplo a figura que se segue.



Figura 36 - Led indicativo de presença do cartão e indicativo de início de ciclo e durabilidade do teste [39]

Para permitir a portabilidade da ferramenta e tornar mais fácil a realização do teste foi aplicada uma bateria com as referências: Ni-MH 2/3^a 1100 mAh 7.2 V. Para além de assegurar a tensão e corrente de alimentação é recarregável. O carregamento da bateria é possível sem abrir a caixa através de uma porta USB.



Figura 37 - Bateria recarregável [40]

As caixas para alojamento dos acelerómetros foram desenhadas utilizando o Autocad 2015 e posteriormente foi realizada a sua impressão em 3D.

Para dar estabilidade aos acelerómetros no interior das caixas estas foram preenchidas com silicone.

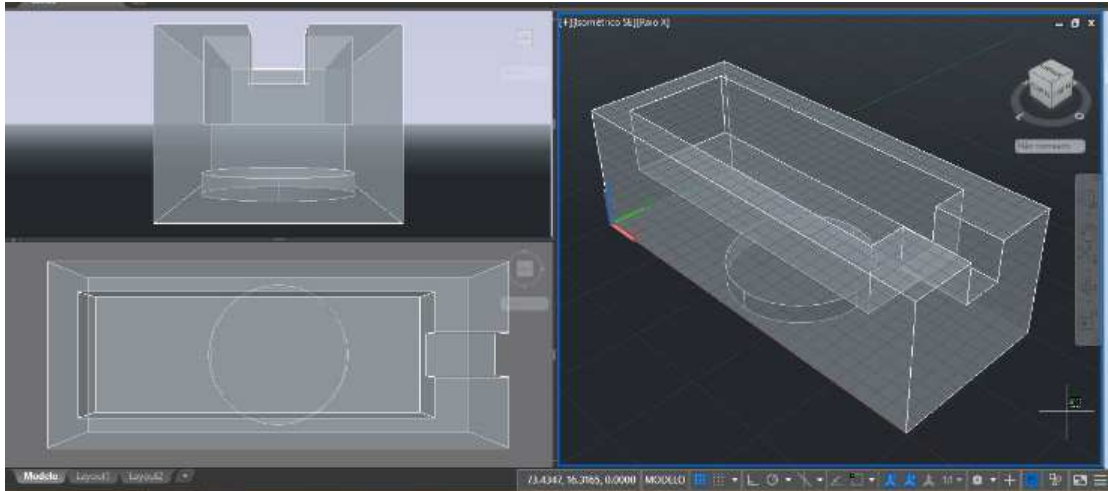


Figura 38 - Desenho da caixa em Autocad

Para definir o estado em que a ferramenta se encontra é utilizado um botão de seleção de três posições:

- off: mantém o equipamento desligado;
- posição intermédia: para permitir o carregamento da bateria;
- on: em modo de teste.



Figura 39 - Comutador de três posições

Botão de start: é utilizado um botão de pressão para iniciar cada teste. O ciclo de aquisição de dados termina quando o tempo que foi determinado para cada ciclo chega ao fim.



Figura 40 - Botão de Start [41]

Como caixa estrutural foi utilizada uma fonte de alimentação de um computador. Depois de concluída a montagem o sistema fica como apresentado na figura seguinte.

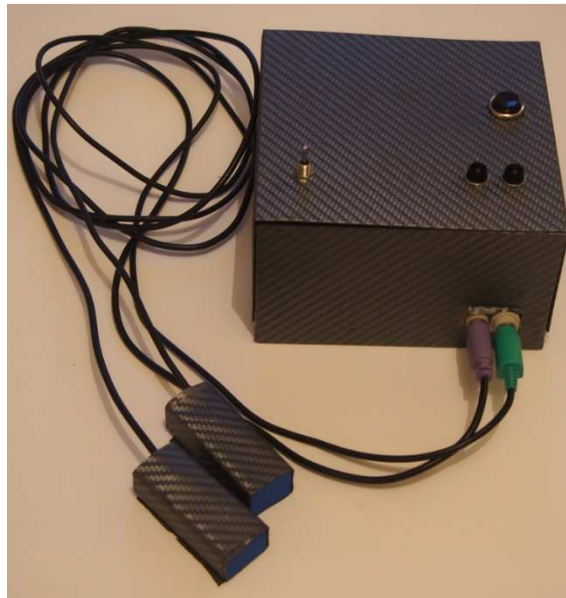


Figura 41 - Caixa para aquisição de dados

3.2. Programação

Neste subcapítulo são descritos os métodos utilizados e a forma como a programação necessária para a obtenção de dados e seu tratamento para obtenção dos resultados finais está estruturada.

Inicialmente tentou-se que a obtenção do sinal e respetiva programação fosse realizada em NI LabView 2015. Depois de algumas tentativas verificou-se que a frequência de aquisição de sinal não era suficiente para garantir a fiabilidade dos dados obtidos. Na figura seguinte

é apresentada uma das versões feitas em LabView antes de se chegar à conclusão que seria necessária uma abordagem diferente.

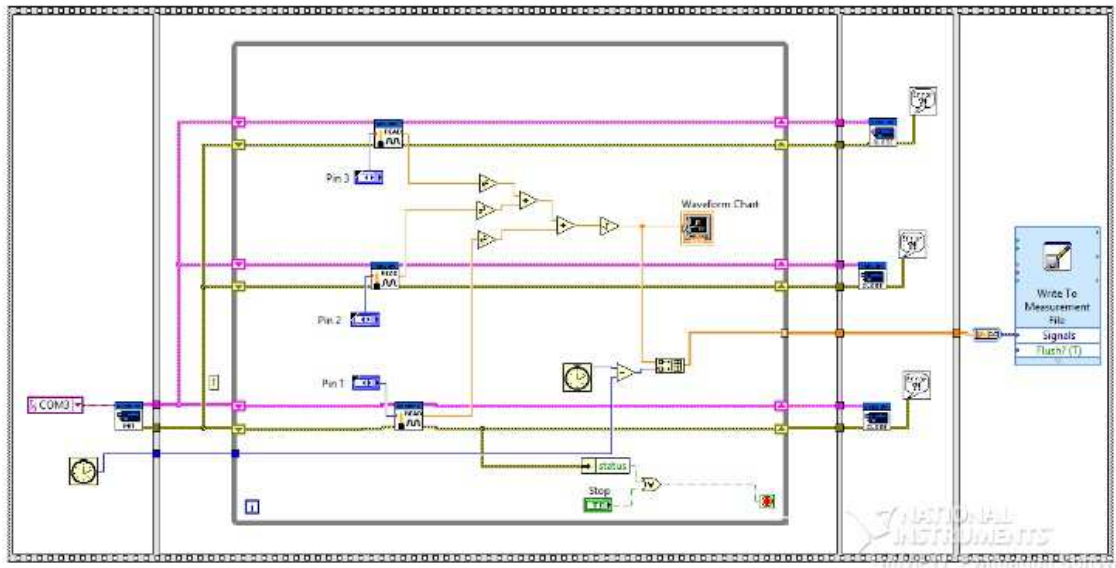


Figura 42 - Esquema em LabView para aquisição de sinal do acelerómetro

A solução encontrada foi programar em Arduino. O programa elaborado apresenta as seguintes funções:

- led detetor da presença de cartão: ao ligar a “coisa” se o cartão mini SD estiver colocado o led fica ligado de forma permanente. Se o cartão não estiver colocado o led fica a piscar;
- led de duração do teste: está normalmente desligado. Ao pressionar o botão de Start o led liga até que o ciclo de obtenção de dados termine;
- aquisição de valores de dois acelerómetros nos três eixos;
- gravação dos valores obtidos para o cartão micro SD.

Como características de funcionalidade temos:

- duração do ciclo:
- frequência de aquisição de dados:

Os dados depois de adquiridos e gravados no cartão micro SD são tratados posteriormente em Matlab R2015b. Em seguida serão apresentadas as funcionalidades do programa acompanhadas do código utilizado:

- leitura do valor das acelerações por eixos por acelerómetro:

```

%*****
%           Ler dados do ficheiro excel
%*****
file2read='\DataFiles\DATAF33.xlsx';
[Numeric,Txt]=xlsread(file2read,1,'A3:G12003');
Freq = xlsread(file2read, 1, 'B1');
% Txt =
%   'Sample'   'A0'   'A1'   'A2'   'A3'   'A4'   'A5'
Samples = Numeric(:,1)';
NumSamples = Samples(end);
Time = (Samples - 1)/Freq;
t=Time;
A0 = Numeric(:,2)';
A1 = Numeric(:,3)';
A2 = Numeric(:,4)';
A3 = Numeric(:,5)';
A4 = Numeric(:,6)';
A5 = Numeric(:,7)';
%
clear Numeric Txt;
%
%Find offsets
% figure(1);
% plot (t,A0,t,A1,t,A2,t,A3,t,A4,t,A5);
% legend('A0','A1','A2','A3','A4','A5');
%ADXL335 sensitivity = 0,33V/g = 67.5 ADC/g
%ADXL335 offset ~= 1,65V (3,3V/2) = 337.59 ADC
AX1g = (A0-337)/67.5;   %AX in g's
AY1g = (A1-337)/67.5;   %AY in g's
AZ1g = (A2-337)/67.5;   %AZ in g's
AX2g = (A3-337)/67.5;   %AX in g's
AY2g = (A4-337)/67.5;   %AY in g's
AZ2g = (A5-337)/67.5;   %AZ in g's
%
clear A0 A1 A2 A3 A4 A5;
%

```

- apresentação da leitura dos valores de aceleração por eixo para cada acelerómetro:

```

%*****
%           Time plots
%*****
%
% Accelerometer 1
figure(2);
subplot(3,1,1);
plot(t,AX1g,'red','LineWidth',1.5); grid on;
title ('Accelerometer 1');
%legend('AX1 [gs]');
ylabel('AX1 [gs]');
subplot(3,1,2);
plot(t,AY1g,'blue','LineWidth',1.5); grid on;
%legend('AY1 [gs]');
ylabel('AY1 [gs]');
subplot(3,1,3);

```

```

plot(t,AZ1g,'green','LineWidth',1.5); grid on;
%legend('AZ1 [gs]');
ylabel('AZ1 [gs]');
xlabel('Time [Sec]');
ylim([-3 3]);%xlim([0 25]);
%
% Accelerometer 2
figure(3);
subplot(3,1,1);
plot(t,AX2g,'red','LineWidth',1.5); grid on;
title ('Accelerometer 2');
%legend('AX2 [gs]');
ylabel('AX2 [gs]');
subplot(3,1,2);
plot(t,AY2g,'blue','LineWidth',1.5); grid on;
%legend('AY2 [gs]');
ylabel('AY2 [gs]');
subplot(3,1,3);
plot(t,AZ2g,'green','LineWidth',1.5); grid on;
%legend('AZ2 [gs]');
ylabel('AZ2 [gs]');
xlabel('Time [Sec]');
%ylim([0 60]);%xlim([0 25]);

```

- cálculo e apresentação da aceleração resultante de cada acelerómetro:

```

%*****
%           Mean Time plots of both accelerometers
%*****
%
A1Mean = sqrt(AX1g.^2 + AY1g.^2 + AZ1g.^2);
A2Mean = sqrt(AX2g.^2 + AY2g.^2 + AZ2g.^2);
%
figure(4); hold on;
plot(t,A1Mean,'LineWidth',1.5);
plot(t,A2Mean,'LineWidth',1.5);
title ('Resultant Accelerations'); grid on; box on;
xlabel('Time [s]');
ylabel('Acceleration [gs]');
legend('A1Mean','A2Mean');
%ylim([-10 140]);%xlim([0 25]);

```

- cálculo e apresentação da FFT por acelerómetro;

```

%*****
%           Computing FFTs
%*****
%
L = NumSamples;
Fs = Freq*0.868;
n = 2^nextpow2(L);
X = A1Mean;
%Test file
% S = 0.7*sin(2*pi*10*t) + sin(2*pi*25*t);           %10Hz and 25Hz sinewaves
% X = S + 2*randn(size(t));                          %Random noise
% X = S;                                              %Without noise

```

```

%FFT computation
Y = fft(X,n);
P2 = abs(Y/n); % two-sided spectrum P2
P1 = P2(1:n/2+1); % single-sided spectrum P1
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
f = Fs*(0:(n/2))/n;
window_size = 20;
Alavg = tsmovavg(P1','t',window_size,1);
%
X = A2Mean;
%FFT computation
Y = fft(X,n);
P2 = abs(Y/n); % two-sided spectrum P2
P1 = P2(1:n/2+1); % single-sided spectrum P1
P1(2:end-1) = 2*P1(2:end-1);
A2avg = tsmovavg(P1','t',window_size,1);

%plot
figure(5); hold on;
%plot(f,P1);
plot(f,Alavg,'LineWidth',1.5);
plot(f,A2avg,'LineWidth',1.5);
grid on; box on;
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of A1 e A2');
xlabel('f [Hz]');
ylabel('|A1 and A2 Mean FFT|');
ylim([0 0.3]);
xlim([0 50]);

```

- cálculo e apresentação da transmissibilidade entre acelerómetros.

```

%*****
%           Computing Transmissibility
%*****
%
Transmi = A2avg./Alavg;
%plot
figure(6); hold on;
plot(f,Transmi,'LineWidth',1.5);
grid on; box on;
%title('Transmissibility A2/A1');
xlabel('Frequency [Hz]');
ylabel('Transmissibility|A2/A1|');
ylim([0 2]);
xlim([0 20]);

```

Na figura seguinte são mostrados os diferentes gráficos obtidos com o tratamento dos dados em Matlab2015.

