



Relatório de Projeto

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

***Controlo e Gestão de Pneus Numa Frota de
Pesados***

Hugo Manuel Ferreira Costa

Leiria, março de 2017

Esta página foi intencionalmente deixada em branco



Relatório de Projeto

Mestrado em Engenharia Mecânica – Produção Industrial

Controlo e Gestão de Pneus Numa Frota de Pesados

Hugo Manuel Ferreira Costa

Relatório de Projeto de Mestrado realizada sob a orientação do Doutor Jorge Miguel Peralta Siopa, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria e coorientação do Doutor Mário António Simões Correia, Professor Adjunto da Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria.

Leiria, março de 2017

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Dedicatória

Inicialmente tinha pensado em não dedicar a ninguém, porque este trabalho deve-se ao meu esforço, mas o tempo passa deixando para trás pessoas que nos marcam.

Aproveito então para deixar umas palavras de profundo agradecimento e dedicação à minha querida avó que seria a pessoa que mais prazer e alegria iria ter ao ver-me a pôr termo a este capítulo.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Agradecimentos

Quero agradecer a todas as pessoas que me de alguma forma me acompanharam, ajudaram e incentivaram.

Aos meus orientadores Doutor Jorge Siopa, e Doutor Mário Correia pelo acompanhamento, orientação e disponibilidade.

Aos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra, que me receberam com toda a gentileza e prontamente me facultaram dados para que eu ter a possibilidade de tratar e analisar.

E claro, à pessoa que mais me acompanhou, mais paciência e compreensão teve, Ana Cláudia Costa.

A todos, um muito obrigado.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Resumo

O presente relatório refere-se à gestão de manutenção de pneumáticos aplicados a uma frota de veículos pesados de passageiros. Para este estudo foram utilizados dados facultados pelos Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC). Este estudo tem como objetivo analisar o ciclo de vida útil dos pneus da empresa.

A gestão da troca de pneus numa empresa que se dedica aos transportes é bastante importante pois é um consumível que gasta bastantes recursos sendo que a sua otimização torna-se crucial tanto logisticamente como financeiramente.

Com recurso a dados históricos fornecidos pela empresa, procedeu-se a uma análise detalhada com algumas ferramentas estatísticas, para se encontrar o ponto ótimo de troca de pneus entre outros indicadores como o tempo médio entre falhas, valor de fiabilidade em diferentes valores de probabilidade.

A metodologia aplicada na análise de fiabilidade dos pneus foi uma análise através da distribuição de *Weibull*, que possibilita a identificação de quais as posições em que o pneu está montado ou o conjunto de pneus que carecem de mais atenção.

Com este trabalho foi evidenciado que não existe diferença significativa no número de quilómetros de pneus consoante a posição em que estão montados, pois todos apresentam indicadores muito próximos, não evidenciando assim uma diferença considerável.

Palavras-chave: Manutenção, Gestão de Manutenção, Pneus, Weibull.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Abstract

This report concerns the maintenance management of tires applied to a fleet of bus vehicles. For this study, data provided by the Municipal Urban Transport Services of Coimbra (SMTUC) were used. This study aims to analyze the life cycle tires used on the company vehicles.

The management of the tire exchange in a company that is dedicated to the transport is very important because it is a consumable that spends enough resources and that its optimization becomes crucial both logistically and financially.

Based on historical data supplied by the company, a detailed analysis was carried out with some statistical tools to find the optimum point of tire change among other indicators such as the mean time between failures, reliability value at different probability values.

The methodology applied in the tire reliability analysis was an analysis through the Weibull distribution, which makes it possible to identify the positions in which the tire is mounted or the set of tires that need more attention.

With this work it was evidenced that there is no significant difference in the number of kilometers of tires according to the position in which they are mounted, since all have very close indicators, thus not showing a considerable difference.

