



Departamento
de Engenharia Química

Análise Multivariada de Óleos Lubrificantes

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e
Gestão Industrial

Autor

João Carlos Antunes Rodrigues

Orientadores

Dr. José Manuel Torres Farinha & Dr. Luís Melo Margalho

Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Coimbra, maio, 2019

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar e logicamente, como Cristão Apostólico Romano, agradeço a Deus que de alguma forma me ajudou nesta árdua, mas profícua caminhada.

Em seguida, é justo agradecer aos meus avós que à sua maneira, me souberam dar conselhos e objetivos muito enriquecedores que sempre me guiaram e orientaram para que eu visse que a vida tem que ser vivida, mas tem que ser, principalmente, trabalhada com justiça, afincos e honestidade.

Aos seguintes, os meus pais, devo e agradeço o meu nascimento, que apesar de tardio para eles, souberam sempre com muito trabalho e orgulho, orientar-me naquilo que ambos achavam que era o melhor para o seu filho mais novo. Sempre lutando para que nada me faltasse e para que os meus objetivos a todos os níveis, fossem sendo cumpridos.

Aos meus irmãos nos quais incluo o meu cunhado Rui, agradeço o apoio incondicional, incentivo, amor, amizade e paciência demonstrados nos momentos mais difíceis. À minha irmã, tenho obrigatoriamente de fazer uma chamada de atenção muito especial. Ela foi sempre, a maior impulsionadora para que eu seguisse este curso e atingisse muitos dos objetivos, nunca me deixando desanimar nem relaxar, fazendo com que perante as adversidades, ficasse e continuasse lutando e estudando, focado no objetivo.

Gratifico também a restante família, que soube secundar e apoiar as minhas escolhas e as da minha família mais próxima, fazendo com que deste modo, também nós, sentíssemos um amparo nos momentos mais difíceis.

Ao Professor/Orientador, Doutor José Torres Farinha, agradeço as diretrizes, os conselhos e o seu grande desprendimento em ajudar-me, louvo também a sua amizade e dedicação sempre presente, sem ele este projeto não seria possível.

Ao Professor/Orientador, Doutor Luís Melo Margalho, gratulo a sua dedicação, paciência e atenção, permitindo-me evoluir e compreender melhor aquilo que parecia impossível.

Deixo também uma palavra de apreço aos meus amigos, aos que já tinha e aos que fiz, pelo incentivo e grande camaradagem prestado neste percurso.

RESUMO

A análise da condição de óleo dos motores Diesel, é feita avaliando inúmeras variáveis individuais do óleo, as quais que, estão correlacionadas entre si, mas que também dependem do comportamento do funcionamento dos motores e de outros fatores externos.

Essas variáveis devem ser cuidadosamente analisadas, pois permitem avaliar a condição do óleo e a saúde do motor Diesel, devido às implicações do diagnóstico, é muito importante ter um alto nível de confiança nos resultados.

Este estudo prende-se com uma análise multivariada de óleos de autocarros urbanos de passageiros, usando para análise bases de dados fornecidas por duas empresas portuguesas distintas.

O principal objetivo, passa por encontrar o estado de degradação de cada amostra de óleo, para posterior comparação entre as empresas, abordando a política de manutenção empregue por ambas.

Para ir ao encontro dos objetivos traçados, utilizaram-se ferramentas estatísticas poderosas como o *bootstrap* e a análise em componentes principais.

No final, chegou-se à conclusão que as empresas em questão, empregam políticas de manutenção totalmente díspares.

Palavras Chave: Manutenção de Condição; Análise de Componentes Principais; Óleo Lubrificante; Estatística Multivariada; Deterioração de Óleo; Análise de Óleo

ABSTRACT

The analysis of the oil condition of Diesel engines is done by evaluating several individual oil variables, which, although correlated among them, also depend on the behavior of the engines and other external factors.

These variables should be carefully analyzed, since they allow evaluating the oil condition and the health of the Diesel engine, because the implications of the diagnosis, it is very important to have a high level of confidence in the results.

This study is based on a multivariate analysis of urban passenger bus oils using, for their analysis, data bases provided by two different Portuguese companies.

The main objective is to find the degradation' state of each oil sample for subsequent comparison between the companies, addressing the maintenance policy employed by them.

In order to meet the objectives outlined, they were used powerful statistical tools, such as bootstrapping and the principal component analysis.

At the end, the conclusion reached is that the companies in question employ very different maintenance policies.

Keywords: Condition Maintenance; Principal Component Analysis; Lubricating Oil; Multivariate Statistics; Oil Deterioration; Oil analysis

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
ÍNDICE	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABELAS	xiii
SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Estrutura da dissertação	2
1.2 Apresentação das empresas em estudo	3
1.2.1 Empresa A.....	3
1.2.2 Empresa B.....	4
2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO	5
2.1 Introdução.....	5
2.2 O óleo e as suas propriedades	7
2.3 <i>Softwares</i> e linguagens de programação	10
2.3.1 R & RStudio.....	10
2.3.2 Microsoft Office Excel	10
2.3.3 <i>Softwares</i> Alternativos	11
2.4 Descrição das bases de dados	12
2.5 Descrição gráfica	13
2.5.1 Histogramas	13
2.5.2 <i>Box Plot</i>	14
2.5.3 Gráfico de Dispersão	15
2.6 Métodos estatísticos	16
2.6.1 Teste de Pearson	16

2.6.2	Teste ANOVA	16
2.6.3	Teste de Kruskal Wallis.....	17
2.6.4	Análise Fatorial de Componentes Principais	17
2.6.5	<i>Bootstrap</i>	19
3	APLICAÇÃO AOS DADOS E RESULTADOS	21
3.1	Análise Exploratória de Dados.....	21
3.2	Medidas de Sumário.....	24
3.2.1	Fuligem (%).....	24
3.2.2	Nitração (ABS/cm)	25
3.2.3	Oxidação (ABS/cm)	26
3.2.4	Sulfatação (ABS/cm)	27
3.2.5	TBN (mgr KOH/gr)	28
3.2.6	Viscosidade a 100 °C (cst).....	29
3.2.7	Teor em Al (ppm)	30
3.2.8	Teor em Cr (ppm).....	31
3.2.9	Teor em Cu (ppm).....	32
3.2.10	Teor em Fe (ppm)	33
3.2.11	Teor em Mo (ppm)	34
3.2.12	Teor em Na (ppm).....	35
3.2.13	Teor em Ni (ppm)	36
3.2.14	Teor em Pb (ppm).....	37
3.2.15	Teor em Si (ppm)	38
3.2.16	Teor em Sn (ppm).....	39
3.2.17	Teor em V (ppm).....	40
3.2.18	PQ Index (Adim).....	41
3.3	Teste à normalidade	42
3.4	Teste à igualdade de médias e medianas.....	43
3.5	Inferência.....	44
3.5.1	Empresa A.....	44
3.5.2	Empresa B.....	47

3.6	Comparação entre Empresas.....	51
4	CONCLUSÕES	53
4.1	Desenvolvimentos Futuros	54
4.2	Publicações	55
	BIBLIOGRAFIA	57
	ANEXOS	61
	Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte I).....	61
	Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte II).....	62
	Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte I).....	63
	Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte II).....	64
	Peso dos parâmetros do óleo da Empresa A na 1º Componente Principal.....	65
	Peso dos parâmetros do óleo da Empresa B na 1º Componente Principal.....	66

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1- Autocarro genérico de Passageiros</i>	3
<i>Figura 2- Autocarro antigo da Empresa B</i>	4
<i>Figura 3 - Descrição de um histograma</i>	14
<i>Figura 4 - Descrição de um boxplot</i>	15
<i>Figura 5 - Descrição de um gráfico de dispersão</i>	15
<i>Figura 6 - Boxplot da fuligem da Empresa A</i>	24
<i>Figura 7 - Boxplot da fuligem da Empresa B</i>	24
<i>Figura 8 – Boxplot da nitração da Empresa A</i>	25
<i>Figura 9 – Boxplot da nitração da Empresa B</i>	25
<i>Figura 10 - Boxplot da oxidação da Empresa A</i>	26
<i>Figura 11 - Boxplot da oxidação da Empresa B</i>	26
<i>Figura 12 - Boxplot da sulfatação da Empresa A</i>	27
<i>Figura 13 - Boxplot da sulfatação da Empresa B</i>	27
<i>Figura 14 - Boxplot do TBN da Empresa A</i>	28
<i>Figura 15 - Boxplot do TBN da Empresa B</i>	28
<i>Figura 16 - Boxplot da viscosidade a 100°C da Empresa A</i>	29
<i>Figura 17 - Boxplot da viscosidade a 100°C da Empresa A</i>	29
<i>Figura 18 -Boxplot do teor de Al na Empresa A</i>	30
<i>Figura 19 - Boxplot do teor de Al na Empresa B</i>	30
<i>Figura 20 - Boxplot do teor de Cr na Empresa A</i>	31
<i>Figura 21 - Boxplot do teor de Cr na Empresa B</i>	31
<i>Figura 22 - Boxplot do teor de Cu na Empresa A</i>	32
<i>Figura 23 - Boxplot do teor de Cu na Empresa B</i>	32
<i>Figura 24 - Boxplot do teor de Fe na Empresa A</i>	33
<i>Figura 25 - Boxplot do teor de Fe na Empresa B</i>	33
<i>Figura 26 - Boxplot do teor de Mo na Empresa A</i>	34
<i>Figura 27 - Boxplot do teor de Mo na Empresa B</i>	34
<i>Figura 28 - Boxplot do teor de Na da Empresa A</i>	35
<i>Figura 29 -Boxplot do teor de Na da Empresa B</i>	35

<i>Figura 30 - Boxplot do teor de Ni na Empresa A</i>	36
<i>Figura 31 - Boxplot do teor de Ni na Empresa B</i>	36
<i>Figura 32 - Boxplot do teor de Pb na Empresa A</i>	37
<i>Figura 33 - Boxplot do teor de Pb na Empresa B</i>	37
<i>Figura 34 - Boxplot do teor de Si na Empresa A</i>	38
<i>Figura 35 - Boxplot do teor de Si na Empresa B</i>	38
<i>Figura 36 - Boxplot do teor de Sn na Empresa A</i>	39
<i>Figura 37 - Boxplot do teor de Sn na Empresa B</i>	39
<i>Figura 38 - Boxplot do teor de V na Empresa A</i>	40
<i>Figura 39 - Boxplot do teor de V na Empresa B</i>	40
<i>Figura 40 - Boxplot do PQ Index da Empresa</i>	41
<i>Figura 41- Boxplot do PQ Index da Empresa B</i>	41
<i>Figura 42 - Média de degradação dos óleos da Empresa B por Autocarros</i>	50
<i>Figura 43 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte I)</i>	61
<i>Figura 44 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte II)</i>	62
<i>Figura 45 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte I)</i>	63
<i>Figura 46 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte II)</i>	64

ÍNDICE DE TABELAS

<i>Tabela 1 – Parâmetros, referências e unidades de medida do óleo</i>	12
<i>Tabela 2 - Critérios de divisão por quilômetros</i>	21
<i>Tabela 3 - Médias e desvios padrões da empresa A</i>	22
<i>Tabela 4 - Médias e desvios padrões da empresa B</i>	23
<i>Tabela 5 - Teste à normalidade</i>	42
<i>Tabela 6 - Teste à igualdade de médias e medianas</i>	43
<i>Tabela 7 – As 10 variáveis com os maiores pesos na base de dados da Empresa A</i>	45
<i>Tabela 8 – Estado de degradação dos óleos da Empresa A</i>	46
<i>Tabela 9 - As 10 variáveis com os maiores pesos na base de dados da Empresa B</i>	48
<i>Tabela 10 - Estado de degradação dos óleos da Empresa B</i>	48
<i>Tabela 11 - Média de degradação dos óleos da Empresa B por Autocarros</i>	49
<i>Tabela 12 - As 10 variáveis com os maiores pesos na base de dados AB</i>	51
<i>Tabela 13 - Peso dos parâmetros do óleo da Empresa A na 1º Componente Principal</i>	65
<i>Tabela 14 - Peso dos parâmetros do óleo da Empresa B na 1º Componente Principal</i>	66

SIGLAS E ABREVIATURAS

Al - Símbolo químico do elemento Alumínio

ACP- Análise em Componentes Principais

Aut- Autocarro

Cr – Símbolo químico do elemento Crómio

Cu – Símbolo químico do elemento cobre

Fe - Símbolo químico do elemento Ferro

KMO – Critério de Kaiser Meyer Olkin

Kw - Kruskal Wallis

Me -Mediana da amostra

Mo - Símbolo químico do elemento Molibdénio

Na - Símbolo químico do elemento Sódio

Ni - Símbolo químico do elemento Níquel

Nº- Número

Pb - Símbolo químico do elemento Chumbo

ppm - Partes por milhão

r- Coeficiente de Correlação

sd- Desvio Padrão

Si - Símbolo químico do elemento Silício

Sn - Símbolo químico do elemento Estanho

TBN - Número de Basicidade Total

Uni - Unidade

V - Símbolo químico do elemento Vanádio

μ - Média da amostra

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, no mundo industrial, a atividade de manutenção de ativos, assume cada vez mais um papel preponderante no sucesso das mesmas, pois, muitas vezes, a racionalização na gestão dos orçamentos, conjugado com uma política de manutenção rigorosa, permite às empresas vantagens competitivas de longo prazo.

A disseminação da tecnologia e a sofisticação das ferramentas de medição, a par com a melhoria dos sistemas de informação, têm transfigurado para melhor, ao longo dos anos, o paradigma da manutenção.

Tais avanços, permitiram a criação de sistemas de planeamento e controlo de manutenção automatizados, facilitando deste modo, o desenvolvimento da manutenção baseada na condição dos ativos; este tipo de manutenção é designado como manutenção de condição.

Salienta-se também que a manutenção de condição é o tipo de manutenção que tem em consideração a vida útil/económica e a disponibilidade e fiabilidade dos ativos, pois esta também se pode adequar às necessidades de serviço do ativo, evitando paragens do mesmo em tempo útil, o que maximiza a sua disponibilidade.

Os dados utilizados neste estudo são oriundos de duas empresas de autocarros de transporte de passageiros, em que, cada empresa, disponibilizou um conjunto de dados, contendo resultados de análises laboratoriais aos óleos dos motores Diesel dos autocarros, tendo bem caracterizados cada autocarro em questão. As empresas são identificadas na próxima seção, mas, devido a questões de confidencialidade, as mesmas irão ser designadas por Empresa A e Empresa B ao longo desta dissertação.

O presente documento, tem como principal objetivo uma análise multivariada de óleos lubrificantes, sendo que esta, visa identificar o estado de deterioração de cada amostra de óleo fornecida pelas duas empresas em análise, de modo a poder proceder-se à comparação entre ambas, bem como fazer a discussão entre as políticas de manutenção adotadas pelas mesmas.

A metodologia de investigação adotada, baseou-se numa análise exploratória aos dados.

1.1 Estrutura da dissertação

Este documento divide-se em quatro capítulos; o primeiro faz uma abordagem introdutória a todo o documento, apresentando uma série de informação relevante sobre os conteúdos abordados ao longo do documento.

O enquadramento teórico será o foco do segundo capítulo, contendo referências a diversos trabalhos de investigação já desenvolvidos no mesmo campo de pesquisa, a introdução do mesmo capítulo está contida no subcapítulo 2.1.

Os óleos lubrificantes e as suas propriedades, são o tema abordado no subcapítulo 2.2, sendo que, no mesmo, serão dissecadas todas as variáveis examinadas numa análise de óleos lubrificantes.

O subcapítulo 2.3, identifica e explica todas as linguagens de programação e *softwares* informáticos usados na execução deste estudo.

A descrição das bases de dados usadas nesta dissertação está exposta no subcapítulo 2.4.

O subcapítulo 2.5 visa descrever pormenorizadamente todos os tipos de gráficos presentes no documento, bem como, posteriormente no subcapítulo 2.6 identificar e descrever todos métodos estatísticos empregues na concretização do estudo.

A aplicação aos dados é feita no capítulo três, o qual se subdivide em duas secções: na primeira, é exposta a análise exploratória de dados e na segunda, expõem-se os níveis de deterioração de cada amostra de óleo recolhida, fazendo, posteriormente, uma comparação entre as empresas.

Incumbe-se no capítulo quatro expor todas as ilações retiradas neste estudo, bem como identificar todas as limitações e dificuldades encontradas na execução do mesmo. Este termina, com uma série de sugestões para desenvolvimentos futuros, bem como as submissões em revistas ou conferências em que este estudo esteve envolvido.

1.2 Apresentação das empresas em estudo

1.2.1 Empresa A

A Empresa A, é uma empresa nascida na região centro nos anos 50, tendo como missão assegurar o transporte público rodoviário, dentro dum espaço municipal.

Ao longo dos anos a Empresa A, teve ao seu serviço verdadeiros ícones ligados ao mundo dos transportes rodoviários, onde se destacam os “elétricos” e os “tróleis carros”.

Esta empresa, também é responsável por gerir e explorar outros tipos de ativos e equipamentos, como por exemplo, elevadores. Deste modo, a Empresa A presta um serviço fundamental para a movimentação das pessoas, onde se incluem muitos estudantes e turistas na zona centro.

Atualmente conta com mais de 100 viaturas, das quais se destacam 4 para transportar pessoas com deficiência e 18 para a transportar pessoas com dificuldades de mobilidade.

A Figura 1, mostra a imagem de um autocarro genérico de passageiros, muito similar aos autocarros usado na Empresa A.



Figura 1- Autocarro genérico de Passageiros

1.2.2 Empresa B

A Empresa B, foi fundada na década de 40 e está sediada a norte de Portugal. Esta empresa, é responsável por gerir o serviço de transportes de autocarro e de elétricos da cidade e das zonas confinantes onde está implantada.

A sua génese está numa empresa que geria o sistema elétrico numa cidade do norte.

Atualmente, é uma empresa de capitais públicos, com uma administração que responde perante o Ministério que tutela os assuntos dos transportes, de salientar que a empresa tem atualmente mais de 750 veículos na sua frota.

Refere-se também, que a empresa B conta com 150 pontos de estação distribuídos por mais de 70 trajetos.

A Figura 2 contém uma fotografia de um autocarro antigo da Empresa B.



Figura 2- Autocarro antigo da Empresa B

2 ENQUADRAMENTO TEÓRICO

2.1 Introdução

O transporte urbano de passageiros, representa uma solução viável de transporte de pessoas. Devido a esse facto, é de extrema importância dar o máximo de segurança e conforto aos passageiros.

Rui Assis, doutorado em Engenharia Mecânica afirma no seu livro “Manutenção Centrada na Fiabilidade”, que a manutenção de condição que surgiu nas décadas de 70 e 80, veio revolucionar a manutenção planeada, uma vez que este tipo de manutenção trouxe consigo novas técnicas e ferramentas para monitorização de condição (Assis, 1997).

Segundo o mesmo autor, atualmente, as empresas já têm consciência de que os suas instalações e equipamentos devem ser geridos de modo a aumentar o ciclo de vida dos ativos, mas tendo sempre em conta os custos ao longo do mesmo, onde estão inerentes o custo de aquisição, custo de operação, custo de manutenção e custo de desativação.

As recentes normas ISO 5500X (55000, 55001 e 55002) chamam a atenção para estas causas, uma vez que salientam e destacam a importância de atividades de prevenção, de modo a garantir a sustentabilidade das empresas.

Sabendo de antemão, que o desempenho de um motor depende bastante do atrito entre as suas partes móveis, a equipa formada por Pantelis G. Nikolakopoulos, Stamatis Mavroudis e Anastasios Zavos (2018) decidiram avaliar as mudanças produzidas pela temperatura e pela pressão na viscosidade de um óleo do motor ao longo de sua vida útil.

Zhang & Gockenbach (2008) desenvolveram um modelo para usar na aquisição de dados e motorização de condições e diagnóstico padrão para fins de reabilitação de transformadores.

Raposo *et al.* (2019) apresentou um estudo de caso da manutenção de condição, com base no óleo lubrificante dos motores Diesel de uma frota de autocarros urbanos. O estudo mostra a evolução da degradação do óleo e desenvolve uma política de manutenção preditiva para a substituição do mesmo. A metodologia apresentada pelos autores do estudo, considera apenas algumas variáveis dos óleos, mas alcançou resultados muito interessantes sobre o acompanhamento da curva P-F. Desta feita, os autores criaram um modelo matemático para

acompanhar e gerir a condição do óleo, a fim de prever a próxima intervenção, tendo sempre como objetivo fulcral a máxima disponibilidade dos autocarros.

Simões em 2011, afirma na sua tese de doutoramento que a monitorização do desempenho de uma empresa de transportes urbanos, deve ser um processo cíclico, de maneira a apoiar o decisor a avaliar os indicadores de desempenho da forma mais correta (Simões, 2011).

Bruce (2009), tendo com que um dos seus grandes focos sempre foi atingir a excelência ao nível da manutenção, destacou 13 tópicos a seguir para melhorar as práticas de manutenção de uma empresa, tendo sempre em consideração e análise os seus impactos:

- 1) Alterações filosóficas e teóricas;
- 2) Compreender a mudança;
- 3) Criar uma equipa de trabalho;
- 4) Programa de treino;
- 5) Gestão de ativos;
- 6) Controlo de armazéns/inventários;
- 7) Manutenção corretiva;
- 8) Manutenção preventiva;
- 9) Manutenção preditiva;
- 10) Compras;
- 11) Manutenção;
- 12) Indicadores de gestão;
- 13) Manutenção centrada na fiabilidade (RCM – Reliability Centred Maintenance).

2.2 O óleo e as suas propriedades

Nesta secção, é exposto o enquadramento teórico da dissertação. Aqui serão abordadas as principais propriedades do óleo, bem como vários conceitos relacionados com esse mesmo fluído.

Os óleos lubrificantes usados atualmente, são constituídos por óleo base de origem mineral, sintético ou ambos.

Os óleos minerais, são produzidos através de um processo de destilação de crude nas refinarias, salienta-se que nem todos os crudes são adequados para essa mesma produção.

Os óleos base de origem sintética são obtidos a partir de moléculas de hidrocarbonetos às quais se adicionam alguns aditivos de modo a conferir ao óleo as propriedades e características pretendidas.

De referir que, normalmente, os lubrificantes de origem sintética conseguem garantir um melhor desempenho face aos óleos de origem mineral. Devido a essa razão, os lubrificantes de origem sintética, são muito usados na metalurgia e na indústria automóvel, dado que nas indústrias atrás citadas, os equipamentos pertencentes às mesmas, podem trabalhar sobre condições muito adversas.

O óleo lubrifica as peças metálicas para reduzir o atrito entre elas, o que minimiza o desgaste produzido pelo atrito entre superfícies em movimento, exercendo também desta feita a função de refrigerante.

Para além de lubrificar e refrigerar o motor, o óleo presta auxílio no processo de vedação interna do sistema, impedindo vazamentos ou contaminantes vindos do exterior, em grande parte devido aos seus aditivos. O óleo lubrificante também promove a proteção contra a corrosão.

De modo a resumir as funções do óleo, segue-se uma lista sintética das funções do mesmo:

- Redução do atrito;
- Redução da pressão da câmara de combustão;
- Vedação das folgas dos anéis dos segmentos;
- Auxilia o arrefecimento do motor;
- Evita a ferrugem e o desgaste corrosivo;
- Evita a formação de resíduos;

- Impede a ação de contaminantes nocivos ao motor;
- Remove contaminantes;
- Amortece os choques;
- Reduz a temperatura.

No óleo lubrificante, é de extrema importância salientar a sigla SAE, que significa Society of Automotive Engineers. Esta organização americana, criou o parâmetro SAE para padronizar e classificar o grau de viscosidade dos óleos lubrificantes automotivos, sendo que a viscosidade é a propriedade física que se caracteriza como a resistência de um fluido a um esforço tangencial.

