



Diogo Daniel
Nunes Fernandes

Otimização do algoritmo de análise vibratória e da
localização do ponto de medição de uma caixa de
velocidades

THESIS TITLE (MAX 70 CHARACTERS)

DOCUMENTO PROVISÓRIO



Diogo Daniel
Nunes Fernandes

Otimização do algoritmo de análise vibratória e da
localização do ponto de medição de uma caixa de
velocidades

THESIS TITLE (MAX 70 CHARACTERS)

DOCUMENTO PROVISÓRIO

*“The greatest challenge to any thinker is stating the problem in a
way that will allow a solution”*

— Bertrand Russell



Diogo Daniel
Nunes Fernandes

Otimização do algoritmo de análise vibratória e da localização do ponto de medição de uma caixa de velocidades

THESIS TITLE (MAX 70 CHARACTERS)

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Computadores e Telemática, realizada sob a orientação científica do Doutor (nome do orientador), Professor associado do da Universidade de Aveiro, e do Doutor (co-orientador), Professor auxiliar convidado do Departamento de Matemática da Universidade de Aveiro.

Texto Apoio financeiro do POCTI no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.

Texto Apoio financeiro da FCT e do FSE no âmbito do III Quadro Comunitário de Apoio.

dedicação

o júri / the jury

presidente / president

Prof. Doutor João Antunes da Silva

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

vogais / examiners committee

Prof. Doutor João Antunes da Silva

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor João Antunes da Silva

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor João Antunes da Silva

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor João Antunes da Silva

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Prof. Doutor João Antunes da Silva

professor associado da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**agradecimentos /
acknowledgements**

Agradeço toda a ajuda a todos os meus colegas e companheiros.

Palavras Chave

texto livro, arquitetura, história, construção, materiais de construção, saber tradicional.

Resumo

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Etiam lobortis facilisis sem. Nullam nec mi et neque pharetra sollicitudin. Praesent imperdiet mi nec ante. Donec ullamcorper, felis non sodales commodo, lectus velit ultrices augue, a dignissim nibh lectus placerat pede. Vivamus nunc nunc, molestie ut, ultricies vel, semper in, velit. Ut porttitor. Praesent in sapien. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. Duis fringilla tristique neque. Sed interdum libero ut metus. Pellentesque placerat. Nam rutrum augue a leo. Morbi sed elit sit amet ante lobortis sollicitudin. Praesent blandit blandit mauris. Praesent lectus tellus, aliquet aliquam, luctus a, egestas a, turpis. Mauris lacinia lorem sit amet ipsum. Nunc quis urna dictum turpis accumsan semper.

Keywords

textbook, architecture, history, construction, construction materials, traditional knowledge.

Abstract

Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like "Huardest gefburn"? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language. Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like "Huardest gefburn"? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language. Hello, here is some text without a meaning. This text should show what a printed text will look like at this place. If you read this text, you will get no information. Really? Is there no information? Is there a difference between this text and some nonsense like "Huardest gefburn"? Kjift – not at all! A blind text like this gives you information about the selected font, how the letters are written and an impression of the look. This text should contain all letters of the alphabet and it should be written in of the original language. There is no need for special content, but the length of words should match the language.

Conteúdo

Conteúdo	i
Lista de Figuras	iii
Lista de Tabelas	v
Glossário	vii
1 Introdução	1
1.1 Acrónimos	1
2 Estado de Arte	3
2.1 Caixa de Velocidade	3
2.1.1 Constituição	3
2.2 Acústica	6
2.2.1 As diferentes fontes de som de uma caixa de velocidades	7
2.3 análise vibratória	8
2.3.1 análise de frequência	8
2.3.2 análise de ordem	9
2.3.3 Cepstrum	11
2.3.4 kurtosis	13
2.3.5 Fond spectre	13
2.4 Machine Learning	13
2.4.1 Rede Neural Artificial	15
*	19
Bibliografia	19

Lista de Figuras

2.1	Caixa velocidades e seus orgãos: cárter(verde), carretos(branco), comandos internos(amarelo), diferencial(roxo)	4
2.2	Carreto	5
2.3	comando interno	6
2.4	Engrenagem com dentado reto	8
2.5	Engrenagem com dentado helicoidal	8
2.6	Taquímetro	9
2.7	Espectro de potência de uma caixa de velocidades de uma eólica a 60Hz	10
2.8	Espectro de potência de uma caixa de velocidades de uma eólica a 50Hz	10
2.9	Espectro de ordem de uma caixa de velocidades de uma eólica a 60Hz(topo) e 50Hz(fundo)	11
2.10	Espectro de potência do sinal vibratório de uma caixa de velocidades(1 velocidade) . . .	12
2.11	Cepstrum do sinal vibratório de uma caixa de velocidades(1 velocidade)	12
2.12	Comparação entre um sinal Gaussiano e um sinal com $k = 4$	13
2.13	Relação entre Inteligência Artificial (IA), Machine Learning (ML) e Deep Learning (DL)	14
2.14	Função de ativação	16
2.15	Função sigmoide	16
2.16	Entrada e saída de informação em um neurónio	16
2.17	Estrutura de uma Rede Neural	17
2.18	Propagação dos erros para atualização dos pesos	18

Lista de Tabelas

Glossário

ML Machine Learning
IA Inteligência Artificial

DL Deep Learning

CAPÍTULO

1

Introdução

A sort description of the chapter.

A memorable quote can also be used.

1.1 ACRÓNIMOS

CAPÍTULO 2

Estado de Arte

Neste capítulo será realizado um breve estudo teórico que permitirá uma melhor compreensão relativamente a conceitos que aqui serão abordados.

2.1 CAIXA DE VELOCIDADE

Como o objetivo final desta dissertação é a classificação de uma caixa de velocidades como sendo defeituosa ou não, será necessário começar por explicar como é que esta funciona. Esta secção tem como base *Formação Sensibilização Produto Caixa de Velocidades* [1].

