

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEEL

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Universidade Federal de São João del-Rei

**DETECÇÃO DE FALHAS DE DIRIGIBILIDADE VEICULAR
ATRAVÉS DA ANÁLISE TEMPO-FREQUÊNCIA DE
OSCILAÇÕES DO SINAL DE GIRO DE UM MOTOR A
COMBUSTÃO INTERNA**

Ronaldo Quintão Marinho

Orientador : Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira

Co-orientador : Prof. Dr. Giovani Guimarães Rodrigues

Belo Horizonte, 12 de Dezembro de 2017.

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica - PPGEEL

Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Universidade Federal de São João Del Rei

**DETECÇÃO DE FALHAS DE DIRIGIBILIDADE VEICULAR
ATRAVÉS DA ANÁLISE TEMPO-FREQUÊNCIA DE
OSCILAÇÕES DO SINAL DE GIRO DE UM MOTOR A
COMBUSTÃO INTERNA**

Ronaldo Quintão Marinho

Dissertação submetida à banca examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais e da Universidade Federal de São João Del Rei, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Elétrica.

Orientador : Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira

Co-orientador : Prof. Dr. Giovani Guimarães Rodrigues

Belo Horizonte, 12 de Dezembro de 2017.

- M338d Marinho, Ronaldo Quintão
- Detecção de falhas de dirigibilidade veicular através da análise tempo-frequência de oscilações do sinal de giro de um motor a combustão interna / Ronaldo Quintão Marinho. – 2017. xix, 50 f.: il., gráfs, tabs., fotos.
- Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica em associação ampla entre a UFSJ e o CEFET-MG.
- Orientador: Heverton Augusto Pereira.
 Coorientador: Giovani Guimarães Rodrigues.
 Dissertação (mestrado) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.
1. Veículos motorizados – Estabilidade – Teses. 2. Veículos motorizados – Controle automático – Teses. 3. Processamento do sinal – Matemática – Teses. 4. Motores de combustão interna – Teses. 5. Oscilações – Teses. I. Pereira, Heverton Augusto. II. Rodrigues, Giovani Guimarães. III. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. IV. Universidade Federal de São João del-Rei. V. Título.
- CDD 629.231

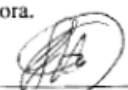


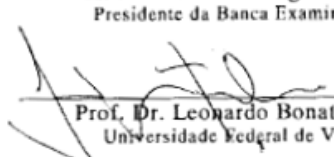
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL REI
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

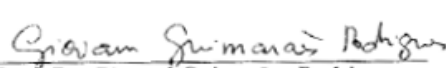


**ATA DA 148ª SESSÃO PÚBLICA DE APRESENTAÇÃO E DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA ELÉTRICA.**

No dia 12 de Dezembro de 2017, às 14:00 horas, no Auditório do Prédio 19 do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Campus II, reuniu-se a Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica UFSJ/CEFET-MG, constituída pelos membros: Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira (Orientador), Prof. Dr. Giovani Guimarães Rodrigues (Coorientador) – CEFET-MG, Prof. Dr. Leonardo Bonato Felix - UFV e Prof. Dr. Wallace do Couto Boaventura – UFMG para examinar o trabalho do mestrando RONALDO QUINTÃO MARINHO, sob o título: “Detecção de Falhas de Dirigibilidade Veicular Através da Análise de Tempo-Frequência de Oscilações do Sinal de Giro de um Motor a Combustão Interna”. O Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira, como Presidente da Banca Examinadora, declarou aberta a sessão passando a palavra ao mestrando para que expusesse sua dissertação. Terminada a exposição, o Presidente passou a palavra aos membros da Banca Examinadora, que iniciaram a arguição na seguinte ordem: Prof. Dr. Wallace do Couto Boaventura, Prof. Dr. Leonardo Bonato Felix e Prof. Dr. Giovani Guimarães Rodrigues. Terminada a arguição, o Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira solicitou ao mestrando e ao público que se retirassem do recinto, possibilitando à Banca Examinadora reunir-se para deliberar o resultado. Terminada a reunião, o Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira deu conhecimento ao candidato de que sua dissertação foi aprovada e que, no prazo de até 60 dias, deverá entregar a versão final, com a inclusão das sugestões dos membros da Banca, à Coordenação do PPGEL. Nada mais havendo a tratar, o Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira declarou encerrada a sessão. Para constar, foi lavrada esta ata que será assinada pelo Presidente e demais membros da Banca Examinadora.


Prof. Dr. Heverton Augusto Pereira
Presidente da Banca Examinadora


Prof. Dr. Leonardo Bonato Felix
Universidade Federal de Viçosa


Prof. Dr. Giovani Guimarães Rodrigues
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas
Gerais


Prof. Dr. Wallace do Couto Boaventura
Universidade Federal de Minas Gerais

*à minha esposa Sheila
e
minhas filhas Ju e Mel.*

“A informação que encontramos nos livros é como fogo. Nós trazemos dos nossos vizinhos, acendemos no lar, passamos para outros, e ela se torna propriedade de todos.”

Voltaire

Agradecimentos

Agradeço a Deus pela oportunidade e pela força de vontade nesta etapa de minha vida. Muitos foram os momentos onde precisei buscar forças para concluir este trabalho. Mas ele cumpriu seu papel, colocando em meu caminho pessoas maravilhosas que me auxiliaram e me apoiaram quando tudo parecia cada vez mais difícil.

Agradeço à FCA Automobiles pela oportunidade de realizar o Mestrado e pelo suporte durante todo o trabalho, especialmente aos colegas Flávio Flisch, Vinícius Abreu, Rodrigo Marinho, Fábio Sampaio, Remo Carvalho, Carlos Fuscaldi, Lucymara Alvarenga, Leandro Quetz, Eduardo Xavier, Charles Pimenta, Carlos Souza, Valbercy Silva e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para isso.

Agradeço aos colegas do CEFET MG, UFSJ e UFMG pelo companheirismo e ajuda quando precisei ao longo do caminho com as disciplinas e trabalhos realizados.

Agradeço a todos os professores pela atenção e compreensão, principalmente ao professor Dr. Heverton A. Pereira, quem abraçou a causa e estendeu sua mão para que eu pudesse concluir o trabalho, com sua paciência, atenção e cuidado sabendo das minhas limitações.

Ao professor Dr. Giovani Rodrigues, quem me apoiou desde o início e mesmo após diversas demonstrações de que meu caso não seria fácil, continuou com sua orientação e suporte.

Ao meu grande amigo que a vida apresentou como irmão, Dr. Alexandre

W.Farias, quem sempre me motivou e ajudou por inúmeras vezes. Seu apoio com a pesquisa, códigos e todas as demandas ocorridas ao longo dos estudos foi de suma importância para meu êxito. Muito obrigado brother!

E por fim, um agradecimento especial a minha maravilhosa esposa Sheila Marinho e minhas filhas Ju e Mel. Vocês são a verdadeira fonte de inspiração e combustível de todos os projetos de minha vida. Comigo a cada momento, dificuldade e conquista que se apresentam nesta caminhada. Nada disso teria sentido se não fosse por vocês também. Agradeço e peço perdão quando minha ausência foi necessária na dedicação aos estudos.

Sumário

Resumo	xiii
Abstract	xv
Lista de Tabelas	xvii
Lista de Figuras	xx
Lista de Abreviações	xxi
1 Introdução	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Organização do Texto	4
2 Revisão Bibliográfica	
Conceitos Gerais Envolvidos	5
2.1 Avaliação de Dirigibilidade Veicular	5
2.2 Controle de Motores de Combustão Interna	9
2.2.1 Sistema de Ignição	10
2.2.2 Sistema de Injeção de Combustível	11
2.2.3 Sistema de Aspiração de Ar	13

2.3	Formulação do Problema	15
2.4	Ferramentas Matemáticas e Metodologias	17
2.4.1	Relações entre Análise Wavelet e Fourier	17
2.4.2	Definições Gerais da Transformada Wavelet	19
2.4.3	Análise de Entropia dos Sinais	23
3	Metodologia	25
3.1	Veículo amostral, ambiente e equipamentos	25
3.2	Parametrização do <i>Software</i> de aquisição de dados	27
3.3	Procedimentos de Manobras e ensaios	29
3.4	Procedimento para análise dos sinais adquiridos	30
4	Análise e Resultados	33
4.1	Aquisição e preparação dos sinais	34
4.2	Análise via Wavemenu - <i>MATLAB Wavelet Toolbox</i>	34
4.3	Cálculo da Transformada Wavelet de Morlet	36
4.4	Análise de Entropia dos sinais: Determinação dos Parâmetros Objetivos	37
4.5	Validação do Procedimento	40
5	Conclusões e Propostas de Continuidade	43
	Referências Bibliográficas	47

Resumo

Um importante quesito no desenvolvimento de um veículo automotor é a dirigibilidade veicular. Esta exigência é de suma importância para os fabricantes e a interação do condutor com o veículo deve ser dada de forma confortável. Para avaliar este quesito, a resposta do motorista é atendida em seus vários modos de operação. Esta resposta pode ser influenciada direta ou indiretamente por fenômenos associados ao processo de combustão num motor de combustão interna.

As principais causas de anomalias ou fenômenos de dirigibilidade são anormalidades no sistema de admissão de ar, injeção de combustível ou de ignição, ou pelos efeitos causados pelas manobras do usuário do veículo. Para os engenheiros que trabalham com o sistema de controle do motor, o conhecimento do comportamento das variáveis do sistema é muito importante. Por conseguinte, observa-se que o sinal do sensor da rotação do motor apresenta uma reflexão direta para manobras ou falhas de condução.

Neste trabalho, são analisadas as oscilações dos sinais do sensor da rotação do motor. Além disso, uma metodologia baseada na transformada wavelet é proposta para detectar a falha de dirigibilidade além de uma classificação objetiva com um método de entropia de Shannon. Com a informação obtida, o sistema de controle pode ser adequadamente ajustado para melhorar então os impactos para o conforto e ergonomia na condução.

Foram atingidos resultados importantes e significativos, onde foi possível realizar uma detecção da anomalia em estudo através do método proposto, obtendo uma proposta prática de uma ferramenta de análise e detecção de falhas de dirigibilidade veicular que poderá ser devidamente aperfeiçoada em estudos e propostas futuras.

Abstract

An important issue for the vehicle development is the vehicle drivability. This requirement is very important for vehicle manufactures and the driver iteration should be given in a comfortable way. In order to evaluate this issue, the driver response is reached in its several operating modes. This response may be directly or indirectly influenced by the associated phenomena with the process in an internal combustion engine.

The main causes can be an abnormality in the air intake, fuel injection or ignition system, or by the effects caused by the user's maneuvers of vehicle. For engineers who work with the engine control system, the knowledge of the system variables and its behavior is very important. Therefore, it is observed that the signal of engine crankshaft sensor presents a direct reflection of maneuvers or vehicle drivability failures.

In this work the engine crankshaft sensor signals oscillations are analyzed. Besides, a methodology based on the wavelet transform is proposed to detect this drivability failure. With this obtained information, the control system can be properly adjusted in order to improve the drivability.

Significant results were achieved, where it was possible to perform an anomaly detection through the proposed method, obtaining a practical proposal of a vehicle drivability fault analysis and detection tool that can be properly improved in future studies and proposals.

Lista de Tabelas

2.1	Escala de Avaliação de Dirigibilidade Veicular (Dorey and Holmes, 1999)	9
2.2	Relação Estequiométrica ideal de combustíveis mais comuns - Pujatti (2007)	13
4.1	Entropias das Amostras Com e Sem Falha	39
4.2	Validação do Processo: Segundo Grupo de Amostras de Entropias	42

Lista de Figuras

1.1	Esquema básico de uma ECU	3
2.1	Modelo de bobina de ignição	11
2.2	Representação de uma vela de ignição por centelha	12
2.3	Exemplo de injetores e estrutura básica interna (Bauer, 1999)	13
2.4	Válvula de aspiração eletrônica (Cortesia FIAT Automóveis S/A)	14
2.5	Representação de um sistema Drive-By-Wire (Treinamento Interno FIAT Automóveis, 2010)	15
2.6	Exemplo de um sensor de rotação e seu posicionamento junto ao disco dentado em um MCI	16
2.7	Exemplo de oscilações características no sinal de giro do motor	17
2.8	Exemplo de dilatação de uma função wavelet (Castilho J. E. (2012))	21
2.9	Exemplo de dilatação de uma função wavelet (Castilho J. E. (2012))	22
2.10	Exemplo de uma Wavelet de Morlet (Matlab Wavelet Toolbox R2015)	24
3.1	Modelo veículo utilizado para os testes	26

3.2	Vista aérea da Pista de Testes utilizada - Fonte: Google Maps	26
3.3	Exemplo equipamento ETAS - ES590	27
3.4	Exemplo tela do software de interface INCA	28
3.5	<i>Software</i> MDA para análise e exportação de sinais	30
3.6	Exemplo de uma aquisição do sinal de giro em manobras de aceleração e desaceleração	31
3.7	Destaque de uma anomalia de desaceleração do sinal anterior .	31
4.1	Exemplo de sinal sem a falha de desaceleração, visualizado no Wavemenu	35
4.2	Decomposição do sinal sem a falha de desaceleração no Wave- menu	35
4.3	Exemplo de sinal com a falha de desaceleração, visualizado no Wavemenu	35
4.4	Decomposição do sinal com a falha de desaceleração no Wave- menu	36
4.5	Amostra de sinal com a falha de desaceleração, decomposta via cálculo da Wavelet de Morlet	37
4.6	Amostra de sinal sem a falha de desaceleração, decomposta via cálculo da Wavelet de Morlet	38
4.7	Distribuição das Amostras “Com” e “Sem” falha de desacele- ração Significativa em Função da Entropia	40
5.1	Entropias <i>versus</i> Escala de Avaliação de Dirigibilidade	44

Lista de Abreviações

MCI	Motor de Combustão Interna
ECU	Unidade de controle eletrônico de motores (<i>Engine Control Unit</i>)
CWT	Transformada Wavelet Contínua (<i>Continuous Wavelet Transform</i>)
FFT	Transformada Rápida de Fourier (<i>Fast Fourier Transform</i>)
EMS	Sistema de Gerenciamento Eletrônico (<i>Engine Management System</i>)
PWM	Modulação por Largura de Pulso (<i>Pulse Width Modulation – PWM</i>)
MR	Análise Multi-Resolução (<i>Multi Resolution Analysis</i>)
MW	Wavelet Mãe (<i>Mother Wavelet</i>)
STFT	Transformada de Fourier de curto termo (<i>Short-Term Fourier Transform</i>)
DBW	Sistema com Acelerador Eletrônico (<i>Drive-By-Wire</i>)

Introdução

Os avanços tecnológicos alcançados pela indústria automobilística têm propiciado significativas melhorias no conforto do usuário de um veículo. Um importante quesito no desenvolvimento deste é a dirigibilidade veicular. Este quesito é de suma importância para que a interação do condutor com o veículo se dê de maneira confortável e a resposta solicitada seja atendida em seus diversos modos de operação.