Para além da viscosidade, há outras propriedades a ter em conta no óleo, como é o caso do TBN (Número de Basicidade Total) que é basicamente, uma reserva alcalina destinada à neutralização dos ácidos criados no processo de combustão.

Devido à importância que os óleos representam nos equipamentos, aliado ao seu elevado custo, é cada vez mais importante saber o estado em que o óleo se encontra.

Para se saber em que condição o óleo se encontra, pode-se proceder a uma análise de óleo, sendo esta um teste que estuda todas as especificações do óleo, verificando também se o mesmo contém impurezas que prejudiquem a sua função.

Através dos agentes poluentes do óleo, podem-se tirar ilações sobre o estado do equipamento; deste modo é possível saber precocemente, possíveis falhas ou avarias, aumentando assim a disponibilidade do equipamento a longo prazo.

Desta forma, a análise de óleos é uma ferramenta de extrema importância na manutenção preditiva de máquinas e equipamentos, uma vez que esta pode reduzir os custos da empresa, através da diminuição dos gastos com a manutenção.

A análise de óleo possibilita uma antecipada deteção de:

- Contaminação por desgaste;
- Resíduos do desgaste;
- Presença de partículas de origem metálica, consequência de desgaste;
- Presença de água;

- Impurezas não pertencentes ao óleo que podem causar futuras anomalias na máquina.

Na tese de mestrado de Hugo Raposo (2011), pode-se ficar a conhecer algumas das causas de cada poluente metálico do óleo. Estas serão enunciadas de seguida, identificando o agente poluente do óleo em causa:

- Ferro - Ferrugem, anéis, camisas, bomba de óleo desgastada;
- Chumbo – Desgaste dos mancais;
- Cobre – Casquilhos, mancais ou buchas desgastadas, buchas de balancim ou do pino do pistão, arruela de encosto de engrenagem de distribuição;
- Crómio – Anéis ou cilindros cromados desgastados, vazamento do refrigerante;
- Níquel – Válvulas;
- Alumínio – desgaste ou deterioração de pistões de alumínio, desgaste de casquilhos de biela, buchas de bombas de óleo, sujidades, poeira;
- Silício – Sujidades, poeiras por manutenção inadequada do filtro de ar, entradas falsas de ar no sistema de admissão, manutenção inadequada da ventilação do cárter, contaminação durante a manutenção e equipamentos sujos para adicionar óleo;
- Molibdénio – Anéis de pistão recobertos com camada de molibdénio.

2.3 Softwares e linguagens de programação

A secção seguinte, identifica e descreve todos os *softwares* que auxiliaram a concretização desta análise multivariada, além disso são identificados outros *softwares* que poderiam ser usados para as mesmas funções.

2.3.1 R & RStudio

O R, é uma linguagem de programação especializada em computação de dados. Esta linguagem foi criada na Bell Laboratories na década de 70 em Auckland, Nova Zelândia por Ross Ihaka e Robert Gentleman, sendo essa a razão para o nome R.

O R pode ser executado em vários sistemas operativos tais como, Windows, Linux, Unix ou até mesmo Macintosh, de evidenciar que esta linguagem de programação é bastante intuitiva uma vez que ela é executada através de comandos, num ambiente computacional amigável, esse ambiente é designado por RStudio.

De evidenciar, que o R é um conjunto integrado de ferramentas computacionais, que oferecem uma vasta gama de técnicas estatísticas e gráficas, sendo que esse ambiente se torna mais completo uma vez que, facilmente amplia a sua gama de ferramentas matemáticas através de funções e extensões.

Uma das grandes vantagens do R, é ter a capacidade de conciliar a utilização de *packages* estatísticos, à possibilidade de manipulação e medição de funções e dados.

Devido às razões atrás referidas, pode-se afirmar que o Rstudio, apesar de ser totalmente gratuito, é um *software* bastante poderoso, com bastantes potencialidades e soluções.

2.3.2 Microsoft Office Excel

O Microsoft Office Excel é um programa informático para criação ou edição de folhas de cálculo. A primeira versão do Excel para o Windows, foi desenvolvida pela Microsoft no ano de 1987 e por norma, a Microsoft lança a sua atualização de dois em dois anos.

As folhas de cálculo são constituídas por células organizadas por linhas e colunas, o que faz com que seja fácil identificar e programar cada célula pelo utilizador.

O Microsoft Office Excel permite a realização de inúmeras tarefas, como por exemplo, cálculos, gráficos, análises estatísticas, criação de bases de dados, tabelas.

Destaca-se que a nova versão do Excel já tem incluída uma linguagem de programação baseada em Visual Basic.

2.3.3 Softwares Alternativos

Na realização desta investigação, houve oportunidade de avaliar outros *softwares* que não os citados anteriormente. Contudo, chegou-se à conclusão que os programas utilizados eram os mais vantajosos.

Os outros *softwares* que podiam auxiliar a investigação em análises similares eram os seguintes: *Matlab; IBM SPSS Statistics; Apache Open Office.*

2.4 Descrição das bases de dados

Atualmente, o tipo de manutenção praticada diz muito sobre a política de uma empresa, devido à relevância que esta assume na gestão dos seus ativos.

Devido a essa importância, as empresas em apreço fazem a análise de óleos aos seus autocarros, de modo a saber em que estado se encontra o óleo dos mesmos, de maneira a tirarem ilações sobre o desgaste dos seus motores.

A Tabela 1, mostra todos os parâmetros examinados, as referências e as unidades de medida usadas nas análises de óleos fornecidas pelas empresas em estudo.

Tabela 1 – Parâmetros, referências e unidades de medida do óleo

Parâmetro	Ref	Uni	Parâmetro	Ref	Uni
Anticongelante	0,08	%	Teor em Cobre	35	Ppm
Combustível	4	%	Teor em Ferro	90	Ppm
Teor de água	0,2	%	Teor em Molibdênio	20	Ppm
Fuligem	1,5	%	Teor em Sódio	40	Ppm
Nitração	15	ABS/cm	Teor em Níquel	20	Ppm
Oxidação	15	ABS/cm	Teor em Chumbo	40	Ppm
Sulfatação	20	ABS/cm	Teor em Silício	20	Ppm
TBN	30	Mgr KOH/gr	Teor em Estanho	15	Ppm
Viscosidade a 100 °C	15	Cst	Teor em Vanádio	0,3	Ppm
Teor em Alumínio	20	Ppm	PQ Index	110	Adimensional
Teor em Crómio	10	Ppm			

As análises de óleo fornecidas pelas empresas, em casos pontuais, tinham valores omissos, ou seja, valores em falta.

Todos os métodos estatísticos abordados neste estudo, têm como restrição os parâmetros do óleo apresentarem um determinado valor. Desta feita, para a validação dos métodos e testes estatísticos substituíram-se os valores omissos pela média do parâmetro em causa. (Pilati & Porto, 2018)

Esta técnica de substituição é válida segundo Pilati & Porto (2018), uma vez que, no seu artigo *Apostila para Tratamento de Dados via SPSS*, referenciam que o *software* SPSS conta com esta técnica na sua vasta lista de comandos.

O *replace missing values* é um comando do SPSS, que executa substituições automáticas de valores omissos pelo valor médio ou mediano da variável em questão.

2.5 Descrição gráfica

2.5.1 Histogramas

Um histograma, é uma representação gráfica em barras de um conjunto de dados previamente tabulados e divididos em classes.

Cada barra, deve assumir um valor proporcional à frequência da classe de resultados que representa.

A largura, deve ter em conta a amplitude de resultados que representa, na grande parte das vezes todas as classes têm a mesma amplitude, o que facilita muito a leitura do gráfico.

No caso de as variáveis serem contínuas, as barras devem ficar sem espaçamento de modo a representar a continuidade dos dados, mas, se se tratar de dados qualitativos, ou discretos, já não se constrói um histograma, mas sim um gráfico de barras normal, uma vez que não se determina a frequência por classes.

Resumindo, um histograma é, na sua essência, uma representação gráfica de uma tabela de frequências de variáveis quantitativas contínuas, na Figura 3, pode ver-se esquematizada a estrutura de um histograma.

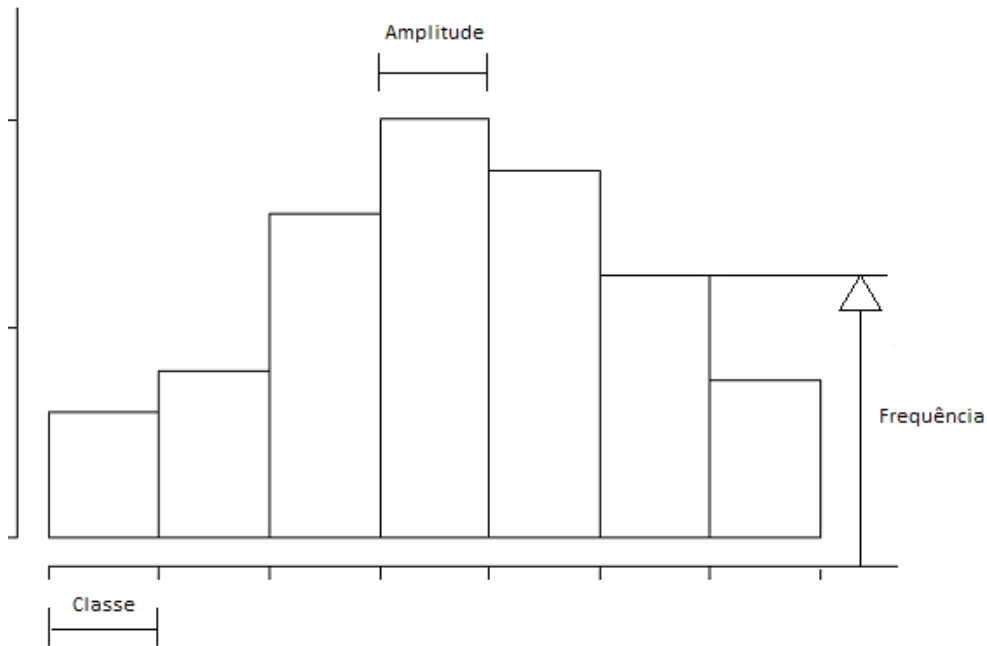


Figura 3 - Descrição de um histograma

2.5.2 Box Plot

O *box plot* é um tipo de representação gráfica, usada especificamente em estatística descritiva. Este tipo de visualização permite uma fácil leitura de vários parâmetros, sendo que os principais são: mínimo, máximo, 1º quartil, 3º quartil e mediana, estes podem ser complementados com a representação da média, normalmente através de um ponto.

Existe a possibilidade de representar outros dados sumários no *box plot*, como, por exemplo, os *outliers*, que correspondem a observações que possuem valores bastante distantes dos restantes.

O *box plot* permite também, indiretamente, tirar ilações sobre a assimetria dos dados, bem como da tendência central ou não central das medidas.

Estas características especiais do *box plot* fazem dele uma ferramenta gráfica essencial para complementar a informação espelhada num histograma.

Para uma melhor interpretação da estrutura de uma *box plot*, a Figura 4 ilustra as suas propriedades.

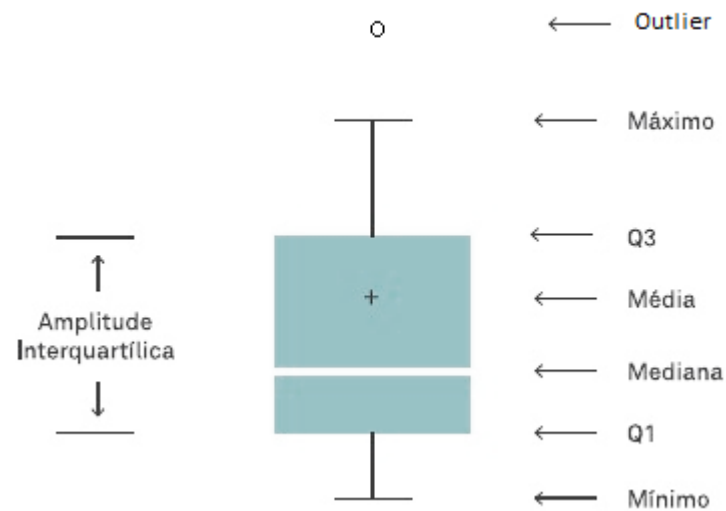


Figura 4 - Descrição de um boxplot

2.5.3 Gráfico de Dispersão

Um gráfico de dispersão é, na sua essência, a exposição dos valores de uma determinada variável em função de outra. Este tipo de gráfico, permite analisar de uma forma bastante intuitiva a relação dos dados em causa. Depois da sua construção, um gráfico de dispersão poderá ter um aspeto semelhante ao da Figura 5.

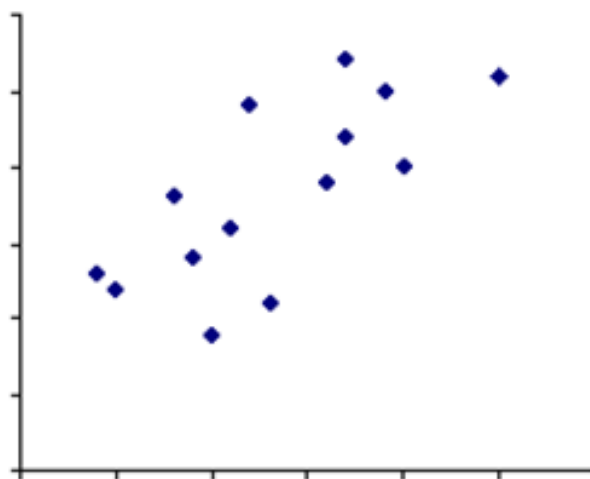


Figura 5 - Descrição de um gráfico de dispersão

2.6 Métodos estatísticos

Nesta secção, irão ser abordados os métodos estatísticos fulcrais na execução deste documento, tais como, o teste de Pearson, o teste de Kruskal Wallis, o teste ANOVA e, por último, a análise em componentes principais, aliada a um *bootstrapp*.

2.6.1 Teste de Pearson

O teste de Pearson, tem com objetivo estudar a normalidade de uma população; através deste teste estatístico obtém-se um p-valor; se o p-valor obtido for maior que o nível de significância, não se rejeita a hipótese nula H_0 :

$$\begin{cases} H_0: Os\ dados\ seguem\ uma\ distribuição\ normal \\ H_1: Os\ dados\ não\ seguem\ uma\ distribuição\ normal \end{cases}$$

2.6.2 Teste ANOVA

A análise de variância é um método que permite comparar médias de um modo mais abrangente que os testes *t-student*. Este método permite tirar conclusões sobre a igualdade de médias de mais de duas populações distintas, usando a variância como base de comparação

Este teste tem como restrições a variável analisada ser quantitativa, as variâncias serem homogêneas e, por último, a obrigatoriedade de todas as populações em análise serem normais.

Procedimento de um teste de *One-Way* Anova usando o p-valor:

- 1) Escolher a hipótese nula e a hipótese alternativa;
- 2) Calcular o p-valor através do teste One-Way ANOVA;
- 3) Rejeitar a hipótese nula, se o p-valor for menor que o nível de significância pré-estabelecido.

Teste de hipóteses:

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \text{ v. s. } H_1 \text{ (Algum dos valores de } \mu_i \text{ é diferente dos restantes)}$$

2.6.3 Teste de Kruskal Wallis

Este método tem a designação de teste de Kruskal-Wallis, pois foi desenvolvido por William Kruskal e Allen Wallis.

O teste de Kruskal-Wallis, é um teste não paramétrico de igualdade de medianas, este teste é utilizado como alternativa ao teste ANOVA quando as variáveis não atendem às restrições de normalidade ou de homocedasticidade.

Neste teste poderão existir mais do que dois grupos e pressupõe-se que os dados provêm de amostras independentes de populações com a mesma forma.

Procedimento de um teste de Kruskal Wallis usando o p-valor:

- 1) Escolher a hipótese nula e a hipótese alternativa;
- 2) Calcular o p-valor através do teste de Kruskal Wallis;
- 3) Rejeitar a hipótese nula, se o p-valor for menor que o nível de significância pré-estabelecido.

Teste de hipóteses:

$H_0: Me_1 = Me_2 = Me_3$ v.s. $H_1: (Algum dos valores de μ_i é diferente dos restantes)$

2.6.4 Análise Fatorial de Componentes Principais

Este último método estatístico apresentado nesta secção, é o mais complexo aqui exposto, pois obriga a um estudo teórico mais denso e complexo para se compreender.

A análise fatorial, foi desenvolvida por um psicólogo chamado Spearman. Este usou esta técnica para análise das faculdades humanas. Spearman partiu do pressuposto de só haver um fator de inteligência, sendo impossível quantificar o mesmo.

Devido a isso Spearman criou esta técnica para conseguir analisar as correlações entre diferentes testes. Em 1947, Thurstone retomou a ideia de Spearman, mas desenvolveu-a por acreditar que existiam vários fatores de inteligência.

Uma análise fatorial é, na sua essência, um conjunto de técnicas e métodos estatísticos que têm como principal objetivo a representação de um conjunto de variáveis iniciais por um

número menor de variáveis, perdendo o mínimo de informação possível inserida no conjunto.

Normalmente, nas análises fatoriais é analisada a relação entre variáveis, usando por exemplo, o coeficiente de correlação linear como medida de associação entre cada par de variáveis presente no conjunto inicial. De seguida constrói-se uma matriz de correlação, a qual pode permitir a identificação de subconjuntos de variáveis muito interligadas entre si (Hongyu, Sandaniel, & Junior, 2015).

A Análise em Componentes Principais, também designada por ACP, é um teste estatístico multivariado, que possibilita transformar um conjunto de variáveis correlacionadas entre si, num novo conjunto de variáveis não correlacionadas, que se designam por componentes principais. As componentes principais são calculadas por ordem decrescente de importância, sendo que a última componente será aquela que menor contribuição dá para a explicação da variância total dos dados originais. Pelo contrário, a primeira componente principal será a que oferece uma maior contribuição.

Cada componente principal identificado no teste, é uma combinação linear de todas as variáveis originais, que são independentes entre si e estimadas com o propósito de reter, em ordem de estimação, o máximo de informação, em termos da variação total dos dados (Hongyu, Sandaniel, & Junior, 2015).

A descrição de métodos computacionais práticos, veio a ser desenvolvida por Hotelling (1933-1936), que usou esta para determinar e analisar as estruturas de correlação. De evidenciar, que na ACP, a representação matemática das combinações lineares não permite detetar relações de causa-efeito nas variáveis iniciais se as mesmas existirem. (Hotelling, 1936).

Resumindo, o objetivo principal da ACP é, essencialmente, reproduzir a matriz de correlações com um menor número de fatores ortogonais, perdendo a mínima informação.

Devido a estas razões, atrás enunciadas, Westerholm & Li (1994) usaram a ACP para determinar a relação entre os parâmetros de combustível de entrada e a quantidade de partículas emitidas por um motor Diesel.

2.6.5 Bootstrap

O *Bootstrap*, é um método de reamostragem desenvolvido inicialmente no ano de 1979 pelo matemático Bradley Efron sendo que, posteriormente, foram desenvolvidos vários artigos e livros sobre o tema.

O *Bootstrap* reproduz o que seria desejável realizar na prática, se tal fosse possível, isto é, repetir a experiência.

Para tal, o *Bootstrapping* escolhe os parâmetros de forma aleatória e as estimativas são recalculadas de seguida.

O desenvolvimento da capacidade de processamento dos computadores, veio facilitar notavelmente a aplicabilidade e viabilidade deste método estatístico.

Em 2010 Victor Picheny, Nam Ho Kim e Raphael T. Haftka, aplicaram o método *bootstrap* na estimativa conservadora de fiabilidade com amostras.

Estimação de variância na análise fatorial: uma aplicação do *bootstrapp* é o título do artigo escrito por Sangit Chatterjee, em 1984. Este artigo foi lançado no prestigiado jornal *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*.

3 APLICAÇÃO AOS DADOS E RESULTADOS

3.1 Análise Exploratória de Dados

Para iniciar a análise exploratória, definiu-se que as observações da Empresa A e as observações da Empresa B seriam divididas em três grupos

Dividiu-se as observações em três grupos distintos segundo os quilómetros de utilização, para estudar o impacto que tem os quilómetros de uso do óleo na degradação do mesmo.

A Tabela 2, mostra o critério de divisão das observações em três grupos. No primeiro grupo foram empregues todas as análises provenientes de amostras de óleo até vinte mil quilómetros, no segundo ficam contidas todas as análises entre vinte e trinta mil quilómetros, ficando o terceiro grupo com as análises restantes.

Tabela 2 - Critérios de divisão por quilómetros

1º Conjunto	2º Conjunto	3º Conjunto
≤ 20000 Km	> 20000 Km \wedge ≤ 30000 Km	> 30000 Km

Salienta-se o facto, de na análise exploratória de dados não constar o anticongelante, o combustível e o teor de água parâmetros analisados no óleo.

Isso deveu-se ao facto de o óleo possuir quantidades muito minoradas destas variáveis, razão por a qual os laboratórios não tiveram precisão para indicar os seus valores com exatidão, evidenciando somente que estes se encontravam abaixo da sua escala de medição.

Refere-se também o facto, de que todas as amostras desses parâmetros se cifrarem abaixo das normas exigidas pelos fabricantes.

As Tabelas 3 e 4, exibem as médias e os desvios padrões de todos os parâmetros em análise. Em ambas as tabelas estão identificadas as empresas correspondentes.

Tabela 3 - Médias e desvios padrões da empresa A

Nº de Observações	26		10		11	
Empresa A	< 20000		> 20000 \wedge \leq 30000		> 30000 Km	
	μ	sd	μ	sd	μ	sd
Estado						
Fuligem (%)	1,395	1,393	0,920	0,769	2,027	1,378
Nitração (ABS/cm)	1,508	1,676	3,640	2,990	2,218	2,969
Oxidação (ABS/cm)	9,573	4,170	10,400	3,980	14,727	4,594
Sulfatação (ABS/cm)	14,758	9,649	15,300	8,124	21,727	10,100
TBN (mgr KOH/gr)	10,500	1,782	10,42	1,900	9,180	1,357
Viscosidade a 100 °C (cst)	14,038	2,237	14,511	3,134	15,810	2,988
Metais de Desgaste e Contaminação						
Teor em Al (ppm)	8,231	5,354	6,100	3,035	15,182	10,647
Teor em Cr (ppm)	4,154	8,647	2,700	1,829	6,364	4,567
Teor em Cu (ppm)	3,538	4,032	10,000	19,894	5,727	3,259
Teor em Fe (ppm)	57,731	53,562	51,400	35,503	104,364	66,161
Teor em Mo (ppm)	91,269	62,241	84,500	44,818	109,818	40,391
Teor em Na (ppm)	14,731	41,644	41,800	80,851	26,818	58,970
Teor em Ni (ppm)	0,808	0,800	0,800	0,632	1,636	1,286
Teor em Pb (ppm)	2,808	3,359	3,100	3,755	9,636	17,632
Teor em Si (ppm)	18,500	13,843	17,300	7,334	27,636	15,571
Teor em Sn (ppm)	2,808	3,047	3,200	1,874	3,273	1,954
Teor em V (ppm)	0	0	0	0	0	0
Partículas						
PQ Index (Adim)	19,077	27,938	12,200	9,053	13,727	13,690

A Tabela 3, mostra que a Empresa A apresenta um desvio padrão muito alto nos poluentes do óleo, mais concretamente nos metais de desgaste e contaminação, devendo-se tais valores ao facto de a empresa registar teores com valores muito desfasados.

Os valores das variáveis do óleo, tendem a ficar mais desfasados com o aumento do uso do óleo.