Todos os veículos automóveis necessitam de uma caixa de velocidades que permita, consoante a necessidade, converter o binário¹ e a rotação do motor para as rodas. Se o motor do veículo fosse ligado diretamente às rodas, com uma relação de transmissão fixa, verificar-se-ia que o binário por este disponibilizado seria manifestamente insuficiente para proceder ao arranque do veículo ou, então, que a velocidade máxima do veículo seria extremamente baixa.

De uma forma geral e simplificada, quanto maior a rotação do motor em relação à rotação do eixo das rodas, maior será o binário e, quanto menor a rotação do motor em relação à rotação do eixo das rodas, maior será a velocidade. Normalmente esta proporção expressa-se tecnicamente por 10:1, 9:1, 1:1.05, 1:7 e assim por diante.

2.1.1 Constituição

Como os carros franceses são maioritariamente carros à tração com um motor transversal eles usam, portanto, "caixas-ponte". Estas caixas são constituídas principalmente por 4 órgãos^{2.1} os cárteres, as árvore, os comandos internos e o diferencial (ou ponte).

¹Medida da força rotacional exercida sobre um eixo

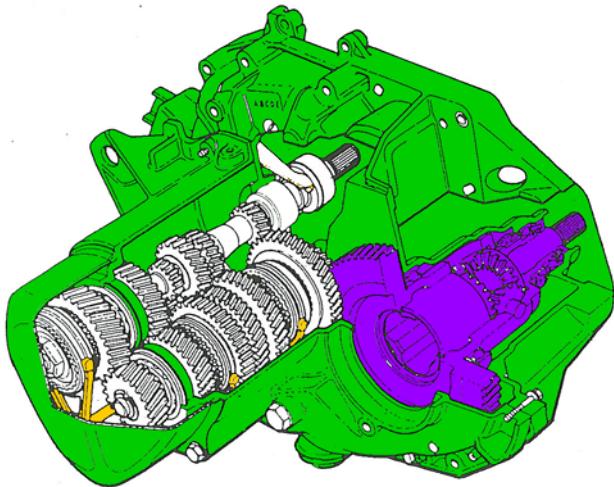


Figura 2.1: Caixa velocidades e seus órgãos: cárter(verde), carretos(branco), comandos internos(amarelo), diferencial(roxo)

Os cárteres têm 3 funções: proteger os carretos da caixa de velocidade, criar um espaço impermeável para poder lubrificar os carretos e resistir **as** forças de engrenamento nos apoios dos rolamentos. A lubrificação é um ponto crucial numa caixa de velocidades pois permite reduzir a fricção, isto é, o desgaste das peças. Também permite evitar a gripagem² das peças em movimento.

As árvore**s**^{2.2} são um conjunto composto principalmente por várias engrenagens, pinhões, anéis e anéis de arrasto. O par de engrenagens permite obter velocidades de rotação e binários diferentes em função da velocidade selecionada. A roda que provoca o efeito de rotação (roda de entrada de movimento) é chamada de mandante e a roda que sofre o efeito (roda de saída de movimento) é chamada de mandada. A relação de transmissão é dada pelo número de dentes da roda mandada a dividir pelo número de dentes da roda mandante. **Quanto maior for a relação de transmissão maior é a velocidade de rotação da roda mandada e mais fraco o seu binário.** Quantos mais dentes tem a roda dentada mandada relativamente à roda mandante menor é a sua velocidade de rotação, **mas o binário do conjunto aumenta.** Aplicando este conceito a uma caixa de velocidades, onde existem dois eixos: a árvore primária, que recebe do volante do motor, a rotação do motor por intermédio da embraiagem e por isso onde se encontram as rodas mandantes, e a árvore secundária, que transmite um submúltiplo dessa rotação ao diferencial³. Será importante frisar que os carretos da árvore secundária se encontram em rotação livre, o que permite que, em ponto morto (ex., sem nenhuma velocidade engrenada), não ocorra a transferência de movimento. Mudar de mudança significa mudar a relação de transmissão, quanto maior for a mudança menor será a relação de transmissão deste modo mais baixo é o binário disponível e maior é a velocidade à saída. Em situações que seja preciso inverter o sentido de marcha(marcha-atrás), como não é possível inverter

²Efeito produzido pela fricção de duas superfícies metálicas em contacto, e que, por falta de uma lubrificação suficiente, aderem uma à outra

³O diferencial tem a função de distribuir o binário a dois semi-eixos que por sua vez estão ligados às rodas

o sentido de rotação do motor, é intercalado um carroto adicional entre a roda mandante e mandada, invertendo assim o sentido de rotação da roda mandada final.



Figura 2.2: Carreto

O comando   ~~interno2.3~~ que permite fazer a seleção de velocidade, é um conjunto de peças que é acionado pelo condutor com ajuda da alavanca de mudanças, quando o veículo se encontra em deslocamento. O eixo secundário, para cada velocidade, tem um carroto louco que é capaz de girar livremente à volta do eixo secundário e está engrenado com um carroto fixo do eixo primário. O movimento da alavanca de mudanças vai levar à deslocação de eixos/forquilhas que estão diretamente engatados no anel de arrasto e que por sua vez provocará a transferência do anel de arrasto. Este anel é responsável por transmitir o movimento de rotação do carroto louco até ao eixo secundário. Como o carroto louco e o anel de arrasto não têm a mesma velocidade de rotação, para evitar qualquer risco de rutura, sincronizam-se as velocidades de rotação antes do engrenamento. Isto é feito utilizando um sincronizador, que com o atrito, ao encostar ao carroto as rotações são sincronizadas.