Esta resposta pode ser influenciada direta ou indiretamente por fenômenos associados ao processo de combustão em um motor de combustão interna (MCI), seja por alguma anormalidade no sistema de aspiração de ar, injeção de combustível ou de ignição, ou ainda pelos efeitos causados em manobras realizadas pelo usuário do veículo (Pulkrabek, 2004). Em uma definição genérica, o evento de dirigibilidade pode ser definido como a diferença ou o erro entre a resposta esperada de uma condição de controle de um veículo e a situação atual encontrada pelo usuário em uma determinada situação de manobra (Guo et al., 2000).

Num processo de desenvolvimento da dirigibilidade controlada pela unidade de controle eletrônico (ECU), cada montadora adota um determinado padrão, com sua devida classificação e parâmetros de avaliação, porém para todos os casos o avaliador do veículo geralmente realiza uma avaliação de dirigibilidade de forma subjetiva, ou seja, demonstrando sua impressão ao dirigir o veículo e procedendo conforme os padrões internos da empresa para indicar as devidas considerações ou observações dos diversos modos de dirigibilidade avaliados (Cacciatori, 2006), (Dorey and Holmes, 1999).

Para uma classificação das falhas existem escalas de avaliação, de acordo

com o padrão de cada fabricante ou desenvolvedor, que quantificam a percepção da falha e sua intensidade (Dorey and Martin, 2000). Atualmente existem sistemas modernos de avaliação de dirigibilidade de forma objetiva, porém são sistemas implementados com uma quantidade significativa de instrumentos e sensores sobre o veículo e motor, tornando a tarefa um pouco mais dispendiosa para o processo de desenvolvimento (AVL, 2017), (Antory, 2005).

Para os diversos tipos de manobras realizadas durante a utilização de um veículo, a interação do conjunto motopropulsor pode apresentar inconvenientes característicos, como oscilações longitudinais e fenômenos elásticos no sistema motor transmissão, principalmente em modo transitório, que como consequência podem se propagar e interferir no conforto e estabilidade do conjunto de acordo com o grau de percepção do usuário do veículo.

Uma vez identificadas tais oscilações, estas devem ser devidamente tratadas por meio de ajustes realizados nos sistemas de parametrização e softwares das centrais eletrônicas de controle presentes nos veículos, processo este também conhecido no ambiente de uma engenharia automobilística como 'calibração'.

Neste processo, a resposta deve apresentar a melhor condição de conforto e ergonomia ao usuário ou motorista. O processo de correção se dá via software específico e algoritmos implementados no sistema de controle eletrônico, mantendo sempre os objetivos de segurança, desempenho, consumo e emissões veiculares ou a melhor relação de compromisso entre estes (Braga, 2007). A Figura 1.1 exibe um exemplo de um esquema de gerenciamento eletrônico em uma ECU. Basicamente o sistema é composto por elementos de entrada e saída, um processador e subsistemas dedicados aos elementos sensores, acionadores, etc. de um MCI. Nesta figura ainda é possível verificar a interação dos sistemas de controle de aspiração de ar (TPS - Throttle Position System), controle de ignição e injeção dentre outros.

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é investigar os eventos ou falhas de dirigibilidade veicular especificamente em modo de desaceleração. As falhas foram

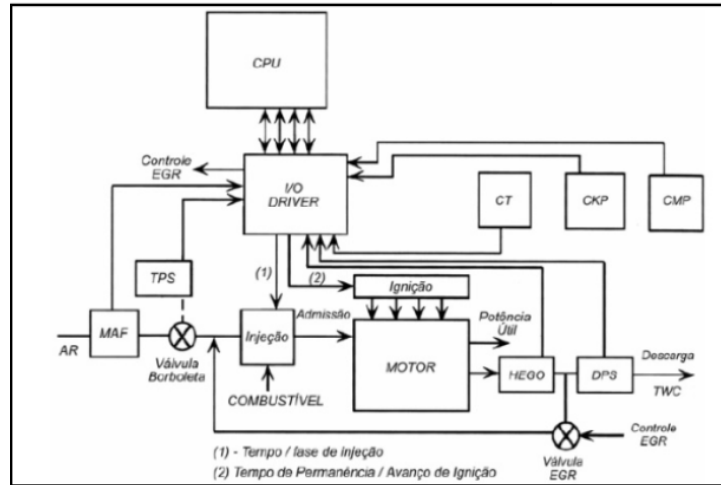


Figura 1.1: Esquema básico de uma ECU

(Braga, 2007)

provocadas ou simuladas via *software* de desenvolvimento e comunicação com a ECU do veículo em seus mapas de controle de injeção de combustível, controle de ignição ou aspiração de ar, procedimento que será descrito adiante no capítulo de Metodologias.

Para a análise dos dados e identificação das falhas, é utilizado um procedimento de extração de características por meio de transformada Wavelet contínua (CWT) e cálculo de entropia dos sinais selecionados ou trechos destes.

A análise é concentrada nos sinais do sensor de rotação do motor de combustão interna, pois neste é refletido grande parte do comportamento que pode ser identificado pelo usuário de um veículo nas diversas manobras realizadas. Diante dos sinais em questão, é proposto uma classificação onde os eventos ou falhas possam ser evidenciados e assim obter uma avaliação objetiva dos mesmos, utilizando conceitos de entropia de Shannon.

Neste contexto, este trabalho de mestrado tem os seguintes objetivos:

- Realizar uma quantidade significativa de aquisições do sinal de rotação do MCI em condições de desaceleração, conforme metodologia a ser explicada no Capítulo 3.

- Analisar os sinais do sensor de giro, já processados e disponibilizados pela ECU de desenvolvimento do veículo, utilizando procedimento de CWT em ambiente Matlab.
- Desenvolver uma metodologia para classificar os sinais em análise em "Com falha" e "Sem falha", utilizando os resultados da análise de transformada Wavelet aplicando cálculo de entropia de Shannon, definindo uma escala objetiva para a avaliação de dirigibilidade.

1.2 Organização do Texto

Este trabalho é dividido em 5 capítulos. No capítulo 1 é realizado uma contextualização da importância do quesito dirigibilidade no desenvolvimento do automóvel, suas definições, a proposta geral de estudo, a análise das manobras escolhidas para o mesmo, bem como o tipo de sinal selecionado para análise.

No capítulo 2 são detalhados os sistemas envolvidos no controle de um motor de combustão interna, com destaques para a estrutura, sensores e atuadores envolvidos no controle de dirigibilidade e os fenômenos presentes que afetam tais manobras. São explicados de forma geral os conceitos de avaliação de dirigibilidade subjetiva e o tipo de tratativa que pode ser empenhada no processo de desenvolvimento.

Neste capítulo 2 também são apresentados os conceitos básicos da transformada Wavelet e suas aplicações com foco na análise contínua, utilizada na decomposição dos sinais em estudo. São apresentados também alguns conceitos relativos a entropia de sinais, para a determinação de um resultado objetivo, após análise e decomposição pela CWT escolhida.

O capítulo 3 é dedicado a descrição de toda a metodologia empregada, desde o procedimento de aquisição dos sinais, o tratamento dos mesmos em ambiente computacional e o método escolhido para a análise dos resultados. O capítulo 4 apresenta os resultados das análises e comentários para cada situação de teste realizada. O capítulo 5 apresenta as conclusões deste trabalho bem como sugestões para trabalhos futuros.

Revisão Bibliográfica

Conceitos Gerais Envolvidos

Neste capítulo são apresentados os conceitos envolvidos com a avaliação de dirigibilidade automotiva no processo de desenvolvimento de um veículo e a relevância de um método objetivo para detecção ou identificação de falhas, num contexto prático das empresas e da atualidade das pesquisas envolvidas.

Além disso são apresentados os sistemas e componentes do MCI que tem influência direta ou indireta no processo de geração de uma falha de dirigibilidade, contextualizando assim como são realizados os procedimentos de correção ou atenuação de tal falha, estabelecendo assim uma conexão entre o problema em estudo com as causas do mesmo.

Ainda neste capítulo, são apresentados a detecção da falha selecionada para o estudo, a análise dos sinais utilizando a CWT, a transformada rápida de Fourier (FFT), o cálculo de entropia e métodos de classificação.

2.1 Avaliação de Dirigibilidade Veicular

O conceito de dirigibilidade veicular é apresentado na literatura com algumas nuances, de acordo com a abordagem realizada. Como apresentado em Jauch et al. (2016), a dirigibilidade é uma característica de resposta do veículo às entradas do motorista sob diferentes condições de condução além de ter influência direta no processo de aceitação de um consumidor, visto que está intimamente ligada ao conforto durante a condução do veículo.

De uma forma mais direta, como descrito em Stewart and Fleming (2004), a dirigibilidade veicular é definida como a diferença ou o erro entre a resposta esperada de uma determinada condição de controle de um veículo e a situação atual encontrada pelo usuário em uma determinada situação de manobra.

Para Castellazzi et al. (2016), o termo dirigibilidade descreve a percepção subjetiva complexa de um condutor e das interações com o veículo.

Ainda descreve que um dos parâmetros está associado a aspectos de aceleração longitudinal, cuja otimização é realizada na fase de desenvolvimento quando uma iteração de design torna-se muito dispendiosa.

A resposta do veículo aos comandos de um condutor pode ainda ser considerada de modo consciente ou inconsciente. Conforme verificado em Momberg (2007), alguns critérios considerados como uma resposta consciente do usuário, dependem de como ou o que este espera de um veículo de acordo com sua classe. Por exemplo, uma resposta rápida em aceleração seria típico para o caso de um veículo esportivo ao passo que o conforto é um quesito importante em um veículo de luxo.

Se um veículo falha em critérios conscientes, a dirigibilidade será imediatamente percebida como ruim. Já para critérios subconscientes, as falhas ou lamentações são apenas notadas quando estão abaixo de um determinado padrão de comportamento usual ou corriqueiro, como a partida de um veículo ou fortes oscilações no controle em rotação de idle (ou marcha lenta).

Em Hibino et al. (2016), é apresentado um conceito para esclarecer o mecanismo de aceleração longitudinal do veículo afim de melhorar a capacidade de condução com relação a tais critérios. Neste são descritos que os métodos convencionais de análise típica incluem análise experimental modal e baseada em modelo. No entanto, uma vez que o primeiro exige a medição de impulsos e outras forças de entrada enquanto o veículo está parado, a medição em condições reais de condução se torna difícil.

Para Stewart and Fleming (2004), a avaliação do quesito de dirigibilidade é tratada por cada fabricante de automóveis com um determinado padrão e devida classificação dos parâmetros de avaliação. Porém para todos os casos, o avaliador do veículo geralmente realiza uma avaliação de dirigibilidade de forma subjetiva, ou seja, demonstrando sua impressão ao dirigir o veículo e procedendo conforme os padrões internos da empresa para indicar as devidas

considerações ou observações dos diversos modos de dirigibilidade avaliados.

Estes ainda apresentam como exemplo, algumas manobras geralmente executadas para o levantamento de possíveis falhas com a seguinte descrição (termos comuns no ambiente de desenvolvimento veicular):

- *Launch and drive-away feel*: arrancada e sensação de direção livre.
- *Tip-in response*: resposta em progressões rápidas de aceleração.
- *Tip out /Back-out response*: resposta em progressões / retiradas rápidas de pedal na desaceleração.
- *Power-on downshift*: manobras de redução de marcha
- *Back-out upshift*: manobras de incremento de marcha
- *Cruise*: verificação em modo cruzeiro
- *Coast-down*: desaceleração natural do veículo após interrupção da aceleração
- *Brake to rest*: verificação de desaceleração forçada em frenagem
- *Brake followed by WOT - wide open throttle*: idem, seguido de uma abertura máxima de pedal

Como verificado em Cacciatori (2006), existem terminologias comuns empregadas pelos fabricantes e montadoras na descrição das falhas típicas de dirigibilidade encontradas nas manobras acima e que basicamente apresentam a seguinte definição:

- *Hesitation*, ou “Hesitação”: a falta de resposta à abertura inicial do acelerador, ocorrendo quando a condução é restabelecida de uma parada ou a partir de uma velocidade estabilizada.
- *Sag*: a perda notável de energia durante uma aceleração, semelhante a hesitação exceto a condição pois ocorre depois que o veículo já está em modo de aceleração.