Tabela 4 - Médias e desvios padrões da empresa B

Nº de Observações	30		38		20	
Empresa B	< 20000		> 20000 \wedge \leq 30000		> 30000	
	μ	sd	μ	sd	μ	sd
Estado						
Fuligem (%)	2,577	1,310	2,640	2,318	0,815	0,291
Nitração (ABS/cm)	7,100	2,524	7,495	3,188	5,950	2,013
Oxidação (ABS/cm)	5,433	2,344	7,363	2,333	6,800	1,989
Sulfatação (ABS/cm)	4,893	3,446	3,871	4,016	1,725	0,812
TBN (mgr KOH/gr)	10,589	0,761	10,425	1,138	10,352	0,819
Viscosidade a 100 °C	14,970	0,866	14,779	2,896	12,185	0,650
Metais de Desgaste e Contaminação						
Teor em Al (ppm)	6,100	3,763	7,421	5,401	5,550	2,417
Teor em Cr (ppm)	1,333	0,480	1,474	0,892	1,050	0,394
Teor em Cu (ppm)	3,233	2,750	5,211	3,857	4,500	3,678
Teor em Fe (ppm)	47,367	20,010	63,553	47,764	36,700	10,732
Teor em Mo (ppm)	5,567	5,197	7,895	4,936	14,450	21,102
Teor em Na (ppm)	5,433	7,417	10,974	23,093	4,400	7,096
Teor em Ni (ppm)	0,300	0,651	0,632	1,076	0,550	0,510
Teor em Pb (ppm)	3,367	2,942	6,474	11,159	8,750	3,567
Teor em Si (ppm)	7,933	2,754	10,237	6,820	9,200	5,357
Teor em Sn (ppm)	0,600	0,563	0,947	0,695	0,900	0,641
Teor em V (ppm)	0,000	0,000	0,158	0,679	0,000	0,000
Partículas						
PQ Index (Adim)	11,500	10,345	12,684	5,946	10,800	7,838

Analisando a Tabela 4, conclui-se que o teor de ferro apresenta valores muito desfasados. Refere-se que a viscosidade com o aumento dos quilómetros de uso, tende a afastar-se do valor aconselhado pelo fabricante. Pode-se assim afirmar, que o aumento dos quilómetros de uso do óleo tem influência na sua deterioração.

3.2 Medidas de Sumário

Esta parte do estudo, dará a conhecer pormenorizadamente as medidas sumário de cada parâmetro do óleo estudado na análise exploratória de dados através de um boxplot.

3.2.1 Fuligem (%)

As Figuras 5 e 6, mostram as medidas de sumário da fuligem presente no óleo nas diversas empresas.

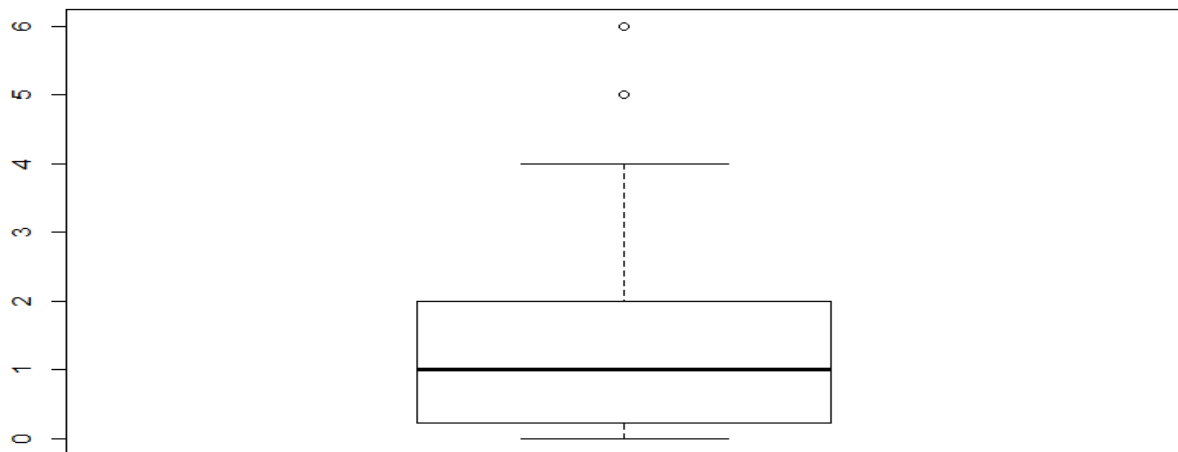


Figura 6 - Boxplot da fuligem da Empresa A

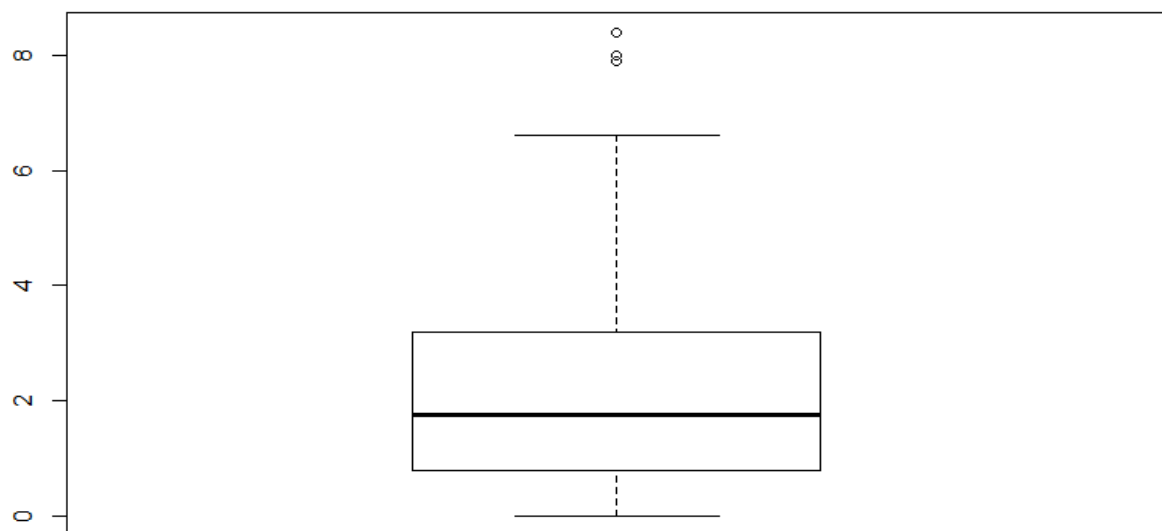


Figura 7 - Boxplot da fuligem da Empresa B

Depois desta observação, pode-se afirmar, que a fuligem tem um valor muito semelhante nas duas empresas, mas o valor máximo maior apresentado pertence à empresa B. De salientar os três *outliers* superiores na Empresa B e apenas dois na empresa A.

3.2.2 Nitração (ABS/cm)

As Figuras 8 e 9, exibem as medidas de sumário da nitração presente no óleo nas duas empresas.

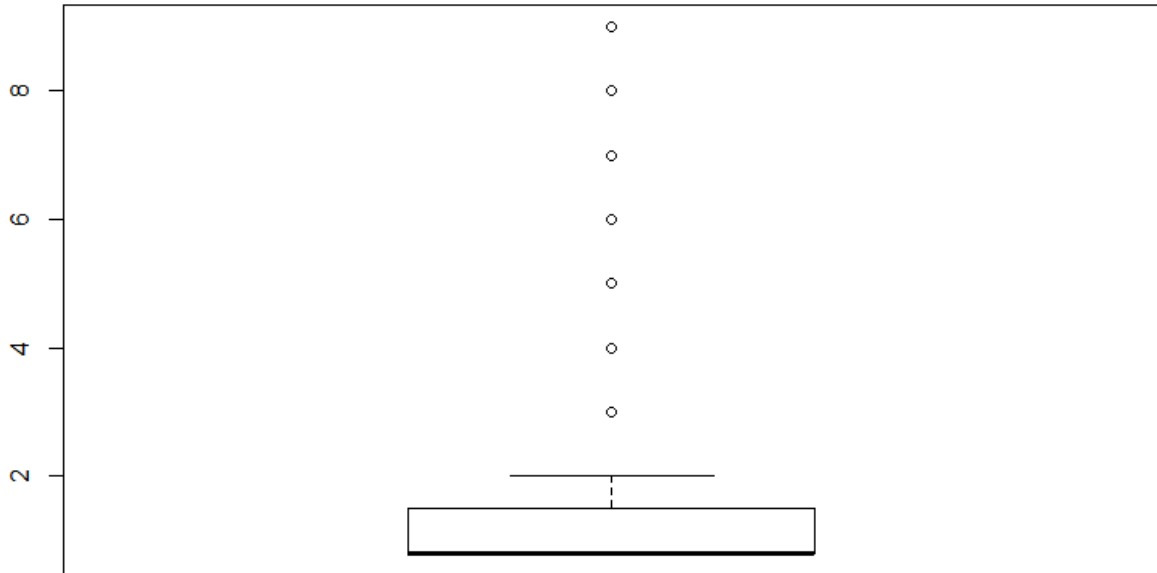


Figura 8 – Boxplot da nitração da Empresa A

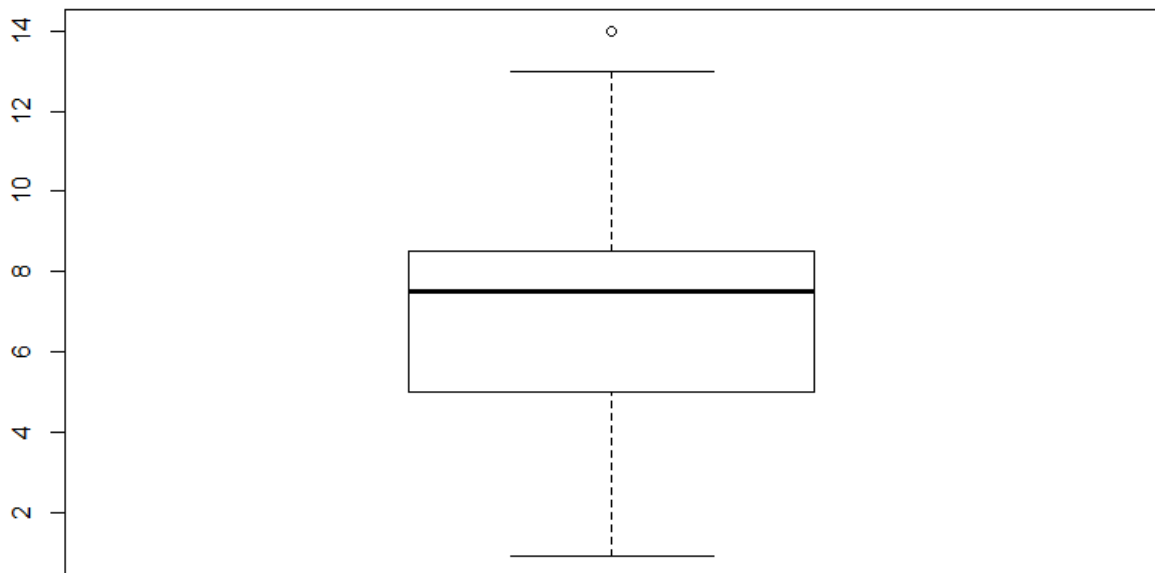


Figura 9 – Boxplot da nitração da Empresa B

Com a observação destes dois boxplot, denota-se que empresa B apresenta normalmente um valor de nitração mais elevado que a empresa A.

3.2.3 Oxidação (ABS/cm)

As Figuras 10 e 11, apresentam as medidas de sumário da oxidação presente no óleo nas duas empresas.

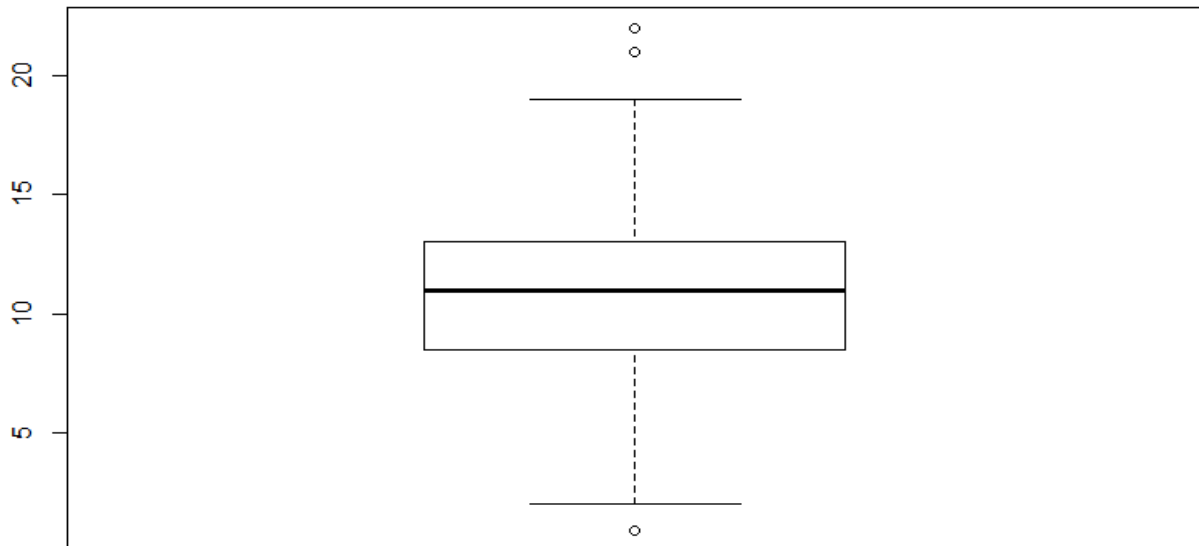


Figura 10 - Boxplot da oxidação da Empresa A

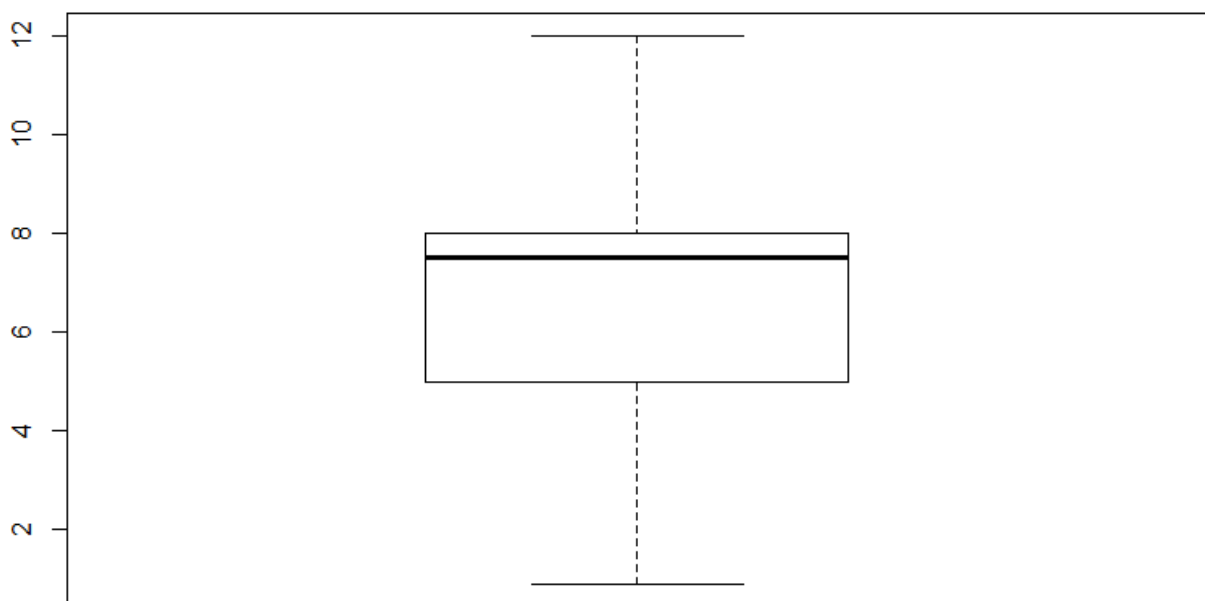


Figura 11 - Boxplot da oxidação da Empresa B

Observa-se com a análise destes dois boxplot, que normalmente o óleo presente nos autocarros da Empresa A está mais oxidado do que o da Empresa B.

3.2.4 Sulfatação (ABS/cm)

As Figuras 12 e 13, apresentam as medidas de sumário da sulfatação presente no óleo nas duas empresas.

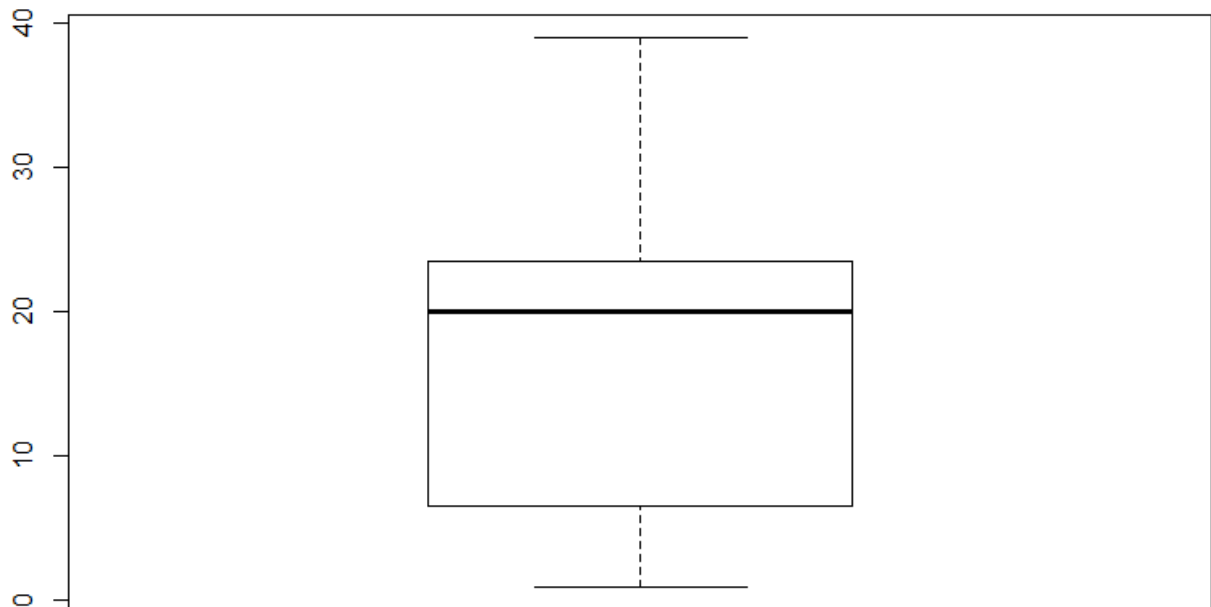


Figura 12 - Boxplot da sulfatação da Empresa A

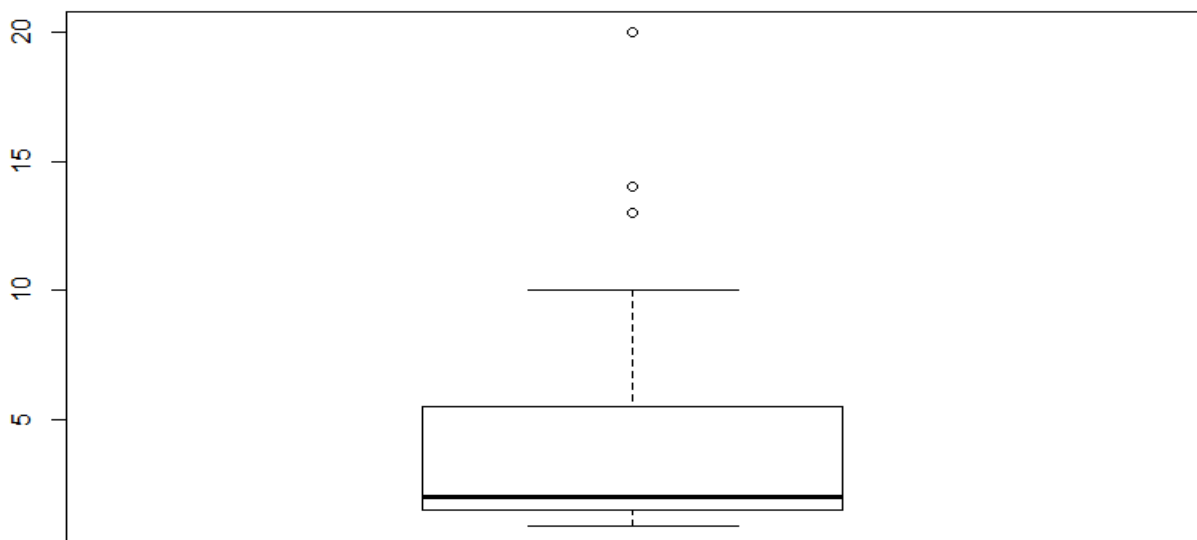


Figura 13 - Boxplot da sulfatação da Empresa B

Com o estudo dos boxplot acima, observa-se que a Empresa A apresenta valores muito superior de sulfatação comparando com a Empresa B, salienta-se também, o facto de a diferença entre o primeiro e o segundo quartil ser maior na Empresa A.

3.2.5 TBN (mgr KOH/gr)

As Figuras 14 e 15, mostram as medidas de sumário do TBN presente no óleo nas duas empresas.

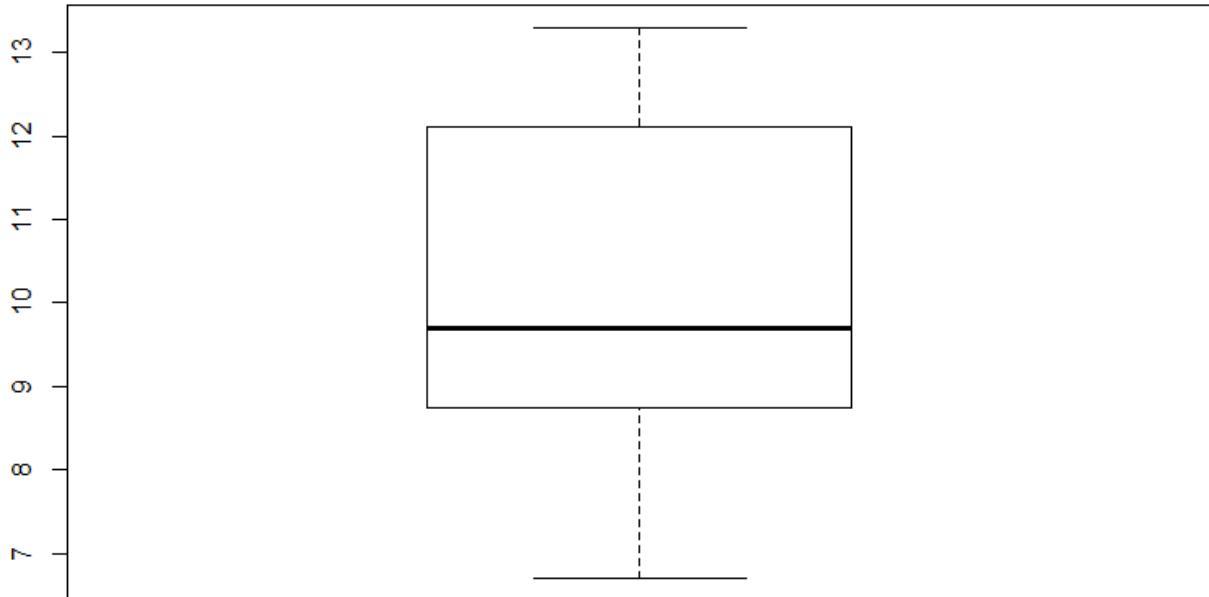


Figura 14 - Boxplot do TBN da Empresa A

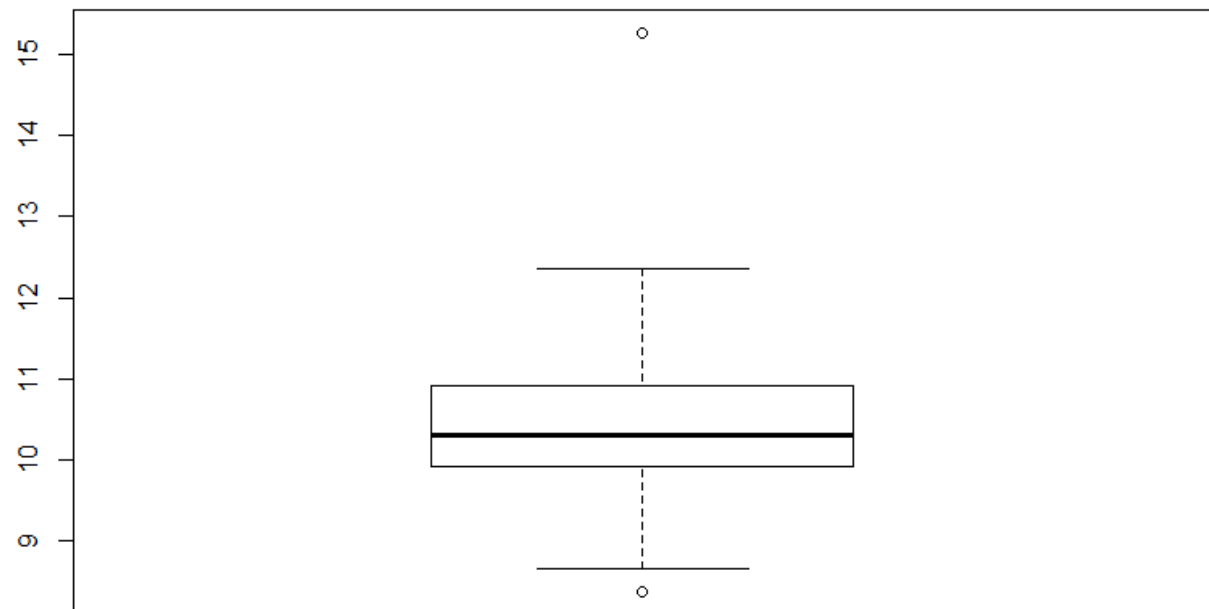


Figura 15 - Boxplot do TBN da Empresa B

O intervalo de valores apresentado na Empresa A, é muito maior comparativamente com a empresa B, significando que os valores do TBN na Empresa A, são muito desfasados, contudo a mediana de TBN é muito semelhante em ambas as empresas.