Keywords: Maintenance, Maintenance Management, Tires, Weibull.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de figuras

Figura 1 - Constituição de um pneu	3
Figura 2 - Pneus de construção diagonal ou convencional.....	5
Figura 3 - Pneus de construção radial	5
Figura 4 - Exemplo de divergência nas rodas	7
Figura 5 - Ângulos de Camber	8
Figura 6 - Inclinação do eixo de direção	9
Figura 7 - Comportamento do Pneu para várias pressões	10
Figura 8 – Polimento	12
Figura 9 - Reparação da carcaça.....	12
Figura 10 - Aplicação de nova banda de rodagem	13
Figura 11 – Vulcanização	13
Figura 12 - Curva da banheira	20
Figura 13 - Classificação de dados	23
Figura 14 - Distribuição exponencial negativa.....	24
Figura 15 - Comportamento do parâmetro de forma.....	27
Figura 16 - Comportamento do parâmetro de escala.....	27
Figura 17 - Gráfico de <i>Weibull</i>	29
Figura 18 - Ponto ótimo de troca	30
Figura 19 - Scania K280 (EEV)	37
Figura 20 - Trolley Solaris Trollino 12	37
Figura 21 - Quantidade de pneus por quilómetros percorridos	39
Figura 22 - Gráfico de <i>Pareto</i> para quilómetros percorridos de todos os pneus.....	40
Figura 23 - Análise sumarizada de todos os pneus até 150000 quilómetros.....	41
Figura 24 - Análise Box Plot de pneus em diferentes posições	42

Figura 25 - Histograma de quilómetros percorridos em diferentes posições	44
Figura 26 - Histograma de todos os pneus novos e recauchutados	45
Figura 27 - Teste A-D pneus frente novos	46
Figura 28 - Teste A-D pneus trás singular novos	47
Figura 29 - Teste A-D pneus trás duplo novos	48
Figura 30 - Teste A-D pneus trás duplo recauchutado	49
Figura 31 - Teste A-D pneus novos	50
Figura 32 - Teste A-D pneus recauchutados	51
Figura 33 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (novos).....	54
Figura 34 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (recauchutados)	54
Figura 35 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (frente novos)	55
Figura 36 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (trás singular novos)	55
Figura 37 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (trás duplo novos).....	56
Figura 38 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (trás duplo recauchutados)	56

Lista de tabelas

Tabela 1 - Frota de troleicarros e miniautocarros SMTUC	36
Tabela 2 - Frota autocarros SMTUC	36
Tabela 3 - km percorridos.....	38
Tabela 4 - Amostra de dados fornecidos	38
Tabela 5 - Dados a analisar	43
Tabela 6 - Parâmetros de forma e de escala	52
Tabela 7 - Parâmetros de forma e escala relativamente a marcas	53
Tabela 8 - Apresentação de fiabilidades.....	57
Tabela 9 - Pneus novos só com um pneu ou em caso de falha o veículo para	59
Tabela 10 - Pneus novos com dois pneus e em caso de falha o veículo não para	60
Tabela 11 - Pneus recauchutados só com um pneu ou em caso de falha o veículo para	61
Tabela 12 - Pneus recauchutados com dois pneus e em caso de falha o veículo não para	61
Tabela 13 - Pneus montados à frente novos e em caso de falha o veículo para	63
Tabela 14 - Pneus montados atrás singular novos e em caso de falha o veículo para....	64
Tabela 15 - Pneus montados atrás duplos novos e em caso de falha o veículo para.....	65
Tabela 16 - Pneus montados atrás duplos novos e em caso de falha o veículo não para	65
Tabela 17 - Pneus montados atrás duplos recauchutados e em caso de falha o veículo para	67
Tabela 18 - Pneus montados atrás duplos recauchutados e em caso de falha o veículo não para	68