- *Stretchiness* ou “Estiramento”, ou “Atraso”: a falta de desempenho durante uma leve ou moderada condição de acelerações sucessivas.
- *Surge* ou *Jerking*: uma instabilidade da potência do motor sob aceleração constante condições.
- *Shuffle*: oscilações na aceleração do veículo, incluindo o modo ressonante da primeira linha de transmissão de torção e movimentos do motopropulsor nos suportes do motor (coxins).

De uma forma comum entre os fabricantes e montadoras, para realizar uma classificação das falhas e então direcionar os procedimentos de melhoria dos sistemas de controle ou projeto, existem escalas de avaliação que indicam numericamente um grau de percepção da falha e sua intensidade.

Em Deacon (1996) e Dorey and Holmes (1999), são apresentados estudos sobre dirigibilidade veicular com tais escalas, resumindo uma relação entre a percepção da falha e sua relação numérica e a subjetividade da avaliação. Ainda hoje tais escalas são empregadas pelos fabricantes e montadoras no processo de desenvolvimento veicular. (Vide exemplo na tabela 2.1).

Em Antory (2005), a investigação da ocorrência de vários tipos de falhas em controle de motores de combustão e dirigibilidade veicular, é associada de forma significativa a:

- *Melhora do desempenho do veículo*
- *Aumento da eficiência do consumo de combustível*
- *Redução das emissões veiculares;*
- *Melhora do padrão de segurança.*

Uma vez identificadas as falhas ou oscilações, estas devem ser devidamente tratadas através dos ajustes realizados nos sistemas de parametrização e *softwares* das centrais eletrônicas de controle presentes nos veículos, processo este também conhecido no ambiente de engenharia automobilística como *calibração*.

Tabela 2.1: Escala de Avaliação de Dirigibilidade Veicular (Dorey and Holmes, 1999)

Pontuação	Escala Subjetiva	Descrição
10	Excelente	Não perceptível, mesmo por motoristas experientes
9	Muito Bom	Incomoda somente aos motoristas de testes mais experientes
8	Bom	Incomoda aos clientes mais críticos
7	Satisfatório	Não incomoda a maioria dos clientes
6	Apenas Satisfatório	Incomoda a qualquer cliente
5	Adequado	Incomoda muito a qualquer cliente
4	Pobre	Deficiente para a maioria dos clientes
3	Insuficiente	Reclamado como deficiente por todos os clientes
2	Ruim	Limitado a apenas operações de manobra do veículo
1	Muito Ruim	Veículo não funciona / não opera

Para Braga (2007), tal processo geralmente é realizado em fases distintas do desenvolvimento do veículo, através da parametrização das centrais eletrônicas fornecidas pelos fabricantes dos sistemas de controle motor. Neste processo, a resposta deve apresentar a melhor condição de conforto, mantendo sempre os objetivos de segurança, desempenho, consumo e emissões veiculares ou a melhor relação de compromisso entre estes.

2.2 Controle de Motores de Combustão Interna

Como verificado em Momberg (2007), o controle de dirigibilidade está relacionado diretamente aos fenômenos dependentes em um processo de combustão e a energia adequada neste processo é governada pela eficiência do ciclo termodinâmico daquele instante, ocorrendo internamente na câmara de

combustão de um MCI. Em linhas gerais, quanto maior a eficiência de tal ciclo, melhor a dirigibilidade e melhor a resposta face as exigências de condução.

Se um veículo está por exemplo em condições de tráfego intenso, e apenas lhe é solicitado pequenas mudanças de posição (pequenas solicitações de carga ao pedal de acelerador), de forma ideal, este deve responder sem grandes oscilações. Da mesma forma, é esperado que tenha o mesmo comportamento em situações onde lhe é exigido uma aceleração rápida ou de forma mais agressiva, sem atrasos ou oscilações na resposta.

Em Mendonça et al. (2017), é descrito que para atuar em tais fenômenos ou características de forma a controlar e diminuir as oscilações causadoras das anomalias de dirigibilidade, existem estratégias de controle desenvolvidas e incorporadas nos *softwares* das centrais de controle eletrônico dos motores de combustão interna. A tarefa então do EMS (Engine Management System) para estas estratégias é controlar os sistemas relacionados a combustão de forma a garantir a melhor eficiência em cada tipo de situação de funcionamento do MCI em relação a resposta esperada do usuário.

Estes são classificados em sistemas de controle de ar ou aspiração do motor, sistemas de injeção de combustível e os sistemas de ignição.

2.2.1 Sistema de Ignição

Em Bosch (2004), é descrito que o controle do sistema de ignição trata-se da gestão que a central eletrônica executa quanto ao momento ideal de provocar a centelha via velas de ignição. Uma definição formal do ponto de ignição seria o ponto exato em que os arcos voltaicos das velas de ignição são acionados para iniciar a combustão em uma mistura de ar - combustível. Além disso, este ponto ou momento no tempo quando a mistura de combustível é inflamada, desempenha um papel significativo na potência, controle de emissões, a durabilidade do MCI e na dirigibilidade veicular.

Existe uma variedade de sistemas de controle de ignição, que vão desde simples elementos mecânicos até sistemas controlados via microprocessamento em centrais eletrônicas. O controle do tempo de ignição, em função do movimento angular do eixo virabrequim, é também chamado de *avanço*

de ignição.

Em uma definição clássica, Probst (1991) apresenta que este movimento angular define na verdade a posição dos pistões em relação a câmara de combustão. Desta forma é realizado um sincronismo preciso e rápido, onde a central eletrônica calcula e define o momento ideal de uma ignição em função de diversos fatores no movimento dos pistões. O controle de avanço de ignição é uma interferência direta para obter-se uma condição de dirigibilidade aceitável.

Todo este sincronismo, uma vez alterado seja por alguma ação de controle incoerente ou algum fenômeno físico que interfira no processo de combustão, pode impactar em uma anomalia de dirigibilidade. Basicamente, o controle é realizado pela central eletrônica via elementos de acionamento dos grupos de bobina (relés ou MOSFETs), que irão gerar a alta tensão e estas por sua vez, a energia necessária para a ignição nas velas, formando um arco voltaico em seus terminais. A figura 2.1 apresenta um modelo de bobina de ignição e a figura 2.2 uma representação de uma vela de ignição.



Figura 2.1: Modelo de bobina de ignição

2.2.2 Sistema de Injeção de Combustível

Em Pujatti (2007) é definido que a quantidade de combustível introduzida no motor é uma função direta da quantidade de ar admitido, sendo o processo de admissão caracterizado pela quantidade de mistura ar/combustível. Esta mistura ideal também é chamada de mistura *Estequiométrica*.

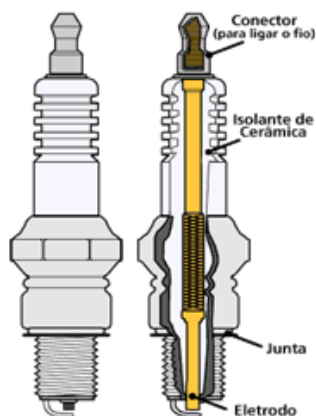


Figura 2.2: Representação de uma vela de ignição por centelha

Não é objetivo deste trabalho descrever o processo físico-químico que caracteriza tal mistura, mas é importante saber para o entendimento do processo de falha, que para as diversas faixas ou regiões de operação do MCI, existe uma dosagem adequada de combustível e que em função das oscilações encontradas, ajustes podem ser realizados através dos mapas de calibração da central eletrônica.

Cada tipo de combustível possui uma relação estequiométrica ótima e adequada ao processo de combustão. Por exemplo, para a gasolina pura, para cada parte de combustível são necessárias 14,7 partes iguais em volume de ar, somados então no volume disponível do cilindro. A tabela 2.2 apresenta uma lista da relação estequiométrica ideal para combustíveis mais comuns.

Ainda verificado em Pujatti (2007), um erro no cálculo matemático realizado pela central no processo de reconhecimento ou estratégia de aprendizado do combustível, pode por exemplo influenciar no comportamento da dirigibilidade, provocando falhas ou oscilações perceptíveis pelo usuário.

A central de controle atualmente atua diretamente nos injetores de combustível, de forma a definir o tempo de abertura destes injetores, que funcionam por sua vez literalmente como válvulas, ou seja, em função do tempo e modelo de cada injetor, teremos as devidas vazões de combustível necessárias ao processo.

A figura 2.3 apresenta alguns modelos de injetores e um descritivo de suas partes internas. Em geral, são atuadores através da modulação PWM. Em

Tabela 2.2: Relação Estequiométrica ideal de combustíveis mais comuns - Pujatti (2007)

Combustível	A/F (Air / Fuel)
Gasolina Pura (E0)	14,7 :1
Etanol (E100)	9,0:1
Gasolina Comum (E22)	13,2:1
Diesel	15,2:1
Metanol	6,4:1
Metano	17,2:1
Propano	15,6:1
Butano	15,4:1
Hidrogênio	34,0:1

função da largura do pulso (ou *duty cycle*) um sinal de comando é aplicado à bobina do injetor (4), o campo magnético gerado promove o deslocamento de um mecanismo ou agulha (6) e promove a liberação do combustível desde a entrada (1) até a válvula de vedação (7) instalada na saída do componente.

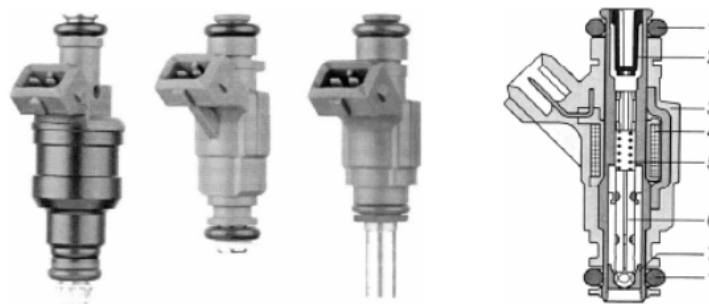


Figura 2.3: Exemplo de injetores e estrutura básica interna (Bauer, 1999)

2.2.3 Sistema de Aspiração de Ar

De acordo com de Lucena (2013) o sistema de controle de aspiração de ar participa na formação da mistura necessária ao processo de combustão e a central eletrônica controla ou atua sobre um dispositivo chamado válvula de admissão, também conhecido como “borboleta”.

A função deste é controlar a vazão de ar admitido durante a fase de

aspiração do MCI. Esta válvula ou regulador controla a quantidade de ar aspirado a uma dada velocidade e influencia diretamente na pressão no colector de admissão de ar. A figura 2.4 exhibe um modelo de válvula de aspiração.

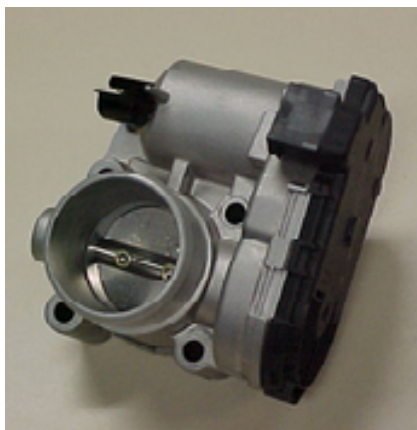


Figura 2.4: Válvula de aspiração eletrônica (Cortesia FIAT Automóveis S/A)

A válvula de aspiração está relacionada ou “conectada” com a abertura / deslocamento do acelerador, ou seja, é a resposta a solicitação do usuário do veículo. Se o pedal está totalmente aberto ou pressionado, os cilindros do motor irão funcionar à pressão ambiente, com uma velocidade de ar máxima naquela local, retirando é claro todas as perdas no sistema de ar, provocando uma aceleração mais rápida, por exemplo.

Ainda como descrito por de Lucena (2013), de forma proporcional cada solicitação de pedal e abertura da borboleta irão provocar uma resposta do motor. É fácil verificar então, que oscilações causadas por alguma variação neste controle podem provocar anomalias de dirigibilidade percebidas pelo usuário, de acordo com a intensidade na manobra ou resposta do sistema. Este sistema ou combinação de elementos de controle é conhecido como *Drive-by-Wire* (DBW).

Basicamente, o comando do pedal de acelerador (potenciômetro) é um sinal elétrico de entrada para a central eletrônica, que por sua vez define o percentual de abertura para a válvula de aspiração, atuando geralmente a um servomotor, após os cálculos necessários em seu microcontrolador. A figura 2.5 apresenta um diagrama representativo de um sistema DBW.

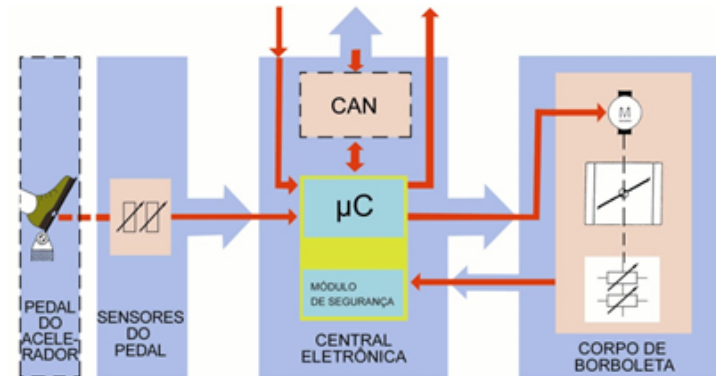


Figura 2.5: Representação de um sistema Drive-By-Wire (Treinamento Interno FIAT Automóveis, 2010)

2.3 Formulação do Problema

Como já descrito anteriormente, a avaliação de dirigibilidade é realizada em geral, durante o processo de desenvolvimento veicular, por meio de procedimentos subjetivos. Isso se torna uma tarefa dispendiosa no processo de desenvolvimento visto que a falta de uma avaliação objetiva pode levar um número maior de testes, ensaios e tempo de análise de aquisições pelos profissionais envolvidos no processo.