3.2.6 Viscosidade a 100 °C (cst)

As Figuras 16 e 17, mostram as medidas de sumário da viscosidade a 100 °C presente no óleo nas duas empresas.

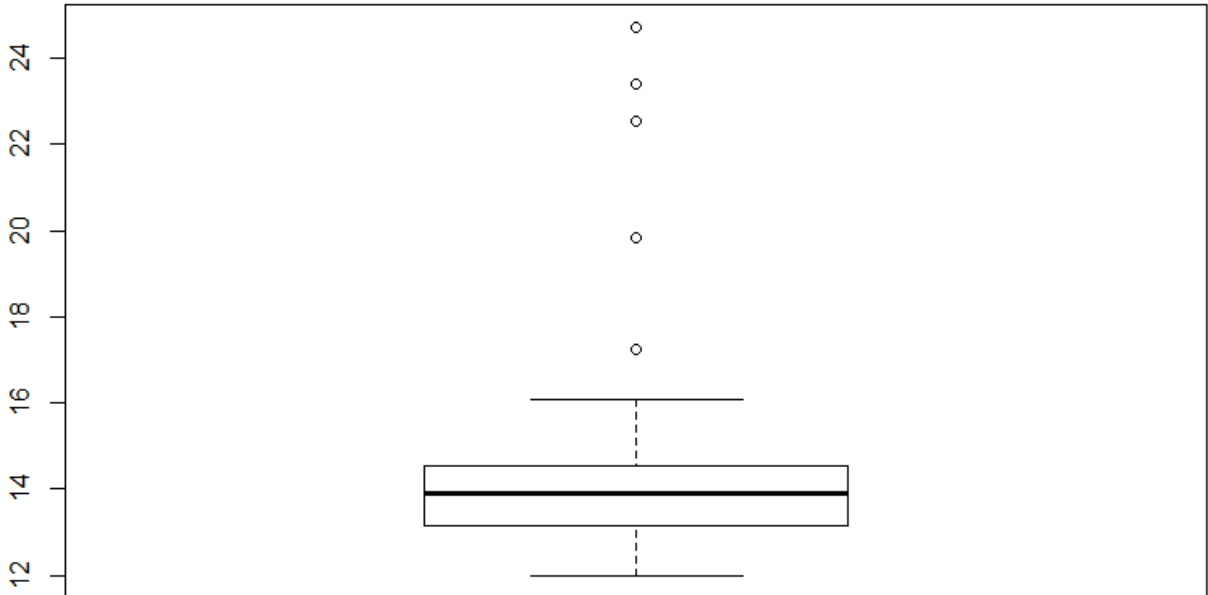


Figura 16 - Boxplot da viscosidade a 100°C da Empresa A

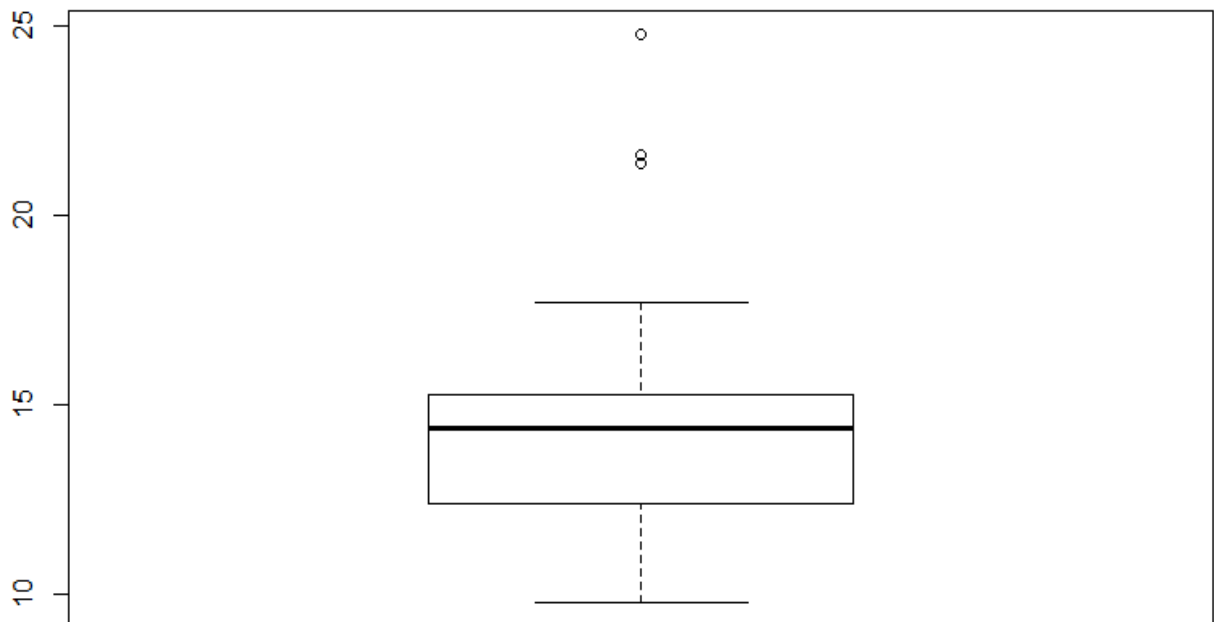


Figura 17 - Boxplot da viscosidade a 100°C da Empresa A

Observando os boxplot, retira-se a ilação de que, na maioria das vezes a viscosidade encontra-se no seu valor de referência (15) em ambas as empresas.

3.2.7 Teor em Al (ppm)

As Figuras 18 e 19, mostram as medidas de sumário do teor em Al presente no óleo nas diversas empresas.

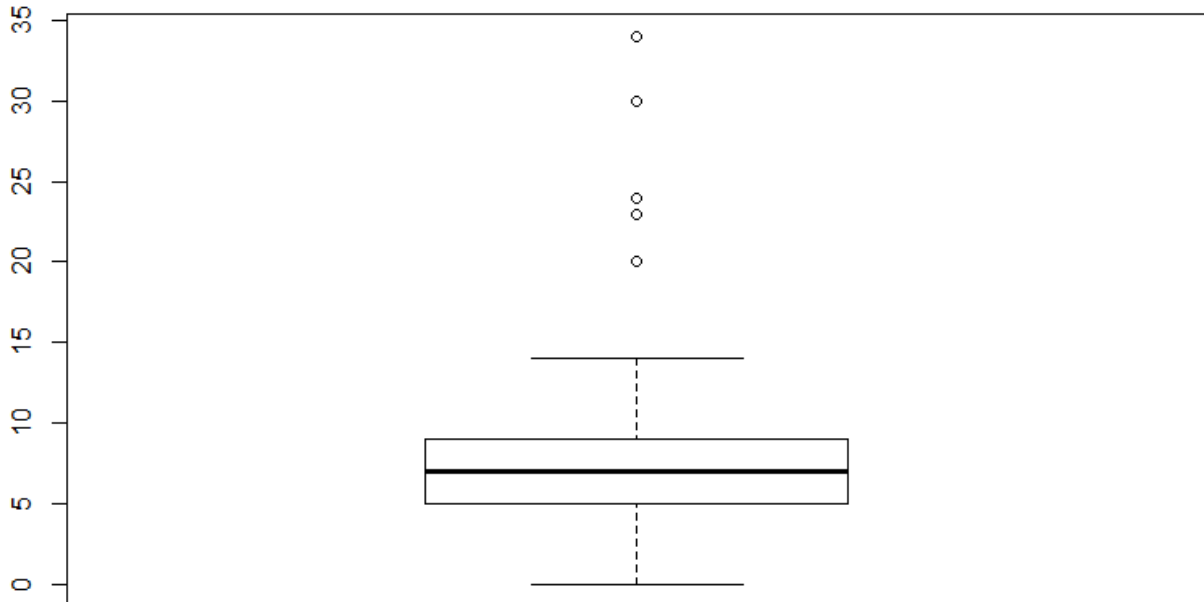


Figura 18 - Boxplot do teor de Al na Empresa A

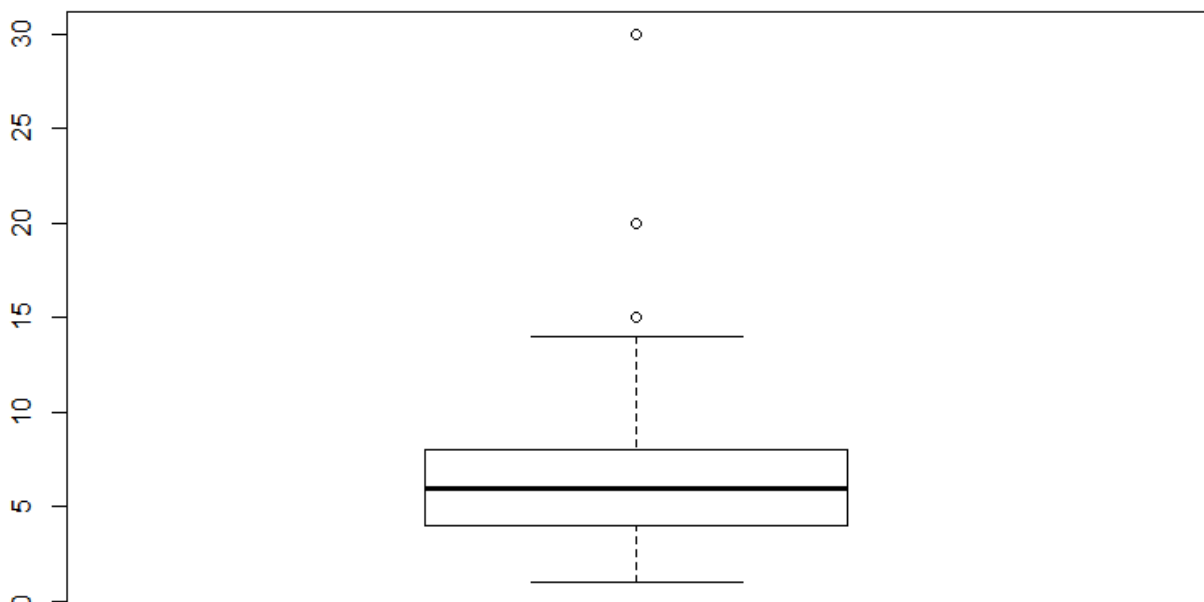


Figura 19 - Boxplot do teor de Al na Empresa B

Os valores do teor em alumínio, situam-se na maioria das vezes entre os 10 ppm e 15 ppm nas duas empresas, alertando apenas para número de *outliers* da Empresa A.

3.2.8 Teor em Cr (ppm)

As Figuras 20 e 21, exibem as medidas de sumário do teor em Cr presente no óleo nas duas empresas.

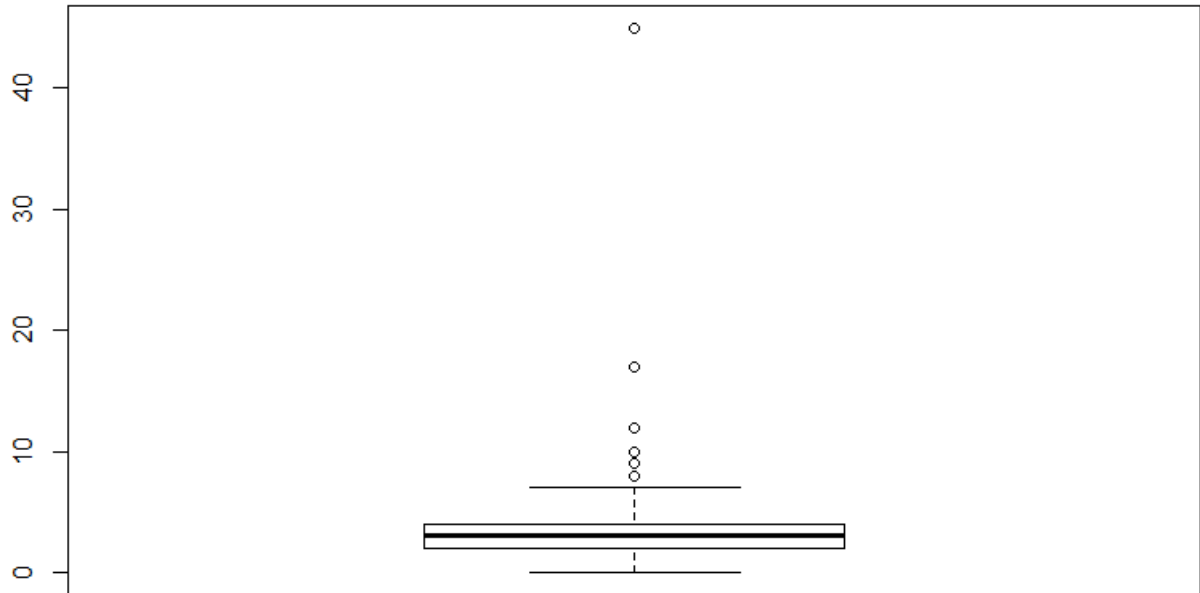


Figura 20 - Boxplot do teor de Cr na Empresa A

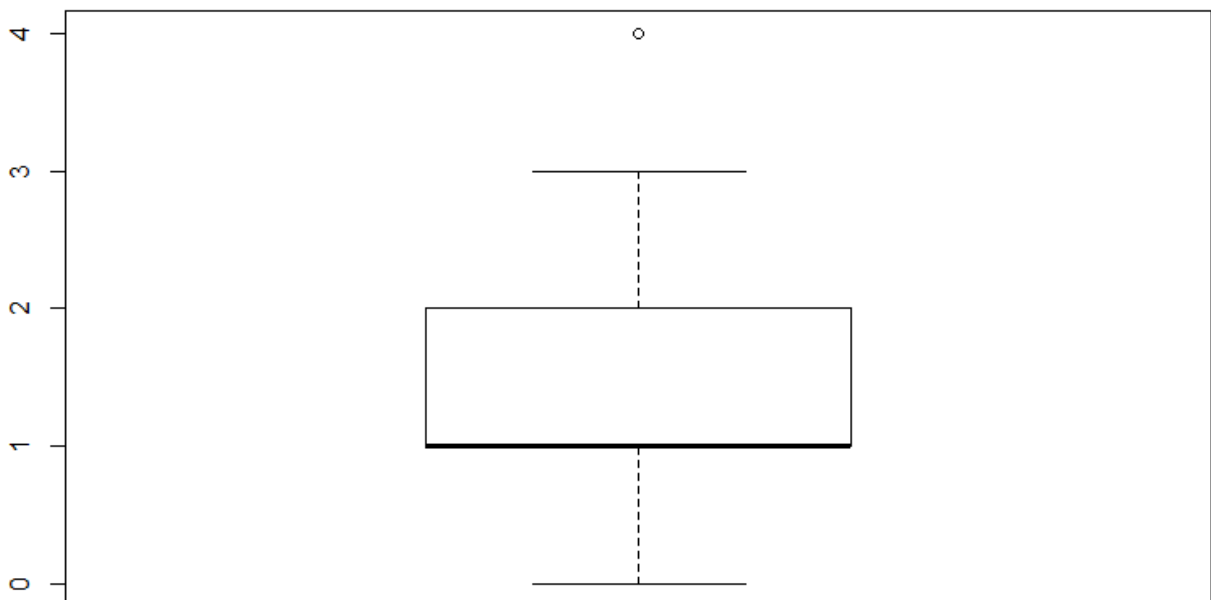


Figura 21 - Boxplot do teor de Cr na Empresa B

Os valores do teor em crómio da Empresa B, encontram-se abaixo do limite dado como referência (10ppm), já no caso da empresa A, alerta-se para o facto de existirem *outliers* com valores muito elevados, ultrapassando o limite recomendado pelo fabricante.

3.2.9 Teor em Cu (ppm)

As Figuras 22 e 23, mostram as medidas de sumário do teor em Cu presente no óleo nas duas empresas.

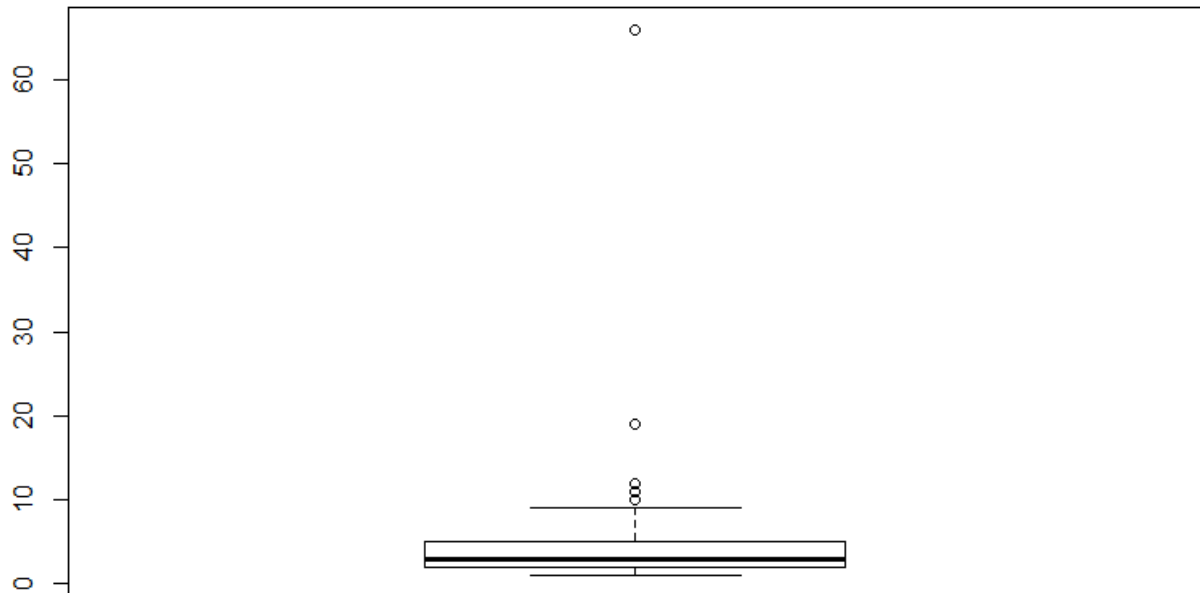


Figura 22 - Boxplot do teor de Cu na Empresa A

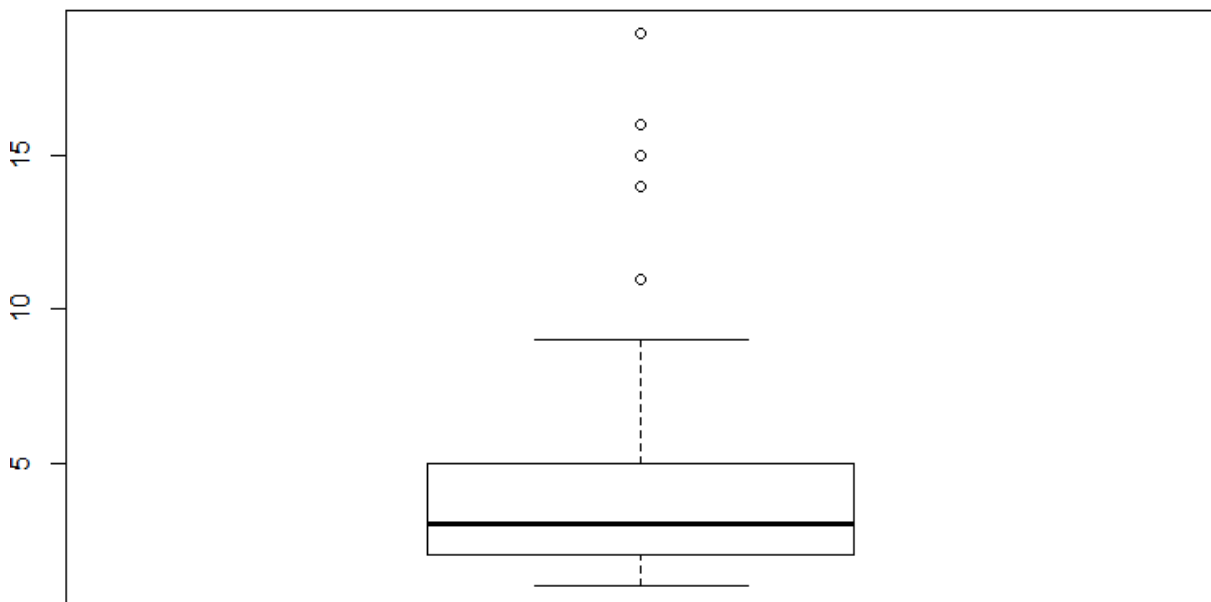


Figura 23 - Boxplot do teor de Cu na Empresa B

Estudando atentamente estes dois *boxplot*, verifica-se que as medidas sumárias são idênticas em ambas as empresas, tendo como principal diferença o valor dos *outliers*, cujo o maior *outliers* pertence à Empresa A encontrando-se este acima de 60 ppm.

3.2.10 Teor em Fe (ppm)

As Figuras 24 e 25, mostram as medidas de sumário do teor em Fe presente no óleo nas duas empresas.