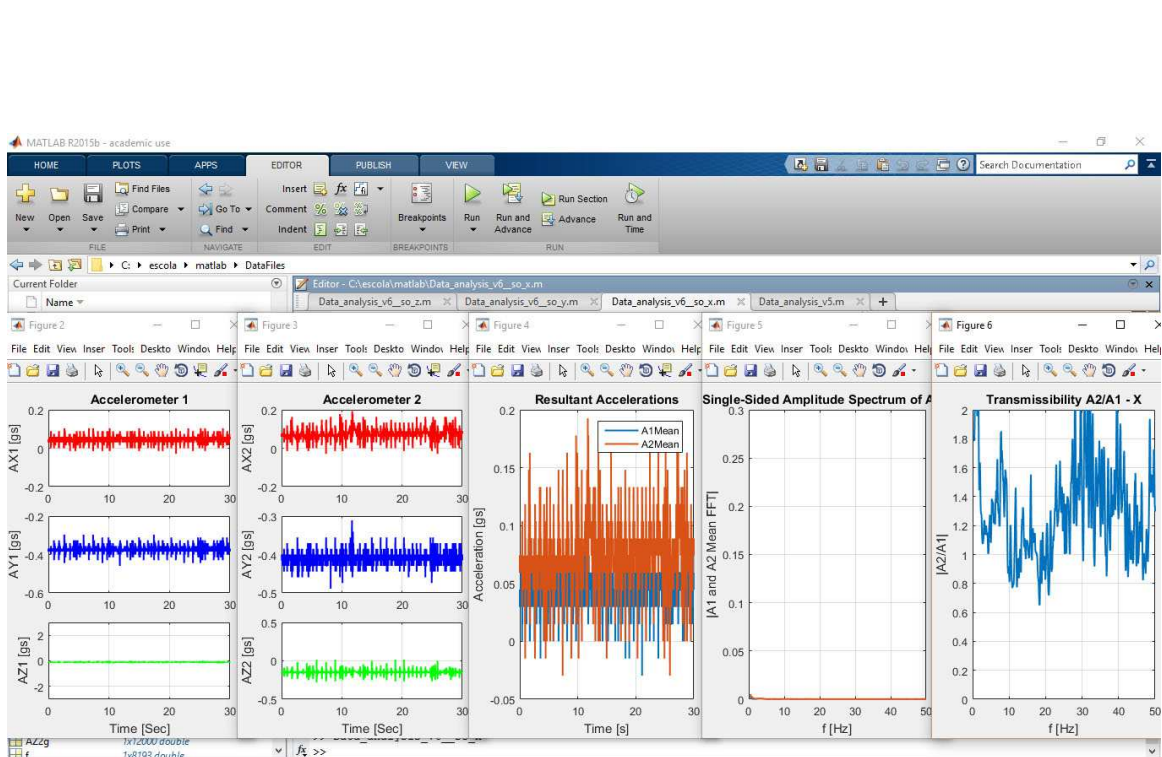


Figura 43 - Exemplo dos resultados obtidos em Matlab R2015b

3.3. Verificação da fiabilidade do sistema

Para verificar se o sistema de aquisição de dados está a registar os valores que são pretendidos foram realizados dois procedimentos distintos, com o mesmo objetivo.

Com o primeiro procedimento foram adquiridos valores de aceleração com os acelerómetros colocados num sistema que produz vibrações constantes. Os valores de um dos acelerómetros foi gravado para o cartão micro SD. Os valores obtidos pelo outro acelerómetro foram registados informaticamente através do programa PicoScope6.

Foram realizados três testes diferentes em que se fez variar a frequência de vibração. Os gráficos foram traçados e comparados. Na figura seguinte é apresentado um exemplo para uma frequência de excitação perto dos 4 Hz.

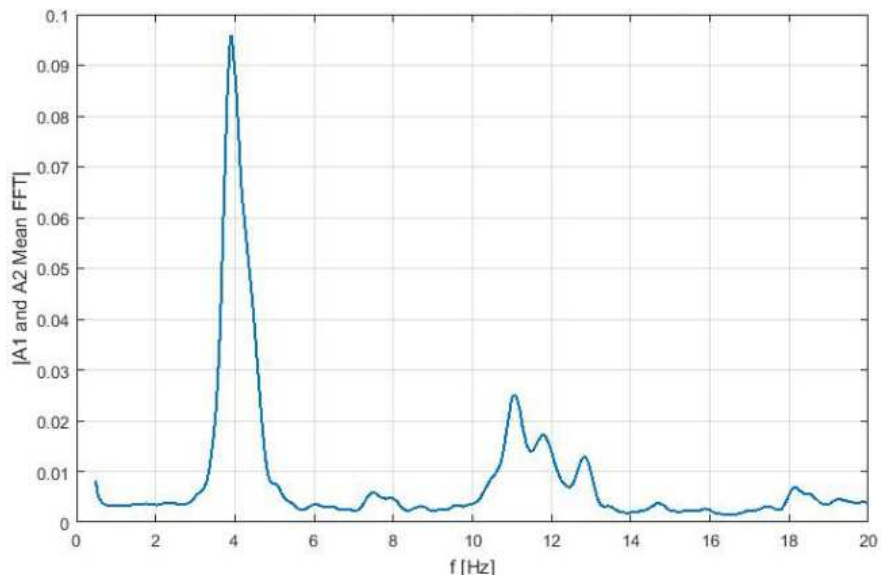


Figura 44 – Valores obtidos após tratamento de dados no Matlab R2015b

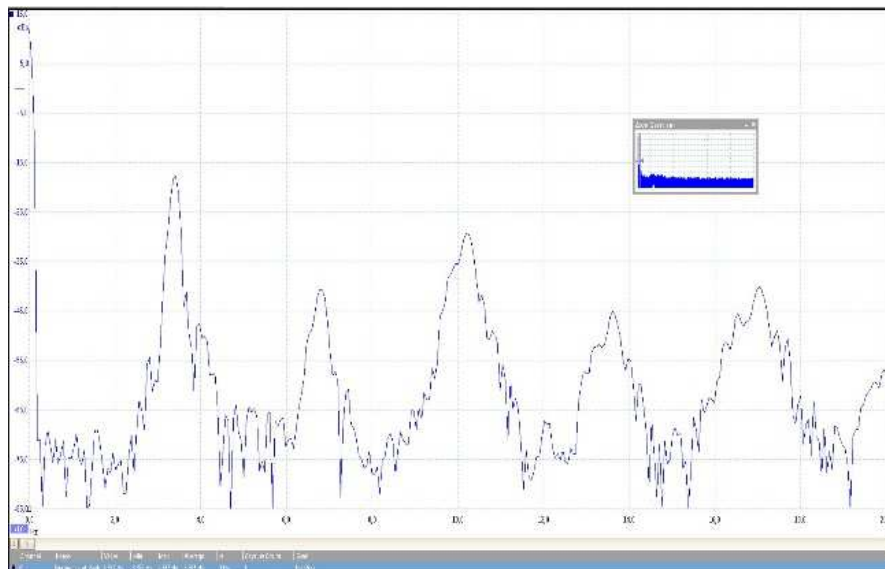


Figura 45 – Valores lidos diretamente no PicoScope6

A montagem utilizada na captação dos dados e leitura do sinal é evidenciada na figura seguinte.



Figura 46 - Montagem utilizada para aquisição de dados e leitura de valores

O segundo método para verificação dos valores lidos pelo sistema de aquisição consiste na colocação de um valor de frequência predefinido no pino correspondente ao acelerômetro, fazer testes de aquisição pelo sistema e fazer a leitura no PicoScope6. Foram realizados três testes com valores de frequência diferentes.

As figuras seguintes evidenciam os valores obtidos para frequência perto dos 17 Hz.

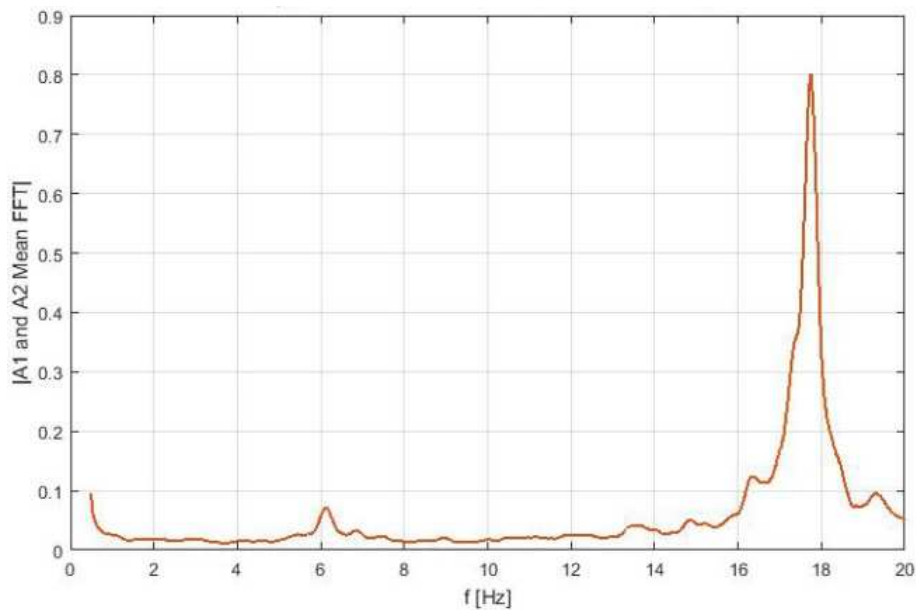


Figura 47 – Dados de teste obtidos em Matlab R2015b

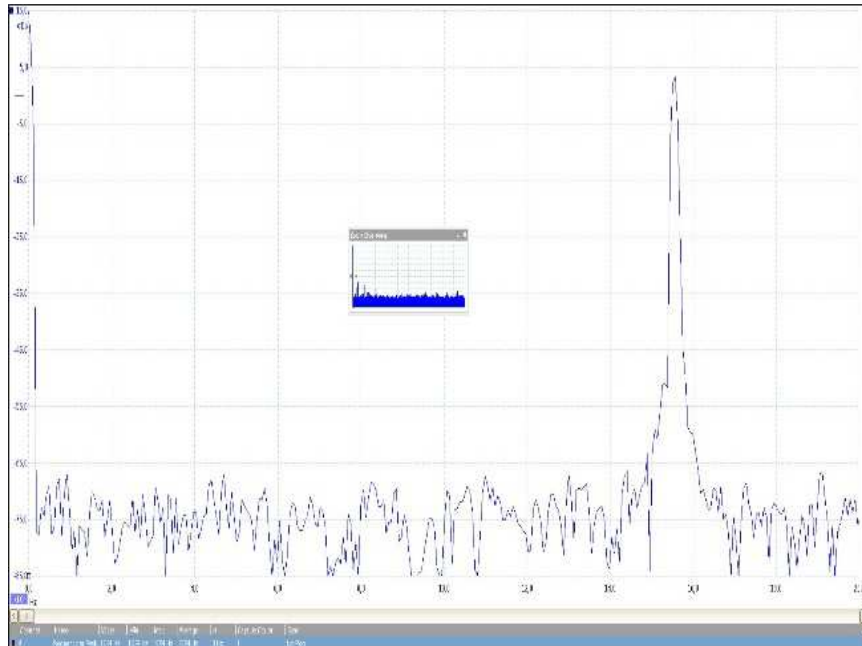


Figura 48 – Valores lidos diretamente no PicoScope6

A montagem utilizada para aquisição de dados e leitura dos sinais é evidenciada na figura a baixo.



Figura 49 – Montagem utilizada para aquisição de dados e leitura de valores

A consistência verificada nos resultados permite avançar para os testes práticos pretendidos. Apenas foi necessário fazer uma pequena correção no valor da frequência. Esse ajuste é evidenciado na parte do código de Matlab R2015b apresentado em seguida.

```

%*****
%           Computing FFTs
%*****
%
L = NumSamples;
Fs = Freq*0.868;
n = 2^nextpow2(L);
X = AlMean;

```

3.4. Banco de suspensão / Placas detetoras de folgas

Neste estudo os testes são obtidos com duas origens diferentes de excitação dos acelerómetros. Vão ser realizados testes num banco de suspensões e também em placas detetoras de folgas. As características destes elementos serão brevemente descritas.

Do manual do Banco de suspensão são retiradas as suas características:

Tabela 4 - Características técnicas do banco de suspensão [42]

Marca e modelo	Maha FWT 1 Euro
Frequência de agitação	Agitação: máx. 16 Hz; máx. 100 mm curso
Gama de medição	0 – 100 % / 0 – 100 Mm
Precisão de medição	2% a partir do valor final da gama de medição
Dimensões do grupo do chão (LxCxA)	2320 x 800 x 280
Distância máxima entre rodas	2200
Distância mínima ente rodas	800
Curso de agitação	7,5 mm
Carga standard/reforçada por eixo	1100 kg / 2000 kg
Peso total	Aprox. 500 kg
Alimentação elétrica	400 V, 3 fases, 50 Hz / Fusível 16 A
Motor	2 x 1,1 kW

Do manual das placas detetoras de folgas são retiradas as suas características:

Tabela 5 - Características placas detetoras de folgas [43]

Marca e modelo	Maha LMS
Carga total máxima por eixo	18 ton
Carga máxima de eixo por lado	9 ton
Movimento máximo lateral	100 mm
Capacidade do óleo hidráulico	Aprox. 8,5 l óleo hidráulico SAE 5
Tamanho	750 x 750 mm
Altura de instalação	220 mm
Altura acima do solo	232 mm
Impulso máximo lateral	30000 N
Pressão máxima da unidade hidráulica por lado	120 bar
Alimentação elétrica	400 V, 3 fases
Fusível	16 A lento
Cabo	5 x 1,5 mm ²
Lâmpada portátil	Halogénio 12 V, 20 W
Controlo	24 V na lâmpada portátil
Válvulas solenoide elétricas	24 V

3.5. Montagem

A fixação dos acelerómetros aos elementos da suspensão é permitida através de aplicação de um íman neodímio de 20 mm de diâmetro. A figura seguinte pretende ilustrar a forma como os acelerómetros serão colocados em contato com a rótula a analisar.



Figura 50- Exemplo da colocação dos acelerômetros

Os acelerômetros são colocados em dois pontos opostos da rótula de suspensão. Idealmente, não existindo folga na rótula, o valor lido num acelerômetro será igual ao valor lido no outro. O valor de transmissibilidade nesse caso será um. Existindo folga o valor de transmissibilidade será diferente de um.

3.6. Resultados

Os resultados obtidos são analisados em duas perspectivas diferentes. É feita uma análise global em que a transmissibilidade é calculada com o valor da resultante dos três eixos. É também realizada uma análise por eixo.

3.6.1. Primeiro teste

Com o primeiro teste pretende-se entender que tipo de resultados são obtidos.

Na figura seguinte é evidenciada a posição dos acelerómetros para se conseguir interpretar os resultados obtidos.

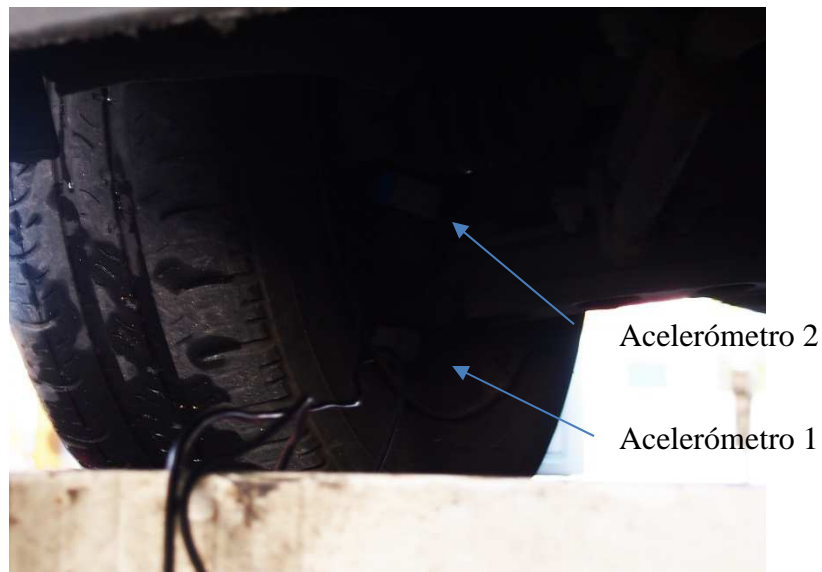


Figura 51 - Posição acelerómetros

O primeiro gráfico obtido apresenta as acelerações medidas no acelerómetro 1 por cada eixo.