Neste trabalho é proposto um procedimento que possa detectar e classificar a ocorrência de uma falha ou oscilação de dirigibilidade, verificada no sinal de giro de um MCI, por meio de análise tempo-frequência com a aplicação da CWT e cálculo de entropia de Shannon. O sinal de giro sofre uma reflexão direta das anomalias de dirigibilidade em forma de oscilação.

Na 2.6 é apresentado um exemplo de sensor de rotação montado em um motor de combustão interna. Este sensor é baseado no princípio magnético e está situado perto do volante do motor. Este componente possui um sistema de N “dentes” uniformemente espaçados cuja movimentação angular define a velocidade ou rotação do motor.

Montani and Speciale (2006) apresentam uma descrição onde a saída do sensor de rotação é um sinal que varia periodicamente com o ângulo de rotação do disco dentado, gerando uma tensão de saída, que é lido pela central de controle eletrônico do motor. O disco dentado possui uma diferenciação e



Figura 2.6: Exemplo de um sensor de rotação e seu posicionamento junto ao disco dentado em um MCI

espaçamento entre um dos dentes, de forma a gerar uma oscilação diferenciada. Assim, o sistema é capaz de calcular a rotação do motor. Além disso, as oscilações mecânicas oriundas de uma falha de dirigibilidade são refletidas na velocidade angular aqui descrita e podem ser monitoradas.

O fenômeno de dirigibilidade a ser analisado, dentre os vários que poderiam ser escolhidos, será a oscilação de desaceleração, geralmente provocada no momento em que o usuário interrompe a aceleração, retirando o acionamento do pedal de acelerador. Os motivos desta escolha são em função da fácil reprodução com a degradação do sistema de controle via ECU e por ser um dos fenômenos mais comuns em um processo de dirigibilidade veicular.

Basicamente, a oscilação pode ocorrer devido ao comportamento anômalo da combustão do motor, originado por uma queima irregular em condições de avanço de ignição, abertura de válvula de aspiração ou injeção de combustível inadequados ou incompatíveis para o tipo de situação. Não é objetivo do trabalho classificar a falha de acordo com a origem e formação do problema, mas sim identificar a ocorrência da mesma ao longo da aquisição temporal do sinal do sensor de rotação do MCI.

Em condições de desaceleração, uma oscilação pode provocar desconforto ao usuário e ainda permitir uma falsa impressão da estabilidade deste até

atingir um modo de repouso. Esta oscilação pode ser verificada em um sistema de aquisição no sinal de giro do motor, provido pelo sensor de rotação. Na figura 2.7 é apresentado um exemplo deste tipo de oscilação.

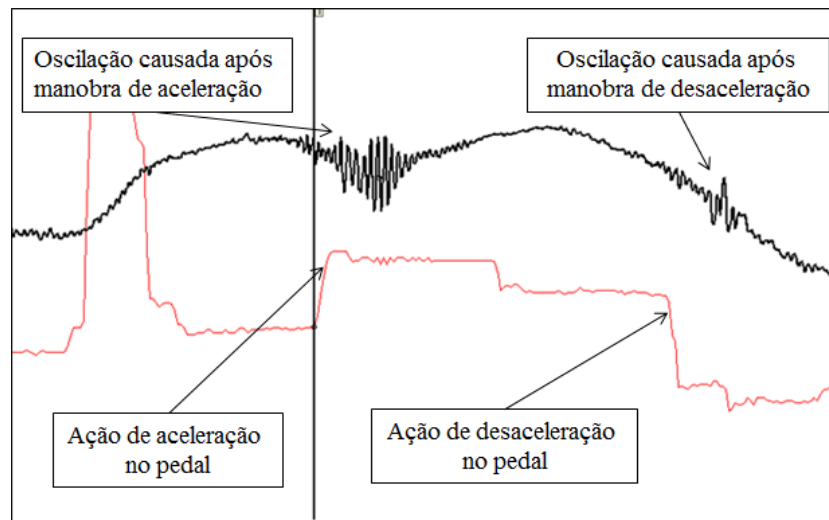


Figura 2.7: Exemplo de oscilações características no sinal de giro do motor

2.4 Ferramentas Matemáticas e Metodologias

Nesta seção serão descritos de forma sucinta, as ferramentas matemáticas utilizadas para o desenvolvimento do trabalho. Não é objetivo deste abranger um vasto conteúdo teórico mas sim um entendimento objetivo para a aplicação destes no problema em estudo.

2.4.1 Relações entre Análise Wavelet e Fourier

Jing (2010) descreve que a análise de sinais é um estudo abrangente principalmente no que se refere ao transporte de informações. Um sinal pode transportar quantidades enormes de dados em que a informação relevante é muitas vezes mais difícil de ser encontrada. Assim é necessário um processamento dos dados através de representações, decompondo o sinal principal em formas de onda ou elementos complementares.

Engenheiros ou especialistas em análise de sinais possuem a sua disposição uma significativa quantidade de ferramentas para tal. Uma das ferramentas provavelmente mais conhecida e citada é a análise de Fourier, que divide um sinal em senóides constituintes de diferentes frequências. Em outras palavras, a análise de Fourier traz uma abordagem matemática para transformar a visão do sinal do tempo em uma base de frequência. Lathi (2007)

Esta ferramenta torna-se extremamente útil pois no domínio da frequência podem ser identificadas características importantes do sinal e relacioná-las aos fenômenos em estudo. Porém, algumas características podem ser perdidas.

Para Mallat (2009), uma desvantagem da análise de Fourier seria justamente perder a informação do tempo nesta transformação para o domínio da frequência, sendo assim impossível identificar o momento da ocorrência de um evento. M. B. Rosales (2003) complementa que os métodos no domínio da frequência assumem que os sinais sob estudo possuem componentes com características periódicas e incluem análise espectral. Esta é amplamente difundida como um método confiável para diagnóstico de falhas, porém possui como limitação a perda da localização do evento no eixo do tempo quando este se trata de um transiente.

Mas segundo Vikas et al. (2015), para superar esta desvantagem, uma adaptação foi desenvolvida para analisar apenas uma pequena janela do sinal de cada vez: a Transformada de Fourier de curta duração (STFT), técnica essa também bastante difundida e conhecida, que detalha o sinal em uma função bidimensional de tempo e frequência para obter a informação do ponto desejado. Porém, ainda existe uma limitação pois o tamanho da janela é fixo para todas as frequências.

Lathi (2007), descreve que para um sinal cujas características não mudam de forma significativa ao longo do tempo, por exemplo um sinal estacionário, esta desvantagem não seria importante. Porém temos uma quantidade enorme de sinais que contêm informações importantes e que estão presentes em características transitórias, como tendências, mudanças bruscas, ou inícios e finais de eventos.

Para sinais representativos de tremores sísmicos, fala humana, vibrações em um motor, dados financeiros, música, dentre outros, a análise Wavelet

tem se tornado promissora como ferramenta de análise Mathworks (2009).

Para Misiti M. (2015), as bases Wavelet, como bases de Fourier, revelam a regularidade do sinal através da amplitude dos coeficientes e a sua estrutura conduz a um algoritmo computacional rápido. Ao contrário de uma base Fourier, uma base Wavelet define uma representação esparsa dos segmentos de sinais regulares, que podem incluir transientes e singularidades, sendo então capaz de decompor e descrever uma série de dados originalmente descritos no domínio do tempo. Como resultado pode-se efetuar uma análise da função em diferentes escalas de frequência e de tempo.

Mallat (2009) apresenta uma descrição sobre os diferentes tipos de famílias Wavelets e dentre elas, as mais amplamente utilizadas são Haar, Daubechies, Coiflets, Morlet e Symlets e sua escolha pode ser feita pelas características do sinal, a imagem e a natureza da aplicação. Para Castilho J. E. (2012) não existe uma receita única para a escolha da Wavelet. Por exemplo, para as séries temporais com variações bruscas no sinal, a Wavelet de Haar pode ser mais indicada. Mas para análises de séries temporais com variações mais suaves as Wavelet de Morlet seriam mais indicadas.

Castilho J. E. (2012) descreve também que a ferramenta de análise MR (Multi-Resolução) foi uma mudança importante na área de análise Wavelets. Esta permitiu novas possibilidades na criação de ferramentas alternativas com novas funções Wavelet, onde se deseja uma regularidade local, permitindo a criação de infinitas famílias de Wavelet.

2.4.2 Definições Gerais da Transformada Wavelet

2.4.2.1 Formulação Integral da WT

Em uma formulação integral, como descrito por Castilho J. E. (2012), a WT pode ser definida como uma transformada linear para análise de sinais não estacionários, utilizada para extrair informações das variações em frequência destes e detectar suas estruturas que estão localizadas de forma temporal. Esta WT é então definida por:

$$WT_f^\psi(a, b) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \bar{\psi}_{a,b}(t) dt \quad (2.1)$$

em que

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2.2)$$

representa a família de funções Wavelet escolhida, ou *Wavelet-mãe* (MW). O parâmetro a se refere a escala, b a translação ou localização da função MW e $\bar{\psi}_{a,b}(t)$ o complexo conjugado de $\psi_{a,b}(t)$.

O parâmetro a representa a dilatação (quando $a > 1$) ou a contração (quando $0 < a < 1$) da função MW. A figura 2.8 apresenta um exemplo do processo de dilatação. Neste sentido, ao analisar respectivamente os aspectos de longo ou curto período na série, quando temos uma variação de b , a função f é analisada localmente em torno desse ponto. A figura 2.9 apresenta um exemplo dessa translação.

2.4.2.2 A Wavelet Contínua

Quando tal transformação integral, os seus parâmetros de escala e de localização assumem valores contínuos, esta é chamada de transformada Wavelet contínua (CWT). É possível então obter a transformada inversa desta, dada por:

$$IWT_f^\psi(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{1}{a^2} WT_f^\psi(a, t) \bar{\psi}_{a,b}(t) da db \quad (2.3)$$

em que C_ψ é uma constante que depende da função Wavelet escolhida, algumas vezes conhecida como constante de admissibilidade, sendo $0 < C_\psi < \infty$ para que possa ser obtida uma transformada inversa.

Castilho J. E. (2012) apresenta também uma analogia interessante, onde a CWT pode ser atribuída a *um microscópio matemático, cuja ampliação é dada pelo inverso do parâmetro de dilatação e a capacidade óptica pela*

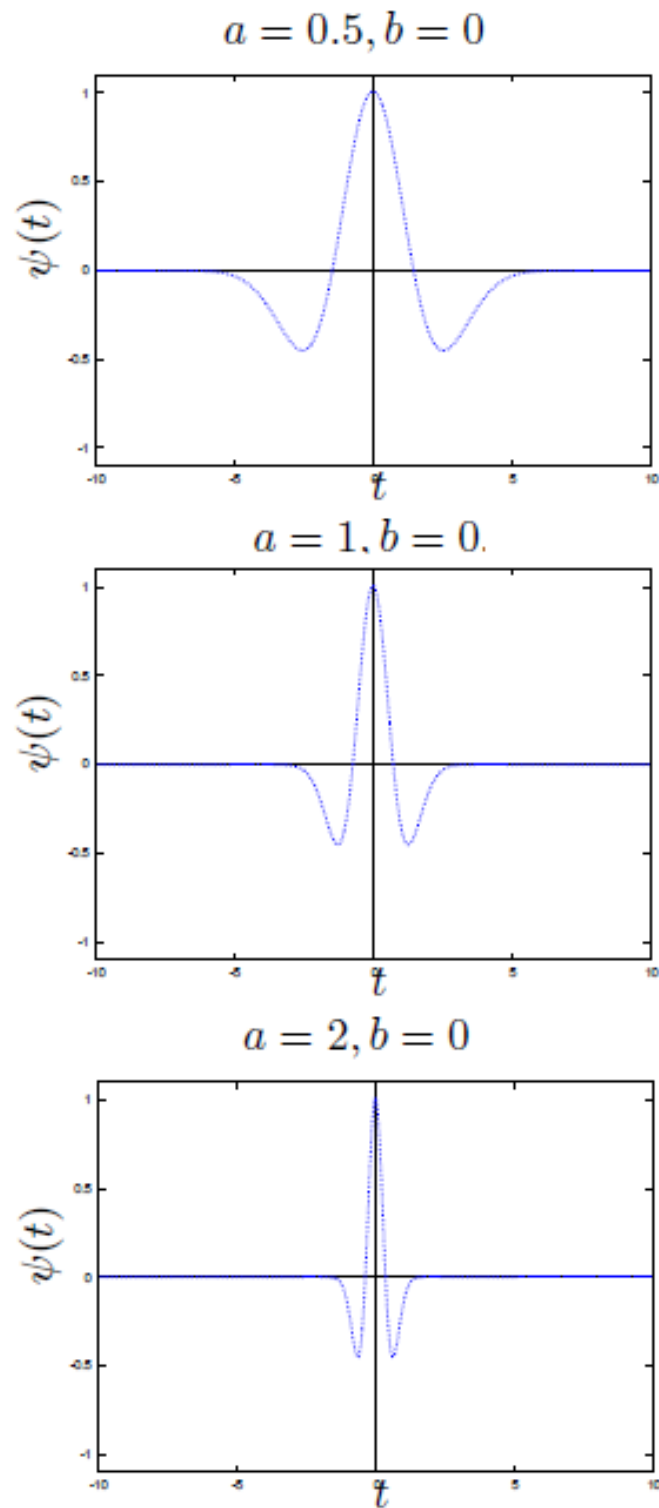


Figura 2.8: Exemplo de dilatação de uma função wavelet (Castilho J. E. (2012))