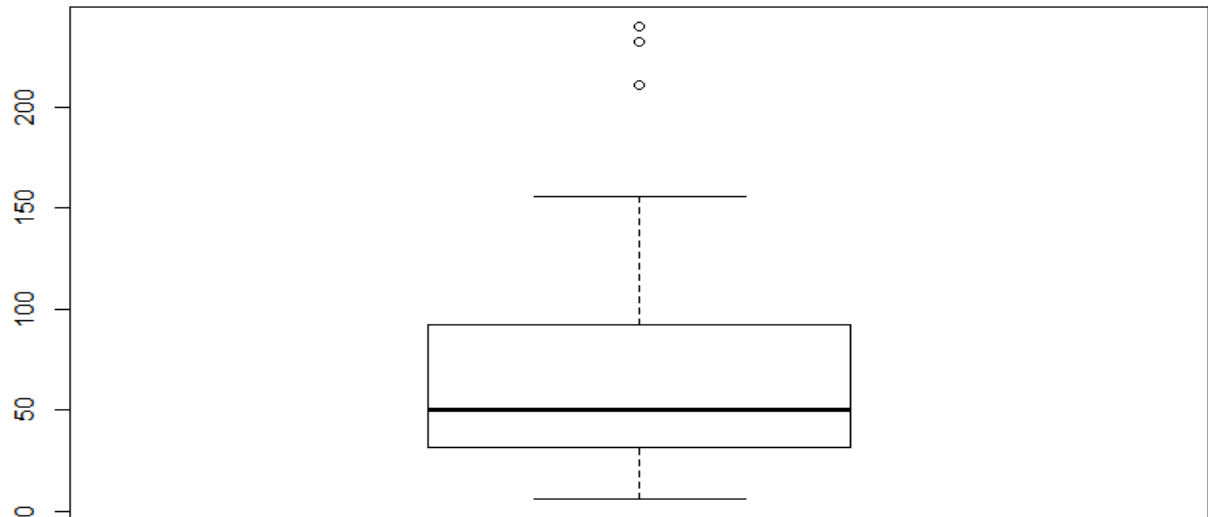


Figura 24 - Boxplot do teor de Fe na Empresa A

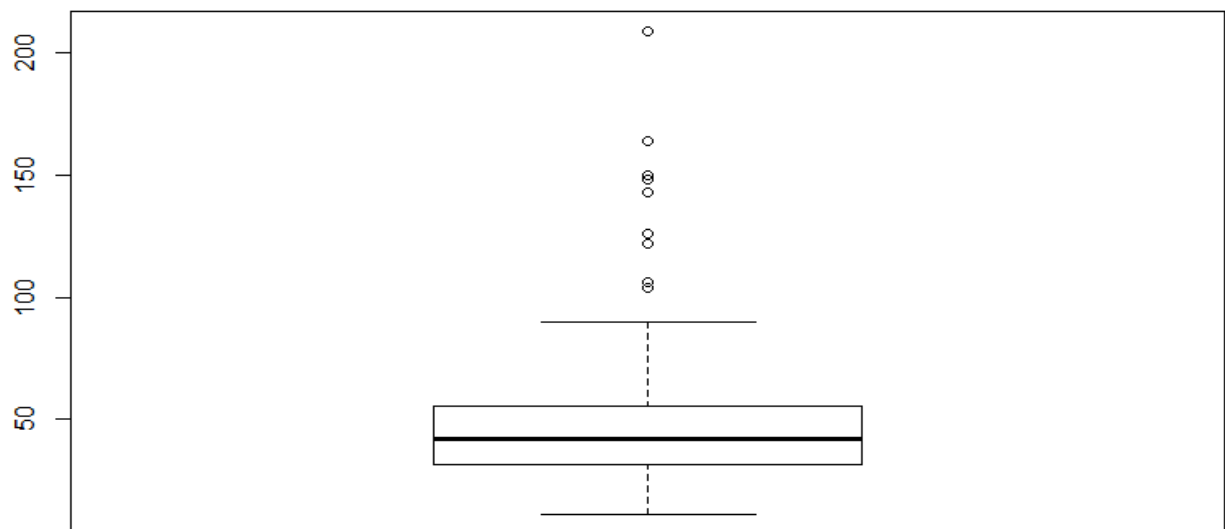


Figura 25 - Boxplot do teor de Fe na Empresa B

Em ambos os casos, salienta-se o facto de existirem *outliers* extramente altos, havendo mais *outliers* na empresa B, mas sendo esse facto também justificável por ter uma amostragem maior de análises de óleos.

Chama-se à atenção, à diferença entre os máximos identificados pelos *boxplot*, sendo o máximo da Empresa A significativamente maior.

3.2.11 Teor em Mo (ppm)

As Figuras 26 e 27, expõem as medidas de sumário do teor em Mo presente no óleo nas duas empresas.

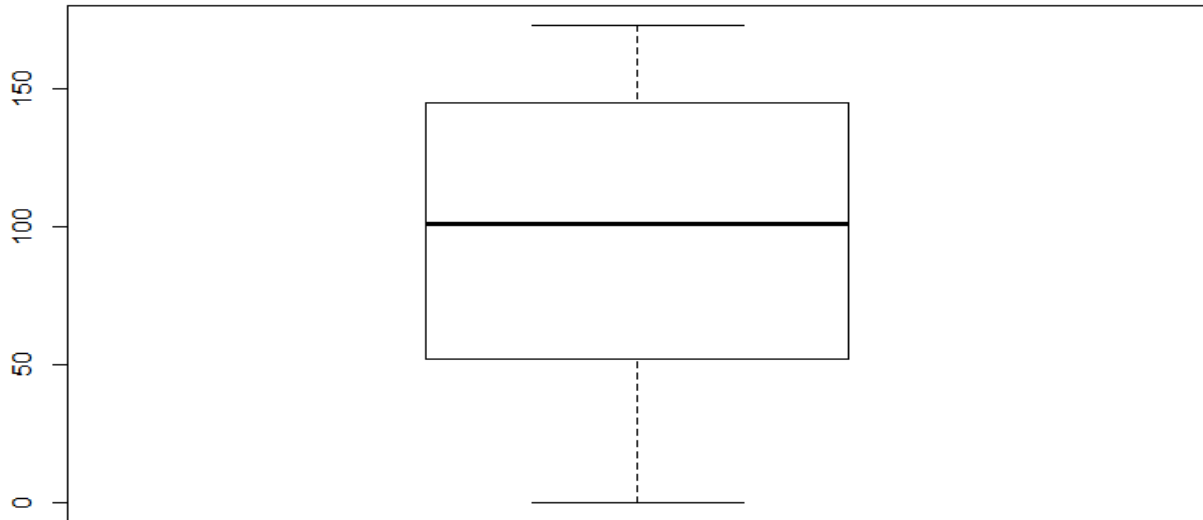


Figura 26 - Boxplot do teor de Mo na Empresa A

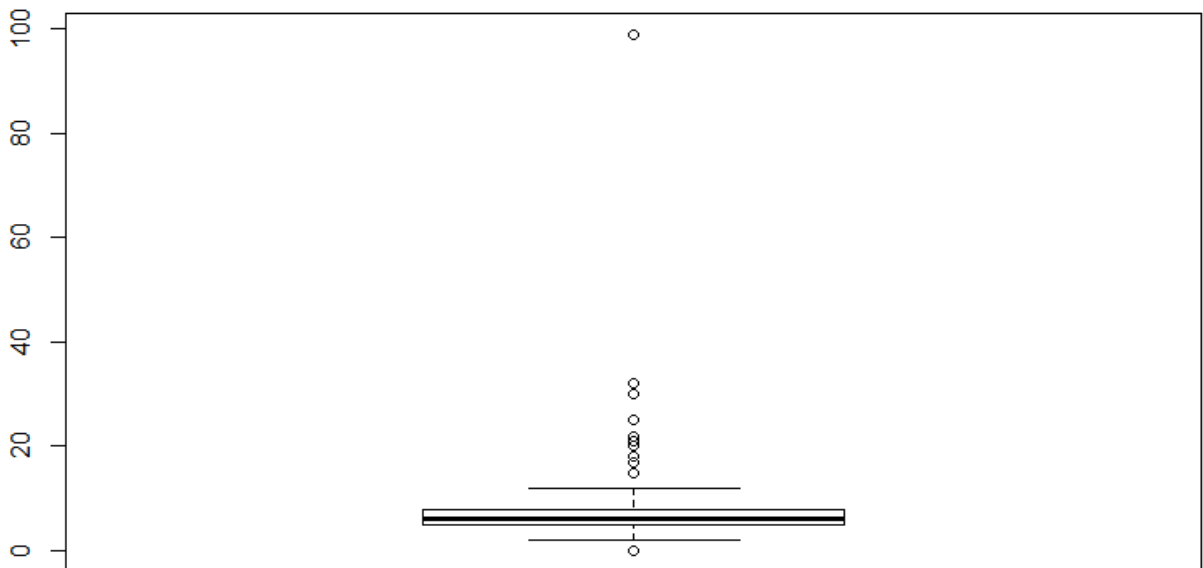


Figura 27 - Boxplot do teor de Mo na Empresa B

Observando atentamente os *boxplot* referentes ao teor em molibdênio, chega-se que à conclusão que a Empresa A, apresenta valores muito altos, em contraste, a empresa B apresenta resultados bastante aceitáveis, tendo somente alguns *outliers* acima da referência do fabricante.

3.2.12 Teor em Na (ppm)

As Figuras 28 e 29, mostram as medidas de sumário do teor em Na presente no óleo nas duas empresas.

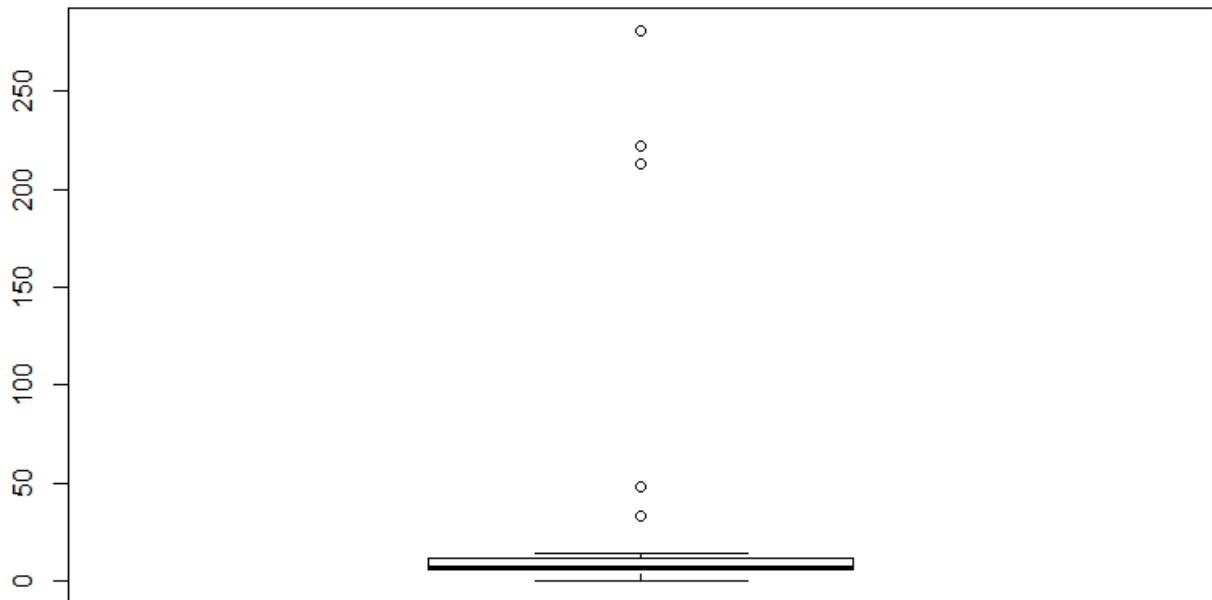


Figura 28 - Boxplot do teor de Na da Empresa A

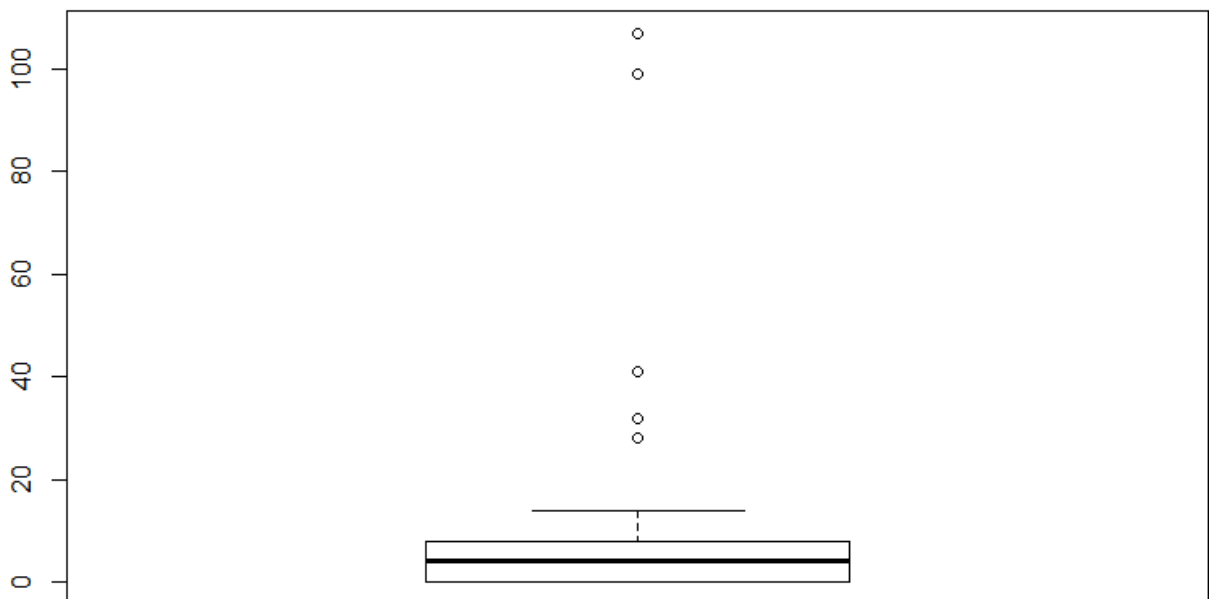


Figura 29 - Boxplot do teor de Na da Empresa B

Os teores de sódio são bastante similares em ambas as empresas, tendo as duas empresas um intervalo de valores bastante baixo se excluirmos os *outliers*. Chama-se também a atenção, à diferença entre os máximos exibidos nos dois gráficos.

3.2.13 Teor em Ni (ppm)

As Figuras 30 e 31, mostram as medidas de sumário do teor em Ni presente no óleo nas duas empresas.

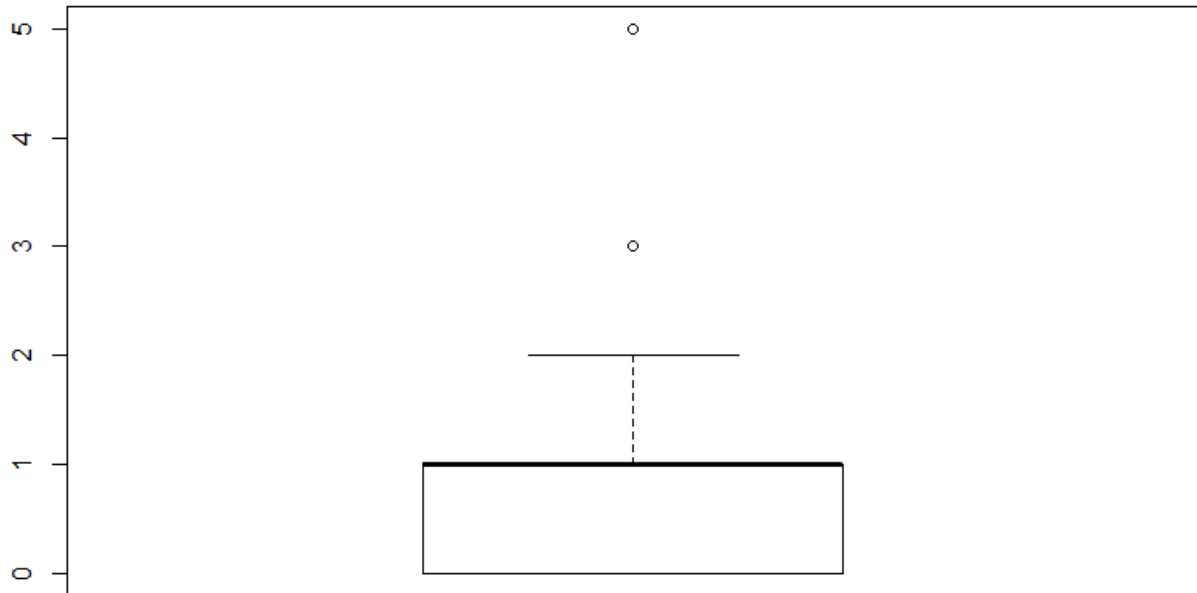


Figura 30 - Boxplot do teor de Ni na Empresa A

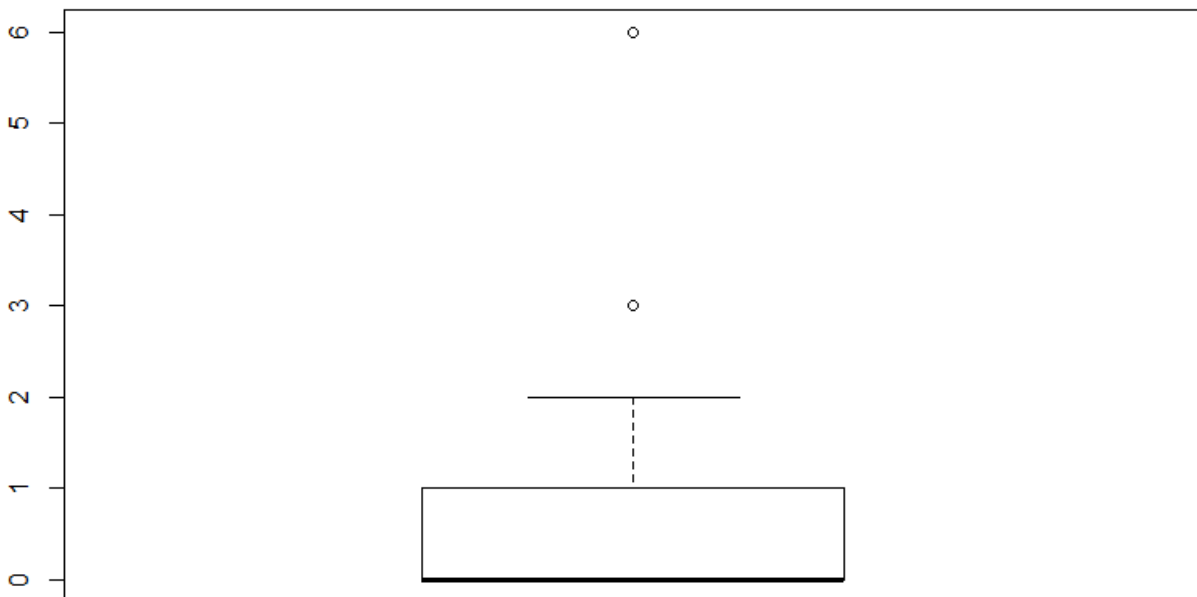


Figura 31 - Boxplot do teor de Ni na Empresa B

Os padrões do teor em níquel, são muito similares em ambas as empresas, embora se consiga verificar visualmente a diferença existente na mediana entre as duas empresas, sendo a mediana da Empresa B a mais baixa.

3.2.14 Teor em Pb (ppm)

As Figuras 32 e 33, apresentam as medidas de sumário do teor em Pb presente no óleo nas duas empresas.

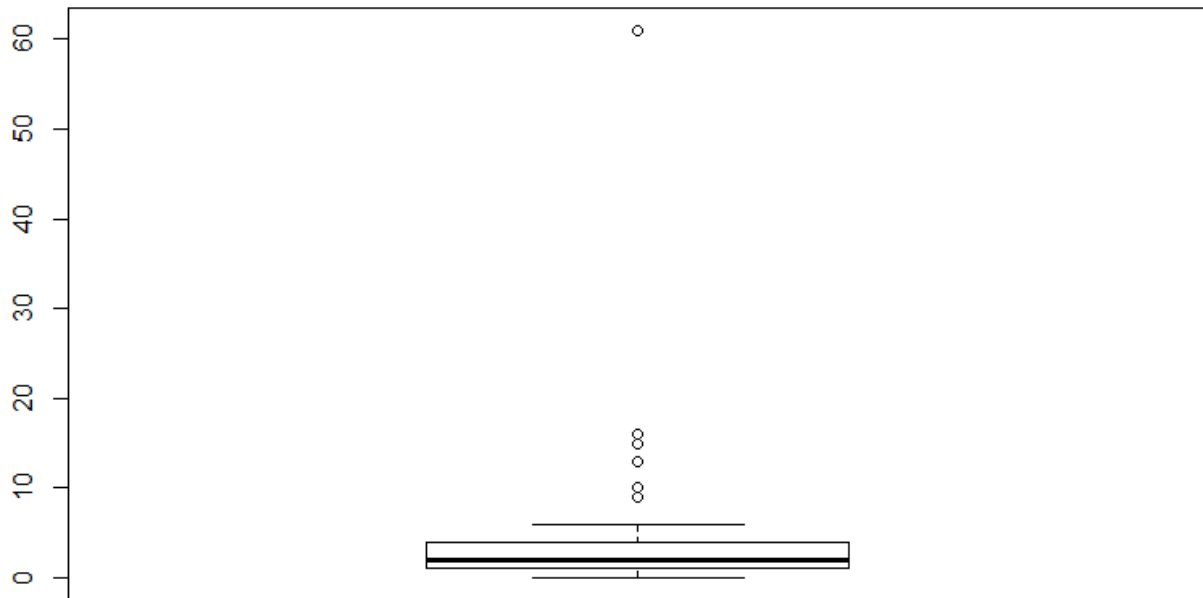


Figura 32 - Boxplot do teor de Pb na Empresa A

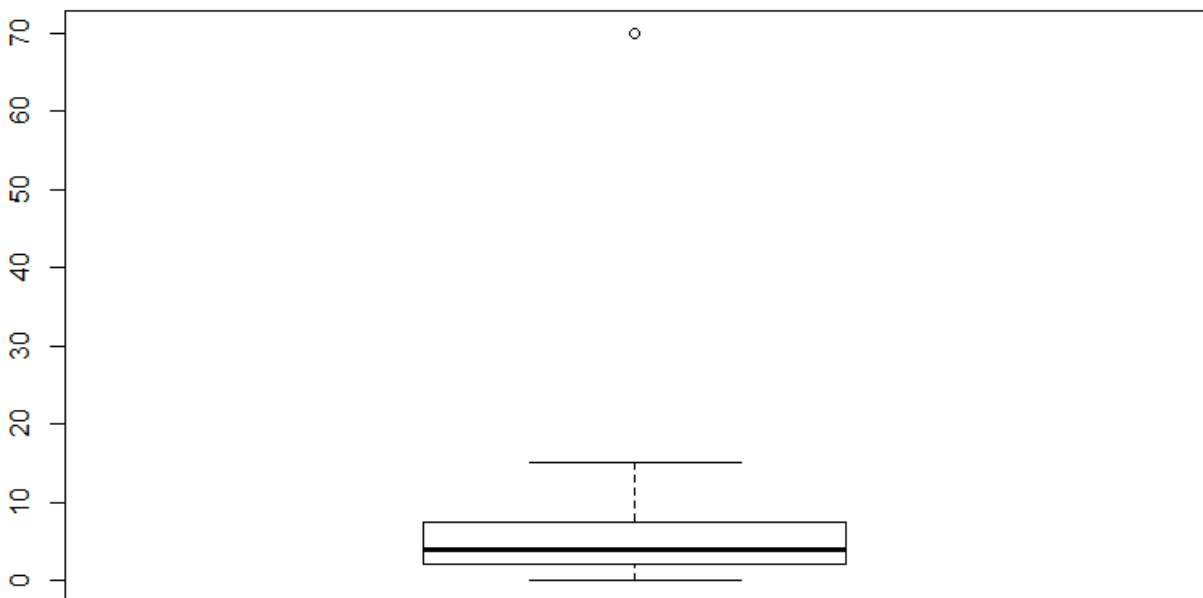


Figura 33 - Boxplot do teor de Pb na Empresa B

As duas empresas na maioria das vezes, apresentam valores de teor de chumbo aceitáveis nos seus óleos, em contraste com isso, ambas contam com um *outlier* superior nas suas amostras.

3.2.15 Teor em Si (ppm)

As Figuras 34 e 35, expõem as medidas de sumário do teor em Si presente no óleo nas duas empresas.