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Lista de siglas

ANSR - Agência Nacional De Segurança Rodoviária

m/km – metros por quilómetro

TPM - *Total Productive Maintenance*

MTBF - *Mean Time Between Failures*

R(t) - Probabilidade de fiabilidade do sistema

F(t) - Probabilidade de falha do sistema

C_{PS} - Custo de manutenção preventiva

C_{FS} - Custo de manutenção corretiva

β - Parâmetro de forma

η - Parâmetro de Escala

λ - Taxa de Avarias

A-D - *Anderson-Darling*

K-S - *Kolmoorov-Smirnov*

SMTUC - Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. IMPORTÂNCIA DOS PNEUMÁTICOS	3
2.1 CONSTITUIÇÃO	3
2.2 TIPO DE CONSTRUÇÃO	4
2.2.1 <i>Construção diagonal</i>	4
2.2.2 <i>Construção radial</i>	5
2.3 DESGASTE E PROFUNDIDADE	6
2.4 ALINHAMENTO	6
2.4.1 <i>Convergência (ou divergência)</i>	6
2.4.2 <i>Camber</i>	8
2.4.3 <i>Inclinação do Pino Mestre</i>	9
2.5 VÁLVULAS	10
2.6 PRESSÃO	10
2.7 RECAUCHUTAGEM	11
3. MANUTENÇÃO	15
3.1 HISTÓRICO	15
3.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	16
3.2.1 <i>Manutenção preventiva</i>	16
3.2.1 <i>Manutenção corretiva</i>	17
3.3 FIABILIDADE	17
3.3.1 <i>Taxa de falhas</i>	19
3.3.2 <i>Mean Time Between Failures</i>	19
3.3.3 <i>Curva da banheira</i>	20
3.4 MANUTENÇÃO BASEADA NA IDADE	21
3.4.1 <i>Estatística de Falha</i>	21
3.4.2 <i>Distribuição exponencial negativa</i>	23
3.4.3 <i>Distribuição de Weibull</i>	25
3.4.4 <i>Estimativa de parâmetros</i>	28
3.4.5 <i>Ponto ótimo de troca</i>	29
3.5 CONFIRMAÇÃO DE DADOS	31
3.5.1 <i>Teste de Anderson-Darling</i>	31
3.5.2 <i>P-value</i>	32
4. DADOS RECOLHIDOS	35

4.1	SMTUC.....	35
4.1.1	<i>Frota</i>	35
4.2	APLICAÇÃO DE CONCEITOS	38
4.2.1	<i>Análise global</i>	39
4.2.2	<i>Análise de dados</i>	43
4.2.3	<i>Teste de Anderson-Darling</i>	46
4.2.4	<i>Parâmetros de forma e escala</i>	52
4.2.5	<i>Curvas caracterizadas</i>	53
4.3	TROCA DE PNEUS BASEADA NA RODAGEM	58
4.3.1	<i>Todos os pneus novos</i>	59
4.3.2	<i>Todos os pneus recauchutados</i>	61
4.3.3	<i>Pneus montados no eixo frontal novos</i>	63
4.3.4	<i>Pneus montados no eixo traseiro singular</i>	64
4.3.5	<i>Pneus montados no eixo traseiro duplos novos</i>	65
4.3.6	<i>Pneu montados no eixo traseiro duplos recauchutados</i>	67
4.4	ANÁLISE DE CUSTOS DE MANUTENÇÃO.....	69
5.	CONCLUSÕES	71
6.	TRABALHOS FUTUROS	73
7.	BIBLIOGRAFIA	75
	ANEXO A	79
	ANEXO B	81

1.Introdução

A manutenção desempenha um papel fundamental para o negócio de qualquer empresa, principalmente na existência de um órgão que por avaria ou falha fica inoperacional, o que acarreta custos de não produção/funcionamento. É evidente que nos tempos que decorrem minimizar custos e aumentar eficiências é por onde passa a estratégia de cada empresa para conseguir competir no mercado. Numa empresa de logística, ao contrário do combustível, os pneus para veículos pesados, que se tornam um consumível, têm relativa importância financeira, ao qual se deve de tentar otimizar a sua contribuição e reduzir o seu custo de funcionamento. A gestão eficaz de pneus pode prolongar a sua vida útil significativamente antes da sua troca ou recauchutagem.

De acordo com a ANSR - Agência Nacional De Segurança Rodoviária, os pneus têm uma grande importância no que diz respeito ao conforto e segurança para um veículo, pois estes são o único ponto de contacto do veículo com a estrada. É certo que é nos pneus que se produzem as forças necessárias para o controlo e estabilidade de um veículo, forças estas que tanto num ponto de vista estático (peso do veículo e carga) ou dinâmico (atrito dinâmico, aceleração, travagem, tração) contribuem de forma decisiva para assegurar a aderência do veículo ao pavimento.

Nos dias que passam, os veículos pesados tem uma relativa importância no que concerne a movimentação tanto de objetos/cargas como de passageiros. Assim monitorizar o estado geral do pneu e principalmente o seu desgaste é fundamental. Peng, diz que a medição da profundidade residual do pneu de veículos pesados e comparação com os valores registados anteriormente é o método mais adequado de monitorização da dinâmica de desgaste do pneu operacional. Este método não exige equipamento especializado, pois é um método de medição direta da profundidade do piso(Peng 2003).