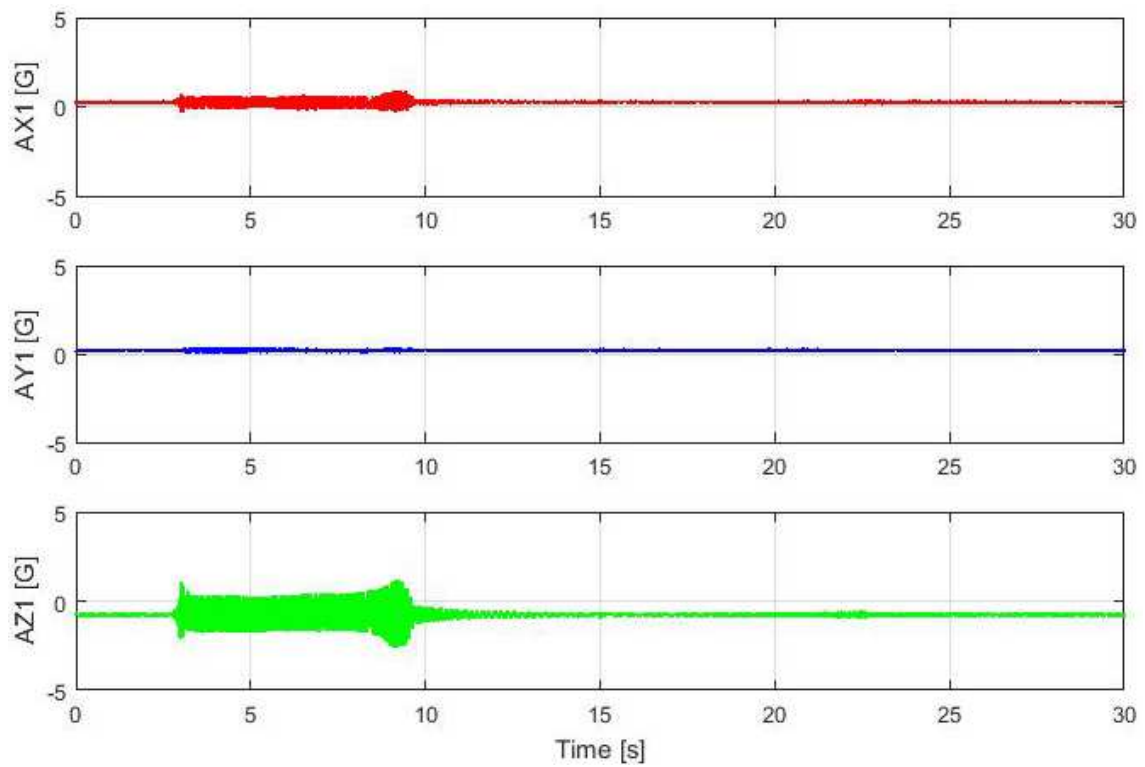


Figura 52 – Valores de aceleração medidos no acelerómetro 1

O segundo gráfico obtido apresenta as acelerações medidas no acelerómetro 2 por cada eixo.

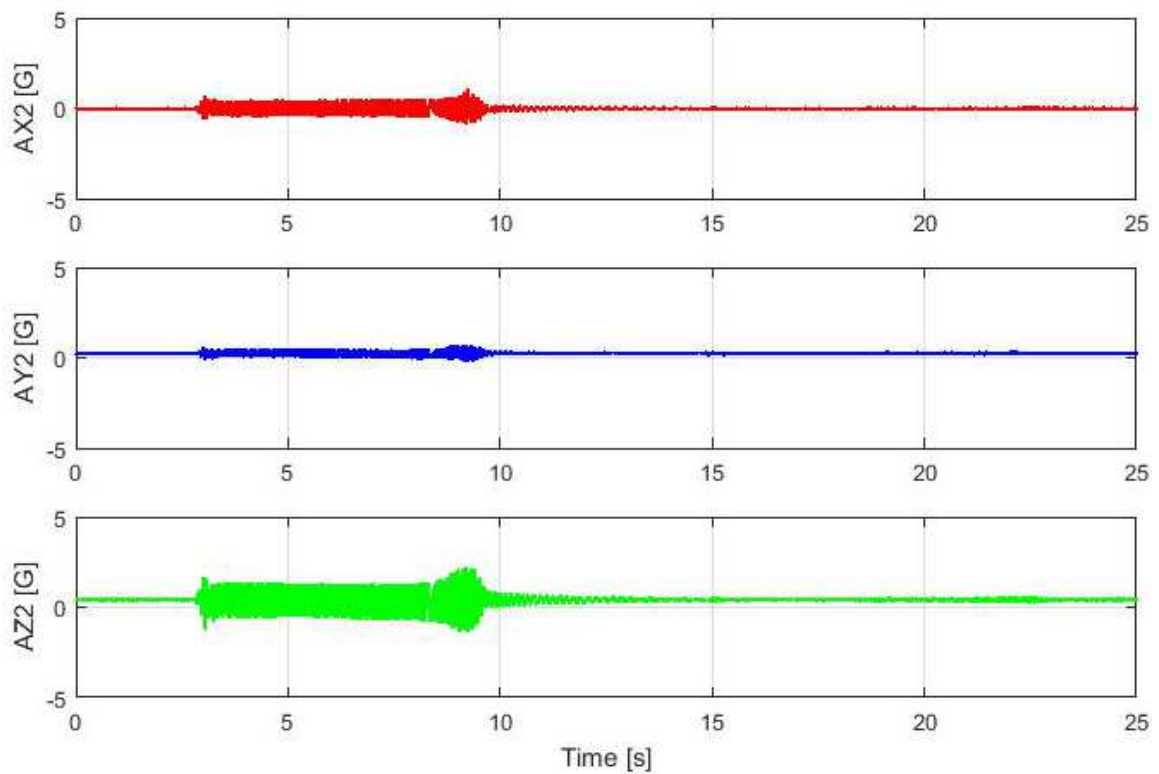


Figura 53 - Valores de aceleração medidos no acelerómetro 2

E como resultado pretendido para análise no trabalho é traçado o gráfico de transmissibilidade. A primeira análise é feita a partir do valor global das acelerações.

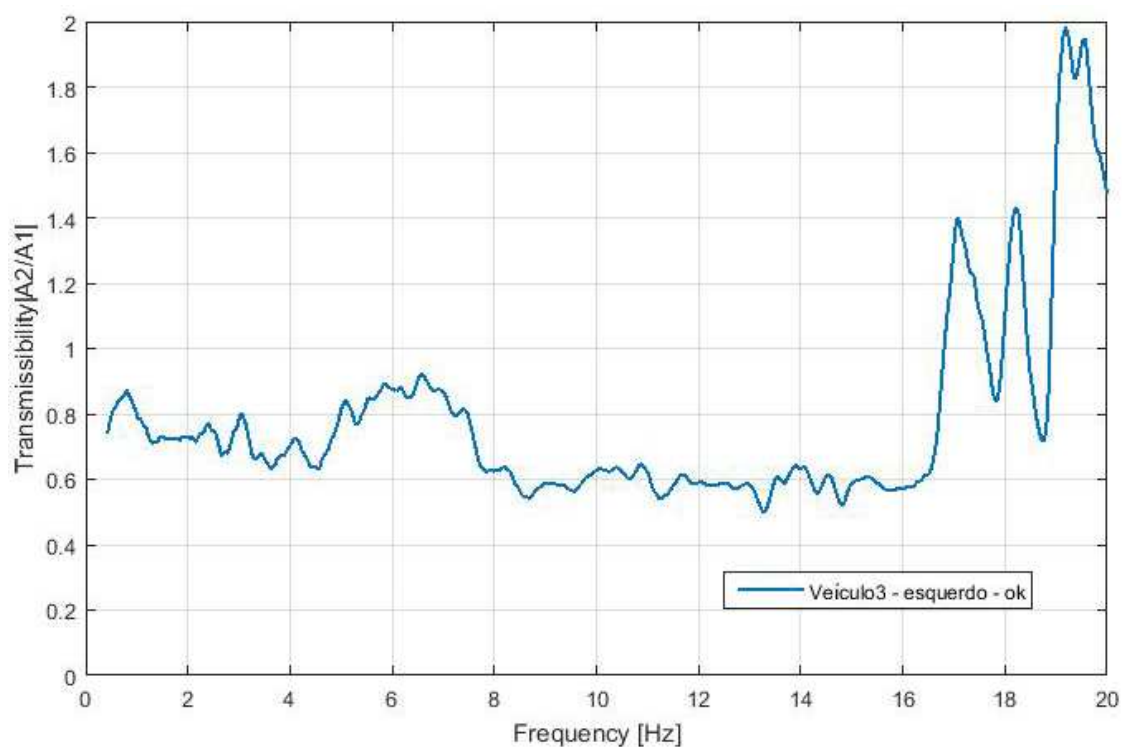


Figura 54 - Transmissibilidade global

Da análise do gráfico da FFT percebe-se qual a gama de frequências em que os acelerómetros sofrem mais excitação.

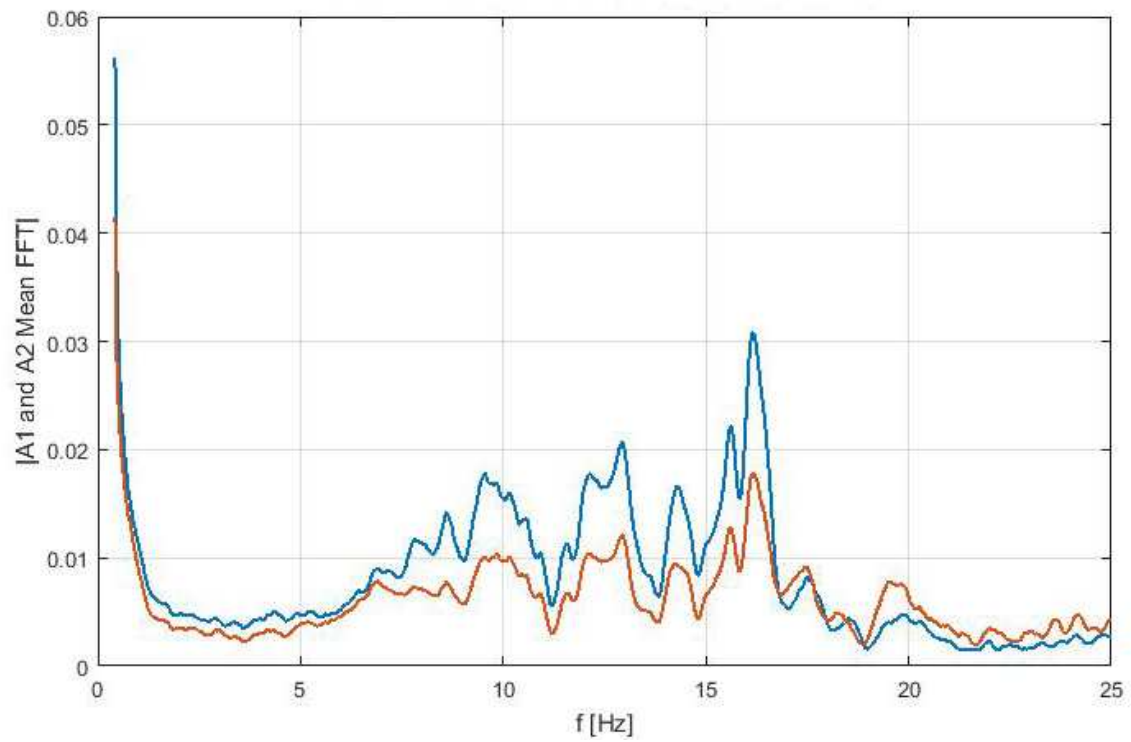


Figura 55 - FFT global

Analisando agora os resultados eixo a eixo.