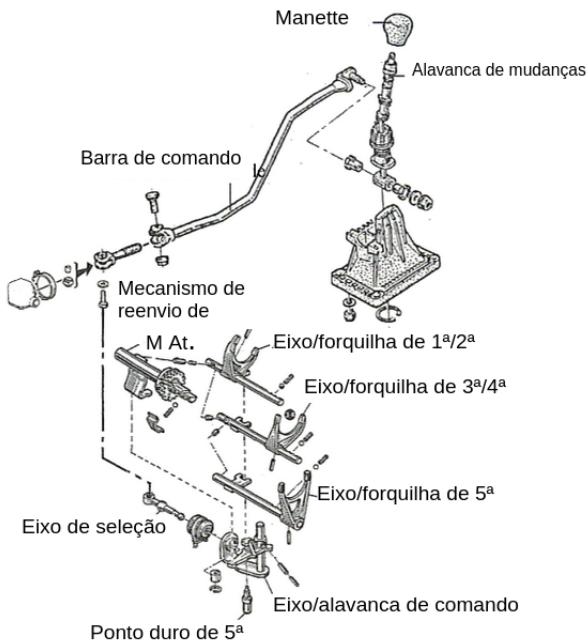


Figura 2.3: comando interno

O diferencial serve para que, numa curva, como a roda exterior percorre uma maior distância do que a roda interior, a velocidade de rotação da roda exterior é maior do que a roda interior. O diferencial permite, nas curvas, distribuir a potência a cada roda, podendo inclusive uma roda permanecer em repouso enquanto a outra recebe toda a potência e movimento gerado pelo motor. Isto acontece porque a força tende a “ seguir o caminho mais fácil ”.

2.2 ACÚSTICA

A experiência e o conforto que um condutor tem a conduzir um automóvel são fatores im-

portantes, no qual são influenciados por uma combinação entre: ruído, vibrações e severidades sentidas no veículo. O NVH é o estudo e modificação dos ruídos e vibrações característicos dos veículos (principalmente carros e caminhões). Embora o ruído e as vibrações possam ser medidos, a "severidade" designa um aspecto subjetivo da acústica, mensurável por um júri acústico ou por instrumentação "especial" que reflete os sentimentos humanos: falamos de psicoacústica.

A vibração traduz um movimento oscilante de um ponto de uma estrutura e o ruído reflete um movimento oscilante do ar. Geralmente distinguimos os 3 elementos seguintes: A fonte, que muitas vezes é vibratória, mas também pode ser diretamente acústica, o transmissor, que amplifica ou atenua o ruído, e o emissor, também denominado altifalante que neste caso podem ser os painéis, janelas ou pára-brisas, por exemplo. No caso de um veículo em andamento os transmissores são: o ar diretamente, o ruído produzido pela corrente cinemática é propagado no ar até ao ouvido do condutor com a janela aberta; o ar indiretamente, o ruído é propagado e absorvido pelas janelas ou painéis atuando como emissores; e por fim por via sólida, as vibrações propagam-se na carroçaria e vibram nos subconjuntos (porta traseira, chão). Por

vezes identificar a fonte poderá ser complicado pois o transmissor e o emissor podem cada um modificar o tom original do ruído [2].

2.2.1 As diferentes fontes de som de uma caixa de velocidades

Segundo Etienne [3], a principal fonte de ruído em um veículo é o motor e a caixa de velocidades. Numerosos estudos e soluções foram realizados no que diz respeito ao motor em termos de suas emissões de ruído. Mas a redução no ruído do motor destaca evidência dos ruídos produzidos pela caixa de velocidade. As vibrações são transmitidas para a caixa de velocidades de duas maneiras:

- Via sólida: as vibrações que aparecem ao nível das engrenagens são transmitidas para as árvores, em seguida, para os rolamentos e para o cárter;
- Via aérea: dentro do cárter, as vibrações dos elementos mecânicos criam diferenças de pressão; sob o efeito dessas tensões, a estrutura da caixa comporta-se quase como a membrana de um altifalante(emissor): a caixa "irradia".

As fontes de ruído numa caixa de velocidade são:

- árvores devido a defeitos de coaxialidade e cilindricidade⁴,
- rolamentos devido à folga, defeitos de desgaste,
- as engrenagens.

Engrenagens são a principal causa de ruído na caixa de engrenagens devido aos contactos perpétuos existente entre os dentes das engrenagens engatadas ou livres. Sua geometria era, portanto, otimizada para reduzir o ruído de engrenamento tanto quanto possível. No entanto falhas podem ocorrer como:

- defeito de fabrico: espaçamento irregular entre os dentes, pinhões não totalmente circulares,
- amplificação de vibrações em frequências correspondentes às características modais do sistema: modos de flexão ou torção dos dentes, eixos, etc.,
- efeito de sucção: bolsas de ar ou óleo formadas durante o desengate de um dente.[3]

Inicialmente todas as caixas eram feitas com dentado reto 2.4, mas por uma questão acústica passaram a ser dentado helicoidal 2.5 por este permitir um escorregamento entre dentes que por sua vez diminui o ruído de contacto individual de cada dente. A engrenagem helicoidal permite que 2 dentes estejam em contacto em simultâneo.

⁴Cilindricidade é uma tolerância tridimensional que controla a forma geral de um recurso cilíndrico para garantir que seja redondo e reto o suficiente ao longo de seu eixo



Figura 2.4: Engrenagem com dentado reto



Figura 2.5: Engrenagem com dentado helicoidal

2.3 ANALISE VIBRATÓRIA

As caixas de velocidade são usadas em diferentes condições; velocidades altas e/ou cargas altas. Qualquer pequena falha em um componente da caixa de velocidades pode originar uma falha ou ruídos inesperados. Como as caixas de velocidade têm uma estrutura complexa, conseguir detetar e prever defeitos na fase de montagem terá o benefício de reduzir dano consequencial, aumentará vida útil da caixa, reduzir o armazenamento de peças sobresselentes, reduzir a manutenção de avarias e evitar uma perda de tempo e dinheiro. Para uma deteção precoce é feita uma análise ao sinal vibratório. A Renault Cacia utiliza diversos métodos de análise que irão ser descritos aqui.

2.3.1 análise de frequência

A análise de frequência é o método mais usado para analisar sinais vibratórios. O tipo mais básico desta análise é um FFT ou "Fast Fourier Transform" no qual converte um sinal do domínio do tempo para o domínio da frequência. O resultado desta conversão é um espectro

de potência (ou energia) que mostra a energia contida em frequências específicas do sinal em geral.