Um estudo feito por Kravchenko (Kravchenko, Sakno, and Lukichov 2012), diz que num pneu com uma vida útil de 41 100 quilómetros apresenta um desgaste num intervalo de 0,14 a 0,20 mm por cada 1000 quilómetros.

Pecorari (Pecorari 2007) descreve que, numa empresa transportadora de cargas, um dos ativos mais importantes é o pneu, pois normalmente é normalmente o segundo consumível de maior custo de manutenção, sendo que em primeiro lugar está o custo do

combustível. Nesse sentido a empresa Sofit (2017), especialista em sistemas para a gestão de frota, realça que os pneus são componentes relativamente caros e merecem cuidados especiais. Saber quantos pneus a frota possui, de que marcas, o tempo de utilização e a localização de cada um é fundamental para traçar um plano de redução de custos.

Pelo exposto o controlo e gestão de pneus em qualquer tipologia de frota revertesse de um carácter fundamental para garantir o sucesso da operação de transporte reduzindo o custo do mesmo.

Este documento está organizado em seis capítulos.

No capítulo 1, Introdução, faz uma breve apresentação ao tema, alguns factos a ter em consideração, apresenta alguns estudos relacionados com o tema e a descrição da estrutura do trabalho.

No capítulo 2 capítulo, faz o enquadramento teórico do pneu, de modo a conhecer melhor a sua estrutura como fenómenos que possam ter influência no decorrer do seu desempenho.

No capítulo 3 evidencia a importância da manutenção, onde apresenta conceitos e fundamentos teóricos. Contempla os métodos utilizados para a realização dos objetivos do trabalho.

No capítulo 4 mostra-se a análise global elaborada e a aplicação aos dados da metodologia apresentada anteriormente.

O Capítulo 5 apresenta as conclusões gerais do trabalho.

Por fim, o Capítulo 6 recomendações para trabalhos futuros.

2. Importância dos pneumáticos

Para assegurar a qualidade e o bom estado dos pneumáticos num veículo é de relativa importância, uma vez que estes são o único ponto de contacto do veículo com a estrada. Para isso é importante a frequente observação para estes terem a melhor prestação possível, como garantir a segurança dos ocupantes do veículo. Assim inspeções visuais frequentes e a recolocação nos parâmetros de bom funcionamento devem ser operações executadas com regularidade sistemática.

2.1 Constituição

O pneu, com formato toroidal oco, é essencialmente constituído por borracha e cheio com ar. A figura seguinte ilustra a constituição de um pneu:



Figura 1 - Constituição de um pneu (Vias Seguras 2013)

- Piso ou banda de rodagem, composto de borracha maciça, é a parte do pneu que está em contacto com o asfalto, e deve de assegurar aderência do veículo ao solo;
- Flancos ou paredes laterais, fazem a ligação entre a banda de rodagem e as telas (ou talões). Devem de ter um alto grau de flexibilidade e alta resistência a fadiga para amortecer golpes, protegendo assim os talões de agressões laterais, e suportar a pressão interna do pneu;

- O talão, mantém o pneu em constante contacto com a jante, constituídos por um filamento de aço inextensível enrolados de forma continua envolvido em borracha;
- As cintas de aço, são a camada mais complexa do pneu, por vezes feitas com *nylon* ou *kevlar*, destinam-se a dar estabilidade dinâmica à banda de rodagem aumentando assim a sua robustez e ajudam a proteger conta furos;
- O ombro, é a extremidade da banda de rodagem, fazendo assim o apoio necessário para a segurança do veículo em curvas e manobras;
- Carcaça de poliéster, é uma estrutura flexível formada por filamentos têxteis ou de aço embutidos em borracha. Sobre ela esta as cintas de aço e têm como função suportar a carga e velocidade, participar na estabilidade e no conforto (Boustani et al. 2010; Valorpneu 2016).

2.2 Tipo de construção

Existem dois tipos de pneus distintos na sua construção em que a sua principal diferença consiste na carcaça. O pneu de construção diagonal, o mais convencional e usado ao longo dos anos, possui uma carcaça constituída por lonas cruzadas e sobrepostas umas em relação às outras. Por sua vez o pneu de construção radial, é constituído por uma carcaça composta por uma ou mais lonas de fios de aço dispostos em paralelo em sentido radial (Boustani et al. 2010).