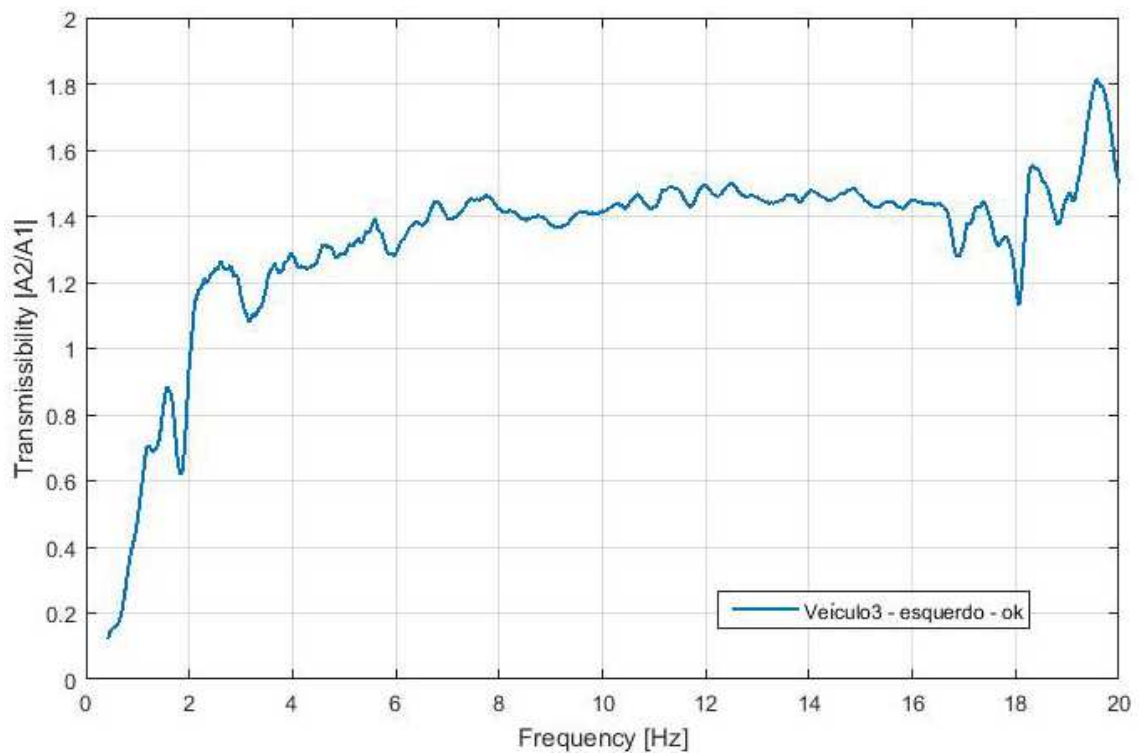


Figura 56 - Transmissibilidade no eixo dos XX

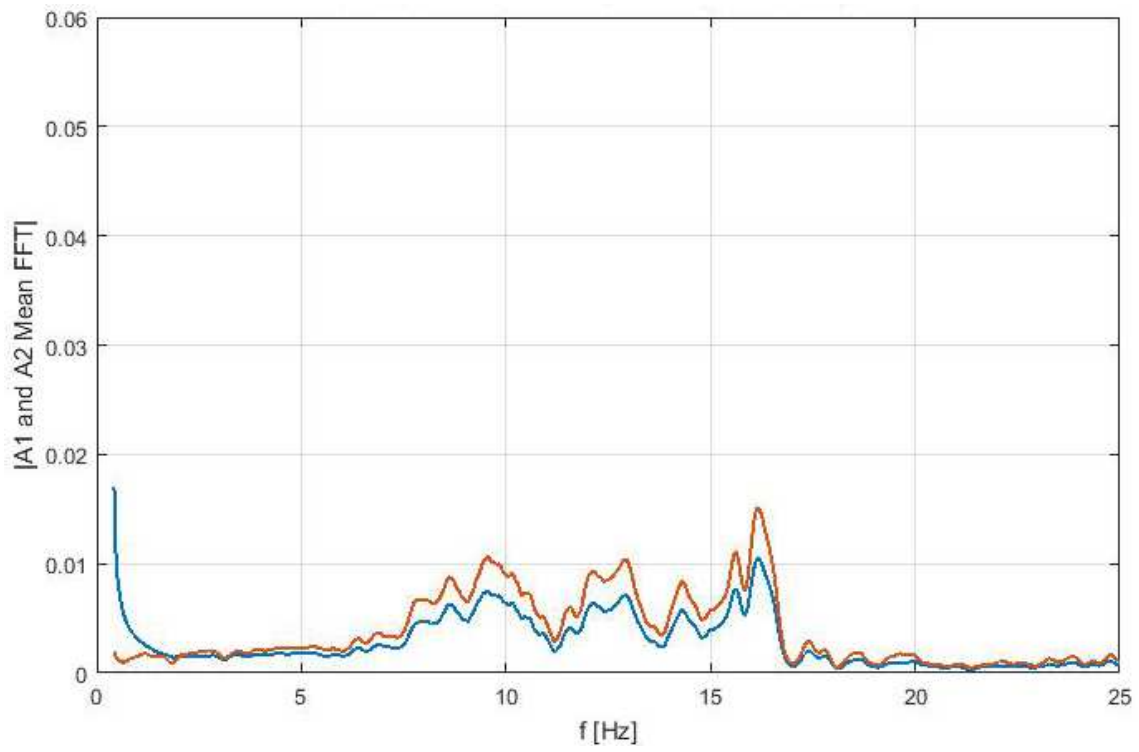


Figura 57 - FFT no eixo dos XX

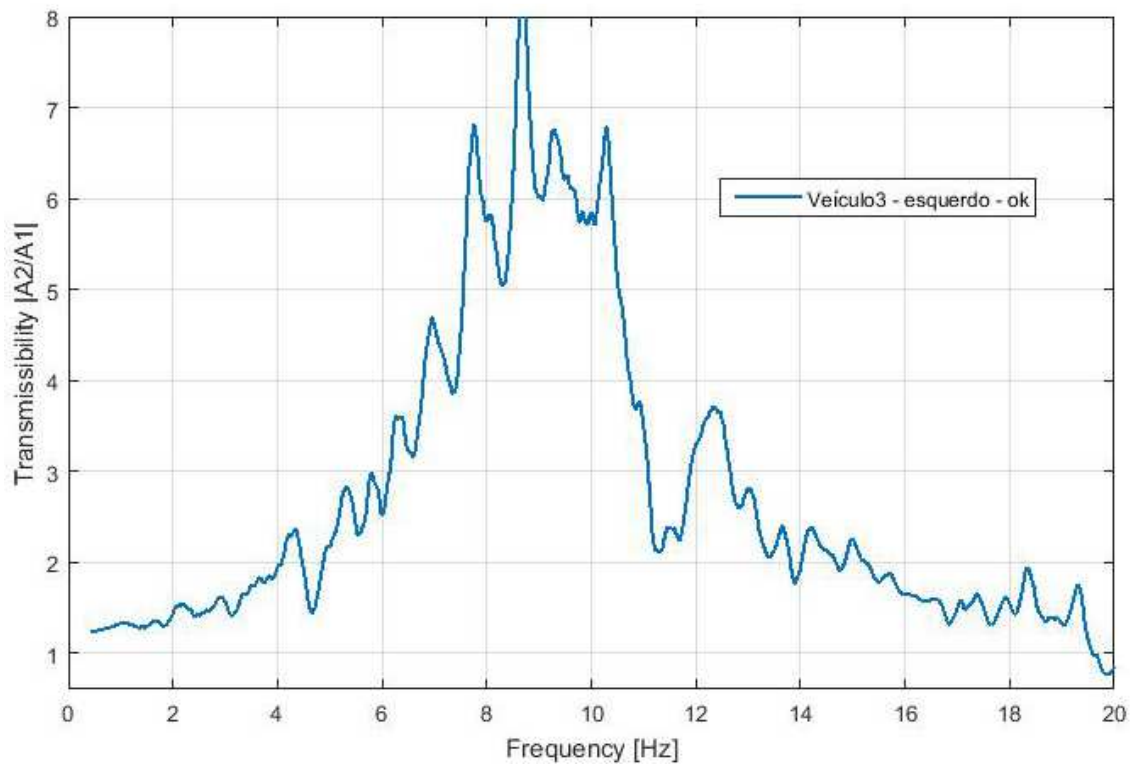


Figura 58 - Transmissibilidade em YY

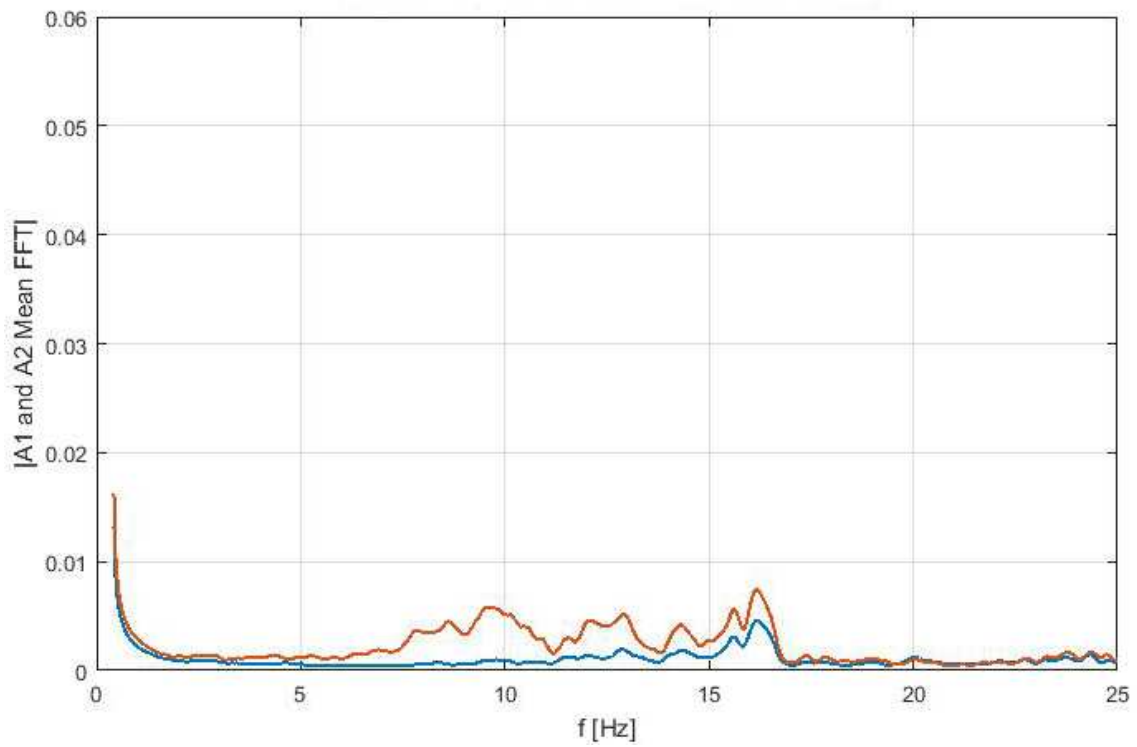


Figura 59 - FFT em YY

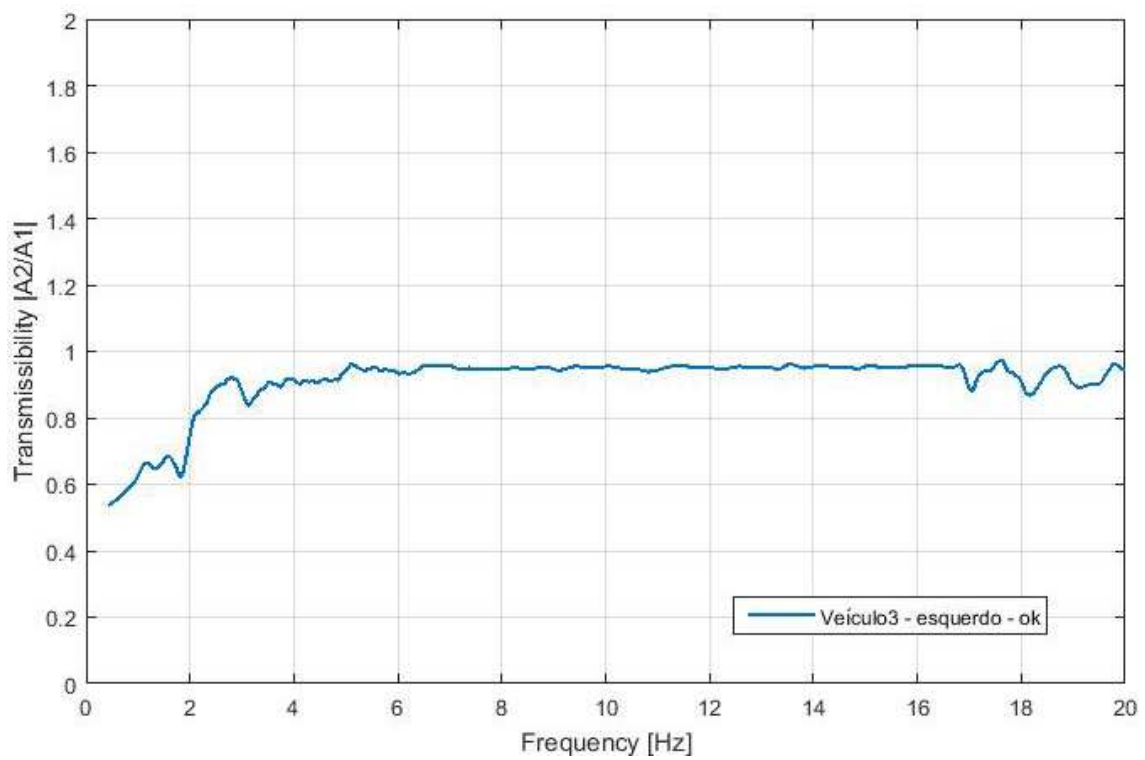


Figura 60 - Transmissibilidade em ZZ

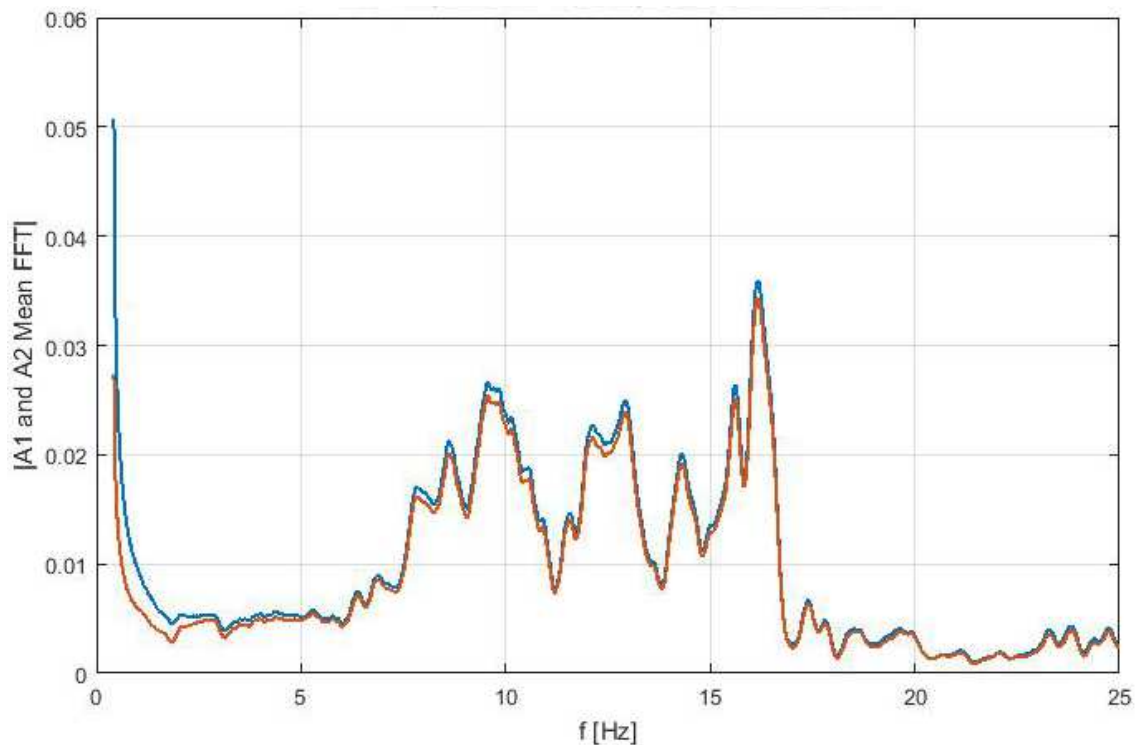


Figura 61 - FFT em ZZ

Da análise dos resultados eixo a eixo percebe-se que é segundo o eixo dos ZZ que a excitação é mais intensa pois é segundo esse sentido em que o banco de suspensão provoca a excitação do teste. Segundo o eixo dos XX a excitação também é significativa mas a curva de transmissibilidade mesmo mantendo-se aproximadamente linear apresenta valores que não são os esperados inicialmente.

Desta forma na análise dos testes seguintes vai ser escolhido o eixo correspondente ao sentido de excitação do banco de suspensão.

A orientação dos eixos no acelerómetro é evidenciada na figura seguinte.

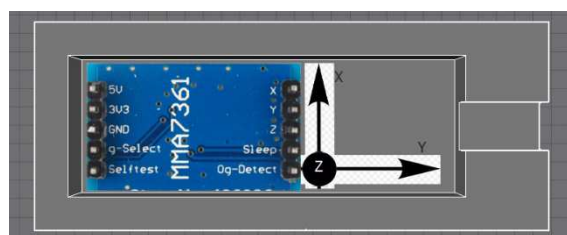


Figura 62 - Orientação dos eixos do acelerómetro na caixa

3.6.2. Validação e sistematização do teste

Para validação e sistematização dos resultados foram realizados ensaios em três veículos diferentes em que as rótulas visualmente se encontravam em bom estado. Depois de analisados os dados apresentam-se os resultados segundo o eixo dos Z, sentido em que o acelerômetro acompanha o sentido da excitação.