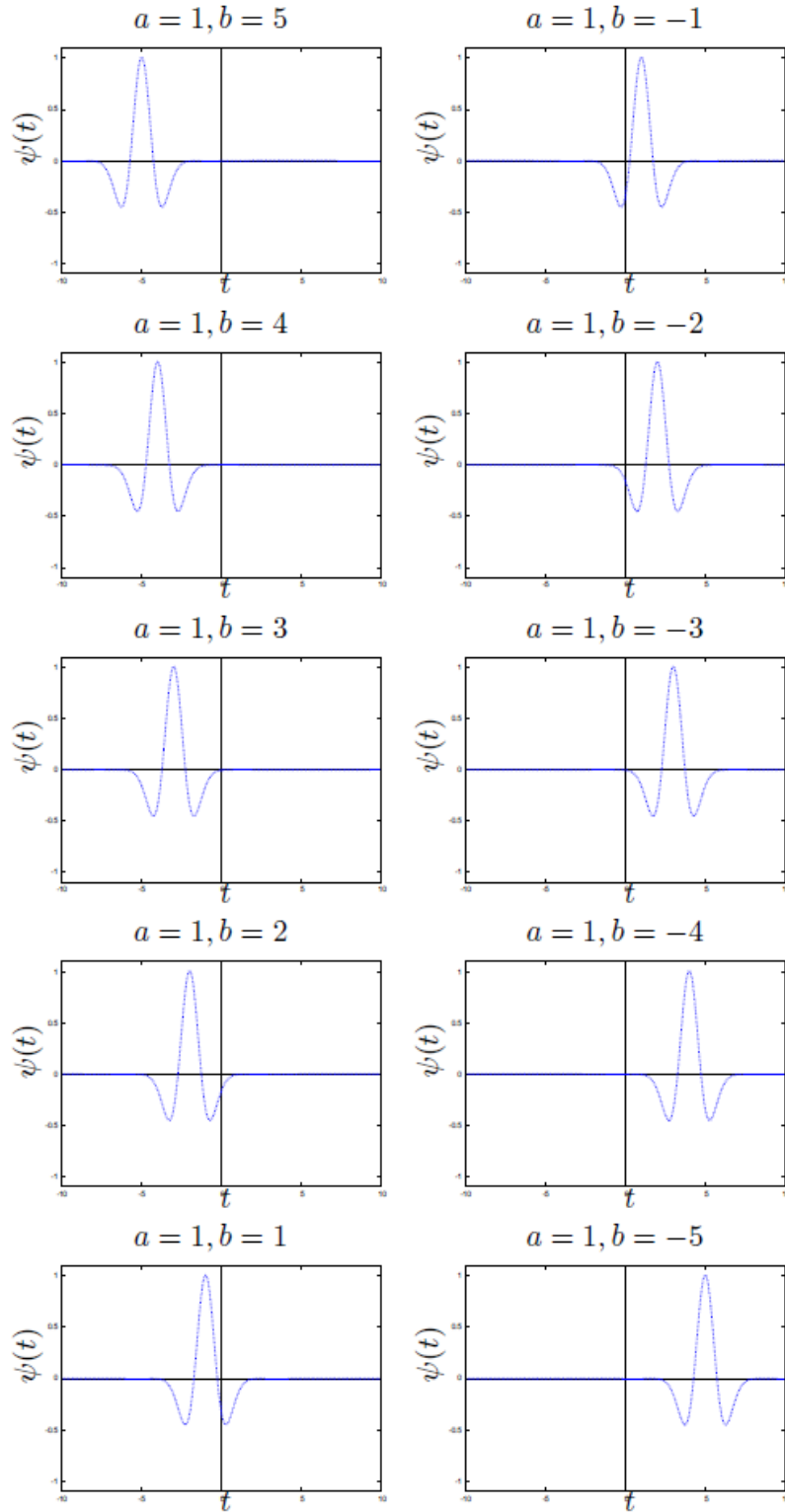


Figura 2.9: Exemplo de dilatação de uma função wavelet (Castilho J. E. (2012))

escolha da função MW.

2.4.2.3 A Wavelet de Morlet

A Wavelet de Morlet é apresentada por Merry (2005) como uma onda plana modulada por uma função Gaussiana, expressa por:

$$\psi(t) = \pi^{-\frac{1}{4}} [e^{i\beta t} - e^{(-\frac{\beta^2}{2})}] e^{(-\frac{t^2}{2})} \quad (2.4)$$

em que $\psi(t)$ representa a família Wavelet em questão selecionada. Em geral, escolhe-se β com o valor de 5, de tal forma que a condição de admissibilidade proposta em 2.3 seja atendida ($0 < C_\psi < \infty$). Essa função Wavelet é uma função complexa que permite analisar a fase e o módulo do sinal decomposto.

Para a análise realizada neste trabalho, a Wavelet selecionada é a Wavelet de Morlet. Tal Wavelet é mais adequada por mais se assemelhar ao comportamento do sinal em estudo, de caráter oscilatório, como descrito em M. B. Rosales (2003).

Sarkar et al. (2013) descreve que o emprego da Wavelet de Morlet apresenta uma melhor performance se comparadas a outras famílias Wavelet, sob a ótica de resolução e detecção de faltas em transitórios. A figura 2.10 apresenta um exemplo de uma Wavelet de Morlet.

2.4.3 Análise de Entropia dos Sinais

Em função da necessidade de obter um parâmetro objetivo para a classificação das falhas após a decomposição do sinal em estudo via transformada Wavelet de Morlet, é proposto uma análise pela entropia deste sinal.

Alguns métodos disponíveis na literatura propõem uma análise da energia do sinal através do teorema de Parseval, onde se relaciona o nível de falha e suas respectivas decomposições as suas oscilações de energia equivalentes, como descrito por Fiolka (2006). Montani and Speciale (2006) propõem um processo de geração de padrões, de forma a normalizar os parâmetros em função de sua amplitude.

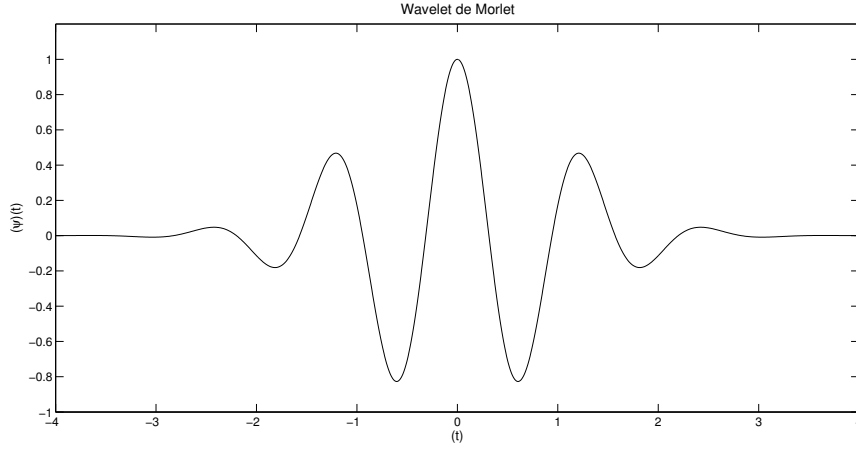


Figura 2.10: Exemplo de uma Wavelet de Morlet (Matlab Wavelet Toolbox R2015)

A entropia é um conceito muito comum, especialmente no campo de processamento de sinais como apresentado por Coifman and Wickerhauser (1992). Neste trabalho é realizado o cálculo de entropia utilizando a teoria de Shannon, como descrito por Johnstone (1994) e Gray (2013) que é dada por:

$$E1(s) = s_i^2 \log(s_i^2) \quad (2.5)$$

ou

$$E1(s) = - \sum_i s_i^2 \log(s_i^2) \quad (2.6)$$

Considerando s_i como coeficientes do sinal s em uma base ortonormal.

Metodologia

Neste capítulo serão descritos os métodos e procedimentos adotados para a realização do trabalho. O objetivo é tornar a leitura o mais clara possível, explicando todas as etapas, desde a seleção do veículo amostral para os testes, como a instrumentação necessária para coleta de dados e as ferramentas computacionais empregados para levantamento dos dados para análise.

3.1 Veículo amostral, ambiente e equipamentos

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi selecionado um veículo de amostra modelo FIAT Toro, motor 2.4 Flex Fuel, disponibilizado internamente pela empresa FCA LATAM e os testes realizados em suas instalações, localizadas no Centro Técnico de Engenharia em Betim, Minas Gerais. O combustível selecionado foi a gasolina padrão nacional (E27%), por se tratar de um combustível comum na frota nacional. A figura 3.1 apresenta um modelo deste veículo utilizado.

Todas as aquisições foram realizadas em uma pista de provas com piso regular, reproduzindo um ambiente característico de uma via usual urbana, para que as manobras pudessem ser reproduzidas sempre nas condições mais próximas possíveis. A figura 3.2 exibe a imagem aérea da pista de testes utilizada.

Para a aquisição dos dados, foi utilizado um sistema de instrumentação



Figura 3.1: Modelo veículo utilizado para os testes



Figura 3.2: Vista aérea da Pista de Testes utilizada - Fonte: Google Maps

padrão nas atividades de desenvolvimento do sistema de controle e calibração. Este sistema consiste em um equipamento de aquisição e leitura de dados, instalado diretamente à ECU de desenvolvimento (Uma ECU com *software* aberto para mudança e set up de parâmetros), modelo ETAS ES 590. Através deste, é possível realizar a leitura on line dos sinais necessários, em protocolo próprio de comunicação veicular, com interface / *software* próprio para a atividade. A figura 3.3 apresenta um exemplo do equipamento utilizado para a aquisição de dados e set up da ECU de desenvolvimento.



Figura 3.3: Exemplo equipamento ETAS - ES590

Um vez instalado e configurado o sistema de aquisição de dados, é realizado a comunicação com a ECU via *software*, que será descrito na seção seguinte. Assim, é possível realizar a leitura do sinal do sensor de giro, previamente tratado por conversores, filtros anti-falseamento e algoritmos próprios, característicos deste tipo de sistema. O sinal de giro (RPM) é disponibilizado pela ECU a uma taxa de aquisição de 10 ms.

3.2 Parametrização do *Software* de aquisição de dados

Para realizar a iteração com os sistemas de controle e ECU, foi utilizado o *software* INCA Versão 7.1, de propriedade da *ETAS Company*, também disponibilizado pela FCA Automobiles Betim. O processo é similar a qualquer *software* de interface de controle e automação, onde o equipamento ou instrumentação interage com a ECU por protocolo de comunicação próprio e são realizados todos os ajustes e modificações necessárias. A figura 3.4 traz

um exemplo da tela do software INCA com uma interface de dirigibilidade proposta para os testes e aquisições realizados.

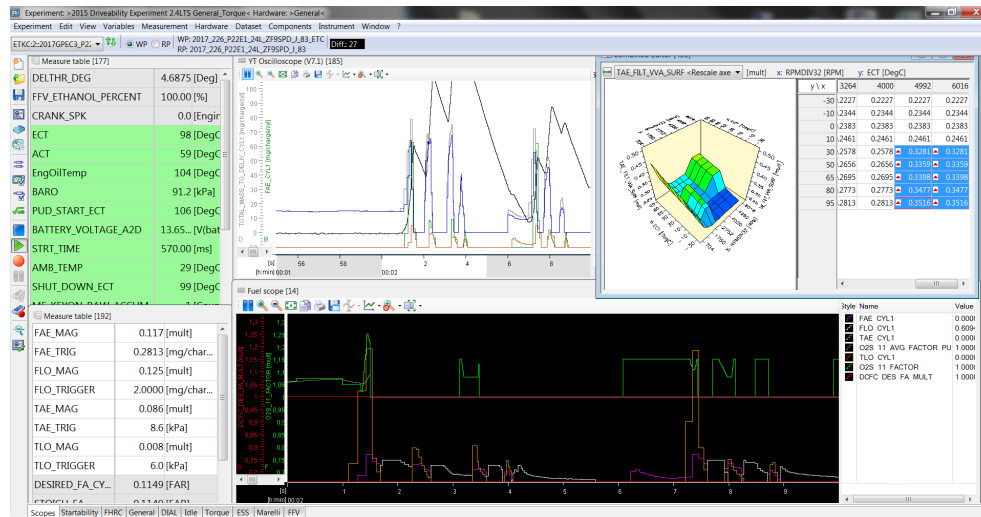


Figura 3.4: Exemplo tela do software de interface INCA

Basicamente o sistema opera da seguinte maneira: Todo o estado do MCI é avaliado usando sensores, como o sensor de rotação utilizado neste trabalho. Este torna o estado da rotação disponível através de parâmetros para a ECU. A tarefa de medição consiste na amostragem de todos os valores dos sensores em um certo período de tempo, e gravá-los ou armazená-los em registros que resultam no comportamento do motor. O *software* utilizado permite a leitura, aquisição e manipulação dos dados da ECU.

A ECU usa um processo de *feedback* para então realizar o controle, como em uma malha fechada: mede o estado do motor usando os sensores e, em seguida, altera o estado do motor em direção ao comportamento desejado usando atuadores. O novo estado é medido e ajustado até que um equilíbrio seja alcançado de acordo com os parâmetros desejados do sistema. Não é objetivo deste trabalho descrever todos os detalhes do processo de controle empregado no sistema de uma ECU para um MCI.

Para gerar ou simular a falha em estudo, foi realizado um procedimento de “degradação” do sistema de controle via software, visto que o sistema de controle do veículo utilizado já está de fato desenvolvido e *calibrado* para as devidas correções instantâneas dos fenômenos de dirigibilidade.

Este procedimento consiste em retirar os filtros digitais do comando de fechamento da válvula de aspiração, durante o processo de desaceleração, fazendo com que esta válvula feche de forma mais rápida ou irregular, causando assim oscilações típicas nas manobras que geram desconforto ao usuário, caracterizadas como falhas na dirigibilidade.

Uma vez então com o *software* parametrizado, é possível realizar as manobras e aquisições com as falhas necessárias para o estudo.