2.2.1 Construção diagonal

Formado por uma carcaça com lonas cruzadas e sobrepostas um em relação as outras, o pneu diagonal, ou convencional, faz com que numa curva o pneu perca parcialmente contacto com o solo devido á sua baixa flexibilidade, podendo ocorrer a perda de aderência entre o pneu e o solo. Geralmente as lonas são compostas por fios têxteis (Boustani et al. 2010; Michelin Agricultural 2016).

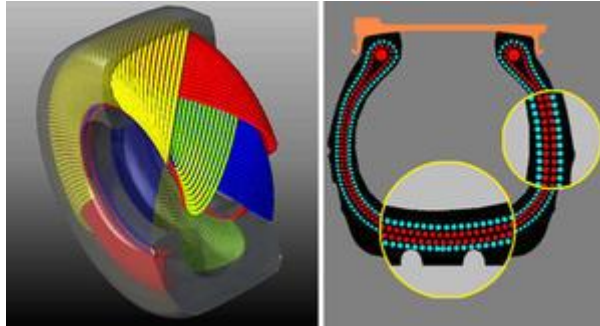


Figura 2 - Pneus de construção diagonal ou convencional (Michelin Agricultural 2016)

2.2.2 Construção radial

Um pneu radial é formado por fios de aço que estão dispostos em paralelamente uns aos outros e orientados ao centro da roda. Este tipo denuncia com mais facilidade problemas relativo uso da travagem, suspensão, pressão, montagem incorreta, alinhamento ou outro problema presente nestes sistemas ou agregados sendo que os sintomas mais comuns são a direção a tremar ou o veículo sempre a desviar para um dos lados. A sua construção faz com que numa curva, o pneu não perca contato com o solo devido a sua flexibilidade, garantindo assim uma boa estabilidade do piso de rodagem que é dada através de uma cinta composta por várias lonas sobrepostas. Por ser uma carcaça única, não existe fricção entre lonas, apenas flexão, evitando assim sobreaquecimento interno do pneu. Graças a sua flexibilidade e resistência, este tipo de pneus absorve muito bem impactos e pancadas como lombas sendo assim o resultado de uma melhor condução e melhor confronto para quem conduz (Boustani et al. 2010; Michelin Agricultural 2016).

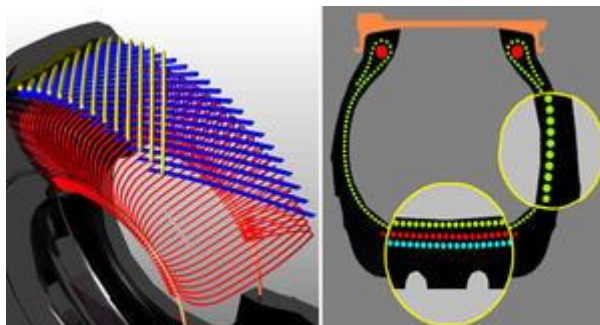


Figura 3 - Pneus de construção radial (Michelin Agricultural 2016)

2.3 Desgaste e profundidade

Existem umas marcas nos pneus que ajudam a visualizar o seu desgaste, quando o rasto chega ao mesmo nível destas marcas é aconselhável fazer uma troca de pneus, este indicador de profundidade do pneu é muito importante para a segurança principalmente no inverno. Quando o rasto chega a este ponto quer dizer que as rodas evacuam menos água podendo dar a ocorrência de *aquaplaning*, isto acontece quando o pneu não toca no solo e apenas tem contacto com a água fazendo assim o veículo perder o atrito com o solo (Euromaster 2016).

2.4 Alinhamento

É conveniente ter em cuidado o correto alinhamento das rodas, irregularidades na estrada ou até mesmo lombas e colisões contra passeios podem afetar o alinhamento e conseqüentemente o comportamento do veículo. Este processo consiste em colocar em paralelo os eixos e as rodas de cada eixo, evitando assim diferentes ângulos das rodas. Isto pode levar a ocorrência de irregularidades no pneu como também de um desgaste prematuro do mesmo (Euromaster 2016). No caso de veículos pesados o alinhamento não afeta apenas os ângulos dos eixos de direção, como também todos os eixos de veículo, incluindo o reboque. O propósito deste alinhamento é minimizar o desgaste do pneumático e maximizar o manusear e o controlo do veículo. Esta operação é concretizada com o veículo parado, sem carga e num piso plano, o que é totalmente o oposto ás condições de operação (MICHELIN NORTH AMERICA INC 2005).