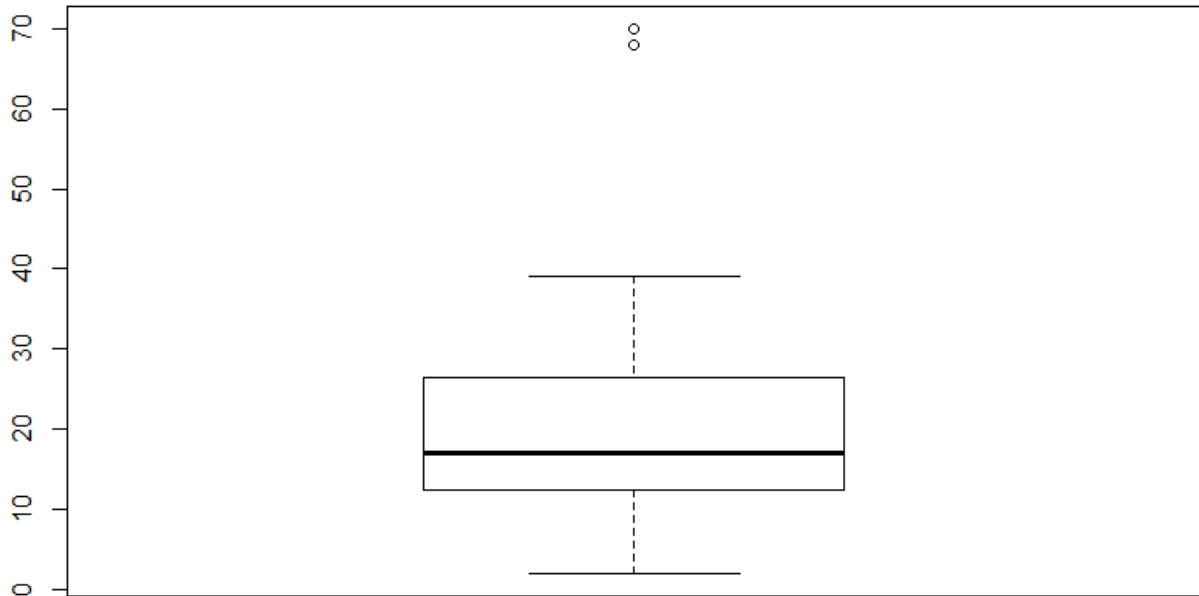


Figura 34 - Boxplot do teor de Si na Empresa A

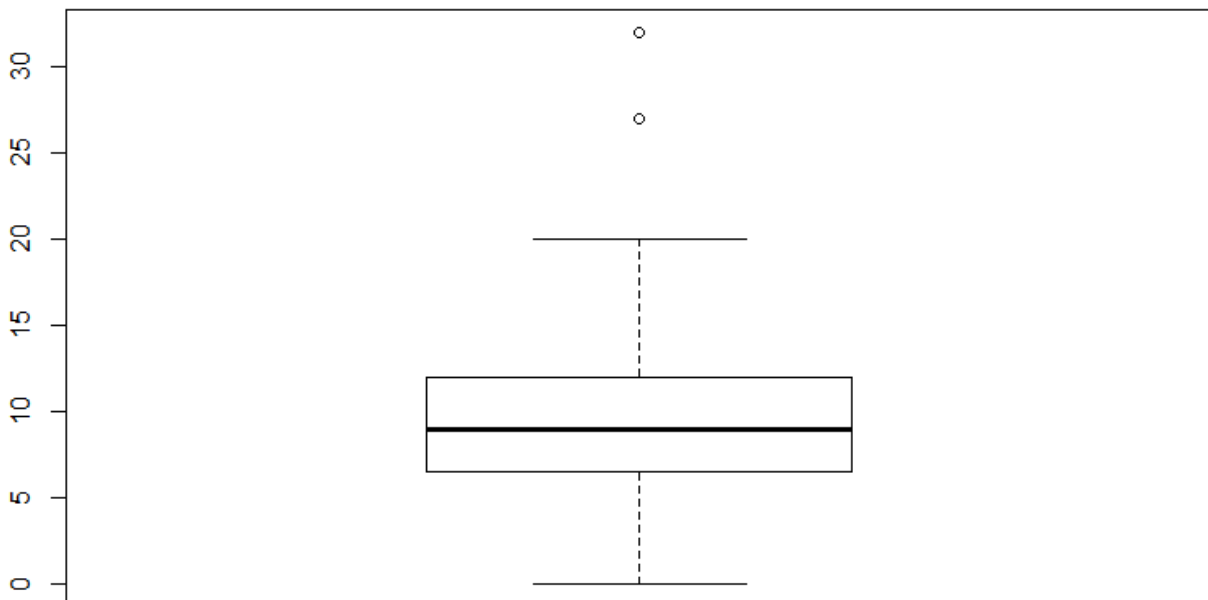


Figura 35 - Boxplot do teor de Si na Empresa B

A Empresa A, apresenta valores piores quando comparados com os da Empresa B, dado que os seus óleos contêm na maioria das amostras teores de silício maiores.

3.2.16 Teor em Sn (ppm)

As Figuras 36 e 37, mostram as medidas de sumário do teor em Sn presente no óleo nas duas empresas.

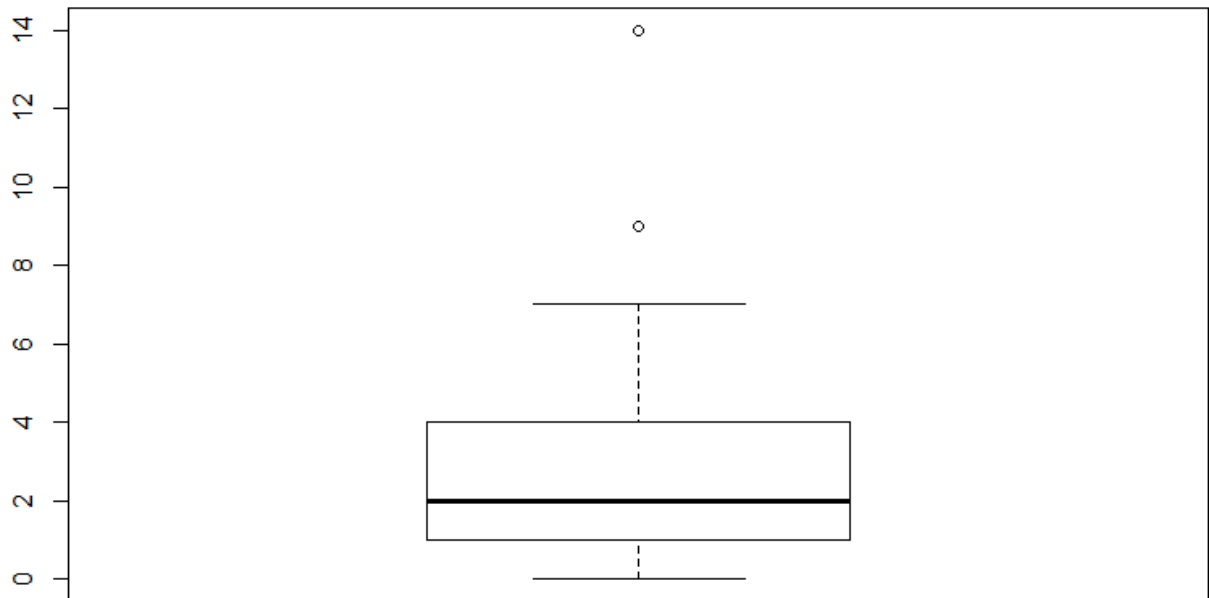


Figura 36 - Boxplot do teor de Sn na Empresa A

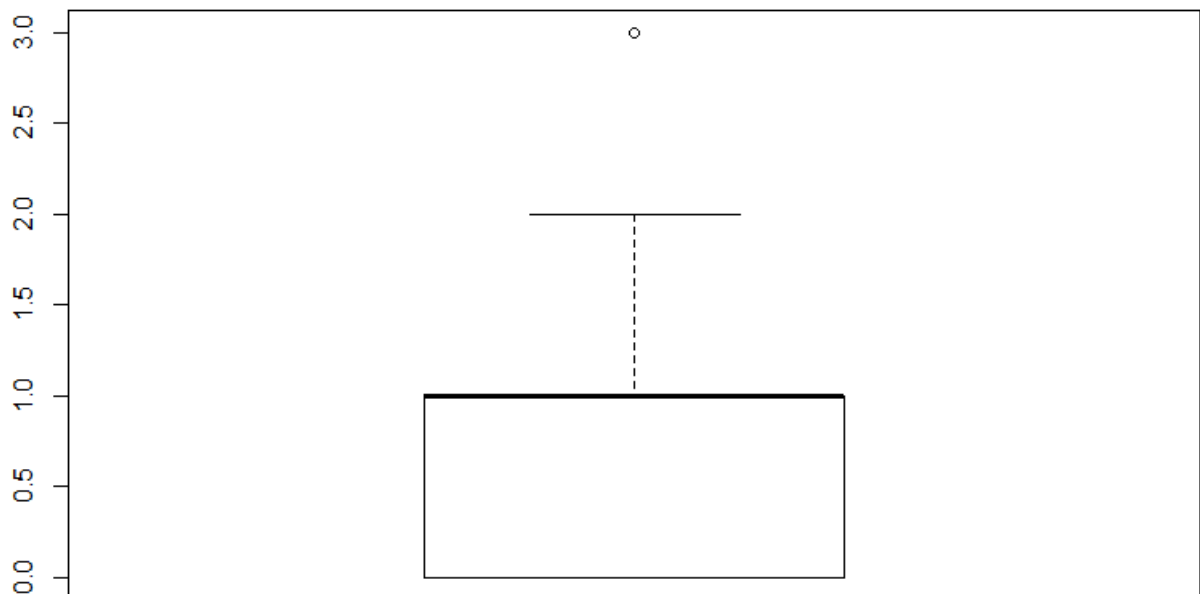


Figura 37 - Boxplot do teor de Sn na Empresa B

Segundo a análise realizada na comparação dos gráficos, facilmente se chega à conclusão que a Empresa A apresenta na maioria das vezes, maior teor de estanho nos seus óleos, quando comparada com a Empresa B.

3.2.17 Teor em V (ppm)

As Figuras 38 e 39, mostram as medidas de sumário do teor em V presente no óleo nas duas empresas.

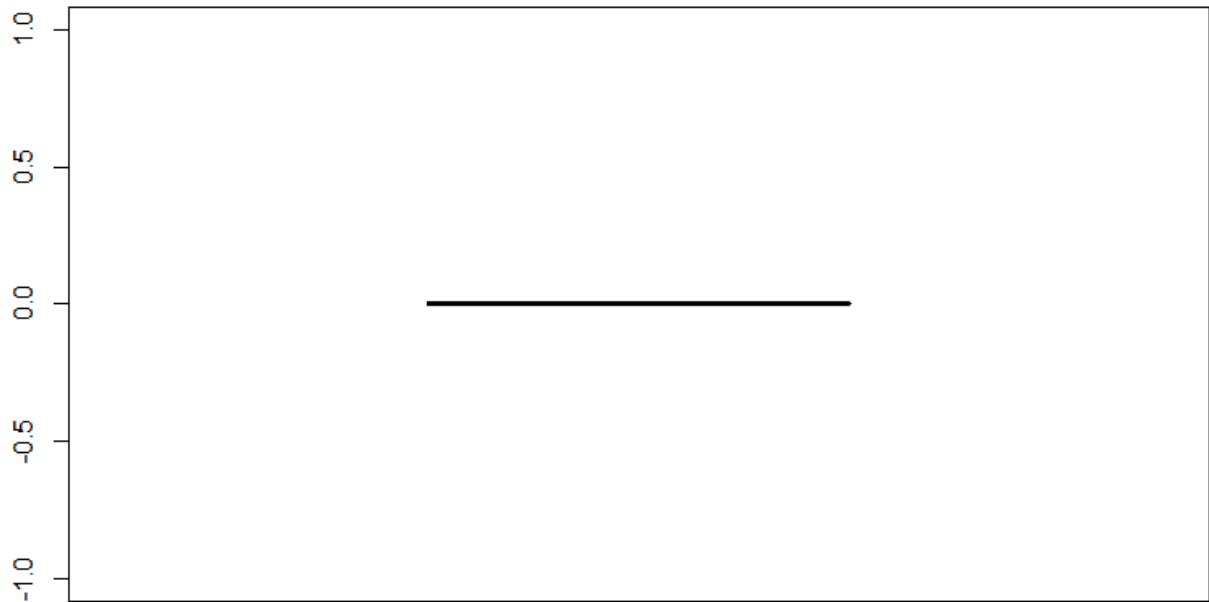


Figura 38 - Boxplot do teor de V na Empresa A

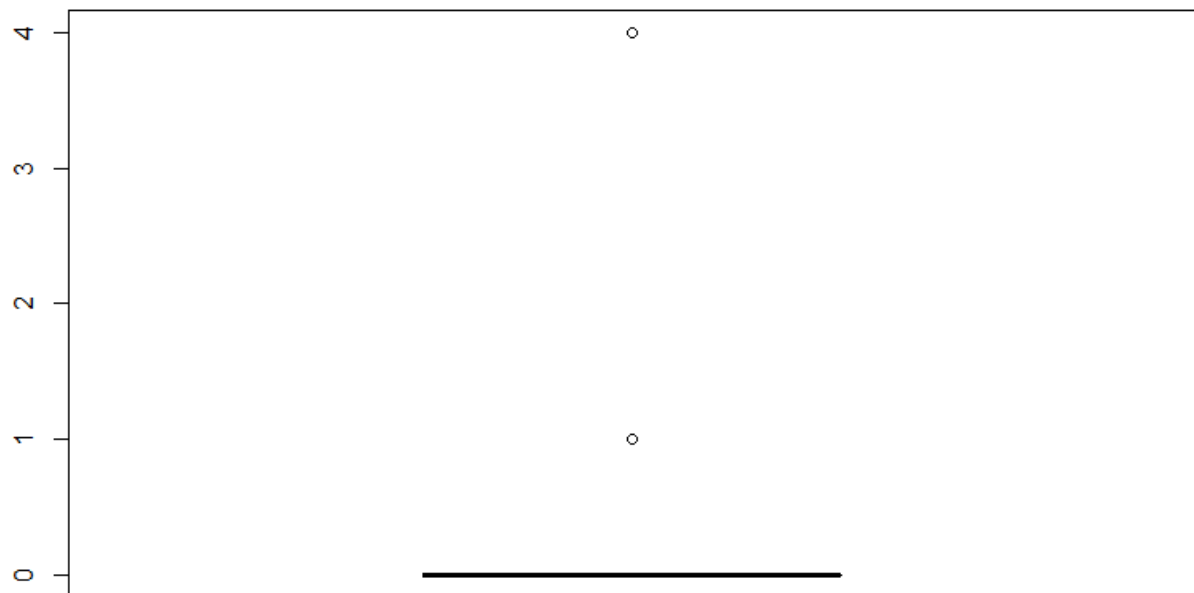


Figura 39 - Boxplot do teor de V na Empresa B

Na Empresa A, todas as amostras recolhidas não apresentavam qualquer teor em vanádio, ao contrário da Empresa B que continha 2 amostras com o teor de vanádio diferente de zero, considerando-se desta feita esses dois valores *outliers*.

3.2.18 PQ Index (Adim)

As Figuras 40 e 41, mostram as medidas de sumário do PQ Index presente no óleo nas duas empresas.

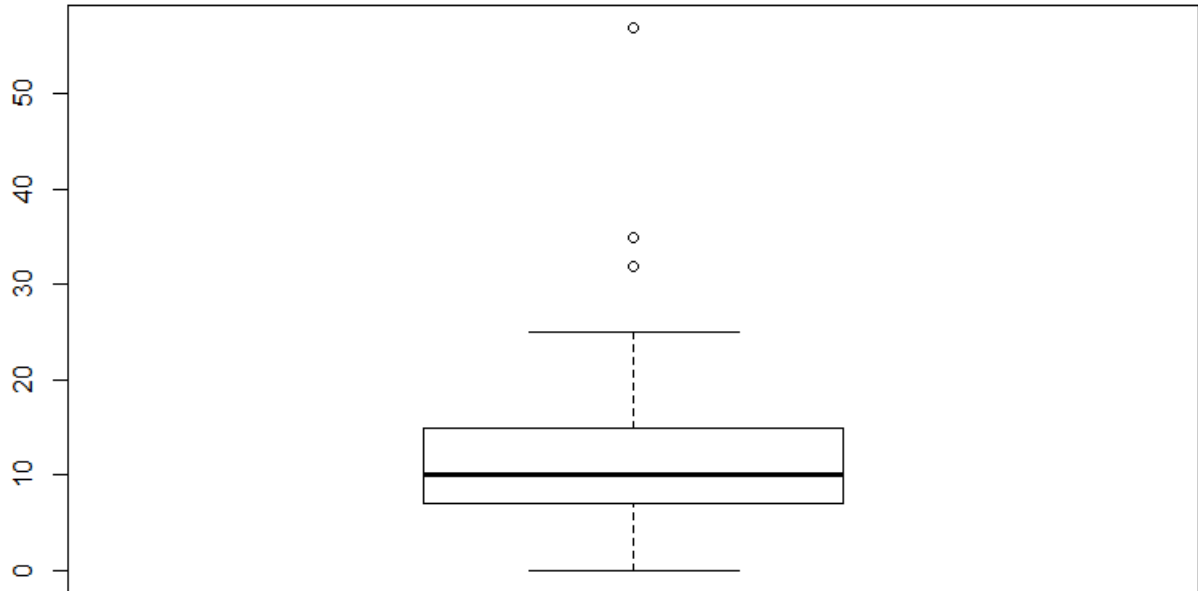


Figura 40 - Boxplot do PQ Index da Empresa

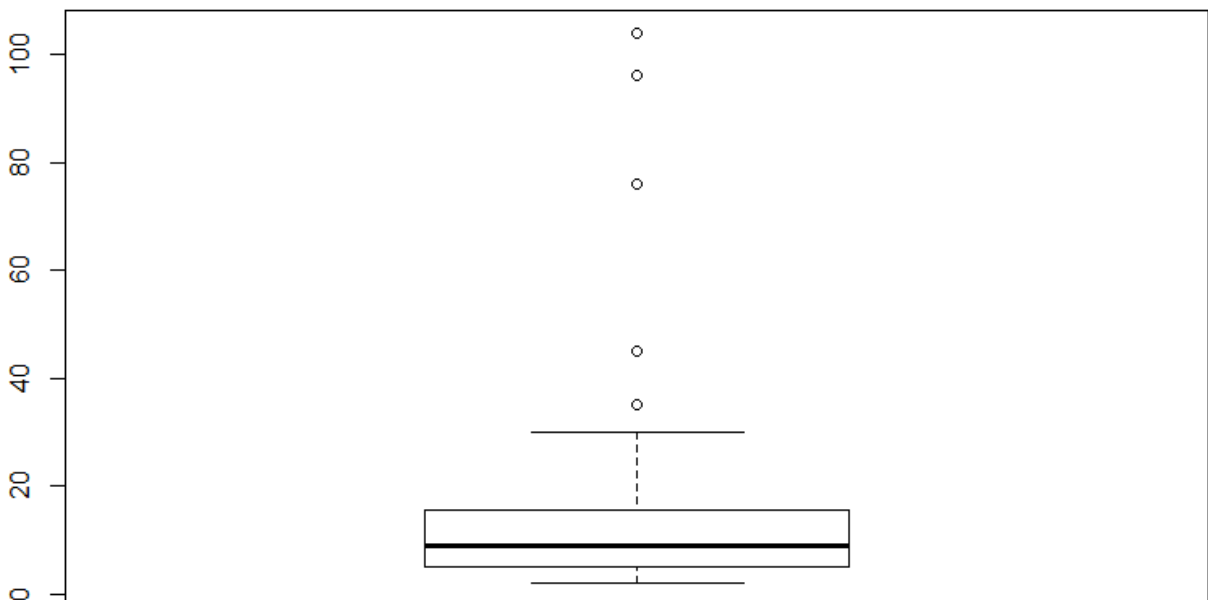


Figura 41- Boxplot do PQ Index da Empresa B

O PQ índice assume parâmetros muito idênticos nas duas empresas, contudo alerta-se para o facto de ambas as empresas possuírem *outliers* acima das referências estipuladas.

3.3 Teste à normalidade

Tabela 5 - Teste à normalidade

Teste à Normalidade		
	47 Observações	88 Observações
	Empresa A	Empresa B
Parâmetros do Óleo	P-Valor	P-Valor
Estado		
Fuligem (%)	1,07E-08	1,00E-10
Nitração (ABS/cm)	< 2,2E-16	6,22E-10
Oxidação (ABS/cm)	0,6963	3,90E-16
Sulfatação (ABS/cm)	0,0090	< 2,2E-16
TBN (mgr KOH/gr)	1,23E-04	0,5618
Viscosidade a 100 °C (cst)	4,03E-07	6,13E-11
Metais de Desgaste e Contaminação		
Teor em Al (ppm)	7,10E-07	0,0005
Teor em Cr (ppm)	< 2,2E-16	< 2,2E-16
Teor em Cu (ppm)	< 2,2E-16	< 2,2E-16
Teor em Fe (ppm)	0,0200	2,999E-9
Teor em Mo (ppm)	0,01712	< 2,2E-16
Teor em Na (ppm)	< 2,2E-16	< 2,2E-16
Teor em Ni (ppm)	< 2,2E-16	< 2,2E-16
Teor em Pb (ppm)	< 2,2E-16	3,32E-11
Teor em Si (ppm)	0,0090	9,91E-06
Teor em Sn (ppm)	7,18E-05	< 2,2E-16
Teor em V (ppm)	5,58E-08	< 2,2E-16
Partículas		
PQ Index (Adim)	3,31E-13	0,0022

A Tabela 5 mostra os resultados do teste feito à normalidade dos parâmetros do óleo em estudo, tendo-se concluído que só a oxidação na empresa A e o TBN na Empresa B seguem a distribuição normal, pois foram os únicos parâmetros em que o resultado do teste se fixou acima do nível de significância.

3.4 Teste à igualdade de médias e medianas

O presente teste tem como objetivo verificar se existem diferenças significativas entre as médias de uma determinada variável do óleo dependo do número de quilómetros de uso do mesmo.

Com este estudo, pretende-se dar a conhecer o impacto que o número de quilómetros pode ter em determinados parâmetros do óleo. A Tabela 6, mostra o resultado desses testes de igualdade de médias e medianas, bem como os diferentes testes utilizados.

Os resultados que consideram as médias ou medianas iguais, ou seja, não rejeitam a hipótese nula encontram-se marcados a cinzento.

Tabela 6 - Teste à igualdade de médias e medianas

	Empresa A		Empresa B	
	One-Way Anova	Kruskal Teste	One-Way Anova	Kruskal Teste
Empresa A	P - Valor	P - Valor	P - Valor	P - Valor
Estado				
Fuligem (%)		0,221		0,000
Nitração (ABS/cm)		0,035		0,089
Oxidação (ABS/cm)	0,008			0,003
Sulfatação (ABS/cm)		0,050		0,001
TBN (mgr KOH/gr)		0,136	0,654	
Viscosidade a 100 °C (cst)		0,005		0,000
Metais de Desgaste e Contaminação				
Teor em Al (ppm)		0,069		0,443
Teor em Cr (ppm)		0,004		0,095
Teor em Cu (ppm)		0,035		0,010
Teor em Fe (ppm)		0,037		0,098
Teor em Mo (ppm)		0,621		0,000
Teor em Na (ppm)		0,126		0,190
Teor em Ni (ppm)		0,062		0,082
Teor em Pb (ppm)		0,314		0,000
Teor em Si (ppm)		0,046		0,080
Teor em Sn (ppm)		0,279		0,077
Partículas				
PQ Index (Adim)		0,971		0,138

3.5 Inferência

Este subcapítulo, tem como objetivo analisar a performance das empresas em questão. Para isso, vai-se realizar uma análise em componentes principais à base de dados de cada empresa, de modo a tirar as ilações necessárias para classificar cada empresa em termos de manutenção.