3.3 Procedimentos de Manobras e ensaios

Para possibilitar uma sequência de testes de uma maneira repetitiva e assim obter um número ideal de amostras para análise, foi elaborada a seguinte sequência para as manobras e aquisições de dados:

- Parametrização do *software* de controle e aquisição de dados;
- Com o veículo em movimento, em segunda marcha, com baixa aceleração (aproximadamente 1000 RPM) inicia-se uma rampa de aceleração entre 2500 e 3000 RPM e retira-se a ação de aceleração;
- Aguarda o giro do motor retornar a aproximadamente 1000 RPM e reinicia um novo ciclo conforme item anterior. Neste momento teremos a manobra de desaceleração desejável, em uma condição muito comum de um tráfego urbano;
- Repete-se este procedimento até que seja possível (limite de distância da pista de provas), armazenando o ciclo de aquisições e reinicia-se o processo.

O ciclo descrito anteriormente é realizado em duas etapas: com a degradação provocada via *software* e sem esta, para a análise comparativa da classificação de uma manobra com e sem falha. De posse das aquisições, são realizadas então as análises necessárias.

3.4 Procedimento para análise dos sinais adquiridos

Uma vez adquirido o sinal via sistema INCA, é necessário exportar esta aquisição para que seja possível tratar o mesmo em ambiente Matlab. Para isso é utilizado um outro sistema capaz de realizar este procedimento, o MDA também de propriedade da ETAS Company. A figura 3.5 apresenta a tela do *software* MDA com uma amostra de aquisição em análise.

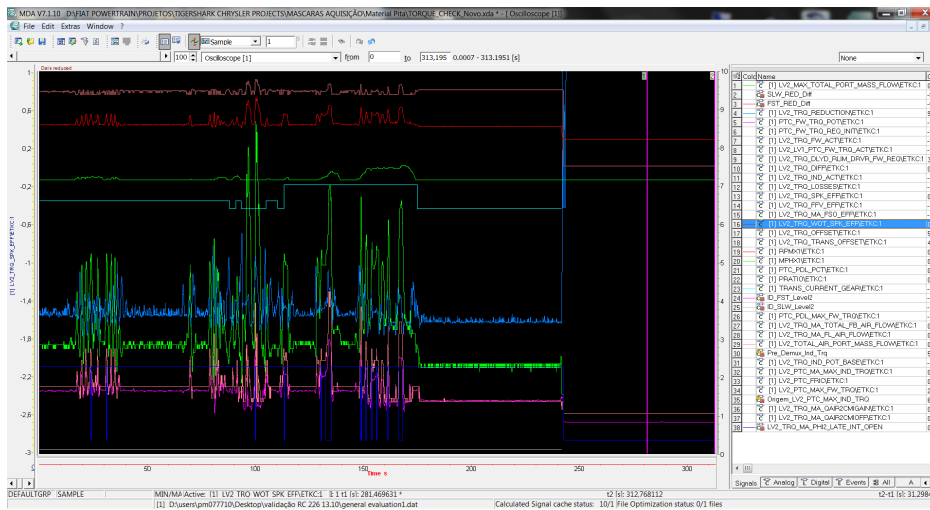


Figura 3.5: *Software* MDA para análise e exportação de sinais

Uma vez exportado o sinal com arquivo compatível com a leitura em ambiente MATLAB, é possível realizar as análises necessárias. A proposta consiste primeiramente em selecionar as amostras com um padrão de 500 pontos cada uma, efetuando um processo de janelamento do sinal, separando o trecho onde ocorre a desaceleração, padronizando assim o tamanho da amostra. A figura 3.6 apresenta o sinal de giro adquirido, em uma sequência de manobras realizadas conforme procedimento anterior e na figura 3.7 um trecho em destaque, evidenciando a oscilação ou falha em desaceleração.

Após esta preparação, é realizado o cálculo da transformada Wavelet de Morlet, de forma a identificar a possível oscilação na amostra, repetindo o procedimento para as sequências com e sem a falha de desaceleração. Após esta etapa, realiza-se o cálculo da entropia de Shannon do sinal decomposto

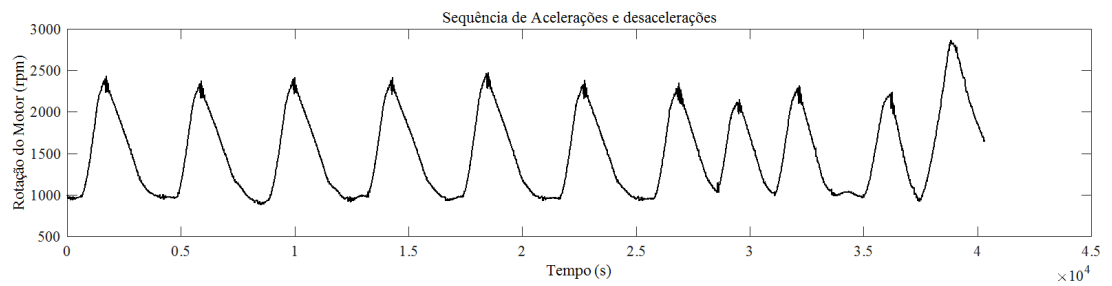


Figura 3.6: Exemplo de uma aquisição do sinal de giro em manobras de aceleração e desaceleração

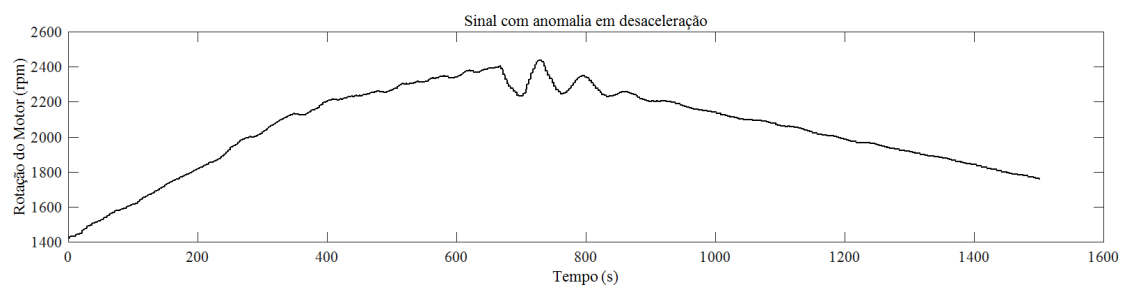


Figura 3.7: Destaque de uma anomalia de desaceleração do sinal anterior

pela Wavelet, obtendo-se uma medida objetiva referente a cada condição, elaborando assim um classificador elementar.

Desta maneira é possível decidir dentre as amostras em análise, quais de fato seriam “com” ou “sem” falha durante a desaceleração. No capítulo 4 serão apresentados os resultados com a análise de todas as amostras verificadas. Para este trabalho, foram levantadas 100 medições em cada condição, sem a falha e com a falha de desaceleração.

Além disso, para validação do processo, é realizado um cálculo de desvio padrão indicando um valor característico para um sinal contendo falha ou não. Este procedimento também valida o processo e auxilia em uma posterior tomada de decisão para avaliação objetiva das falhas de dirigibilidade num conceito de escala.

Análise e Resultados

Neste capítulo são apresentados a análise dos sinais selecionados no estudo e os resultados encontrados conforme procedimentos descritos no capítulo anterior. Primeiramente será demonstrado uma análise realizada via ferramenta Wavemenu, disponível pelo *software* MATLAB, provido do *Wavelet toolbox*.

Esta análise visa apenas demonstrar e evidenciar as diferenças entre os sinais “com” e “sem” falha e validar a escolha da MW. Na sequência são apresentados os resultados da amostragem dos sinais aquisitados e os procedimentos realizados para a decomposição da Wavelet de Morlet e o cálculo de entropia para cada amostra.

Primeiramente é realizado a análise em um grupo de amostras, totalizando 50 de sinais com a falha aplicada e 50 sem a falha. Uma análise estatística e de desvio padrão é executada ainda para a determinação de um padrão objetivo que relacione uma amostra com ou sem falha, validando assim o procedimento da classificação elementar objetiva. Posteriormente, um outro grupo de 50 amostras é utilizado para validação do procedimento com o cálculo de desvio padrão e comparação aos valores objetivos encontrados.

Após este tratamento, é calculada a entropia deste sinal tratado, observando então a intensidade da oscilação ou desordem do mesmo. Este método permite a distinção significativa entre um sinal amostrado com falha ou não.

4.1 Aquisição e preparação dos sinais

Durante o processo de aquisição dos sinais no veículo ocorre uma limitação da aquisição em função da distância disponível no trecho selecionado para o levantamento de dados na pista de provas. Sendo assim, cada aquisição de dados foi realizada com aproximadamente 6 ou 7 sequências de aceleração e desaceleração.

De posse das aquisições, cada trecho é então analisado, separando-se as amostras de desaceleração, com um tamanho de 500 pontos, tanto para amostras com a falha como sem falha. Os sinais são então exportados do *software* MDA para o ambiente MATLAB.

4.2 Análise via Wavemenu - *MATLAB Wavelet Toolbox*

Para efeito de análise e validação da MW escolhida, uma vez realizado a separação do trecho do sinal, conforme descrito anteriormente, é definida então a família específica de transformada Wavelet para um tratamento via Wavemenu. Conforme explicado anteriormente, a Wavelet mãe escolhida é a Morlet, definida de acordo com características do sinal em questão e critérios pré-estabelecidos na literatura pesquisada.

O procedimento consiste em selecionar o arquivo em estudo, definir então pela análise contínua, definir a família da Wavelet e um nível de decomposição de acordo com as configurações gráficas de visualização desejadas até que seja evidenciado o fenômeno em estudo. Esta etapa visa somente confirmar a presença ou não da falha nos sinais amostrados e pode ser suprimida eventualmente para uma ferramenta automática executando o cálculo diretamente como será apresentado posteriormente.

Na Figura 4.1 é apresentado uma das amostras analisadas como exemplo, para um sinal sem a falha de desaceleração proposta. Na sequência a figura 4.2 apresenta a decomposição realizada no ambiente Wavemenu. A Figura 4.3 um exemplo de sinal com a falha e na sequência, na figura 4.4 apresenta sua decomposição.

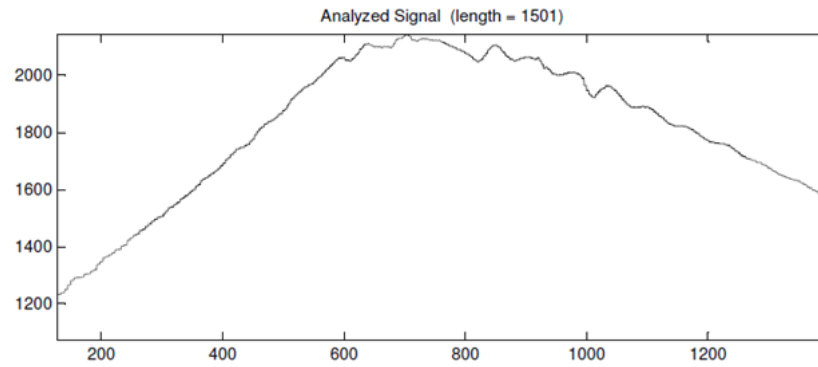


Figura 4.1: Exemplo de sinal sem a falha de desaceleração, visualizado no Wavemenu

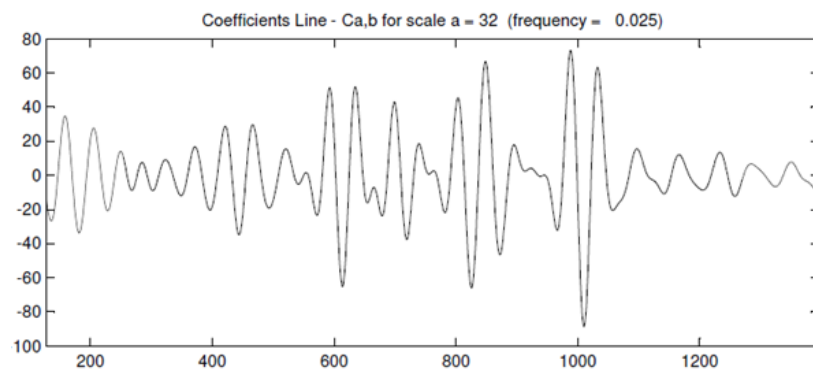


Figura 4.2: Decomposição do sinal sem a falha de desaceleração no Wavemenu

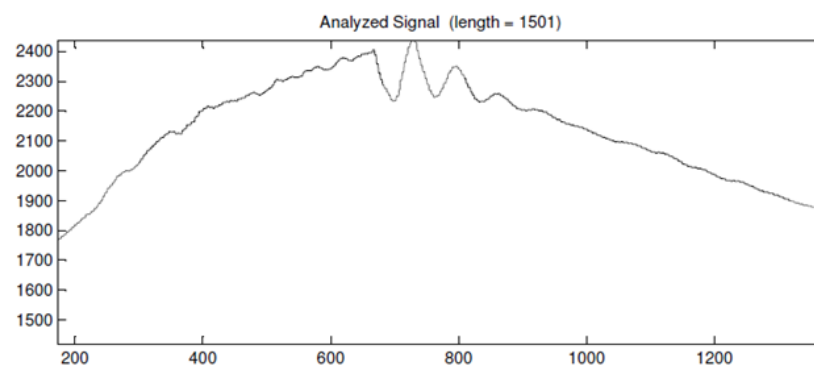


Figura 4.3: Exemplo de sinal com a falha de desaceleração, visualizado no Wavemenu

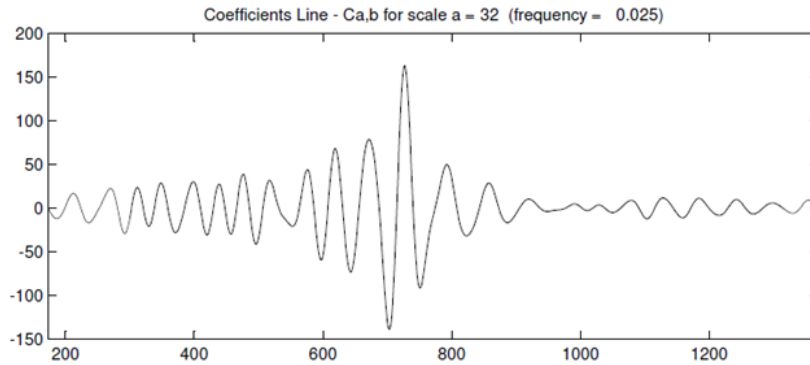


Figura 4.4: Decomposição do sinal com a falha de desaceleração no Wavemenu

É possível observar o destaque da anomalia de desaceleração presente na segunda amostra bem como na escala de amplitude do sinal (eixo y), que representa o tamanho dos coeficientes a medida que a MW é transladada pelo eixo do tempo (eixo x) ao longo do sinal em estudo.