Apesar do seu uso comum, existe várias contras em só usar a análise de frequência devido aos seus resultados, como o espectro de potência ou distorção harmónica total, conter apenas a informação da frequência do sinal. Não contém informação temporal. Isto implica que a análise de frequência não é adequada para sinais no qual as frequências variam ao longo de tempo.

2.3.2 análise de ordem

A análise de ordem é a arte e a ciência de extrair conteúdos sinusoidais de medições de sistemas acústico-mecânicos sob carregamento periódico. A característica principal, é de a medição estar relacionada com as revoluções, a velocidade de rotação e as ordens harmónicas das partes rotativas. Usada principalmente para encontrar soluções para problemas, no design e para testar produtos, que é o nosso caso. A chave para a análise de ordem é a informação sobre a velocidade de rotação, que é obtido através de um taquímetro^{2.6}.

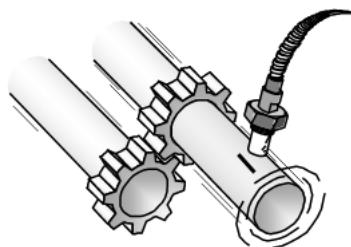


Figura 2.6: Taquímetro
[4]

Com base no exemplo dado em *Vibration Analysis and Signal Processing in LabVIEW* [5] e para melhor entender a análise de ordem, a figura 2.7 contém um espectro de potência. Existe dois picos, o primeiro a 60Hz corresponde à velocidade de rotação do eixo de uma máquina, e o segundo pico, que é o 4º harmónico da velocidade de rotação, corresponde aos rolamentos da máquina. Se pretendemos monitorizar a saúde dos rolamentos é importante seguirmos este 4º harmônico.

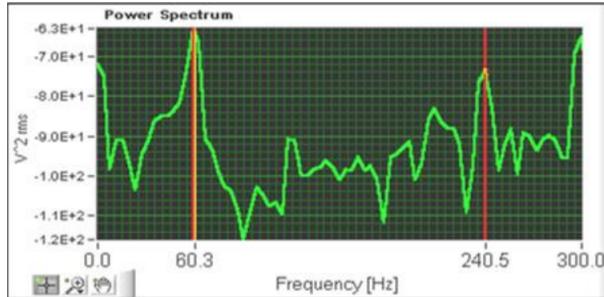


Figura 2.7: Espectro de potência de uma caixa de velocidades de uma eólica a 60Hz



No entanto, à medida que a velocidade diminui para 50Hz, o 4º harmónico do espectro de potência desloca-se. Os picos num espectro de potência de um componente rotativo estão todos relacionados à velocidade rotação fundamental desse componente. Mesmo que o FFT seja capaz de analisar os dados e mostrar o espectro de potência, não é capaz de facilmente monitorizar os harmónicos.

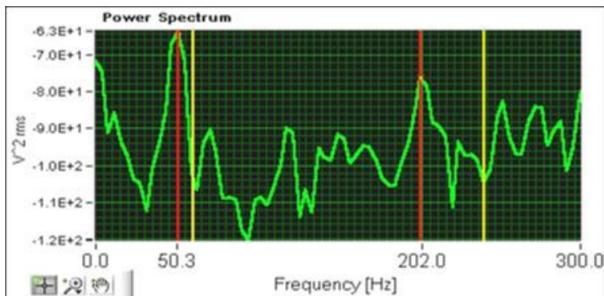


Figura 2.8: Espectro de potência de uma caixa de velocidades de uma eólica a 50Hz

Na análise de ordem o sinal é primeiro reamostrado no domínio angular. A reamostragem combina as medições de velocidade tiradas de um taquímetro na máquina com as medições de vibração e interpola as medições de vibração em um ponto de dados por fração de rotação angular. As medições de vibração estão agora no domínio angular em comparação com as do FFT que estão no domínio de tempo. Uma vez no domínio angular um FFT pode ser realizado nas medições de vibração para obter o que é conhecido por um espectro de ordem.

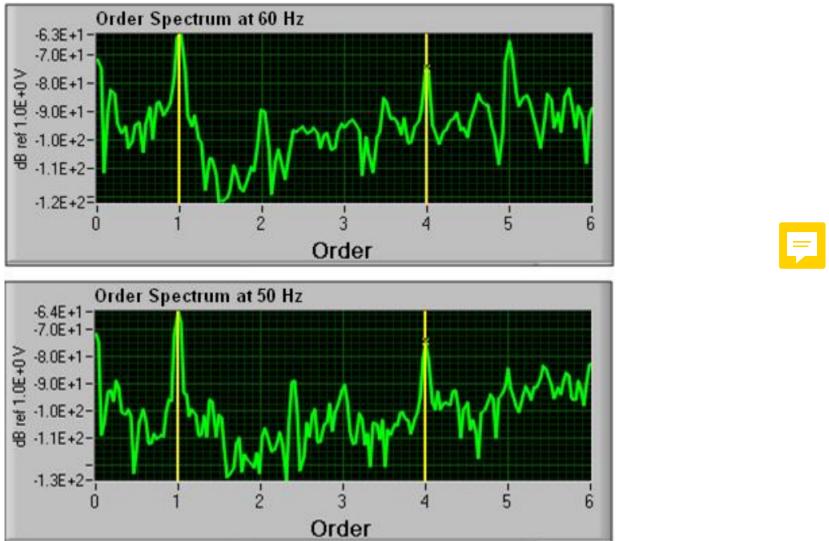


Figura 2.9: Espectro de ordem de uma caixa de velocidades de uma eólica a 60Hz(topo) e 50Hz(fundo)

Com o espectro de ordem torna-se mais fácil monitorizar o 4º harmónico pois este não se desloca conforme a velocidade de rotação aumenta ou diminui. Ordem 1 corresponde a 1x a velocidade de rotação, todas as outras ordens são múltiplas da primeira, sendo que ordem 4 corresponde a 4x a velocidade de rotação.