3.5.1 Empresa A

Para analisar a empresa A, foi estudada uma base de dados fornecida pela mesma que abarcava quarenta e sete análises dos seus autocarros, em que cada análise examinava precisamente vinte e um parâmetros do óleo.

Apesar do número de amostras parecer considerável, este torna-se diminuto quando é usado numa análise de componentes principais, tal afirmação é suportada por o cálculo do critério de Kaiser–Meyer–Olkin, cujo o valor é inferior a 0,5 e segundo a teoria contida na ACP é um valor bastante raso.

Embora a base de dados seja pequena, esta permite bastantes ilações, porém, não consegue oferecer o mesmo nível de confiabilidade de uma base de dados mais alargada.

Outro problema encontrado, foi a falta de valores em algumas variáveis nas amostras fornecidas, como solução, foi atribuída a média da variável a cada valor em branco.

A análise em componentes principais, foi executada com auxílio do software *Rstudio*, no qual apenas se calculou uma componente principal.

Apenas se usou uma componente principal, pois esta é uma combinação linear de todas as variáveis iniciais, em que o seu peso traduz a contribuição de cada variável para essa componente.

A Tabela 7, mostra por ordem decrescente as 10 variáveis identificadas com os maiores pesos na primeira componente principal.

Tabela 7 – As 10 variáveis com os maiores pesos na base de dados da Empresa A

Ordem de Contribuição	Parâmetro do Óleo	Peso
1	Teor em Si	0,872
2	Teor em Fe	0,864
3	Teor em Al	0,789
4	Teor em Cr	0,729
5	Teor em Sn	0,668
6	PQ Index	0,551
7	Fuligem	0,441
8	Teor em Ni	0,425
9	Oxidação	0,412
10	Viscosidade	0,379

Observando a Tabela 7, pode verificar-se que as variáveis mais importantes são na sua maioria agentes poluentes do óleo, mais concretamente agentes metálicos, sendo a maior parte destes formados essencialmente por quatro tipos de desgaste no motor, sendo estes os seguintes: desgaste por deslizamento, desgaste devido ao atrito, desgaste devido à fadiga e desgaste devido ao corte.

Seguindo a lógica dessa análise pode-se concluir que os motores dos autocarros da empresa A sofrem bastante desgaste, pelo que é aconselhável o uso de aditivo nos motores dos mesmos, dado que estes podem ajudar a reduzir o atrito, fugas de óleo e até mesmo a emissão de fumos.

As razões para o teor de silício ter o maior peso na ACP podem ser enumeras, tais como: manutenção imprópria do filtro de ar, manutenção desapropriada da ventilação do cárter ou utilização de equipamentos sujos para adicionar óleo no motor, refere-se que na página 9 estão indicadas as causas da maioria poluentes metálicos.

Devido às razões enunciadas anteriormente, o uso de aditivo nos motores da Empresa A pode ser um passo importante para aumentar a vida útil dos motores da mesma.

O maior coeficiente de correlação verificado entre os parâmetros do óleo foi entre a oxidação e a fuligem com $r = 0.81$

Depois denota-se uma grande correlação do teor em Si com o teor em Cr com $r = 0.77$, do teor em Fe com o teor em Al e por fim do teor em Al com o teor em Si, ambos com $r = 0,73$. Estas correlações entre os contaminantes do óleo são esperadas, pois os agentes poluentes

metálicos tendem a ter comportamentos semelhantes a quando o óleo já não cumpre a totalidade das suas funções. A matriz de todas as correlações entre variáveis está em anexo.

De seguida, a Tabela 8 mostra em que fase de degradação se encontra o óleo em cada uma das amostras recolhidas, para construir tal tabela, foram multiplicados os pesos de cada variável da primeira componente principal por os valores de cada amostra normalizados segundo as referências do fabricante.

Com isso consegue-se atribuir uma classificação a cada análise, por fim essa pontuação é dividida por uma pontuação limite calculada através da multiplicação dos pesos da primeira componente principal por as referências do fabricante do óleo.

Esta divisão, irá permitir saber em que estado percentual se encontra a degradação do óleo tendo como referências os limites do fabricante.

Tabela 8 – Estado de degradação dos óleos da Empresa A

Amostra	Aut.	% Deterioração	Amostra	Aut.	% Deterioração
1	122	31,7%	25	267	66,7%
2	122	13,6%	26	270	32,5%
3	203	49,9%	27	270	54,2%
4	203	18,8%	28	270	89,1%
5	214	52,1%	29	282	54,6%
6	214	150,6%	30	282	51,7%
7	214	35,6%	31	283	69,0%
8	214	17,6%	32	283	70,7%
9	219	13,4%	33	289	73,1%
10	246	79,1%	34	289	85,3%
11	246	64,0%	35	290	49,3%
12	247	83,6%	36	294	55,8%
13	248	73,6%	37	294	54,3%
14	249	46,5%	38	297	62,3%
15	251	54,1%	39	209	72,5%
16	252	69,2%	40	209	73,3%
17	254	162,1%	41	301	31,0%
18	259	128,0%	42	301	86,8%
19	260	88,3%	43	301	31,7%
20	265	118,3%	44	304	66,4%
21	266	48,3%	45	304	51,6%
22	266	45,6%	46	304	54,8%
23	266	63,7%	47	304	35,7%
24	267	55,2%	<u>Média</u>		62,5%

Depois de observar a Tabela 8, pode-se tirar a conclusão que 4 amostras de óleo ultrapassaram o limite calculado, devido a isso, pode-se afirmar que esse óleo está numa condição deplorável, razão por a qual pode ter prejudicado gravemente o desempenho do motor enquanto esteve presente no mesmo.

Embora só se tenham encontrado 4 amostras acima do limite calculado, é de salientar que cerca de 41,8% das amostras indicam que o estado do óleo em questão já ultrapassou os 60% de degradação, muito devido à poluição do mesmo.

Retira-se também que a empresa A, apresenta uma grande discrepância nos resultados das suas amostras, tal é confirmado através do seu desvio padrão de 0,312, medida essa que indica que os valores observados tendem a estar distantes da média.

Esta discrepância nos resultados, indica uma falta de manutenção de condição regular ao óleo dos seus autocarros, o que irá a longo prejudicar economicamente a empresa.

A empresa é afetada a nível económico principalmente por dois aspetos, o primeiro é o desgaste sofrido no motor quando são encontrados óleos fora do limite o que traz reparações extras e a diminuição da vida útil das peças constituintes do mesmo, o segundo aspeto é a troca de óleo precoce o que acarreta uma despesa desnecessária dado que em muitos casos o óleo encontra-se com menos de 15% de degradação.

3.5.2 Empresa B

No estudo da empresa B, foi analisada uma base de dados fornecida pela mesma. Essa base de dados oferece como elementos de estudo oitenta e oito amostras dos seus autocarros, em que cada autocarro oferece quatro amostras, o que permite uma melhor compreensão do comportamento dos mesmos.

A ACP atribui uma classificação satisfatória à base de dados da empresa B, pois o seu KMO possui o valor de 0,636, numa escala de 0 a 1.

A tabela 9, mostra por ordem decrescente as 10 variáveis identificadas com os maiores pesos na primeira componente principal.

Tabela 9 - As 10 variáveis com os maiores pesos na base de dados da Empresa B

Ordem de Contribuição	Variável	Peso
1	Teor em Fe	0,889
2	Fuligem	0,835
3	Teor em Cr	0,781
4	Viscosidade a 100 °C	0,689
5	Teor em Sn	0,682
6	Teor em Cu	0,611
7	Teor em Pb	0,571
8	Sulfatação	0,507
9	Nitração	0,496
10	Oxidação	0,488

Analisando as várias variáveis expostas como as mais importantes na base de dados da empresa B, pode-se extrair que estão presentes 5 variáveis de estado do óleo e 5 variáveis de metais de desgaste e contaminação.

Salienta-se que na página 9 estão indicadas as causas da maioria poluentes metálicos.

De seguida, a Tabela 10 expõe a degradação percentual das amostras de óleo da empresa B.

Tabela 10 - Estado de degradação dos óleos da Empresa B

Amostra	Aut.	Deterioração	Amostra	Aut.	Deterioração	Amostra	Aut.	Deterioração
1	2175	31,1%	31	1737	29,1%	61	2127	64,6%
2	2175	30,4%	32	1737	28,4%	62	2127	56,7%
3	2175	38,7%	33	2148	84,2%	63	2127	37,4%
4	2175	30,0%	34	2148	46,1%	64	2127	38,8%
5	1730	31,9%	35	2148	41,0%	65	2119	81,9%
6	1730	40,5%	36	2148	48,7%	66	2119	40,0%
7	1730	40,1%	37	2131	64,1%	67	2119	37,1%
8	1730	33,0%	38	2131	49,1%	68	2119	35,3%
9	1764	37,3%	39	2131	40,8%	69	1708	74,8%
10	1764	29,3%	40	2131	51,9%	70	1708	31,2%
11	1764	36,4%	41	1814	42,8%	71	1708	46,2%
12	1764	34,2%	42	1814	27,7%	72	1708	32,2%
13	1778	32,9%	43	1814	24,5%	73	1727	35,5%
14	1778	37,7%	44	1814	25,0%	74	1727	33,9%
15	1778	51,0%	45	2169	52,8%	75	1727	26,8%
16	1778	36,3%	46	2169	37,2%	76	1727	31,0%
17	1739	31,6%	47	2169	42,6%	77	1743	37,4%
18	1739	32,5%	48	2169	47,2%	78	1743	33,3%

19	1739	32,4%	49	2128	40,3%	79	1743	34,7%
20	1739	30,6%	50	2128	42,6%	80	1743	31,0%
21	2159	39,8%	51	2128	31,8%	81	1734	41,3%
22	2159	27,1%	52	2128	39,6%	82	1734	31,4%
23	2159	40,0%	53	2150	32,7%	83	1734	30,7%
24	2159	32,3%	54	2150	61,4%	84	1734	35,9%
25	2136	44,2%	55	2150	35,8%	85	2160	81,1%
26	2136	47,1%	56	2150	37,2%	86	2160	58,7%
27	2136	38,4%	57	2152	68,1%	87	2160	46,5%
28	2136	42,0%	58	2152	40,4%	88	2160	48,3%
29	1737	33,5%	59	2152	49,1%	Média		40,6%
30	1737	32,0%	60	2152	37,5%			

Observando a Tabela 10, pode-se concluir que nenhuma amostra ultrapassa o limite calculado segundo as normas do fabricante, o que é extremamente benéfico para a saúde dos motores dos autocarros da empresa, esta conclusão é extremamente reveladora da boa política de manutenção da empresa B.

De fazer referência também a homogeneidade do estado das amostras recolhidas, pois na grande maioria das amostras encontra-se perto da média populacional, tal afirmação é suportada pelo desvio padrão que tem o valor de 0,126.

De acordo com a Tabela 11 exposta abaixo, pretende-se exibir a média de deterioração do óleo por autocarro, para isso calculou-se a média das 4 amostras de cada autocarro. Os dados da tabela 11, encontram-se expostos na forma de um histograma na Figura 42.

Tabela 11 - Média de degradação dos óleos da Empresa B por Autocarros

Autocarro	Média de Deterioração	Autocarro	Média de Deterioração
2175	32,55%	2169	44,95%
1730	36,38%	2128	38,58%
1764	34,30%	2150	41,78%
1778	39,48%	2152	48,78%
1739	31,78%	2127	49,38%
2159	34,80%	2119	48,58%
2136	42,93%	1708	46,10%
1737	30,75%	1727	31,80%
2148	55,00%	1743	34,10%
2131	51,48%	1734	34,83%
1814	30,00%	2160	58,65%

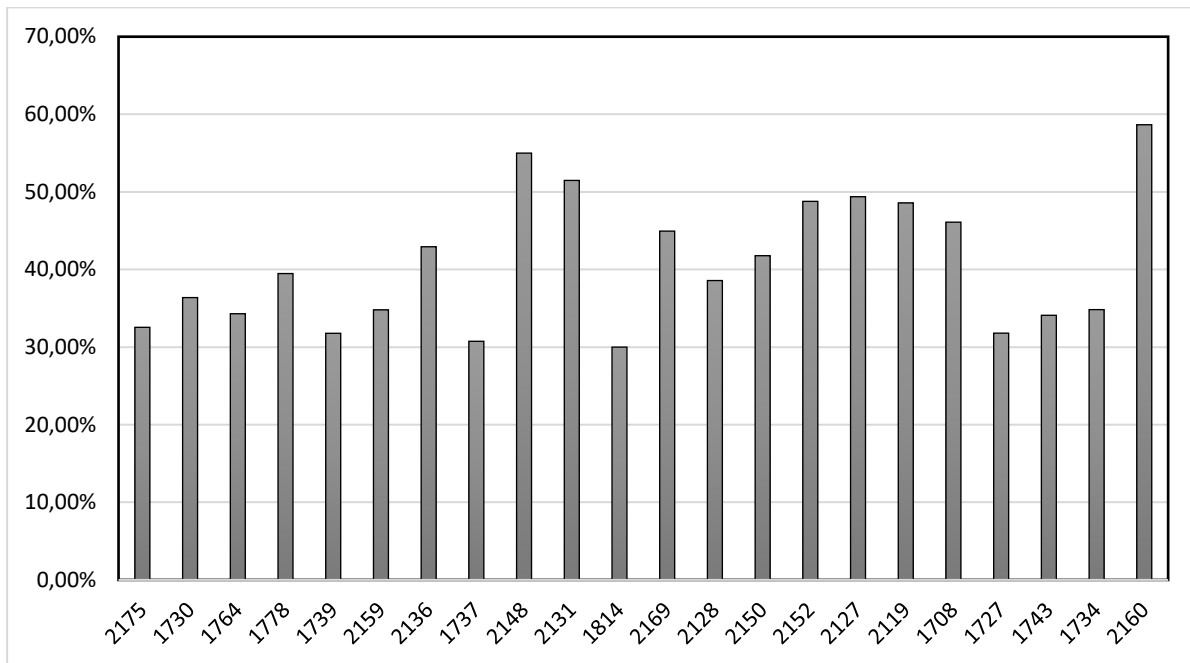


Figura 42 - Média de degradação dos óleos da Empresa B por Autocarros

Analisando a Tabela 11 e o seu histograma contido na Figura 42, facilmente se tira a ilação que o autocarro que possui a menor média é o autocarro 1840, pelo contrário o autocarro que possui a maior média de deterioração nas suas amostras de óleo, é o autocarro 2160 com 58,65% de deterioração, o que continua a ser um valor bastante aceitável.

Com estes dados da tabela pode-se também deduzir, que os motores dos autocarros da empresa B apresentam baixo nível de desgaste, relembrando que os metais de desgaste e contaminação são dos parâmetros que causam na deterioração do óleo.

Salienta-se o facto de a Empresa A não possuir uma tabela semelhante à Tabela 11, devendo-se isso ao facto da base de dados da Empresa A não possuir homogeneidade no número análises de óleos por autocarro, existindo mesmo diversos autocarros com apenas uma análise de óleo.

Abordando agora as correlações entre variáveis do óleo chegou-se a conclusão que, a maior correlação existente é entre a viscosidade e a fuligem com um valor de $r=0.87$, tendo desta forma uma correlação bastante forte.

Outras correlações vigorosas a destacar são a da fuligem com teor em ferro, com um valor de $r=0.76$, e da nitração com a sulfatação com $r=0.68$.

Uma correlação que também se deve tomada em conta, é a correlação da viscosidade com o teor de Fe com $r=0.60$. Assim deste modo, assume-se que quando a viscosidade não se encontra dentro dos intervalos de referência, o teor de Fe aumenta devido a um maior atrito nas partes móveis do motor.

Os outros parâmetros de contaminação embora tenham uma correlação mais baixa com a viscosidade, tendem a comportar-se de maneira idêntica ao teor de ferro.

A matriz de correlações completa, encontra-se em anexos devidamente identificada.

3.6 Comparação entre Empresas

Para comparação de empresas, uniram-se 47 análises de óleo da empresa B e 47 análises da empresa A, formando-se desta feita uma única base de dados.

A Tabela 12, mostra por ordem decrescente as 10 variáveis identificadas com os maiores pesos na primeira componente principal.

Tabela 12 - As 10 variáveis com os maiores pesos na base de dados AB

	Variável	Peso
1	Teor em Si	0,886
2	Teor em Sn	0,772
3	Teor em Fe	0,735
4	Teor em Cr	0,722
5	Teor em Al	0,706
6	Sulfatação	0,616
7	Oxidação	0,611
8	Teor em Mo	0,604
9	PQ Index	0,479
10	Teor em Ni	0,384

Após analisar a Tabela 12, denota-se que contaminantes do óleo assumem uma grande relevância quando as bases de dados se unem numa só, isto comprova-se com a colocação de 8 parâmetros contaminantes nos 10 fatores mais importantes.

Devido ao facto de o conjunto de amostras ser diminuto, decidiu-se utilizar um método estatístico chamado *Bootstrap* tendo este sido explicado no capítulo 5.

A execução deste método procedeu-se da seguinte maneira, escolheu-se um conjunto de 47 amostras de óleo da Empresa A e 47 amostras de óleo da Empresa B e de seguida calculou-se o quociente entre a Empresa A e a Empresa B para cada amostra, dando origem a uma nova amostra de 47 quocientes.

O que o bootstrapp fez foi gerar 10 milhões de amostras novas com reposição, sendo que através dessas amostras, foi calculado o intervalo de confiança para a média de deterioração do óleo.

Refira-se que o *Rstudio* permite fazer todo este processo de bootstrapp, mostrando apenas no final o desvio padrão médio, a média e o intervalo de confiança de todo o processo.

Se os intervalos de confiança de 95% de confiança acima de 1, pode-se concluir que de os óleos da Empresa A em média estão mais degradados.

O intervalo de confiança de 95% calculado fixou-se entre [1.747922, 1.748121] e a média assumiu um valor de 1.748021 o que evidência e reforça a ideia de que a Empresa A possui em óleos mais degradados do que a Empresa B.

4 CONCLUSÕES

Este documento centra-se em ferramentas matemáticas de suporte a uma política de manutenção de motores Diesel, baseada na monitorização de condição através da análise de óleos lubrificantes, que podem maximizar a vida útil destes reduzindo os custos de manutenção, bem como diminuir os custos adicionais ligados aos ativos, aumentando deste modo a fiabilidade do ativo, assim como o seu ciclo de vida.

Este estudo mostra como é que a monitorização da condição do óleo pode contribuir para a prevenção de falhas ou avarias, possibilitando uma intervenção precoce antes que as avarias ou as falhas aumentem dramaticamente.

A monitorização periódica dos óleos oferece enormes vantagens para as empresas de transportes públicos estudada nesta dissertação, dado que esta política de manutenção tende a minorar o tempo de indisponibilidade, aumentando, deste modo a rentabilidade dos autocarros e, conseqüentemente, o serviço prestado aos clientes.

A monitorização da condição do óleo dos motores Diesel é muito importante, pois pode aumentar a vida útil dos motores, evitar poluição desnecessária, evitar acidentes e ampliando desta forma a segurança dos utilizadores.

Usando a Análise de Componentes Principais (ACP) também foi possível determinar qual a empresa que segue a melhor política de substituição de óleos.

O modelo matemático desenvolvido tem o potencial de apoiar as empresas, de forma generalizada, uma vez que fornece informação de fácil interpretação, e que ajuda as mesmas na tomada de decisão sobre a altura mais adequada para substituição do óleo dos seus autocarros.

Este estudo baseado numa análise multivariada, realizado em duas empresas de transportes públicos, pode e deve ser alargado a outros tipos de empresas e de ativos, podendo até abordar outras variáveis, tais como a temperatura, vibrações ou parâmetros elétricos.

No âmbito desta dissertação, constatou-se ainda que as maiores dificuldades encontradas foram a falta de dados para algumas análises de óleos bem como as bases de dados serem diminutas, o que reduz a fiabilidade dos resultados.

4.1 Desenvolvimentos Futuros

Saber o estado de óleo periodicamente sem ter de recorrer a recolhas invasivas oferece a possibilidade de ambas as empresas ajustarem as suas políticas de manutenção nos seus autocarros. Deste modo as empresas podem maximizar o tempo de vida útil do óleo no autocarro, todavia é importante evitar que os óleos sejam usados para além do limite de degradação, o que melhorará o desempenho do motor, poupando, deste modo, o mesmo a desgastes agressivos.

Para que essa monitorização seja possível nos autocarros é necessário o desenvolvimento de *software* com uma *interface* apelativa com o intuito de facilitar a avaliação de resultados, tornando esse *software* numa ferramenta de grande valor nas tomadas de decisão estratégicas no que à manutenção diz respeito.

Generalizar esta metodologia e modelo para outras variáveis dos motores Diesel, como a temperatura e as vibrações poderá ser um salto significativo na área da manutenção de condição, uma vez que o acompanhamento destas variáveis oferece um conjunto de informação que pode indicar com segurança o estado de saúde do motor.

Para o futuro propõe-se a instalação em todos os autocarros de sensores que leiam todas as variáveis presentes no óleo; essa implementação irá oferecer às empresas uma monitorização sistemática, *on-line*, do estado do óleo.

Por fim, salienta-se também a possibilidade de estudo sobre os parâmetros elétricos dos autocarros, algo muito importante em todos os veículos, mas com lacunas ainda por preencher.

4.2 Publicações

Rodrigues, J.A. Farinha, J. T., Costa, I., Mendes, M., & Margalho, L. (2019). Analysis of oil's condition - A comparative study using Artificial Neural Networks and Principal Component Analysis. **Submetido para publicação em maio de 2019.**

BIBLIOGRAFIA

- Amaral, F. D. (2016). *Gestão da Manutenção na Indústria*. Lisboa: Lidel.
- Assis, R. (2014). *Apoio à Decisão em Manutenção na Gestão de Ativos Físicos - 2ª Edição*. Portugal: Lidel.
- Assis, R. (Lisboa). *Manutenção Centrada na Fiabilidade*. 1997: Lidel.
- Bravo-Imaz, I., Garcia-Arribas, A., Gorritxategi, E., Arnaiz, A., & Barandiaran, J. (2013). Magnetoelastic Viscosity Sensor for On-Line Status Assessment of Lubricant Oils. *IEEE Transactions on Magnetics*, 113 - 116.
- Cabral, J. (2006). *Organização e Gestão da Manutenção 6ª Edição*. Lisboa : Lidel.
- Chatterjee, S. (1984). Variance estimation in factor analysis: An application of the bootstrap. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*.
- Coelho, J. P., Cinha, L. M., & Martins, I. L. (2008). *Inferência Estatística com Utilização do SPSS e G*power 1ª Edição*. Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- Farinha, J. M. (2011). *A Terologia e as Novas Ferramentas de Gestão*. Monitor.
- Farinha, J. T. (2018). *Asset Maintenance Engineering Methodologies*. TAYLOR & FRANCIS LTD.
- Fernandes, E. M. (1999). *Estatística Aplicada*. Braga.
- Ferreira, L. A. (1998). *Uma Introdução à Manutenção*. Porto: Publindustria.
- Figueiredo, F., Figueiredo, A., Ramos, A., & Teles, P. (2009). *Estatística Descritiva Probabilidades Problemas resolvidos e propostos com aplicações em R 2ª Edição*. Lisboa: Escolar Editora.
- Hongyu, K., Sandaniel, V. L., & Junior, G. J. (2015). Principal Component Analysis: theory, interpretations and applications. *Engineering and Science* .
- Hotteling, H. (1936). Simplified calculation of principal components. *Psychometrika, Williamsburg*, v.1, p.27-35, 1936.
- Li, W. &. (1994). A multivariate statistical analysis of fuel-related polycyclic aromatic hydrocarbon emissions from heavy-duty diesel vehicles. *Environmental Science and Technology*.