Analisando a apresentação gráfica, é possível verificar que o sinal sem falha apresenta uma amplitude máxima em alguns trechos na ordem de 50 à 80 e já o sinal com falha possui uma amplitude no momento da ocorrência da falha na ordem de 100 à 150. Esta ferramenta consegue ilustrar de forma visual o momento da ocorrência da falha trazendo uma clara evidência da presença desta com a decomposição utilizando a MW Morlet.

4.3 Cálculo da Transformada Wavelet de Morlet

Após verificar o comportamento do sinal e validar a Wavelet mãe adequada, é realizado o cálculo da transformada Wavelet de forma direta, com código implementado diretamente no Matlab, de forma a processar um maior número de dados.

Nesta etapa, foi observada a presença de uma oscilação no início e final do sinal decomposto, possivelmente ocorrido pela ausência de parâmetros de início e fim ou por algum problema de inicialização dos cálculos no Matlab. Para evitar que este ruído possa impactar no resultado da análise, foi reali-

zando um padrão de seleção do mesmo de forma a ignorar os primeiros 10 e últimos 10 pontos de cada sinal. Nas figuras 4.5 e 4.6 são apresentadas exemplos de duas amostras, respectivamente com e sem falha, após o tratamento da transformada Wavelet de Morlet.

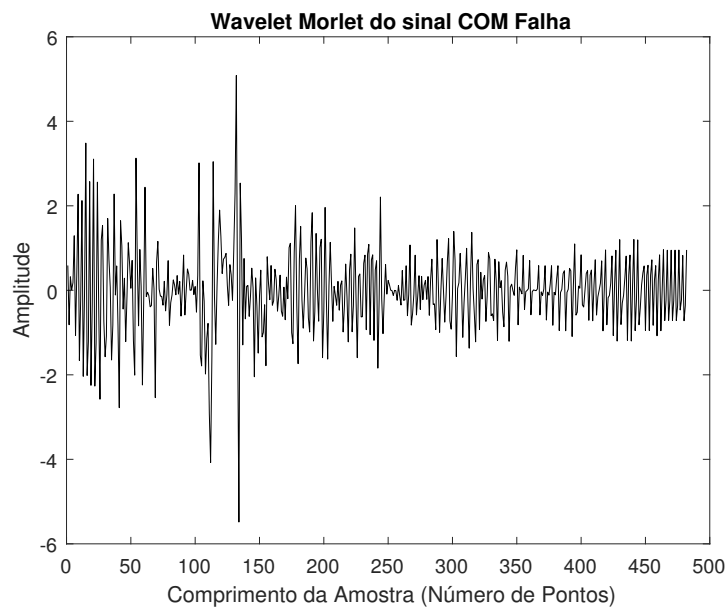


Figura 4.5: Amostra de sinal com a falha de desaceleração, decomposta via cálculo da Wavelet de Morlet

4.4 Análise de Entropia dos sinais: Determinação dos Parâmetros Objetivos

Como descrito no Capítulo 3, para a determinação de um parâmetro objetivo, é realizado o cálculo de entropia de cada amostra de sinal.

Foram realizados cálculos também através de código computacional em ambiente Matlab. Num total de 100 simulações realizadas, foi observado que para as amostras com a falha em estudo ou oscilação mais significativa, ocorre um elevado valor entropia, se comparadas as amostras que não apresentam falha de desaceleração ou de menor intensidade.

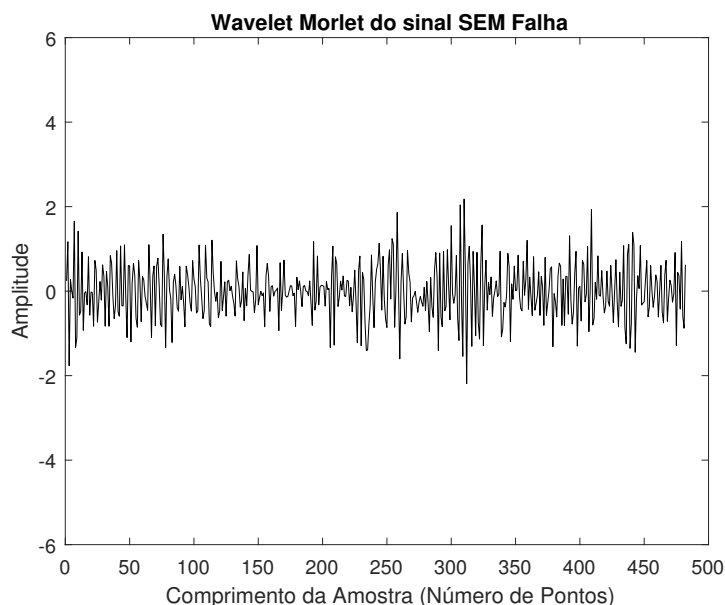


Figura 4.6: Amostra de sinal sem a falha de desaceleração, decomposta via cálculo da Wavelet de Morlet

Para a análise inicial, foram selecionados dois grupos, cada um com 50 amostras de sinais: Em um grupo ocorrem oscilações significativas, com a falha de dirigibilidade em desaceleração provocada. Já no segundo grupo, também com 50 amostras, mas agora sem a falha de dirigibilidade ou oscilações pouco significativas para a percepção do usuário no veículo. A figura 4.7 apresenta a distribuição das amostras, separadas ao longo do eixo x, evidenciando o valor de entropia no eixo y. Neste gráfico fica evidente uma diferença no cálculo de entropia para os sinais com ou sem a falha de dirigibilidade evidente.

Na Tabela 4.1 é apresentado o resultado do cálculo de entropia para os dois grupos acima. Verifica-se que para valores com a falha de desaceleração mais significativa, o valor de entropia possui um valor médio de 193,7. Já os valores correspondentes ao sinal sem a falha de desaceleração ou de oscilação menos evidente, apresentam um valor médio de entropia de 10,2. A tabela também apresenta o cálculo de desvio padrão relativo a cada grupo.

Podemos atribuir esta característica ao fenômeno de oscilação que ocorre ao sinal de giro, onde para oscilações maiores, se revela uma entropia maior

Tabela 4.1: Entropias das Amostras Com e Sem Falha

Número da Amostra	Com Falha	Sem Falha
1	422,2	22,4
2	316,7	21,9
3	303,5	21,3
4	292,3	20,5
5	267,0	20,2
6	262,4	20,0
7	256,2	19,1
8	248,9	18,3
9	241,9	17,9
10	241,7	17,4
11	236,8	16,8
12	233,8	16,8
13	228,0	16,6
14	228,0	16,0
15	227,0	15,3
16	224,4	13,5
17	216,8	13,4
18	214,0	13,0
19	206,3	12,4
20	203,4	11,9
21	202,6	11,7
22	193,0	11,3
23	191,8	10,8
24	183,5	10,7
25	182,8	10,4
26	179,8	9,9
27	173,8	9,7
28	168,3	9,5
29	164,1	8,7
30	164,1	8,7
31	162,6	7,8
32	161,6	7,1
33	157,3	6,0
34	155,1	6,0
35	151,9	5,2
36	151,9	4,5
37	150,1	4,5
38	149,6	4,0
39	144,7	3,6
40	139,3	3,5
41	136,8	2,6
42	133,0	2,2
43	130,6	2,0
44	129,5	1,9
45	128,9	1,7
46	128,1	1,5
47	127,6	1,4
48	126,8	0,5
49	122,1	0,3
50	121,7	0,1
Valor médio:	193,7	10,2
Desvio Padrão:	61,2	6,8

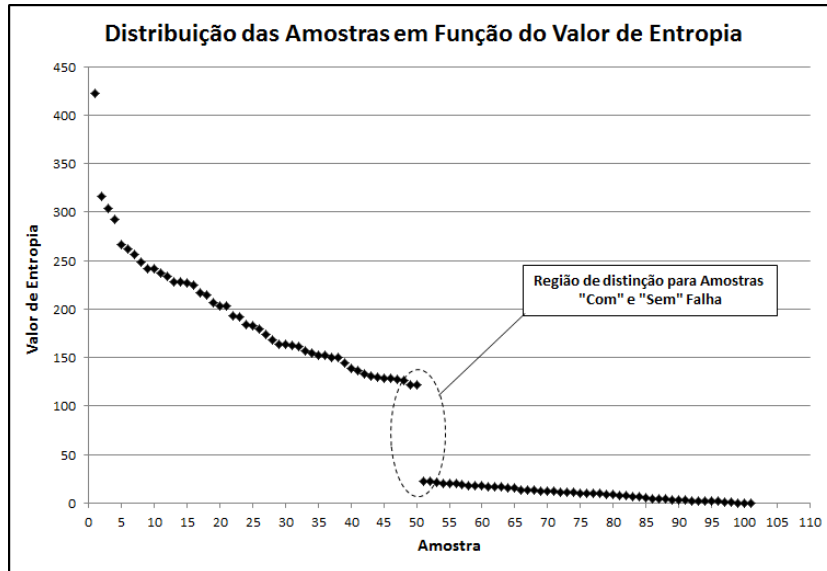


Figura 4.7: Distribuição das Amostras “Com” e “Sem” falha de desaceleração Significativa em Função da Entropia

ou pior no sinal decomposto pela transformada Wavelet, se considerarmos o conceito de desordem ou desarranjo Gray (2013). Consequentemente, para valores de oscilações mais baixos no sinal de giro, verifica-se uma entropia menor no sinal decomposto pela transformada Wavelet. Estes valores podem então ser utilizados de uma forma objetiva para a eventual classificação proposta dos sinais com e sem a falha de desaceleração.

4.5 Validação do Procedimento

Para validar o processo, foi efetuado a análise de desvio padrão das amostras anteriores, gerando um índice k a partir de dois desvios padrão da média para amostras com falha, ou seja, o quanto estaria centrado ou localizado o valor em relação ao desvio padrão. Sendo assim, para a as entropias dos sinais com falha, temos uma média de 193,7 e $k=71,3$, representando um índice de confiança de 95,4% para falha.

Na Tabela 4.2 são apresentadas as amostras do segundo grupo para validação do processo, totalizando 25 amostras com falha e 25 sem falha. Nesta

etapa é comparado então o índice k definido anteriormente com os respectivos valores das entropias dos novos sinais, confirmando a classificação destes em “Com Falha” e “Sem Falha”, num intervalo de confiança de 95,4%, juntamente da validação verdadeira, conforme característica do sinal estabelecida. Este é mais um indicador que pode ser utilizado para validar o método e o processo de classificação objetiva.

Tabela 4.2: Validação do Processo: Segundo Grupo de Amostras de Entropias

Número da Amostra (2º Grupo)	Entropia de Shannon	Classificação baseada no índice k (k > 71,3)	Classificação Verdadeira
1	121,5756809	COM FALHA	COM FALHA
2	121,1839571	COM FALHA	COM FALHA
3	119,7136331	COM FALHA	COM FALHA
4	119,2611533	COM FALHA	COM FALHA
5	117,7585508	COM FALHA	COM FALHA
6	117,6794301	COM FALHA	COM FALHA
7	112,6918581	COM FALHA	COM FALHA
8	111,8106402	COM FALHA	COM FALHA
9	110,273686	COM FALHA	COM FALHA
10	109,5394539	COM FALHA	COM FALHA
11	109,5105424	COM FALHA	COM FALHA
12	103,4872244	COM FALHA	COM FALHA
13	101,4431496	COM FALHA	COM FALHA
14	100,5577346	COM FALHA	COM FALHA
15	100,5478322	COM FALHA	COM FALHA
16	100,4376287	COM FALHA	COM FALHA
17	100,1567982	COM FALHA	COM FALHA
18	99,88785902	COM FALHA	COM FALHA
19	99,82467677	COM FALHA	COM FALHA
20	97,27635424	COM FALHA	COM FALHA
21	96,9345002	COM FALHA	COM FALHA
22	96,46991307	COM FALHA	COM FALHA
23	93,7418086	COM FALHA	COM FALHA
24	93,69111495	COM FALHA	COM FALHA
25	93,28888142	COM FALHA	COM FALHA
26	32,99996591	SEM FALHA	SEM FALHA
27	32,2416284	SEM FALHA	SEM FALHA
28	32,22949768	SEM FALHA	SEM FALHA
29	31,65122711	SEM FALHA	SEM FALHA
30	31,61452201	SEM FALHA	SEM FALHA
31	31,44983317	SEM FALHA	SEM FALHA
32	31,28681704	SEM FALHA	SEM FALHA
33	31,26073341	SEM FALHA	SEM FALHA
34	31,22621178	SEM FALHA	SEM FALHA
35	30,90752453	SEM FALHA	SEM FALHA
36	30,79492937	SEM FALHA	SEM FALHA
37	30,73445659	SEM FALHA	SEM FALHA
38	29,9986711	SEM FALHA	SEM FALHA
39	29,26644632	SEM FALHA	SEM FALHA
40	28,63734867	SEM FALHA	SEM FALHA
41	28,33042636	SEM FALHA	SEM FALHA
42	28,2735634	SEM FALHA	SEM FALHA
43	27,99596812	SEM FALHA	SEM FALHA
44	27,1927557	SEM FALHA	SEM FALHA
45	26,53915336	SEM FALHA	SEM FALHA
46	24,13188839	SEM FALHA	SEM FALHA
47	23,90734548	SEM FALHA	SEM FALHA
48	23,35440865	SEM FALHA	SEM FALHA
49	23,09142854	SEM FALHA	SEM FALHA
50	22,96033059	SEM FALHA	SEM FALHA

Conclusões e Propostas de Continuidade

Neste trabalho foi apresentada uma revisão teórica alinhada a prática de desenvolvimento de um processo de avaliação de dirigibilidade veicular em ambiente de engenharia automotiva. Foram apresentados também os conceitos necessários para a análise tempo - frequência do sinal de giro ou rotação de um MCI e o estudo das falhas de desaceleração alinhadas ao sistema de controle e componentes envolvidos no processo de avaliação de dirigibilidade veicular.