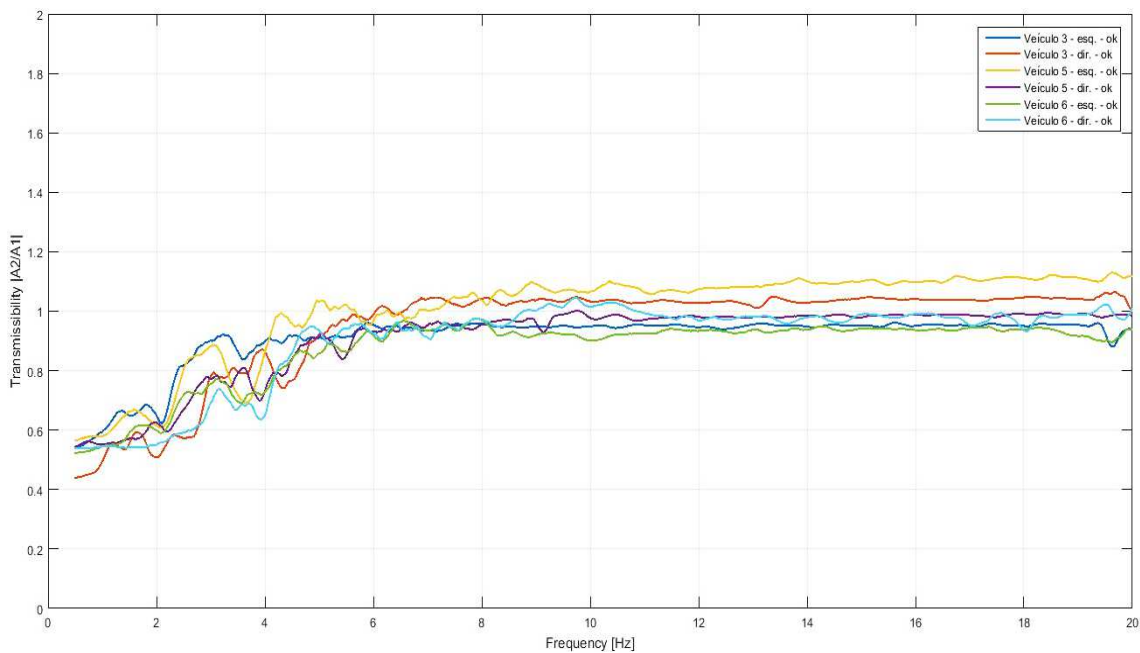


Figura 63 - Comparação de transmissibilidade entre três veículos diferentes

Analisando as frequências em que o banco de suspensão atua verifica-se que é no intervalo dos 8 aos 18 Hz em que a excitação nos acelerômetros é mais relevante. Neste intervalo percebe-se que os valores de transmissibilidade são consistentes em todos os ensaios. As curvas nesse intervalo são praticamente lineares.

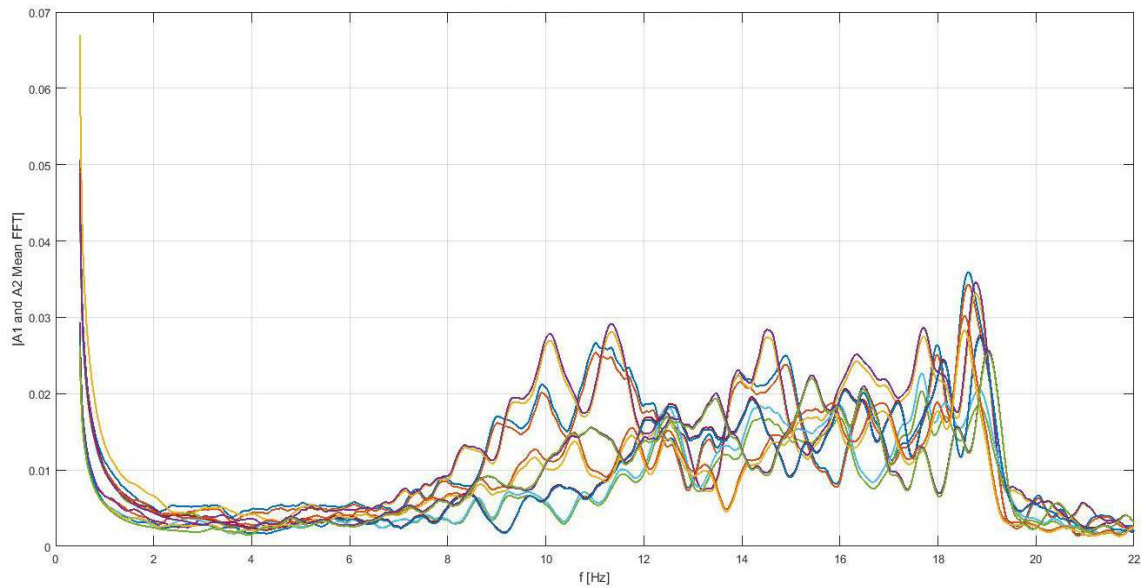


Figura 64 - Intervalo de frequências em que a excitação é mais relevante

Em seguida interessa perceber qual a reação do teste quando aplicado a rótulas danificadas e comparar com valores de rótulas em bom estado.

3.6.3. Comparação de teste ok_ok com ok_danificado

As figuras seguintes evidenciam dois exemplos de testes obtidos. O primeiro representa um teste realizado a um veículo (veículo 5) em que do ponto de vista visual, as rótulas estão em boas condições. A figura seguinte representa um teste em que a rótula do lado esquerdo está em bom estado e a do lado direito apresenta desgaste (veículo 1).

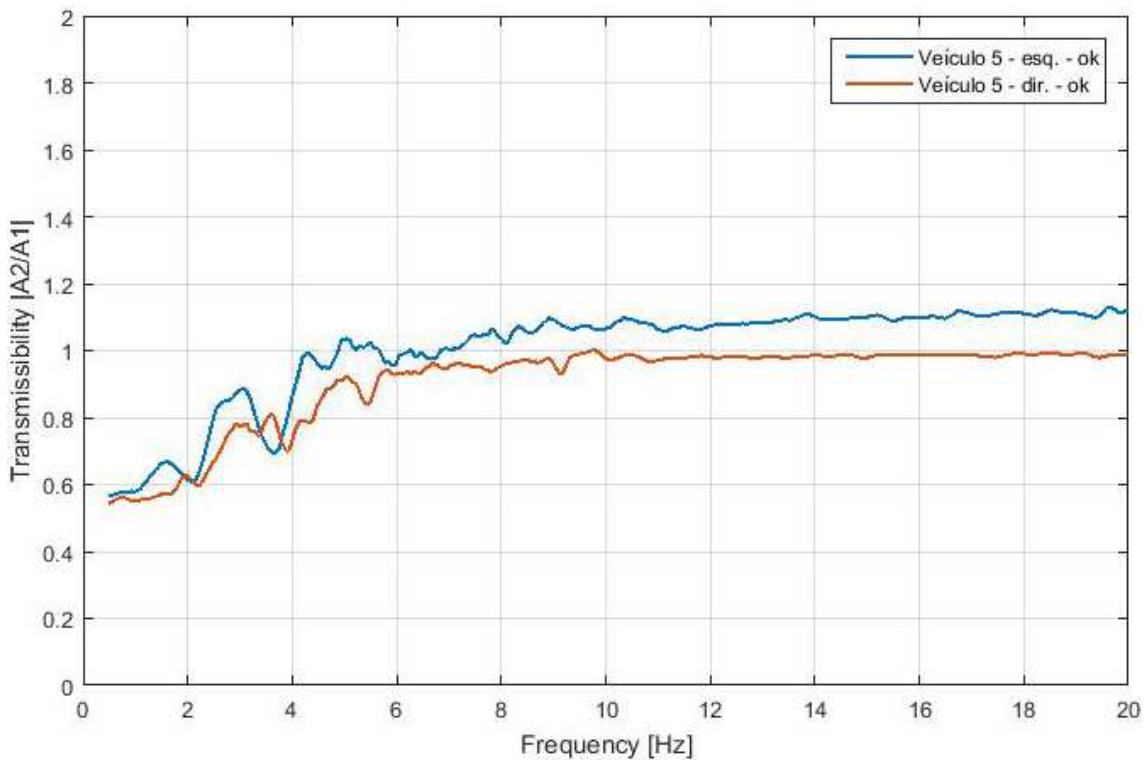


Figura 65 - Resultado segundo eixo dos ZZ para um veículo com rótulas em bom estado

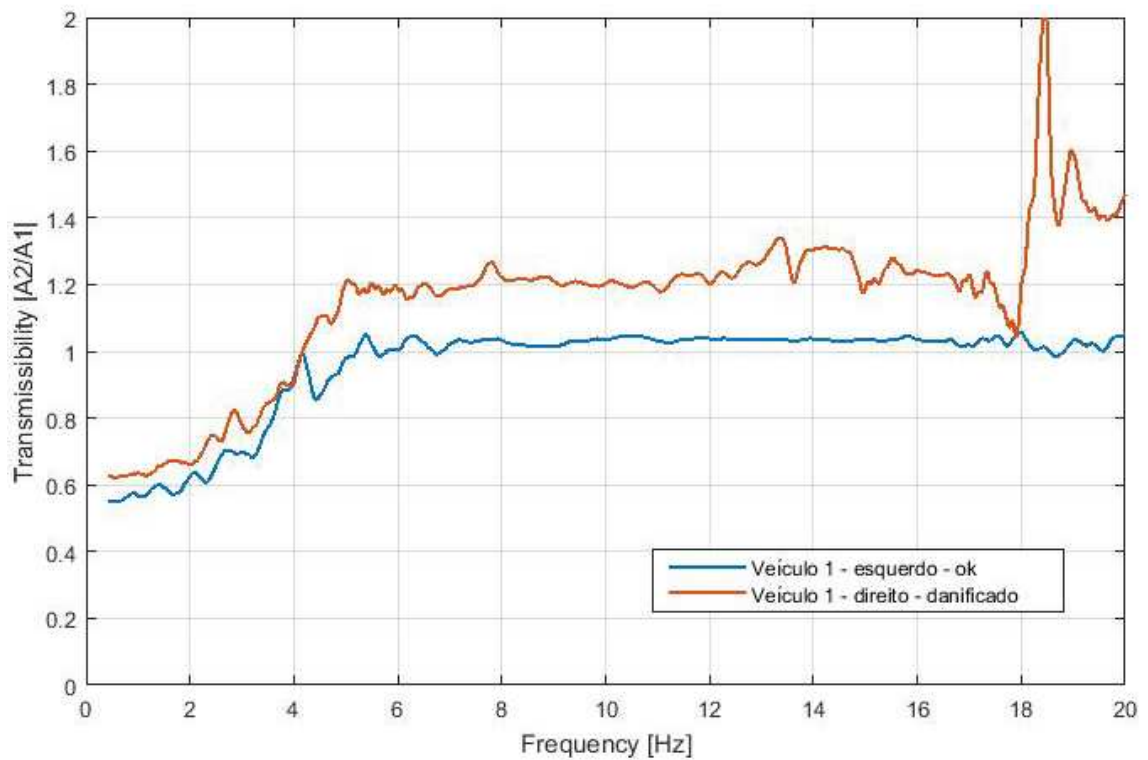


Figura 66 - Resultado para veículo com uma rótula em bom estado e outra danificada no eixo dos ZZ

3.6.4. Importância da colocação dos acelerómetros

Foram ainda realizados testes para perceber a importância da colocação dos acelerómetros no veículo. Obtiveram-se testes no mesmo veículo colocando os acelerómetros em duas posições diferentes: o primeiro em que os acelerómetros ficam mais próximos das rótulas e o segundo em que os acelerómetros são afastados. Na figura seguinte são apresentados os resultados. É apenas traçado um gráfico em que mostra, para uma mesma rótula, o valor obtido numa situação e noutra.

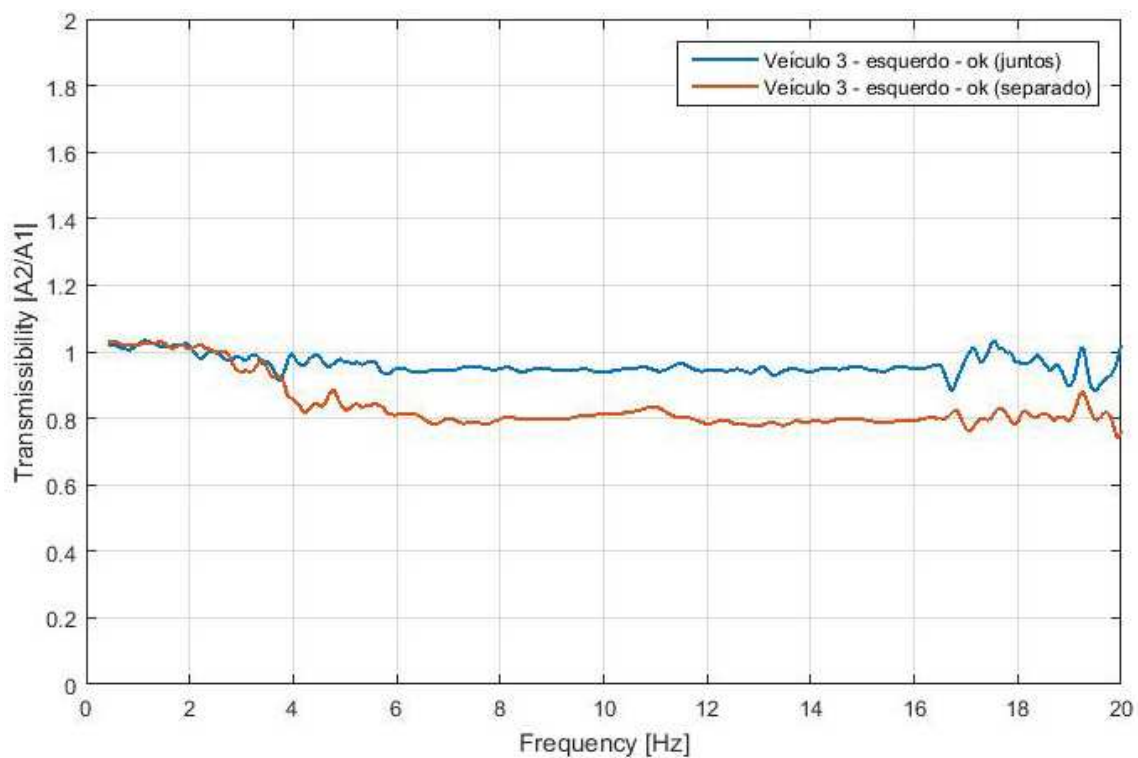


Figura 67 – Resultados para posições diferentes dos acelerómetros

Com a próxima figura pretende-se evidenciar a forma como os acelerómetros foram colocados durante os dois ensaios.



a)



b)

Figura 68 - Colocação dos acelerómetros: a) juntos; b) separados

3.6.5. Teste em placa detetora de folgas

Para tentar obter outro meio de excitação foram realizados testes também na placa detetora de folgas. Verificando apenas os gráficos de transmissibilidade parecia uma opção a considerar mas depois de analisar o espectro de frequências detetadas percebeu-se que era apenas ruído o que estava a ser analisado. As frequências de excitação obtidas não são suficientemente altas para que os acelerómetros registem valores.