- Manutenção, O. e. (s.d.). *Organização e Gestão da Manutenção dos conceitos à prática - 6ª Edição*. Lidel.
- Marôco, J. (2011). *Análise Estatística com o SPSS Statistic - 5ª Edição*. Pero Pinheiro: ReportNumber.
- Martinez, L. F., & Ferreira, A. I. (2008). *Análise de Dados com SPSS Primeiros Passos - 2ª Edição*. Lisboa: Escolar Editora.
- Murteira, B., & Antunes, M. (2012). *Probabilidades e Estatística Volume I*. Lisboa: Escolar Editora.
- Murteira, B., & Antunes, M. (2012). *Probabilidades e Estatística Volume II*. Lisboa: Escolar Editora.
- Nicholas, J. R. (2016). *Asset Condition Monitoring Management*.
- Nikolakopoulos, P. G., Mavroudis, S., & Zavos, A. (2018). Lubrication Performance of Engine Commercial Oils with Different Performance Levels: The Effect of Engine Synthetic Oil Aging on Piston Ring Tribology under Real Engine Conditions. *MDPI*.
- Pereira, M., & Piairo, H. (2012). *Introdução à Estatística em R e SPSS*. Chiado Editora .
- Picheny, V., Kim, N. H., & Haftka, R. T. (2010). Application of bootstrap method in conservative estimation of reliability with limited samples. *Structural and Multidisciplinary Optimization*, 205–217.
- Pilati, R., & Porto, J. B. (03 de fevereiro de 2018). *Apostila para tratamento de dados via SPSS*. Obtido de https://social.stoa.usp.br/articles/0016/4637/apostila_SPSS_Porto_.pdf
- Pinto, C. V. (2002). *Organização e Gestão da Manutenção 2ª Edição*. Lisboa: Monitor - Projetos e Edições Lda.
- Pinto, R. R. (2012). *Introdução à Análise de Dados Com Recurso ao SPSS 2ª Edição*. Lisboa: Edições Sílabo, Lda. Obtido em 12 de Setembro de 2018
- Pires, A. R. (2018). *Estatística para a Qualidade*. Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- Ramachandran, K. M., & Tsokos, C. P. (2015). *Mathematical Statistics with Applications in R*. ELSEVIER.
-

- Raposo, H. (2011). *Diagnóstico do estado da manutenção e acompanhamento de condição dos óleos dos autocarros de transporte urbano dos SMTUC*. Coimbra: Tese de Mestrado.
- Raposo, H., Farinha, J. T., Fonseca, I., & Ferreira, A. (2019). CMMS – An integrated view from maintenance management to on-line condition. *Maintenance Performance Measurement and Management*, (pp. 137-141). Coimbra.
- Raposo, H., Farinha, J. T., Fonseca, I., & Ferreira, A. (2019). *Condition Monitoring with Prediction Based on Diesel Engine Oil Analysis: A Case Study for Urban Buses*. Coimbra : Actuators .
- Raposo, H., Farinha, J. T., Oliveira, R., & Luís Ferreira. (2014). Time replacement optimization models for urban transportation buses with. *Maintenance Performance Measurement and Management*, (pp. 41- 48). Coimbra.
- Reis, E. (1997). *Estatística Multivariada Aplicada*. Lisboa: Edições Sílabo, Lda.
- Rencher, A. (2002). *Methods of Multivariate Analysis Second Edition*. Brigham Young University: Wiley-Interscience.
- Rodrigues, J., Farinha, J. T., Costa, I., Mendes, M., & Margalho, L. (2019). Modelling Diesel Engine Oil Condition Using Artificial Neural Networks. *eMaint19*. Estocolmo.
- Schwab, K. (2018). *A Quarta Revolução Industrial* (1ª ed.). Edipro.
- Seabra, J., & Graça, B. (1996). *Análise de óleos e massas lubrificantes em serviço*. Figueira da Foz.
- Serviço de Transportes Colectivos do Porto*. (12 de abril de 2019). Obtido de STCP: <https://www.stcp.pt/pt/institucional/stcp/origem/>
- Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra*. (12 de abril de 2019). Obtido de <http://www.smtuc.pt/>
- Simões, A. S. (2011). *Manutenção Condicionada às Emissões Poluentes em Autocarros Urbanos, Utilizando Modelos de Previsão de Degradação Baseados nas*

Tecnologias dos Veículos e nas Condições de Exploração. Instituto Superior Técnico: Tese de Doutoramento.

Vidal, P. M. (2005). *Estatística Prática para as Ciências da Saúde*. Lidel.

Xiang Zhang, E. G. (2008). Asset-Management of Transformers Based on Condition Monitoring and Standard Diagnosis. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 26-40.

ANEXOS

Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte I)

Figura 43 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte I)

	Anticogelante (%)	Combustível (%)	Teor de água (%)	Fuligem (%)	Nitração (ABS/cm)
Anticogelante (%)	1.00	-0.05	-0.01	-0.08	-0.02
Combustível (%)	-0.05	1.00	-0.38	-0.01	0.26
Teor de água (%)	-0.01	-0.38	1.00	-0.07	-0.10
Fuligem (%)	-0.08	-0.01	-0.07	1.00	-0.01
Nitração (ABS/cm)	-0.02	0.26	-0.10	-0.01	1.00
Oxidação (ABS/cm)	-0.09	-0.08	0.00	0.53	-0.27
sulfatação (ABS/cm)	-0.02	-0.07	-0.02	0.34	-0.59
TBN (mgr KOH/gr)	-0.05	0.14	-0.25	-0.02	-0.32
Viscosidade a 100 °C (cst)	-0.23	0.14	-0.01	0.19	0.15
Teor em Al (ppm)	-0.21	0.18	-0.05	0.25	0.09
Teor em Cr (ppm)	-0.09	0.10	-0.18	0.02	-0.02
Teor em Cu (ppm)	0.18	0.18	-0.01	0.09	0.44
Teor em Fe (ppm)	-0.06	0.25	-0.12	0.38	-0.08
Teor em Mo (ppm)	-0.05	-0.02	-0.07	0.22	-0.26
Teor em Na (ppm)	0.00	-0.13	0.17	0.03	0.55
Teor em Ni (ppm)	-0.07	-0.09	0.12	0.05	0.00
Teor em Pb (ppm)	-0.08	-0.17	0.18	0.06	0.40
Teor em Si (ppm)	-0.08	0.07	-0.10	0.32	0.00
Teor em Sn (ppm)	-0.04	-0.02	-0.09	0.03	-0.03
Teor em V (ppm)	-0.08	-0.10	0.12	0.05	0.09
PQ Index (Adim)	0.05	0.01	-0.12	0.05	0.00
	Oxidação (ABS/cm)	sulfatação (ABS/cm)	TBN (mgr KOH/gr)	viscosidade a 100 °C (cst)	
Anticogelante (%)	-0.09	-0.02	-0.05	-0.23	
combustível (%)	-0.08	-0.07	0.14	0.14	
Teor de água (%)	0.00	-0.02	-0.25	-0.01	
Fuligem (%)	0.53	0.34	-0.02	0.19	
Nitração (ABS/cm)	-0.27	-0.59	-0.32	0.15	
Oxidação (ABS/cm)	1.00	0.81	0.01	-0.21	
Sulfatação (ABS/cm)	0.81	1.00	0.15	-0.14	
TBN (mgr KOH/gr)	0.01	0.15	1.00	-0.01	
Viscosidade a 100 °C (cst)	-0.21	-0.14	-0.01	1.00	
Teor em Al (ppm)	0.17	0.10	0.03	0.21	
Teor em Cr (ppm)	0.03	0.06	-0.08	0.04	
Teor em Cu (ppm)	-0.01	-0.15	0.08	0.03	
Teor em Fe (ppm)	0.35	0.25	0.20	0.20	
Teor em Mo (ppm)	0.46	0.36	0.48	-0.04	
Teor em Na (ppm)	-0.15	-0.29	0.00	-0.05	
Teor em Ni (ppm)	0.12	0.12	0.18	-0.08	
Teor em Pb (ppm)	0.07	-0.16	-0.11	-0.16	
Teor em Si (ppm)	0.19	0.15	-0.04	0.08	
Teor em Sn (ppm)	0.14	0.19	-0.16	-0.04	
Teor em V (ppm)	0.13	0.08	0.00	-0.07	
PQ Index (Adim)	-0.08	-0.28	-0.01	-0.05	

Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte II)

Figura 44 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa A (Parte II)

	Teor em Al (ppm)	Teor em Cr (ppm)	Teor em Cu (ppm)	Teor em Fe (ppm)	Teor em Mo (ppm)
Anticogelante (%)	-0.21	-0.09	0.18	-0.06	-0.05
Combustível (%)	0.18	0.10	0.18	0.25	-0.02
Teor de água (%)	-0.05	-0.18	-0.01	-0.12	-0.07
Fuligem (%)	0.25	0.02	0.09	0.38	0.22
Nitração (ABS/cm)	0.09	-0.02	0.44	-0.08	-0.26
Oxidação (ABS/cm)	0.17	0.03	-0.01	0.35	0.46
Sulfatação (ABS/cm)	0.10	0.06	-0.15	0.25	0.36
TBN (mgr KOH/gr)	0.03	-0.08	0.08	0.20	0.48
Viscosidade a 100 °C (cst)	0.21	0.04	0.03	0.20	-0.04
Teor em Al (ppm)	1.00	0.58	0.14	0.73	0.11
Teor em Cr (ppm)	0.58	1.00	0.09	0.49	-0.16
Teor em Cu (ppm)	0.14	0.09	1.00	0.20	0.01
Teor em Fe (ppm)	0.73	0.49	0.20	1.00	0.26
Teor em Mo (ppm)	0.11	-0.16	0.01	0.26	1.00
Teor em Na (ppm)	0.11	-0.05	0.68	0.01	-0.08
Teor em Ni (ppm)	0.16	0.29	0.10	0.34	0.06
Teor em Pb (ppm)	0.29	0.01	0.12	0.01	-0.08
Teor em Si (ppm)	0.73	0.77	0.05	0.72	0.10
Teor em Sn (ppm)	0.40	0.73	0.25	0.36	-0.17
Teor em V (ppm)	0.15	0.13	0.49	0.23	-0.04
PQ Index (Adim)	0.40	0.51	0.11	0.52	0.03
	Teor em Na (ppm)	Teor em Ni (ppm)	Teor em Pb (ppm)	Teor em Si (ppm)	Teor em Sn (ppm)
Anticogelante (%)	0.00	-0.07	-0.08	-0.08	-0.04
Combustível (%)	-0.13	-0.09	-0.17	0.07	-0.02
Teor de água (%)	0.17	0.12	0.18	-0.10	-0.09
Fuligem (%)	0.03	0.05	0.06	0.32	0.03
Nitração (ABS/cm)	0.55	0.00	0.40	0.00	-0.03
Oxidação (ABS/cm)	-0.15	0.12	0.07	0.19	0.14
Sulfatação (ABS/cm)	-0.29	0.12	-0.16	0.15	0.19
TBN (mgr KOH/gr)	0.00	0.18	-0.11	-0.04	-0.16
Viscosidade a 100 °C (cst)	-0.05	-0.08	-0.16	0.08	-0.04
Teor em Al (ppm)	0.11	0.16	0.29	0.73	0.40
Teor em Cr (ppm)	-0.05	0.29	0.01	0.77	0.73
Teor em Cu (ppm)	0.68	0.10	0.12	0.05	0.25
Teor em Fe (ppm)	0.01	0.34	0.01	0.72	0.36
Teor em Mo (ppm)	-0.08	0.06	-0.08	0.10	-0.17
Teor em Na (ppm)	1.00	0.19	0.44	-0.01	0.07
Teor em Ni (ppm)	0.19	1.00	0.14	0.37	0.21
Teor em Pb (ppm)	0.44	0.14	1.00	0.08	0.01
Teor em Si (ppm)	-0.01	0.37	0.08	1.00	0.60
Teor em Sn (ppm)	0.07	0.21	0.01	0.60	1.00
Teor em V (ppm)	0.28	0.32	-0.07	0.18	0.45
PQ Index (Adim)	0.10	0.12	0.12	0.52	0.41
	Teor em V (ppm)	PQ Index (Adim)			
Anticogelante (%)	-0.08	0.05			
Combustível (%)	-0.10	0.01			
Teor de água (%)	0.12	-0.12			
Fuligem (%)	0.05	0.05			
Nitração (ABS/cm)	0.09	0.00			
Oxidação (ABS/cm)	0.13	-0.08			
Sulfatação (ABS/cm)	0.08	-0.28			
TBN (mgr KOH/gr)	0.00	-0.01			
Viscosidade a 100 °C (cst)	-0.07	-0.05			
Teor em Al (ppm)	0.15	0.40			
Teor em Cr (ppm)	0.13	0.51			
Teor em Cu (ppm)	0.49	0.11			
Teor em Fe (ppm)	0.23	0.52			
Teor em Mo (ppm)	-0.04	0.03			
Teor em Na (ppm)	0.28	0.10			
Teor em Ni (ppm)	0.32	0.12			
Teor em Pb (ppm)	-0.07	0.12			
Teor em Si (ppm)	0.18	0.52			
Teor em Sn (ppm)	0.45	0.41			
Teor em V (ppm)	1.00	0.06			
PQ Index (Adim)	0.06	1.00			

Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte I)

Figura 45 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte I)

	Anticogelante (%)	Combustível (%)	Teor de água (%)	Fuligem (%)	Nitração (ABS/cm)
Anticogelante (%)	1.00	-0.19	-0.03	0.04	-0.07
Combustível (%)	-0.19	1.00	-0.15	-0.09	-0.04
Teor de água (%)	-0.03	-0.15	1.00	0.12	0.15
Fuligem (%)	0.04	-0.09	0.12	1.00	0.37
Nitração (ABS/cm)	-0.07	-0.04	0.15	0.37	1.00
oxidação (ABS/cm)	0.21	-0.08	-0.02	0.24	0.42
Sulfatação (ABS/cm)	-0.09	-0.02	0.03	0.57	0.68
TBN (mgr KOH/gr)	-0.04	0.12	-0.08	-0.41	-0.09
Viscosidade a 100 °C (cst)	0.12	-0.10	0.13	0.87	0.26
Teor em Al (ppm)	0.30	-0.11	0.08	0.26	0.05
Teor em Cr (ppm)	0.15	-0.06	0.11	0.62	0.31
Teor em Cu (ppm)	0.14	-0.01	0.03	0.36	0.12
Teor em Fe (ppm)	0.10	-0.13	0.12	0.76	0.37
Teor em Mo (ppm)	0.05	0.08	-0.11	-0.03	-0.14
Teor em Na (ppm)	0.06	-0.04	0.06	0.09	0.02
Teor em Ni (ppm)	0.14	-0.01	-0.06	-0.16	-0.08
Teor em Pb (ppm)	-0.09	-0.09	0.03	0.39	0.26
Teor em Si (ppm)	0.25	-0.15	0.05	0.11	0.17
Teor em Sn (ppm)	-0.07	0.08	-0.05	0.48	0.18
Teor em V (ppm)	-0.07	0.02	0.16	-0.08	0.03
PQ Index (Adim)	0.16	0.05	-0.14	0.16	0.04
	oxidação (ABS/cm)	sulfatação (ABS/cm)	TBN (mgr KOH/gr)	viscosidade a 100 °C (cst)	
Anticogelante (%)	0.21	-0.09	-0.04	0.12	
Combustível (%)	-0.08	-0.02	0.12	-0.10	
Teor de água (%)	-0.02	0.03	-0.08	0.13	
Fuligem (%)	0.24	0.57	-0.41	0.87	
Nitração (ABS/cm)	0.42	0.68	-0.09	0.26	
oxidação (ABS/cm)	1.00	0.22	-0.19	0.14	
Sulfatação (ABS/cm)	0.22	1.00	-0.21	0.47	
TBN (mgr KOH/gr)	-0.19	-0.21	1.00	-0.33	
Viscosidade a 100 °C (cst)	0.14	0.47	-0.33	1.00	
Teor em Al (ppm)	0.10	0.01	-0.20	0.29	
Teor em Cr (ppm)	0.34	0.35	-0.14	0.57	
Teor em Cu (ppm)	0.22	-0.02	-0.02	0.20	
Teor em Fe (ppm)	0.39	0.44	-0.36	0.60	
Teor em Mo (ppm)	-0.01	-0.12	0.08	-0.07	
Teor em Na (ppm)	0.08	0.03	0.03	0.04	
Teor em Ni (ppm)	0.17	-0.15	-0.09	-0.11	
Teor em Pb (ppm)	0.36	0.18	-0.22	0.05	
Teor em Si (ppm)	0.31	0.01	-0.20	0.11	
Teor em Sn (ppm)	0.27	0.13	-0.12	0.32	
Teor em V (ppm)	0.04	-0.11	-0.01	-0.13	
PQ Index (Adim)	0.02	-0.02	0.00	0.18	

Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte II)

Figura 46 - Matriz de correlações de parâmetros da Empresa B (Parte II)

	Teor em Al (ppm)	Teor em Cr (ppm)	Teor em Cu (ppm)	Teor em Fe (ppm)	Teor em Mo (ppm)
Anticogelante (%)	0.30	0.15	0.14	0.10	0.05
Combustível (%)	-0.11	-0.06	-0.01	-0.13	0.08
Teor de água (%)	0.08	0.11	0.03	0.12	-0.11
Fuligem (%)	0.26	0.62	0.36	0.76	-0.03
Nitração (ABS/cm)	0.05	0.31	0.12	0.37	-0.14
Oxidação (ABS/cm)	0.10	0.34	0.22	0.39	-0.01
Sulfatação (ABS/cm)	0.01	0.35	-0.02	0.44	-0.12
TBN (mgr KOH/gr)	-0.20	-0.14	-0.02	-0.36	0.08
Viscosidade a 100 °C (cst)	0.29	0.57	0.20	0.60	-0.07
Teor em Al (ppm)	1.00	0.36	0.39	0.32	0.06
Teor em Cr (ppm)	0.36	1.00	0.42	0.70	0.01
Teor em Cu (ppm)	0.39	0.42	1.00	0.48	0.44
Teor em Fe (ppm)	0.32	0.70	0.48	1.00	-0.04
Teor em Mo (ppm)	0.06	0.01	0.44	-0.04	1.00
Teor em Na (ppm)	0.08	-0.08	0.20	0.26	0.11
Teor em Ni (ppm)	0.26	-0.13	0.10	-0.01	0.14
Teor em Pb (ppm)	0.09	0.42	0.43	0.55	0.07
Teor em Si (ppm)	0.53	0.17	0.29	0.39	-0.27
Teor em Sn (ppm)	0.27	0.54	0.71	0.53	0.41
Teor em V (ppm)	0.04	-0.04	0.34	0.01	-0.02
PQ Index (Adim)	0.37	0.24	0.29	0.18	0.19
	Teor em Na (ppm)	Teor em Ni (ppm)	Teor em Pb (ppm)	Teor em Si (ppm)	Teor em Sn (ppm)
Anticogelante (%)	0.06	0.14	-0.09	0.25	-0.07
Combustível (%)	-0.04	-0.01	-0.09	-0.15	0.08
Teor de água (%)	0.06	-0.06	0.03	0.05	-0.05
Fuligem (%)	0.09	-0.16	0.39	0.11	0.48
Nitração (ABS/cm)	0.02	-0.08	0.26	0.17	0.18
Oxidação (ABS/cm)	0.08	0.17	0.36	0.31	0.27
Sulfatação (ABS/cm)	0.03	-0.15	0.18	0.01	0.13
TBN (mgr KOH/gr)	0.03	-0.09	-0.22	-0.20	-0.12
Viscosidade a 100 °C (cst)	0.04	-0.11	0.05	0.11	0.32
Teor em Al (ppm)	0.08	0.26	0.09	0.53	0.27
Teor em Cr (ppm)	-0.08	-0.13	0.42	0.17	0.54
Teor em Cu (ppm)	0.20	0.10	0.43	0.29	0.71
Teor em Fe (ppm)	0.26	-0.01	0.55	0.39	0.53
Teor em Mo (ppm)	0.11	0.14	0.07	-0.27	0.41
Teor em Na (ppm)	1.00	-0.09	0.05	0.24	0.05
Teor em Ni (ppm)	-0.09	1.00	0.03	0.15	0.02
Teor em Pb (ppm)	0.05	0.03	1.00	0.22	0.51
Teor em Si (ppm)	0.24	0.15	0.22	1.00	0.16
Teor em Sn (ppm)	0.05	0.02	0.51	0.16	1.00
Teor em V (ppm)	-0.06	0.24	-0.03	0.13	0.04
PQ Index (Adim)	0.14	-0.08	0.00	0.23	0.34
	Teor em V (ppm)	PQ Index (Adim)			
Anticogelante (%)	-0.07	0.16			
Combustível (%)	0.02	0.05			
Teor de água (%)	0.16	-0.14			
Fuligem (%)	-0.08	0.16			
Nitração (ABS/cm)	0.03	0.04			
Oxidação (ABS/cm)	0.04	0.02			
Sulfatação (ABS/cm)	-0.11	-0.02			
TBN (mgr KOH/gr)	-0.01	0.00			
Viscosidade a 100 °C (cst)	-0.13	0.18			
Teor em Al (ppm)	0.04	0.37			
Teor em Cr (ppm)	-0.04	0.24			
Teor em Cu (ppm)	0.34	0.29			
Teor em Fe (ppm)	0.01	0.18			
Teor em Mo (ppm)	-0.02	0.19			
Teor em Na (ppm)	-0.06	0.14			
Teor em Ni (ppm)	0.24	-0.08			
Teor em Pb (ppm)	-0.03	0.00			
Teor em Si (ppm)	0.13	0.23			
Teor em Sn (ppm)	0.04	0.34			
Teor em V (ppm)	1.00	-0.02			
PQ Index (Adim)	-0.02	1.00			

Peso dos parâmetros do óleo da Empresa A na 1º Componente Principal*Tabela 13 - Peso dos parâmetros do óleo da Empresa A na 1º Componente Principal*

Anticongelante (%)	- 0,142
Combustível (%)	0,132
Teor de água (%)	-0,140
Fuligem (%)	0,386
Nitração (ABS/cm)	-0,003
Oxidação (ABS/cm)	0,365
Sulfatação (ABS/cm)	0,266
TBN (mgr KOH/gr)	0,069
Viscosidade a 100 °C (cst)	0,089
Teor em Al (ppm)	0,795
Teor em Cr (ppm)	0,763
Teor em Cu (ppm)	0,282
Teor em Fe (ppm)	0,851
Teor em Mo (ppm)	0,166
Teor em Na (ppm)	0,118
Teor em Ni (ppm)	0,429
Teor em Pb (ppm)	0,134
Teor em Si (ppm)	0,886
Teor em Sn (ppm)	0,694
Teor em V (ppm)	0,376
PQ Index (Adim)	0,573

Peso dos parâmetros do óleo da Empresa B na 1º Componente Principal*Tabela 14 - Peso dos parâmetros do óleo da Empresa B na 1º Componente Principal*

Anticongelante (%)	0,162
Combustível (%)	- 0134
Teor de água (%)	0,127
Fuligem (%)	0,835
Nitração (ABS/cm)	0,496
Oxidação (ABS/cm)	0,488
Sulfatação (ABS/cm)	0,507
TBN (mgr KOH/gr)	-0,395
Viscosidade a 100 °C (cst)	0,689
Teor em Al (ppm)	0,482
Teor em Cr (ppm)	0,781
Teor em Cu (ppm)	0,612
Teor em Fe (ppm)	0,889
Teor em Mo (ppm)	0,072
Teor em Na (ppm)	0,166
Teor em Ni (ppm)	-0,008
Teor em Pb (ppm)	0,571
Teor em Si (ppm)	0,423
Teor em Sn (ppm)	0,682
Teor em V (ppm)	0,020
PQ Index (Adim)	0,320