2.4.1 Convergência (ou divergência)

A convergência garante o paralelismo dinâmico entre rodas e geralmente a condição mais crítica que afeta o desgaste do pneu e do próprio eixo de direção. A finalidade deste ajuste é permitir que o pneu circule direito durante as condições normais de funcionamento. Uma situação de divergência resulta numa derrapagem lateral do pneu a partir do lado de fora para dentro em ambos os pneus do eixo, e uma convergência tem o resultado oposto, num derrape de dentro para fora em ambos os pneus. Para se ver este fenómeno são traçados duas linhas em paralelo com os pneus, que quando estas se cruzam a frente das rodas ou as rodas estão mais juntas na parte da

frente estamos presentes de uma divergência, já a convergência acontece quando estas linhas se cruzam atrás das rodas, ou quando estas estão mais próximas na parte de trás (MICHELIN NORTH AMERICA INC 2005). Geralmente as rodas motoras tendem a se fechar, a divergir e as rodas arrastadas tendem a convergir, isto devido a uma soma de folgas em deformações nos pneus, buchas, cardãs e sistemas de direção suspensão (Meccia 2015).

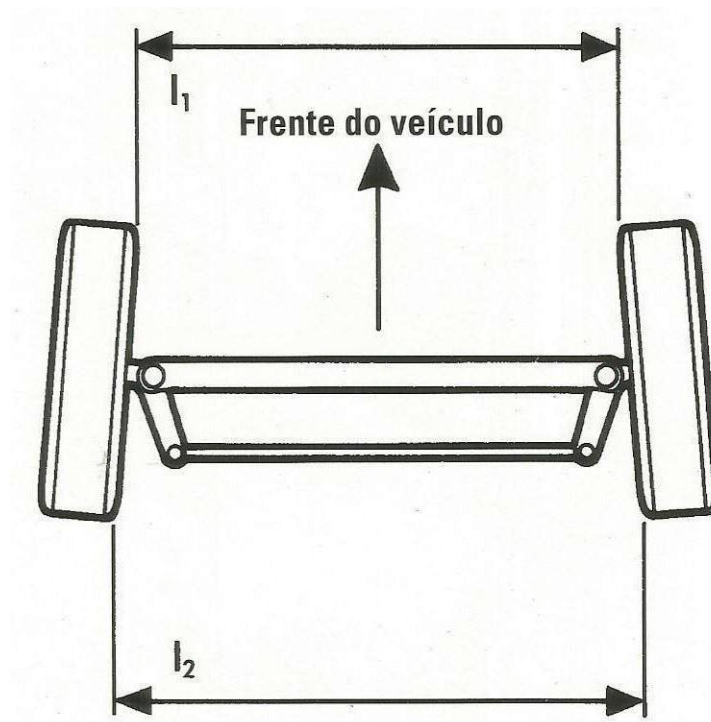


Figura 4 - Exemplo de divergência nas rodas (Meccia 2015)

O Decreto-Lei nº 554/99, de 16 de dezembro, diz que um desvio angular superior a 5 m/km e inferior ou igual a 10 m/km corresponde a uma gravidade do tipo 1, enquanto um desvio superior a 10 m/km a uma gravidade do tipo 2.

2.4.2 Camber

O Camber corresponde à inclinação das rodas em relação a linha vertical ao solo. Um camber positivo existe quando a roda na sua parte superior está inclinada para fora do veículo e negativa quando esta está inclinada para dentro do veículo. Camber positivo excessivo pode originar um desgaste suave na metade externa do pneu enquanto um desvio excessivo negativo pode causar desgaste na metade interna do piso (MICHELIN NORTH AMERICA INC 2005).