2.3.3 Cepstrum

A análise de Cepstrum tem diversas aplicações, como na deteção e remoção de eco ou na análise da fala. Uma das mais importantes está relacionada com a indústria, no diagnóstico de máquinas, onde a sua habilidade para detectar periodicidades no espectro é aproveitada.

O espectro de uma caixa de velocidades é usualmente constituído por um número de famílias de harmónicos. Estas famílias de harmónicos são originadas pelos eixos rolamentos e pelas frequências dos dentes engrenados das engrenagens. É comum as engrenagens terem um número ímpar de dentes, isto é uma vantagem pois faz com que o desgaste se espalhe uniformemente, mas também é uma vantagem no ponto de vista de medição já que as diferentes famílias de harmónicos não se sobrepõem. Por outro lado, muitas das vezes pode haver várias famílias de harmónicos, o que pode ser difícil para poder separá-las no espectro. O Cepstrum é uma ferramenta prática que permite facilmente encontrar as diferentes famílias de harmónicos, nas quais podem ser monitorizadas individualmente para procurar alterações que poderão ser um indicador de que algo está errado[6].

O Cepstrum, como pode ser visto em Randall [7], é definido como o "inverso da transformada de Fourier do espectro de potência logarítmico":

$$C_{xx} = \mathcal{F}^{-1} \{ \log F_{xx}(f) \} \quad (2.1)$$

onde F_{xx} é o espectro de potência. O Cepstrum e a auto-correlação estão fortemente relacionados. A auto-correlação pode ser obtida fazendo o inverso da transformada de Fourier

do espectro de potência:

$$R_{xx} = \mathcal{F}^{-1} \{ F_{xx}(f) \} \quad (2.2)$$

A auto-correlação é principalmente dominada pelos maiores valores do espectro. O logaritmo usado no cálculo do Cepstrum faz com que ele tenha mais em conta os harmónicos de baixo nível em comparação com a auto-correlação. Também significa que a auto-correlação é fortemente influenciada pela forma do sinal de tempo enquanto que no Cepstrum reage principalmente aos harmónicos presentes no espectro e não tanto aos seus tamanhos relativos.

 Aqui segue um exemplo para demonstrar a capacidade do Cepstrum como ferramenta para medições. A figura 2.10 representa o espectro de potência do sinal vibratório de uma caixa de velocidades de apenas uma velocidade. Ao analisar o espectro, encontramos uma "floresta" de harmónicos. Se quisermos encontrar uma família de harmónicos teríamos de o  fazer manualmente o que é um processo tedioso.

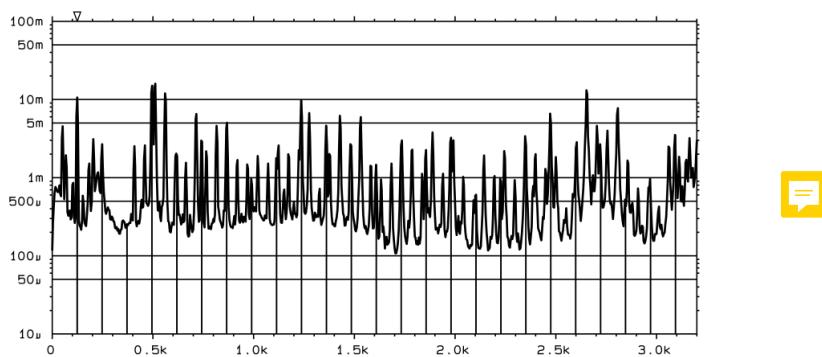


Figura 2.10: Espectro de potência do sinal vibratório de uma caixa de velocidades(1 velocidade)

O processo de encontrar as famílias de harmónicos é muito mais fácil no domínio do Cepstrum 2.11. Como podemos observar neste caso encontramos duas famílias de harmónicos, uma representada pela letra A e outra pela letra B.

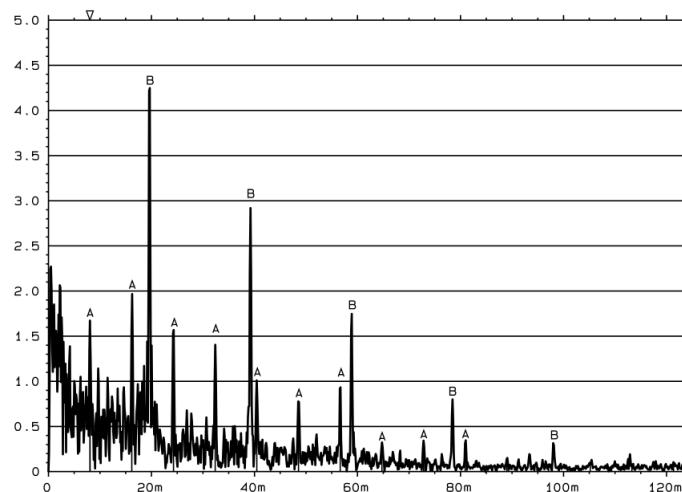


Figura 2.11: Cepstrum do sinal vibratório de uma caixa de velocidades(1 velocidade)

2.3.4 kurtosis

Outra métrica de bastante utilidade no diagnóstico de problemas numa caixa de velocidade é a Kurtosis, apresentada em *Kurtosis in Random vibration Control* [8]. Sinais com o valor de Kurtosis maior, têm mais picos que são maiores que 3x o valor quadrático médio(RMS) do sinal.

A Kurtosis pode ser expressa como o valor normalizado "K", a expressão 2.3 seguinte mostra o cálculo de K para N amostras.

$$K = \frac{\frac{1}{n} \sum (x_i^4)}{(\frac{1}{n} \sum (x_i^2))^2} \quad (2.3)$$

No gráfico seguinte 2.12 podem ser vistos dois sinais, um sinal Gaussiano puro, que tem sempre $k = 3$, e um sinal com $k = 4$. O sinal com maior valor de kurtosis passa mais tempo em amplitudes maiores.