Nas figuras seguintes são apresentados os resultados na forma de transmissibilidade e na frequência espectral para justificar a desistência da utilização deste método de excitação.

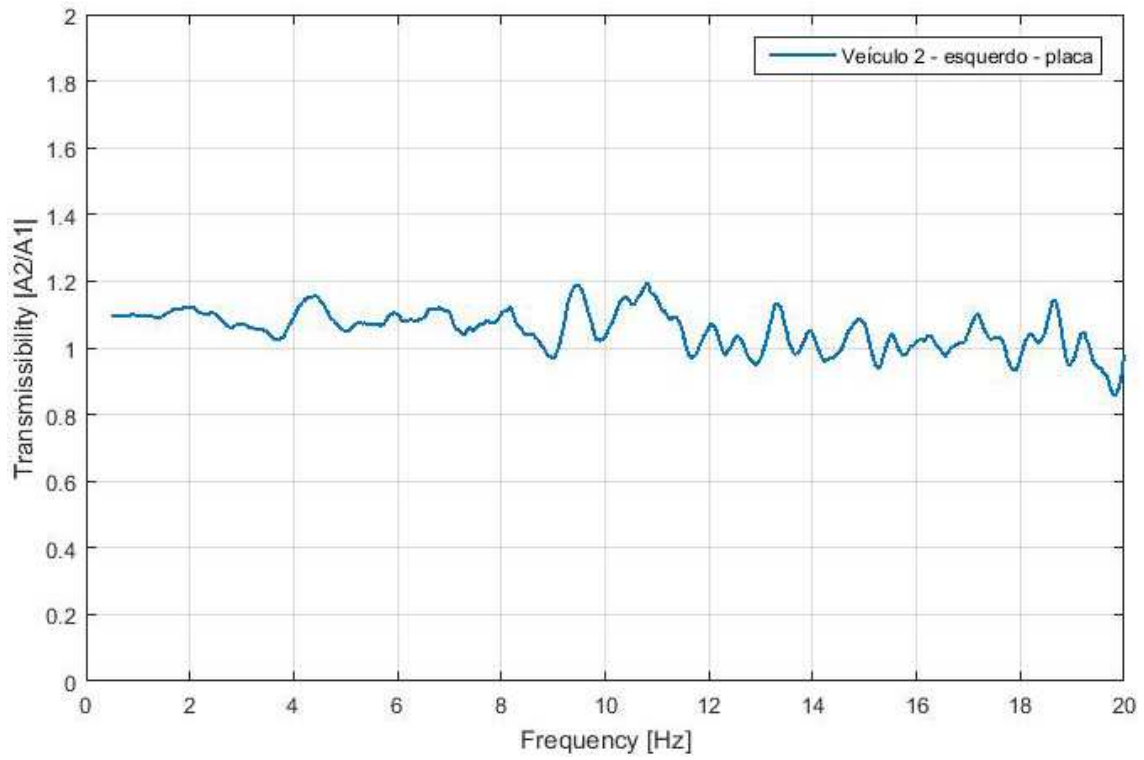


Figura 69 - Transmissibilidade segundo o eixo dos ZZ

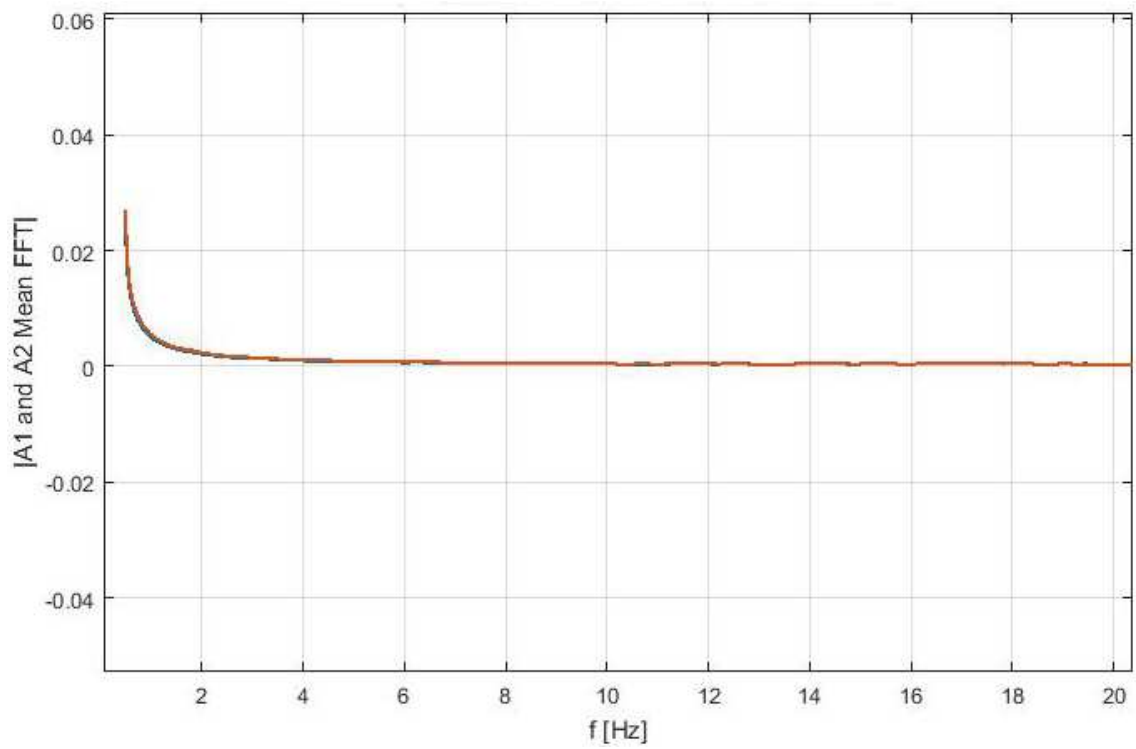


Figura 70 - Valores de FFT segundo o eixo dos ZZ

3.6.6. Teste com aumento de desgaste implementado

Para verificar a validade dos resultados na avaliação do desgaste da folga da rótula foram realizados testes em que o desgaste no componente foi propositadamente incrementado. No mesmo veículo foram realizados testes em que inicialmente ambas as rótulas estavam em bom estado e foi sendo provocado gradualmente desgaste na rótula de um dos lados. Os resultados são evidenciados nas figuras seguintes.

A primeira imagem representa o resultado para um teste em que as duas rótulas se encontram em boas condições.

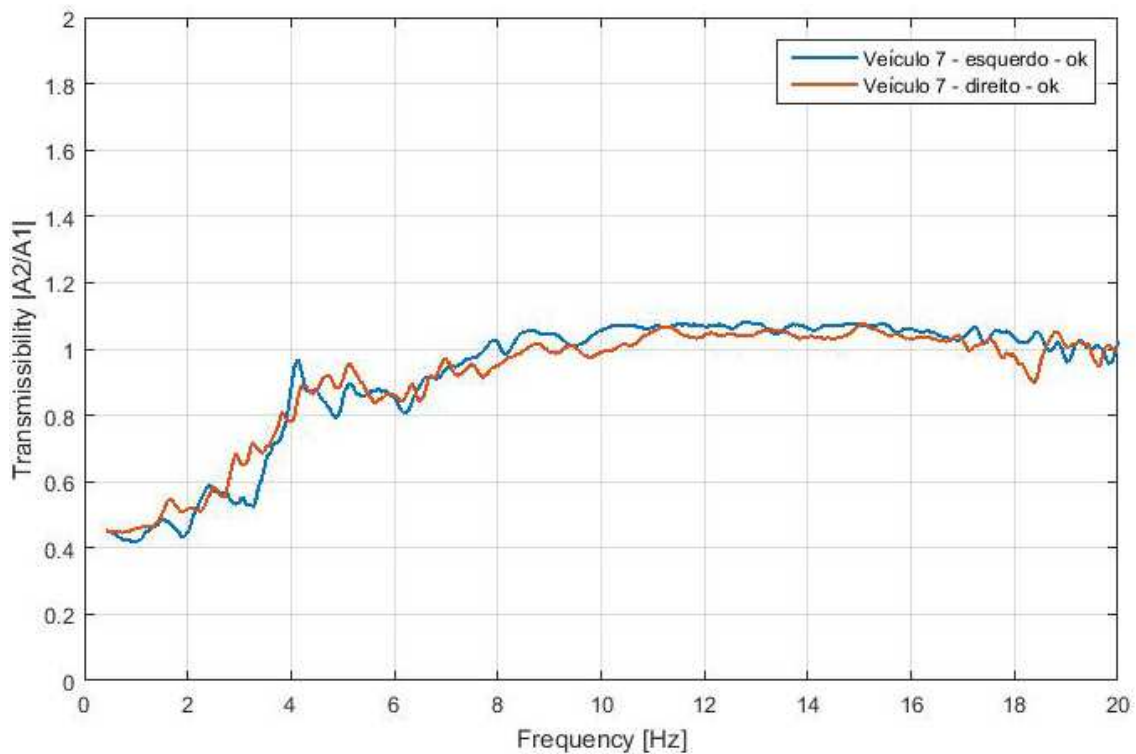


Figura 71 - Teste com ambas as rótulas em bom estado

Foi provocado algum desgaste na rótula do lado direito e realizado novo teste que é evidenciado na figura seguinte.

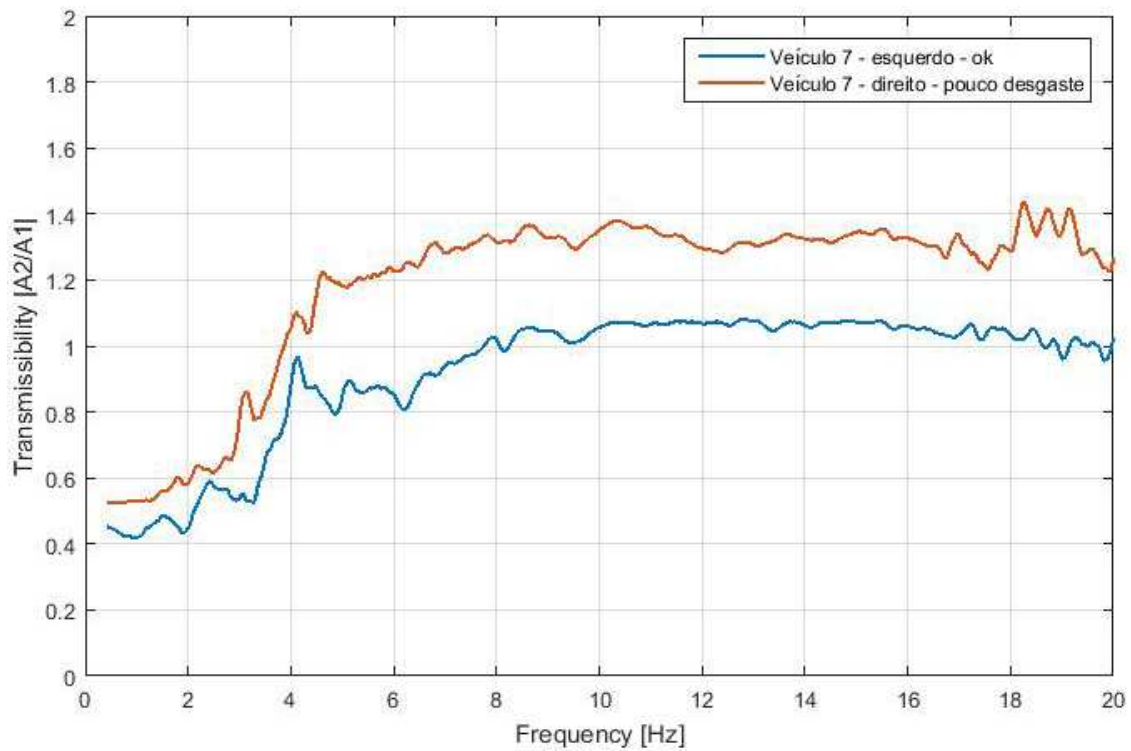


Figura 72 - Teste com algum desgaste na rótula do lado direito

Voltou-se a aumentar o desgaste na rótula do lado direito e o resultado é apresentado em seguida.

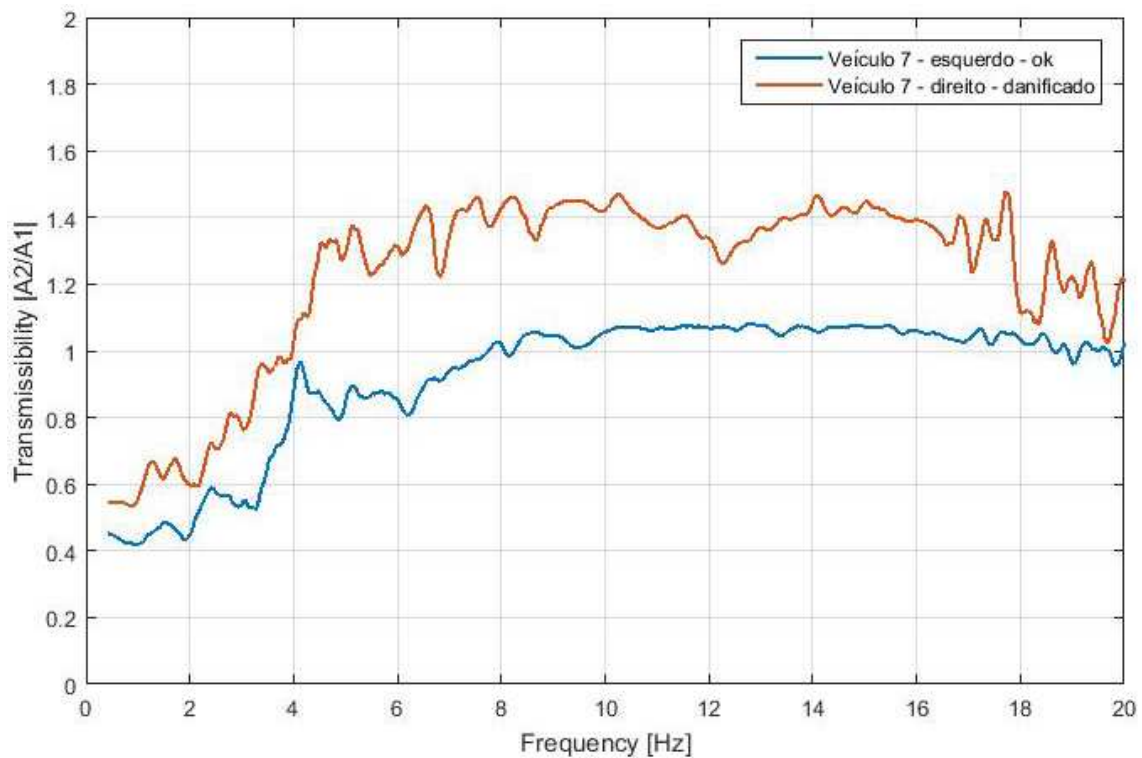


Figura 73 - Teste com desgaste na rótula do lado direito

E por fim foi provocado muito desgaste na rótula do lado direito e retiraram-se os valores apresentados de seguida.