Com os resultados do estudo, foi possível identificar se os sinais selecionados possuem relação com uma eventual falha de dirigibilidade em modo de desaceleração. O procedimento proposto realiza uma separação de amostras, calcula a transformada Wavelet do sinal do trecho amostrado e após esta análise, executa o cálculo de entropia do mesmo. Verificou-se que esta medida de entropia apresenta uma indicação objetiva da presença ou não do fenômeno de dirigibilidade em estudo.

Uma das conclusões importantes é que o método desenvolvido neste trabalho pode ser utilizado como um classificador elementar de forma a identificar a presença ou não da falha em um primeiro momento, pois se mostrou eficaz para a análise da manobra relacionada aos sinais de giro amostrados selecionados.

Assim, a análise e classificação objetiva dos sinais amostrados de fato pode auxiliar na tomada de decisão de engenheiros para as devidas correções necessárias na calibração ou sistema de controle do motor de combustão, em

situações onde é necessário diminuir ao máximo a subjetividade do processo de desenvolvimento.

De posse dos dados analisados neste trabalho, fica claro a possibilidade da elaboração de uma ferramenta de suporte para a avaliação de dirigibilidade objetiva, evidentemente considerando as questões acima abordadas afim de garantir maior robustez ao processo de detecção da falha e sua classificação.

Na figura 5.1 é proposta uma simulação do que seria uma escala de avaliação de dirigibilidade. Aqui é possível verificar uma analogia entre os valores de entropia *versus* uma possível escala de avaliação, onde para valores maiores de entropia (que apontem uma possível falha de dirigibilidade, dada a intensidade da oscilação no sinal) teremos a nota ou avaliação ruim da mesma. Evidente que para uma correlação correta entre a escala e cálculo de entropia se faz necessário uma etapa de ajuste em função de avaliações realizadas pelo procedimento subjetivo convencional.

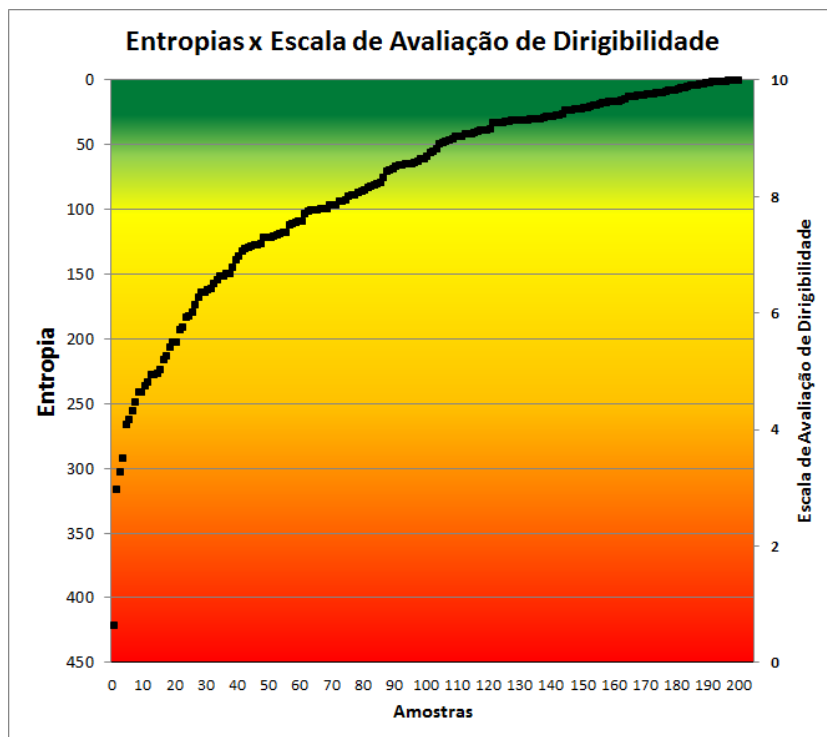


Figura 5.1: Entropias *versus* Escala de Avaliação de Dirigibilidade

Proposta de Continuidade

Como sequência de estudos, as etapas primordiais para a continuidade deste trabalho são:

- Elaborar um código de leitura e separação de amostras em uma aquisição do sinal de forma automático, agilizando o processo de seleção em aquisições diversas, independentes do tamanho ou condição de teste;
- Elaborar um classificador que possa identificar automaticamente uma amostra com ou sem falha, utilizando por exemplo dos conceitos de Redes Neurais Artificiais;
- Estender o processo a outros tipos de falha, complementando assim um *range* de anomalias possíveis em um processo de avaliação de dirigibilidade veicular;
- Diante de todos os outros itens então implementados, desenvolver uma ferramenta de interface gráfica, elaborando assim um *tool* apropriado aos engenheiros e técnicos envolvidos no processo de desenvolvimento de calibração e controle de um MCI ou qualquer outro tipo de motor-propulsor, haja visto que o sinal de giro ou rotação pode ser utilizado para a identificação das falhas de forma indireta.

Em paralelo as atividades descritas, o trabalho foi apresentado internamente na empresa e iniciado uma discussão e estudo de correlação com outra ferramenta de avaliação objetiva de dirigibilidade, citada também neste trabalho (*AVL Drive*), de propriedade da empresa AVL Company. Este sistema é de maior complexidade para a análise visto a necessidade de instalação de vários outros sensores como acelerômetros, sistema de posicionamento, etc. bem como um custo significativo envolvido, se considerarmos o total de veículos designados ao processo de desenvolvimento de um projeto.

Este estudo possibilitaria também a validação do processo proposto nesse trabalho ou ainda serem utilizados de forma concomitante e complementar em um processo de desenvolvimento da calibração de uma ECU com foco em dirigibilidade.

Publicações Realizadas Durante o Mestrado

Durante a realização deste trabalho, o autor publicou os seguintes artigos seja no tema deste trabalho ou em áreas correlatas:

- MARINHO, Ronaldo Quintão, PEREIRA, Heverton Augusto; RODRIGUES, Giovani Augusto; FELIX, Leonardo B.; Detecção de Falhas de Dirigibilidade Veicular através da Análise Tempo-Frequência de Oscilações do Sinal de Giro de um Motor de Combustão Interna. In: XIII SBAI - Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, Porto Alegre, 2017.
- MARINHO, Ronaldo Quintão; CARVALHO, Túlio Charles; FARIA, Alexandre Wagner Chagas; Detecção de Anomalias de Detonação em um Motor de Combustão Interna com Tecnologia Flex Fuel através de Análise de Transformada Wavelet. In: SAE2016 - Congresso SAE Brasil de Tecnologia da Mobilidade, São Paulo, 2016.

Referências Bibliográficas

- Antory, D. (2005). Fault diagnosis application in an automotive diesel engine using auto-associative neural networks. In *International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation and International Conference on Intelligent Agents, Web Technologies and Internet Commerce (CIMCA-IAWTIC'06)*, volume 2, pages 109–116.
- AVL (2017). *AVL-DRIVE 4.0 HF1 — Function Description*. AVL List GmbH, Graz - Austria.
- Bauer, H. (1999). *ME-Motronic engine management Robert Bosch GmbH*. Stuttgart. Automotive Equipment Business Sector.
- Bosch, R. G. (2004). *Bosch Automotive Handbook*. Wiley-Blackwell.
- Braga, G. (2007). Uma contribuição ao controle de motores de combustão interna de ignição por centelha na condição de marcha lenta. Master's thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Cacciatori, E. (2006). Evaluating the impact of driveability requirements on the performance of an energy management control architecture for a hybrid electric vehicle. In *2006 2nd IEE Conference on Automotive Electronics*, pages 297–320.
- Castellazzi, L., Tonoli, A., Amati, N., Piu, A., and Galliera, E. (2016). Vehicle driveability: Dynamic analysis of powertrain system components. In *SAE Technical Paper*. SAE International.
- Castilho J. E., Domingues M.O., P. A. J. O. M. (2012). *Introdução do Mundo*

- das Wavelets*, volume 62. SBMAC - Sociedade Brasileira de Matemática Aplicada e Computacional.
- Coifman, R. R. and Wickerhauser, M. V. (1992). Entropy-based algorithms for best basis selection. *IEEE Transactions on Information Theory*, 38(2):713–718.
- de Lucena, S. E. (2013). Internal combustion engine’s throttle control as a motivational theme for teaching microprocessors systems lab classes. In *2013 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE)*, pages 450–454.
- Deacon, M. (1996). Optimising the control of a passenger car diesel engine and continuously variable transmission. Master’s thesis, University of Bath.
- Dorey, R. and Holmes, C. (1999). Vehicle drivability – its characterization and measurement. Technical report, SAE International Congress and Exposition.
- Dorey, R. E. and Martin, E. J. (2000). Vehicle driveability - the development of an objective methodology. In *SAE Technical Paper*. SAE International.
- Fiolka, J. (2006). A fast method for knock detection using wavelet transform. In *Proceedings of the International Conference Mixed Design of Integrated Circuits and System, 2006. MIXDES 2006.*, pages 621–626.
- Gray, R. M. (2013). *Entropy and Information Theory First Edition, Corrected*. Springer-Verlag.
- Guo, H., Crossman, J. A., Murphey, Y. L., and Coleman, M. (2000). Automotive signal diagnostics using wavelets and machine learning. *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, 49(5):1650–11662.
- Hibino, R., Jimbo, T., Yamaguchi, H., Tsurumi, Y., Otsubo, H., and Kato, S. (2016). Clarification of transient characteristics by coupled analysis of powertrains and vehicles. *SAE Int. J. Passeng. Cars - Mech. Syst.*, 9:216–226.
- Jauch, C., Tamilarasan, S., Bovee, K., Güvenc, L., and Rizzoni, G. (2016). Design and verification of drivability improving control for the ecocar 2 hybrid electric vehicle. In *2016 American Control Conference (ACC)*, pages 631–636.

- Jing, G. (2010). The influence study of wavelet properties on transient power disturbance signals detection. In *2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering*, volume 5, pages 140–143.
- Johnstone, D. L. D. . I. M. (1994). Ideal denoising in an orthonormal basis chosen from a library of bases.
- Lathi, B. (2007). *Sinais e Sistemas Lineares*. Oxford University Press.
- M. B. Rosales, V. H. C. y. D. V. B. (2003). Influência da resolução tempo-frequência da wavelet de morlet no riagnóstico de falhas de máquinas rotativas. *Mecánica Computacional Vol. XXII*, pages 2538–2550.
- Mallat, S. (2009). *A Wavelet Tour of Signal Processing - The Sparse Way*. Elsevier Inc.
- Mathworks (2009). *Wavelets: A New Tool for Signal Analysis - Matlab Wavelet Toolbox*. The MathWorks, Inc.
- Mendonça, L. S., Luceiro, D. D., Martins, M. E. S., and Bisogno, F. E. (2017). Development of an engine control unit: Implementation of the architecture of tasks. In *2017 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pages 1142–1146.
- Merry, R. (2005). *Wavelet Theory and Applications - A literature study*. Eindhoven University of Technology.
- Misiti M., Misiti Y., O. G. P. J. (2015). *Wavelet Toolbox User's Guide*. The Mathworks, Inc.
- Momberg (2007). Driveability evaluation for engine management calibration. Master's thesis, University of Stellenbosch.
- Montani, M. and Speciale, N. (2006). Multiple misfire identification by a wavelet-based analysis of crankshaft speed fluctuation. In *2006 IEEE International Symposium on Signal Processing and Information Technology*, pages 144–148.
- Probst, C. O. (1991). *Bosch Fuel Injection and Engine Management: How to Understand, Service and Modify*. Cambridge / Robert Bentley.

- Pujatti, F. J. (2007). *Desenvolvimento de um sistema de gerenciamento eletrônico para motores de ignição por centelha*. PhD thesis, Universidade Federal de Minas Gerais.
- Pulkrabek, W. W. (2004). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. Prentice Hall.
- Sarkar, S., Das, S., and Purkait, P. (2013). Wavelet and sfam based classification of induction motor stator winding short circuit faults and incipient insulation failures. In *2013 IEEE 1st International Conference on Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON)*, pages 237–242.
- Stewart, P. and Fleming, P. J. (2004). Drive-by-wire control of automotive driveline oscillations by response surface methodology. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 12(5):737–741.
- Vikas, P., Lakshmi, M. S., Rajkumar, M. S., and Prasad, P. M. K. (2015). Edge detection in noisy images using wavelet transform. In *2015 National Conference on Recent Advances in Electronics Computer Engineering (RAECE)*, pages 36–39.