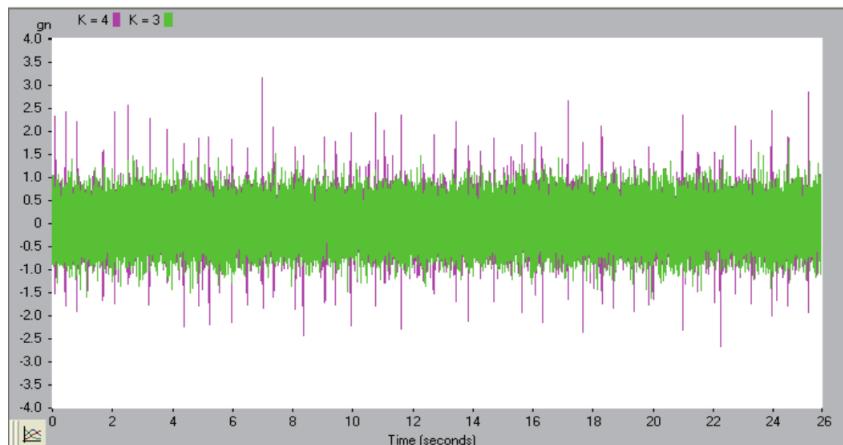


Figura 2.12: Comparação entre um sinal Gaussiano e um sinal com $k = 4$

Caso uma caixa de velocidade tenha uma engrenagem com um defeito em dente, no espectro de potência irá surgir um pico de maior intensidade. O valor da kurtosis para esta caixa será superior em relação ao valor da kurtosis de uma outra caixa em boas condições.

2.3.5 Fond spectre

O Fond spectre serve para descrever como a energia de um sinal é distribuída pela frequência. Visualmente corresponde à área do espectro de potência. (nota: não tenho acesso a detalhes sobre esta métrica)

2.4 MACHINE LEARNING

IA é definida como o estudo de agentes inteligentes, que podem perceber o ambiente e agir de forma inteligente da mesma forma que os humanos. ML⁵ é um sub-campo de IA e envolve o estudo científico de modelos estatísticos e algoritmos que conseguem aprender

⁵Aprendizagem de máquina/Aprendizagem automática em português

progressivamente com os dados e atingir uma performance desejada. Isto faz com que ML possa ser usado em diversas tarefas que necessitem de automação e especialmente em cenários onde os humanos não podem desenvolver manualmente um conjunto de instruções para automatizar as tarefas desejadas.

Já que os termos ML e DL⁶ tendem a ser confundidos, é importante observar as nuances entre os dois. Redes neurais, ML e DL são todos sub-campos de IA. No entanto, DL é um sub-campo de ML e rede neural um sub-campo de DL.¹³ As diferenças entre DL e ML está na forma de como cada algoritmo aprende. Em DL, a maior parte do processo de extração de características ("Feature extraction")⁷ é automatizado, eliminando assim alguma da intervenção manual humana necessária e possibilitando o uso de conjuntos de dados maiores. [9]

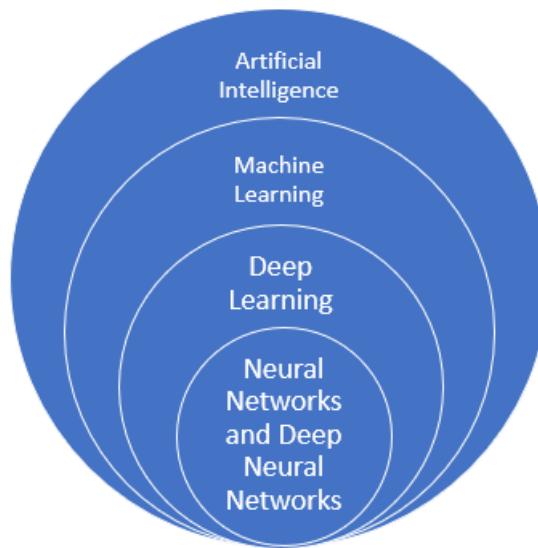


Figura 2.13: Relação entre IA, ML e DL
[10]

Geralmente um algoritmo de machine learning consiste aproximadamente em 3 componentes:

- **Um processo de decisão:** Os algoritmos de ML são usados para fazer uma previsão ou classificação. Com base em alguns dados de entrada o algoritmo vai produzir uma estimativa sobre um padrão nesses dados.
- **Uma função de erro:** serve para avaliar a previsão do modelo. Se existem exemplos conhecidos, a função de erro pode fazer uma comparação para averiguar a exatidão do modelo.
- **Um processo de otimização de modelo:** O algoritmo ajusta como o processo de decisão chega à decisão final, numa tentativa de reduzir as previsões erradas. O algoritmo

⁶Aprendizagem profunda em português

⁷Processo que envolve simplificar o conjunto de dados requeridos para descrever um grande conjunto com mais precisão

irá repetir este processo de avaliação e otimização até que um determinado limite de exatidão é atingido.

Muitos modelos de ML são definidos pela presença ou não de influência humana sobre os dados, e enquadram-se nas seguintes três categorias principais:

- **Aprendizagem supervisionada:** é definido pelo uso de conjuntos de dados pré-rotulados (entradas e suas saídas desejadas) para treinar o algoritmo a encontrar uma regra geral que mapeie as entradas às saídas. À medida que os dados de entrada são alimentados no modelo, ele faz uma série de ajustes internos até que fique afinado corretamente. Usado em dois tipos de cenários: problemas de classificação, categorizar dados de teste, e problemas de regressão, perceber a relação entre variáveis dependentes e independentes.
- **Aprendizagem não supervisionada:** o algoritmo recebe um conjunto de dados não rotulado, isto é, apenas com entradas, e encontra uma estrutura nos dados, como padrões e agrupamentos. Não existe intervenção humana no conjunto de dados fornecido ao algoritmo mas existe na validação das variáveis de saída (verificar se as conclusões tiradas pelo algoritmo são desejadas).
- **Aprendizagem semi-supervisionada:** um meio termo entre aprendizagem supervisionada e não supervisionada. O conjunto de dados contém dados estruturados e não estruturados, no qual irão guiar o algoritmo a fazer conclusões independentes. O uso dos dois tipos de dados num conjunto de dados para treino permite ao algoritmo de ML aprender a rotular conjunto de dados não rotulados.