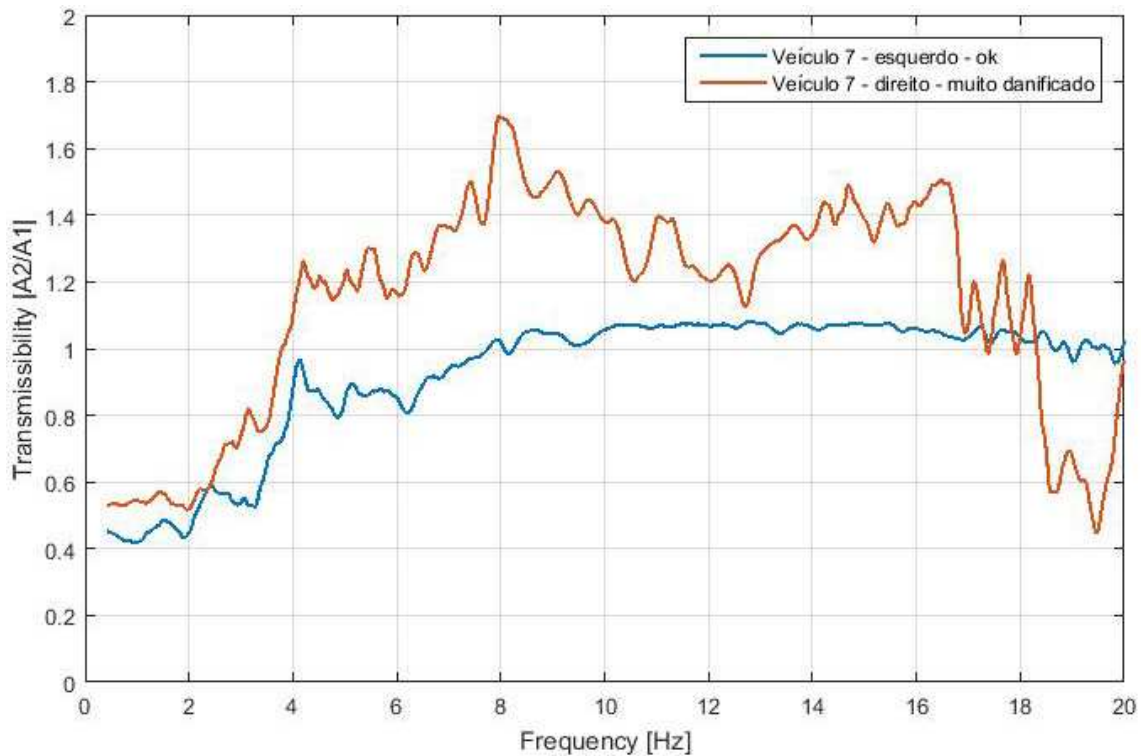


Figura 74 - Teste com muito desgaste na rótula do lado direito

3.6.7. Outros testes

Neste subcapítulo serão apresentados diferentes testes realizados em diferentes carros permitindo assim, pela repetibilidade, ter confiança nos resultados obtidos.

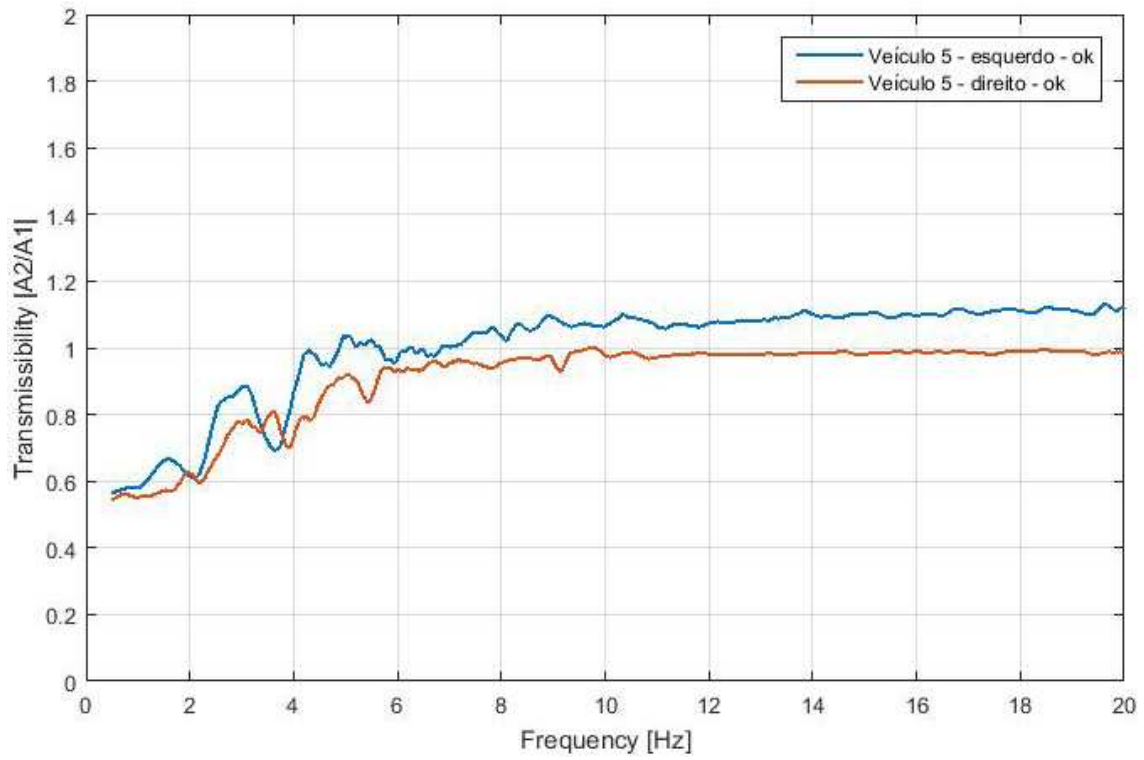


Figura 75 - Teste em veículo 5 segundo eixo dos ZZ

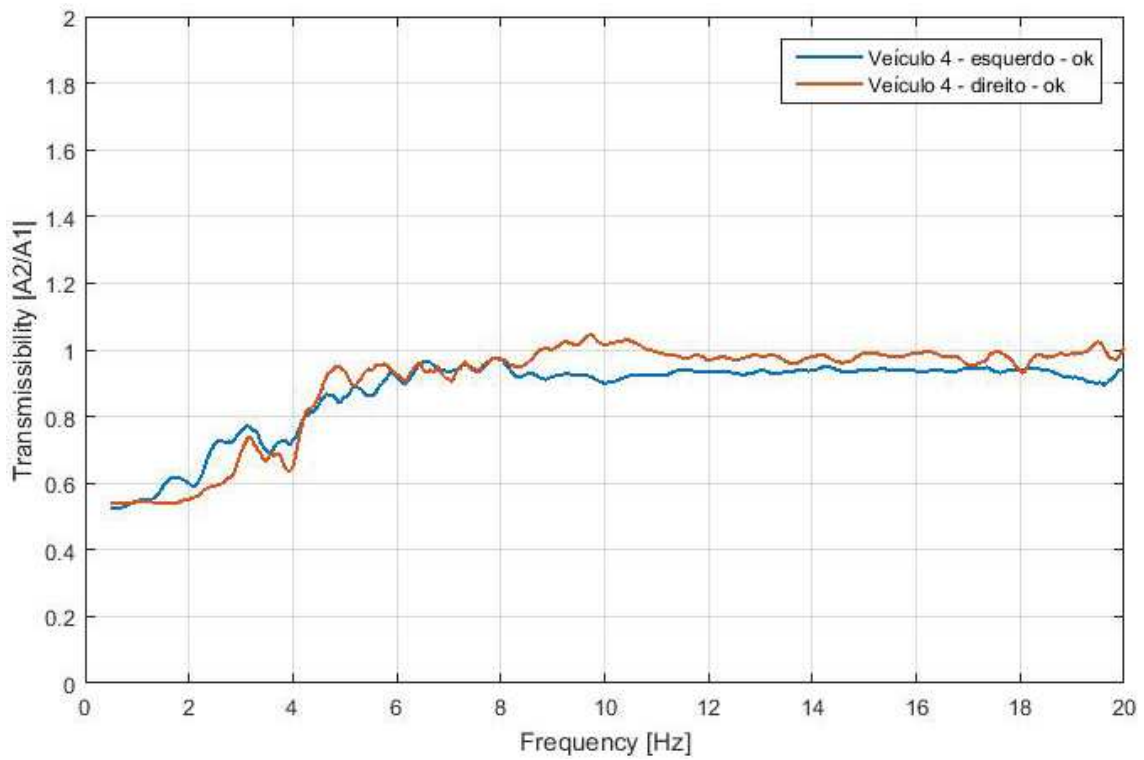


Figura 76- Teste em veículo 4 segundo eixo dos ZZ

4. Discussão de Resultados

Durante este capítulo vão ser discutidos os casos práticos e as situações que foram criadas para se conseguir validar e dar consistência ao método proposto.

4.1. Determinação do estado da rótula

Ao analisar os gráficos obtidos percebe-se que o ideal será analisar o valor de transmissibilidade utilizando o eixo que está orientado no sentido da excitação provocada. Nos dois outros eixos os valores registados são maioritariamente ruído. O valor global do teste é tendencialmente correspondente ao valor obtido pelo eixo escolhido mas é visível neste resultado a introdução do ruído captado pelos outros eixos.

Tendo sido realizados testes em veículos que, em termos visuais, as rótulas tinham um estado já conhecido foram realizados testes em veículos com as rótulas em bom estado e outros em que uma das rótulas se encontrava danificada. Foi ainda realizado uma sequência de testes em que o estado de desgaste do componente foi sendo incrementado propositadamente. Só assim foi possível validar o valor real deste teste sugerido. Desta forma, comparando os valores obtidos foi possível concluir que a ferramenta pode ter uma aplicação prática.

Assim, analisando os gráficos e tendo uma base de comparação, conseguimos inferir sobre o estado de desgaste da rótula analisada.

No gráfico seguinte são sobrepostos os resultados obtidos para o Veículo 1 e para o Veículo 5 no eixo dos Z. Da análise dos gráficos percebe-se que a amplitude maior entre as curvas se encontra nos valores obtidos para o Veículo 1 onde antecipadamente se tinha verificado que uma das rótulas apresentava folga. Para além disso existem, dentro da gama de frequências em que a excitação é maior, variações do valor de transmissibilidade quando no caso da rótula em bom estado este se mantém estável.

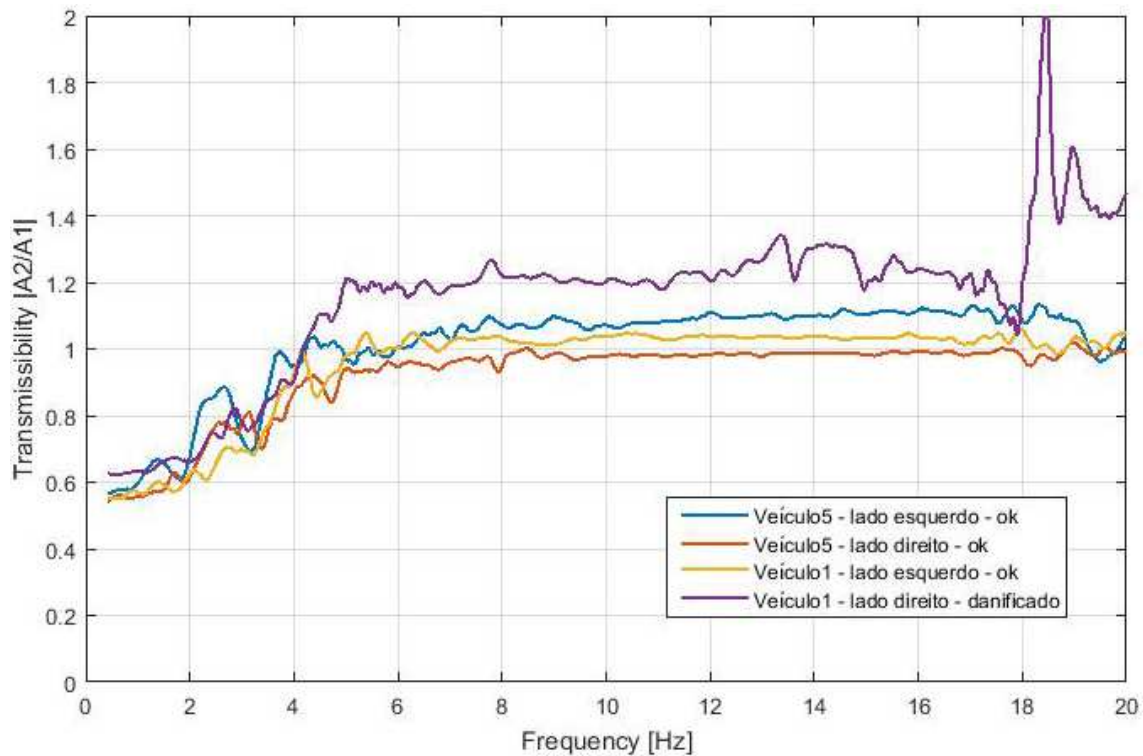


Figura 77 - Comparação de resultados entre Veículo 1 e Veículo 5

4.2. Importância da colocação dos acelerômetros

Relativamente à importância da orientação dos eixos foram realizados testes no mesmo veículo em que se alterou apenas a posição dos acelerômetros. Desta forma percebe-se que o valor global do teste é semelhante mas o dado mais relevante é perceber que os valores mais consistentes são obtidos nos eixos correspondentes ao sentido de excitação provocado pelo ensaio.

Dos ensaios realizados fazendo alterar a distância entre os acelerômetros verifica-se que se mantém a linearidade do gráfico obtido e a gama de frequências em que a excitação é mais forte mantém-se existindo apenas um aumento no valor de transmissibilidade medido.

4.3. Teste em banco de suspensão e placa detetora de folga

Na questão da possibilidade do teste ser realizado também nas placas detetoras de folga depois da análise dos resultados percebe-se que os acelerómetros não conseguem captar informação correspondente ao que é pretendido pois a frequência do teste é muito baixa.

Os resultados obtidos são maioritariamente ruído não permitindo desta forma fazer uma comparação com os valores obtidos pelo teste em banco de suspensão.