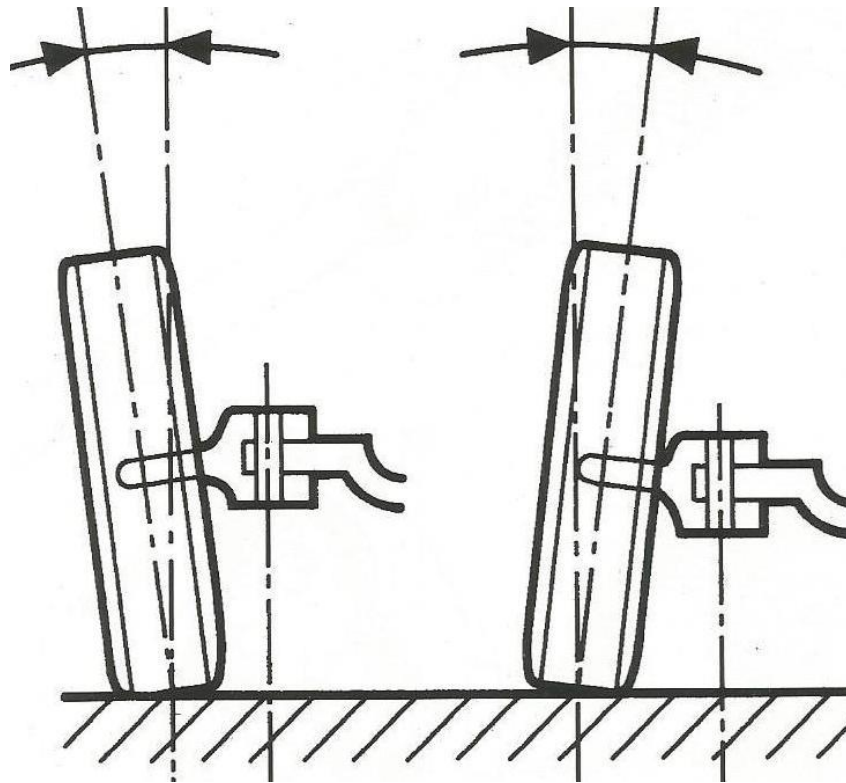


Figura 5 - Ângulos de Camber (Meccia 2015)

2.4.3 Inclinação do Pino Mestre

A inclinação do pino mestre, atualmente denominado por inclinação do eixo de direção, pois este com o evoluir dos tempos sofreu melhoramentos, é o eixo que serve de suporte para que a roda ande, é parte integral da geometria de direção. Este é o principal responsável para o retorno da direção após curva, tendo a favor a força da gravidade terrestre. Este angulo pode provocar uma ligeira elevação do veículo (Meccia 2015).

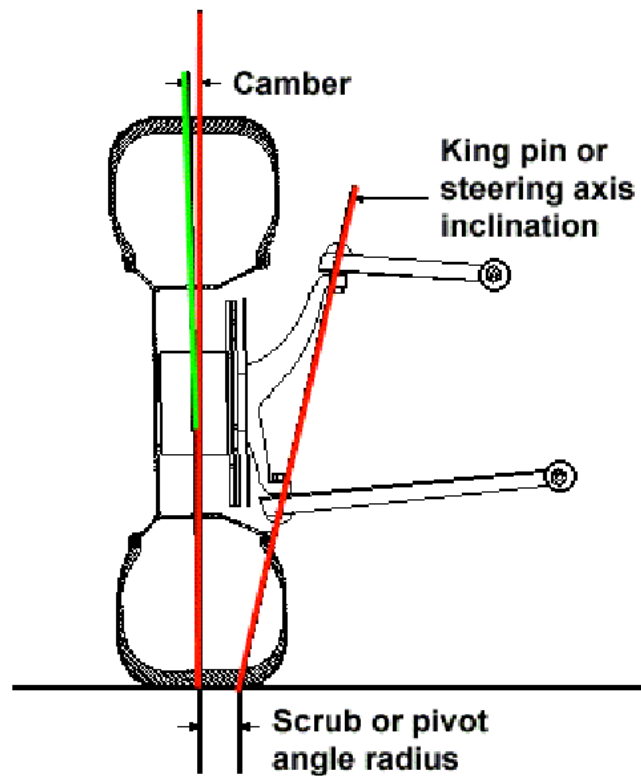


Figura 6 - Inclinação do eixo de direção (Meccia 2015)

2.5 Válvulas

Apesar de passarem despercebidas as válvulas são uma peça importante no pneu, pois têm a função de conservar a hermeticidade do mesmo. Suportando grande pressão, estão sujeitas a desgaste das forças geradas pela rotação da roda (Euromaster 2016).