2.4.1 Rede Neural Artificial

Uma rede neural Artificial(ANN, Artificial Neural Network) é um modelo de rede interconectado baseado nos processos de aprendizagem biológicos do cérebro com diversas aplicações na análise de dados, reconhecimento de padrões e controlo. A unidade básica no qual o cérebro funciona é o neurónio, que transmite sinais elétricos de uma extremidade à outra. O cérebro humano tem aproximadamente 100 biliões de neurónios, tornando-se difícil de replicar este nível de complexidade com os computadores atuais. No entanto, existem seres vivos com menos neurónios e que conseguem sobreviver, como por exemplo, um Nematoda que tem cerca de 302 neurónios. Este nível de complexidade consegue-se replicar com os computadores atuais.

Se pensarmos nos princípios operativos de um neurónio, eles recebem sinais e geram outros sinais. Isto é, recebem um sinal de entrada, realizam algum processamento, e produzem um sinal de saída. No entanto, o sinal de saída não é gerado de forma constante, é gerado quando a entrada excede um certo limite. A função que recebe um sinal de entrada e produz um sinal de saída é chamada de função de ativação. Como é mostrado na figura 2.14, quando o sinal de entrada é pequeno, a saída é 0, e quando o valor de entrada supera um certo limite, uma saída diferente de 0 aparece. Por isso é que a resposta de um neurónio biológico e de um neurónio artificial(nós) são semelhantes. No entanto, as redes neurais artificiais usam funções diferentes para além da função de ativação, a maioria usa funções sigmoide 2.15. Como vantagem, as funções sigmoide são simples de calcular em comparação com outras funções. Atualmente,

redes neurais artificiais usam predominantemente um método de modificação de um peso no processo de aprendizagem.

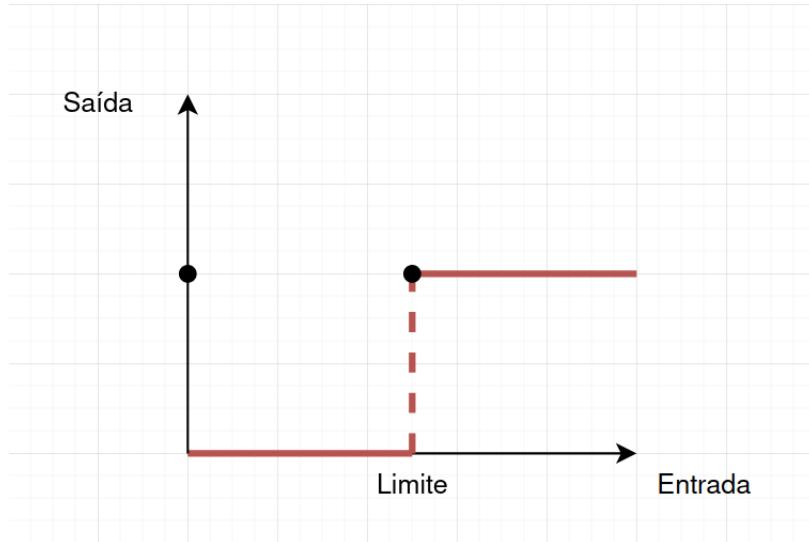


Figura 2.14: Função de ativação

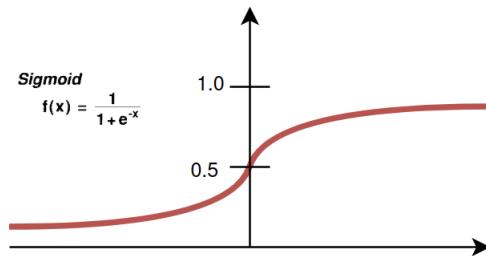


Figura 2.15: Função sigmoide

Tal como nos neurónios biológicos, os neurónios numa rede neural artificial recebem múltiplos valores de entrada, fazem o somatório e processam o valor com uma função sigmoide. O valor processado pela função sigmoide torna-se no valor de saída. Como é mostrado na fig 2.16, caso o somatório dos valores de entrada for superior a um limite, é feito um processamento com a função de sigmoide e é gerado um valor de saída.

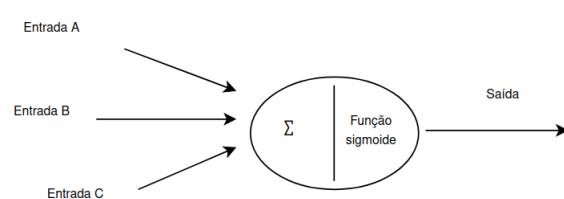


Figura 2.16: Entrada e saída de informação em um neurónio

Uma rede neural artificial é composta por 3 camadas de neurónios, a camada de entrada que está ligada à camada oculta e que por sua vez está ligada à camada de saída 2.17. A camada oculta é chamada de caixa negra porque não é possível interpretar como é que a rede neural derivou um determinado resultado.