4.4. Comparação de resultados

A realização do primeiro ensaio permite fazer uma análise em todos os testes seguintes de forma mais fácil e clara. A sua análise permitiu perceber que a posição dos acelerómetros é importante na medida em que o eixo a ser analisado tem que ser o que está orientado com o sentido de excitação do banco. Verificou-se qual a gama de frequências em que os acelerómetros adquirem informação e foi traçada a curva de transmissibilidade que, dentro da gama de excitação relevante, se apresenta linear e com o valor próximo de um como era esperado teoricamente.

A possibilidade de serem adquiridos diversos testes em veículos diferentes em, visualmente, as rótulas se apresentavam em bom estado garante a repetibilidade dos ensaios. É possível verificar também que a gama de frequências se mantém.

Para a análise do estado da rótula o ensaio em que o aumento do desgaste na rótula é provocado e medido em diferentes fases permite que, com o teste proposto, se possa tornar este tipo de análise aplicável em casos reais.

Com os resultados apresentados na figura seguinte verifica-se que entre os 8 e os 18 Hz o aumento de desgaste é acompanhado com o aumento do valor de transmissibilidade calculado e também acompanhado do aumento de instabilidade na curva apresentada.

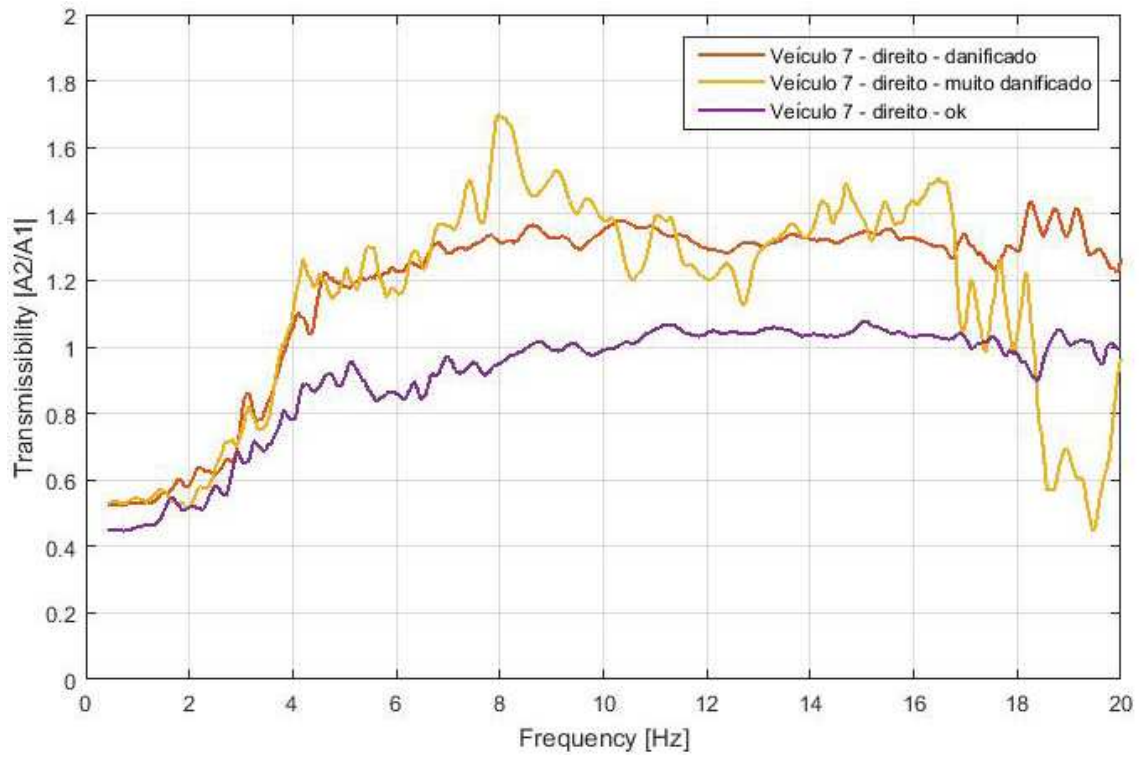


Figura 78 - Resultados da evolução do desgaste da mesma rótula

5. Conclusões

O objetivo do trabalho que foi proposto foi alcançado. Da análise dos testes realizados é possível avaliar o estado de desgaste de cada rótula analisada.

Dos testes realizados foi feita uma análise dos eixos em conjunto e individualmente. Desta forma foi possível perceber a importância da colocação dos acelerômetros durante os testes.

Foram efetuadas aquisições de testes repetidos para verificar consistência de resultados e verificar a repetibilidade do ensaio.

Foi feita uma análise dos resultados eixo a eixo verificando-se que os valores mais relevantes são obtidos pelo eixo correspondente ao sentido que o banco de suspensão provoca a excitação.

A gama de frequências em que os resultados são mais relevantes está contida entre os 8 e os 18 Hz.

A utilização de um mesmo veículo em que se pode alterar progressivamente o estado de desgaste da rótula analisada permitiu analisar a curva de transmissibilidade obtida e comprovar o aumento do seu valor médio e também o aumento da instabilidade da curva com o aumento do nível de desgaste como era previsto teoricamente.

No estado em que é terminado o trabalho ficam como sugestões de melhoria:

- Na caixa: implementação de um voltímetro para controlar a carga da bateria;
- Dimensionamento das caixas dos acelerômetros: tentar construir caixas mais pequenas para evitar oscilações das caixas durante os testes reduzindo deste modo algum ruído nos resultados;
- Utilizar acelerômetros mais pequenos;
- Tentar utilizar acelerômetros sem fios. A sua oscilação durante os ensaios também

pode ter influência nos resultados;

- No software:

- tratamento de dados na própria caixa com uma resposta em escala quantitativa;
- implementar led's com uma escala de desgaste do componente;
- leitura de fft e escolha automática do eixo a utilizar;
- filtro com gama de frequências uteis

Bibliografia

- [1] “conceito.de,” 17 07 2016. [Online]. Available: <http://conceito.de/seguranca-rodoviaria>.
- [2] “Direção-Geral da Saúde,” 17 Julho 2016. [Online]. Available: <http://www.dgs.pt/?c1=15746>.
- [3] “Instituto da Mobilidade e dos Transportes,” 17 Julho 2016. [Online]. Available: <http://www.imtt.pt/sites/imtt/portugues/veiculos/inspecao/Tiposinspeccoes/Paginas/TiposdeInspecoes.aspx>.
- [4] A. N. d. S. Rodoviária, “<http://www.ansr.pt/Pages/default.aspx>,” Relatórios Anuais de 2007 a 2014. [Online]. Available: <http://www.ansr.pt/Estatisticas/RelatoriosDeSinistralidade/Pages/default.aspx>. [Acedido em 2017].
- [5] C. -. D. Curricular, Diagnóstico e Reparação De Avarias No Sistema de Suspensão, Lisboa, 2000.
- [6] L. B. D. B. e. Carlos Frederico Albuquerque, O Livro do Automóvel, Lisboa: Selecções do Reader's Digest, 1976.
- [7] D. Lucchesi, O Automóvel - Curso Técnico Vol. 3, Lisboa: Editorial Presença, 1989.
- [8] D. Bastow, Car Suspension and Handling, Inglaterra: John Wiley & Sons Ltd, 1997.
- [9] J. E. Duffy, Modern Automotive Technology, Estados Unidos da América: The Goodheart-Willcox Company, Inc., 2004.
- [10] A. & Cia, “<http://www.oficinaecia.com.br/>,” [Online]. Available: <http://www.oficinaecia.com.br/bibliadocarro/biblia.asp?status=visualizar&cod=125>. [Acedido em 2017].
- [11] REMAGOS, “<http://www.alfasport.net/>,” [Online]. Available: <http://www.alfasport.net/webPage/View.asp?id=737>. [Acedido em 2017].
- [12] HONDA, “<http://hondanews.com/>,” [Online]. Available: <http://hondanews.com/releases/abaef1e8-ed46-d7c9-bf2e-67004c34bbbf?l=en->

- US&mode=print. [Acedido em 2017].
- [13] G. M. Group, “<http://oppositelock.kinja.com/>,” [Online]. Available: <http://oppositelock.kinja.com/it-just-hit-home-662846465>. [Acedido em 2017].
- [14] AUTOPEdia, “<http://autopedia.com/>,” 1995. [Online]. Available: <http://autopedia.com/Infin/97Q45suspcut.html>. [Acedido em 2017].
- [15] A. Hand, “<http://321polo.net/>,” [Online]. Available: <http://321polo.net/2012/01/rule-highlight-ball-joint-and-side-joint/>. [Acedido em 2017].
- [16] N. M. Júlio Montalvão e Silva, *Vibrações e Ruído - Teoria*, Lisboa: Instituto Superior Técnico - Lisboa.
- [17] V. F. Correia, *Vibrações Mecânicas - Textos de Apoio*, Paço de Arcos: Escola Superior Náutica Infante D. Henrique, 2002.
- [18] V. F. Correia, “*Vibrações Mecânicas - Textos de Apoio*,” Escola Superior Náutica Infante D. Henrique, 2002.
- [19] A. Chawla, 16 10 2013. [Online]. Available: http://web.iitd.ac.in/~achawla/public_html/736/16-suspension_3.pdf.
- [20] H. S. Badarau, “Determination of Vibration Transmissibility of the Suspension Mechanism in the Structure of Car Area Stability,” *Scientific Bulletin - Automotive Series*.
- [21] P. V. A. L. G. V. C. N. M. C. R. Carlos Ferreira, “Sensors and Actuators A: Physical,” *Elsevier*, 2008.
- [22] Y. J. K. B.-H. L. a. H.-J. A. C.-J. Kim, “Sensitivity Analysis For Reducing Critical Responses At The Axle Shaft Of A lightweight Vehicle,” *International Journal of Automotive Technology*, pp. 451-458, 2012.
- [23] C. C. J. J. P. D. T. J. M. Alan G. Mayton, “Laboratory Investigation Of Seat Suspension Performance During Vibration Testing,” Pensilvânia.
- [24] F. M. D. Ramos, “Vibration Analysis Of An Engine Mount,” Lisboa.
- [25] D. I. R. O. Cornelia Stan, “Study Concerning The Influence Of The Engine Mounting System On The Vibration Transmissibility To The Truck Cab,” Bucareste.
- [26] A. B. P. M. Walid Belgacem, “Active Vibration Control On A Quarter-car For Cancellation Of Road Noise Disturbe,” *Journal of Sound and Vibration*, pp. 3240-3254, 2012.

- [27] P. S. D. S. Ashish Parekh, "Transmissibility Analysis Of A Car Driver's Seat Suspension System With An Air Bellow Type Damper," *International Journal on Recen Technologies in Mechanical and Electrical Engineering*, pp. 012-019, 2014.
- [28] D. J. C. I. P. T. J. P. Francis Augustine Joseph, "Low Frequency Vibration Analysis On Passenger Car Seats," *International Journal Of Scientific & Engineering Research*, 2013.
- [29] P. M. A. B. H. Douville, "On-resonance Transmissibility Methodology For Quantifying The Structure-borne Road Noise Of An Automotive Suspension Assembly," *Applied Acoustics* 67, pp. 358-382, 2006.
- [30] Servotest. [Online].
- [31] "http://www.moogproblemsolver.com," [Online]. Available: <http://www.kenzoe.net/Business/BallJoints.pdf>.
- [32] C. C. P. M. A. P. E. A. Ossa, "Failur Analysis Of a Car Suspension System Ball Joint," *Engineering Failure Analysis* 18, pp. 1388-1398, 2011.
- [33] T. D. J. D. P. D. B. S. Raes, "Design of a Tribological Ball Joint Tester," *Sustainable Construction & Design Vol. 6 N°1*, 2015.
- [34] "www.datasheetspdf.com," [Online]. Available: <http://www.datasheetspdf.com/datasheet/MMA7361.html>.
- [35] A. AG, "https://forum.arduino.cc/," [Online]. Available: <https://forum.arduino.cc/index.php?topic=360325.0>. [Acedido em 2017].
- [36] "robotics.ee.uwa.edu.au," [Online]. Available: http://robotics.ee.uwa.edu.au/courses/des/nano/doc/Arduino_Nano.pdf.
- [37] r. e. G. & C. KG, "https://www.reichelt.de/," [Online]. Available: <http://www.reichelt.de/Einplatinen-Microcontroller/ARDUINO-NANO/3/index.html?ACTION=3&GROUPID=6667&ARTICLE=142943&OFFSET=16&SID=10VRpVJ6wQATIAAE7hKjY4be7138985d0c3ab092f2a5c887a28ab&LANGUAGE=EN>. [Acedido em 2017].
- [38] B. Ltd, "http://www.banggood.com/," 2006. [Online]. Available: <http://www.banggood.com/Funduino-Nano-Expansion-Board-ATmega328P-Nano-V3-Improved-Version-For-Arduino-p-1011009.html>. [Acedido em 2017].
- [39] L. MODAINTERACTIVA, "http://www.aplgadgets.com/," 2016. [Online].

- Available: <http://www.aplgadgets.com/pt/5V/C362>. [Acedido em 2017].
- [40] Nitrotek., “<http://www.nitrotek.pt/>,” 2004. [Online]. Available: <http://www.nitrotek.pt/rc-accessories/batteries/spare-battery-72v-1100mah-ni-mh-2-3a-for-1-18th-rc-cars.html>. [Acedido em 2017].
- [41] E. LTDA., “<http://eletronicos.mercadolivre.com.br/>,” 1999. [Online]. Available: <http://eletronicos.mercadolivre.com.br/peças-componentes-eletricos-chaves/push-button>. [Acedido em 2017].
- [42] S. Lusilectra - Veículos e Equipamentos, SA2 / FWT para Eurosystem PESADOS - Teste de Suspensões para veículos passageiros e comerciais ligeiros, Porto, 2002.
- [43] S. Lusilectra - VEÍCULOS E EQUIPAMENTOS, PMS / LMS - Detetor de folgas, Porto, 2004.
- [44] S. B. G. F. Mojtaba Azadi, “Performance Analysis Of A Semi-active Mount Made By A New Variable Stiffness Spring,” *Journal of Sound and Vibration*, pp. 2733-2746, 2011.
- [45] M. G. Y. Qiu, “Transmission Of Vibration To The Backrest Of A Car Seat Evaluated With Multi-Input Models,” *Journal of Sound and Vibration*, pp. 297-321, 2004.
- [46] S. B. G. F. Mojtaba Azadi, “Antagonistic Variable Stiffness Elements,” *Mechanism and Machine Theory*, pp. 1746-1758, 2009.
- [47] C. P. M. P. E.A. Ossa, “Failure Analysis Of A Car Suspension System Ball Joint,” *Engineering Failure Analysis*, pp. 1388-1394, 2011.
- [48] h. S.a.S., “<https://www.homotix.eu/>,” [Online]. Available: <http://www.homotix.eu/category.php~idx~~~32~~Accelerometri~.html>. [Acedido em 2017].

Anexos

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Glossário