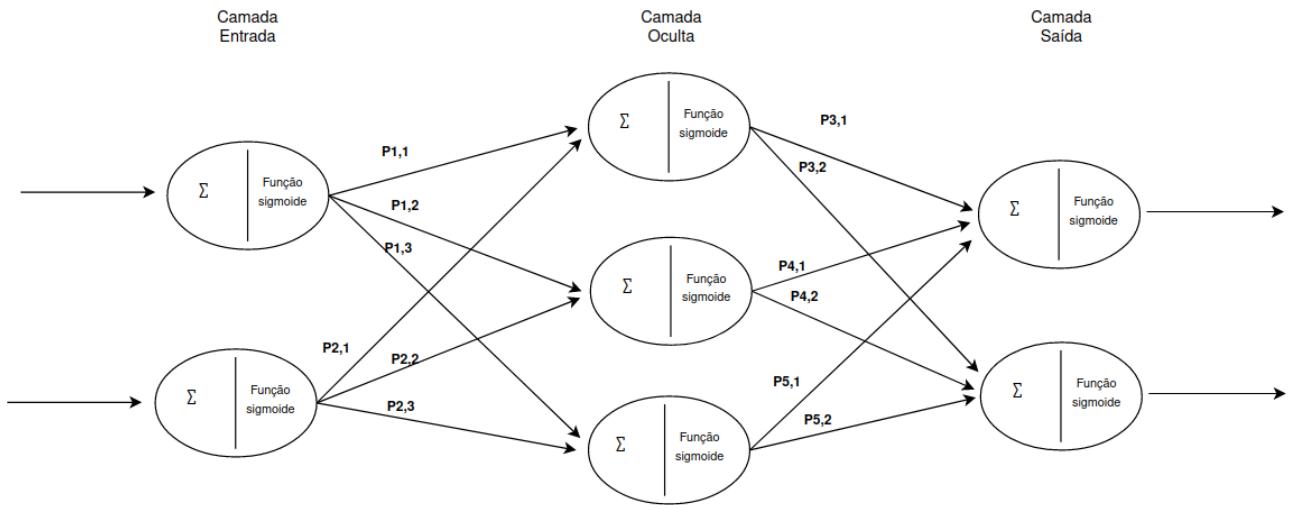


Figura 2.17: Estrutura de uma Rede Neural

Numa rede neural artificial cada conexão entre neurónios artificiais tem um peso associado. Um valor de peso mais baixo enfraquece o sinal, e um valor de peso mais elevado fortalece o sinal. O processo de aprendizagem consiste no ajustamento destes pesos por parte da rede com intuito de melhorar a sua performance. Caso um peso tenha valor 0, o sinal não é transmitido e a rede não pode ser influenciada. A atualização dos pesos é determinada pelo erro entre o valor de saída previsto e o valor correto. O erro é dividido pela proporção dos pesos nas conexões, e os erros divididos são propagados e remontados 2.18. No entanto, numa estrutura hierárquica é difícil de calcular todos os pesos matematicamente. Existem diversas alternativas, mas mais complexas que outras, que não serão aqui descritas, uma delas, como por exemplo, é o método do gradiente ("gradient descent method"). Sem entrar em grandes detalhes, o método do gradiente é uma técnica para encontrar o ponto mais baixo no qual o custo é minimizado numa função de custo, neste caso, a diferença entre o valor previsto e a resposta obtida para um valor arbitrário inicial do peso P. O modelo pode iniciar com qualquer valor P e alterá-lo gradualmente de modo a que o seu custo seja reduzido e alcance um mínimo. Este é o processo de aprendizagem de uma rede neural artificial.

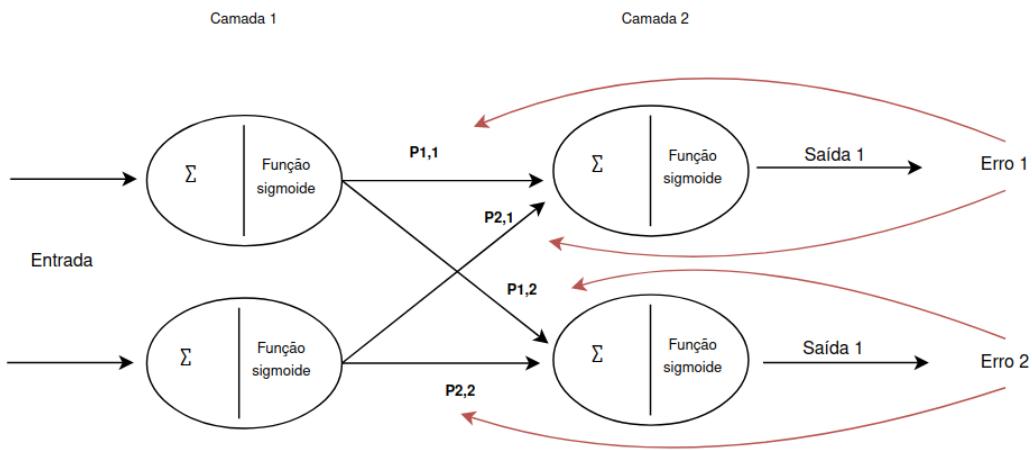


Figura 2.18: Propagação dos erros para atualização dos pesos

O "deep" em "deep learning" apenas refere-se à profundidade da rede neural, isto é, ao número de camadas que contém. Uma rede neural que contém mais que 3 camadas, com as de entrada e saída inclusive, pode ser considerada um algoritmo de DL ou uma rede neural profunda ("Deep Neural Network"). Uma rede neural com apenas 2 ou 3 camadas é considerada uma rede neural básica.

*



Bibliografia

- [1] *Formação Sensibilização Produto Caixa de Velocidades*, Renault, set. de 2017.
- [2] C. Develay, *Acoustique Boîte Bruits de Chaîne Cinématique*, Renault, 2010.
- [3] F. Etienne, «Design Sonore des objects,» E.N.S.A.M. PARIS, 2001.
- [4] *Order Analysis*, Brüel & Kjaer.
- [5] *Vibration Analysis and Signal Processing in LabVIEW*, National Instruments, jan. de 2016.
- [6] N. J. Wismer, *Gearbox Analysis using Cepstrum Analysis and Comb Lifting*, BO 0440 – 11, Brüel & Kjaer, Denmark.
- [7] R. Randall, *Cepstrum Analysis and Gearbox Fault Diagnosis*, 2^a ed., Brüel & Kjaer, Denmark.
- [8] *Kurtosis in Random vibration Controll*, Brüel & Kjaer, set. de 2009.
- [9] I. C. Education. (jul. de 2020). What is Machine Learning, URL: <https://www.ibm.com/cloud/learn/machine-learning>.
- [10] C. Thakar. (mar. de 2020), URL: <https://blog.quantinsti.com/deep-learning-finance/>.