2.6 Pressão

A pressão correta reduz o risco de perdas e controlo do veículo como também protege um desgaste prematuro e de danos irreversíveis nos mesmos (Michelin 2012). Quando aplicada pressão mais alta do que a recomendada, o pneu pode apresentar um desgaste acentuado na secção central, enquanto falta de pressão pode fazer com que as laterais cedam fazendo com que a parte central do pneu perca o contacto com o solo, entre em sobreaquecimento, aumente o consumo de combustível e o veículo não apresente estabilidade na condução (Meccia 2015).

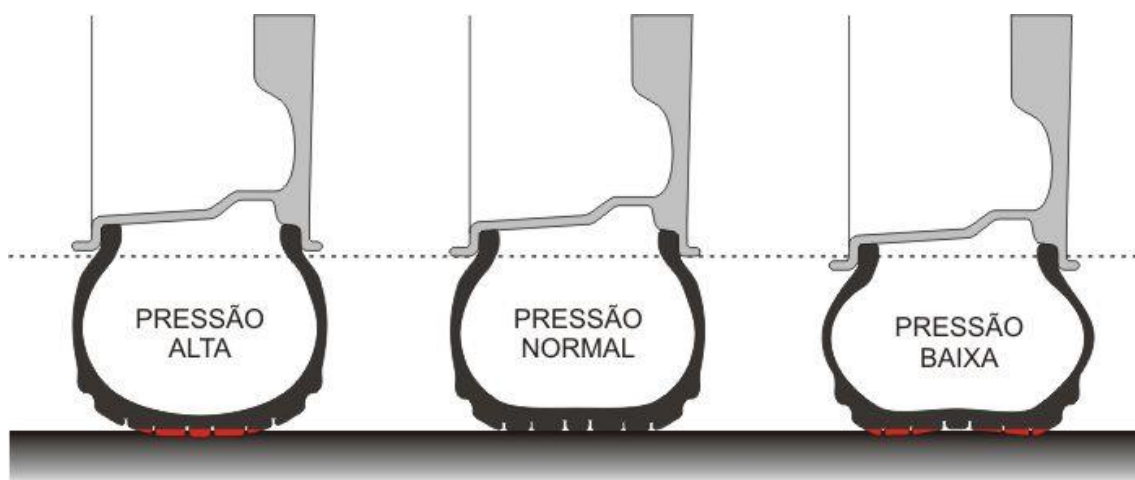


Figura 7 - Comportamento do Pneu para várias pressões (Cenas 2014)

2.7 Recauchutagem

O processo de recauchutagem é um processo de reutilização de pneus, que quando finalizado os pneus estarão em condições de serem novamente utilizados. Esta operação pode ser diferente consoante os requisitos e objetivos para o produto acabado. Para tal o pneu a ser recauchutado deverá passar por vários processos até estar pronto (Boustani et al. 2010).

- **Receção:** os pneus usados entram no processo de recauchutagem, onde são identificados com um código único para que sejam distinguidos e rastreados;
- **Primeira etapa de inspeção:** sofrem uma inspeção visual, onde diferentes partes dos pneus são examinadas para determinar se há algum defeito físico (contusões, furos, cortes, etc). Assim serão excluídos pneus que não poderão ser recauchutados com base nas normas de segurança;
- **Segunda etapa de inspeção:** as carcaças que chegam a esta fase, irão passar por um processo mais rigoroso e detalhado para avaliar defeitos e danos impercíveis a olho nu, com o auxílio de equipamentos apropriados para estes testes como raios-x fluoroscópico e ultrassons, para avaliar eventuais defeitos internos na borracha. Estes testes têm toda a importância serem não destrutivos com a finalidade de assegurar a boa condição do talão, parede lateral e do ombro;

- Polimento: este processo é onde o que resta da banda de rodagem é retirado e assim preparar a carcaça para a aplicação de uma nova banda de rodagem. O polimento é um passo importante, pois tem que se garantir a perfeita geometria do pneu e preparar a textura da superfície, para receber a nova banda de rodagem, definindo assim o diâmetro do pneu e o objetivo para a que se destina;



Figura 8 – Polimento (Bandag 2013)

- Preparação e reparação da carcaça: após a conclusão do processo de polimento, são reparados quaisquer problemas que a carcaça possa apresentar como por exemplo fios de aço oxidados, fios têxteis soltos, e outras irregularidades causadas por cortes ou perfurações. Mais uma vez as carcaças que não satisfaçam os padrões de qualidade serão rejeitadas nesta fase;



Figura 9 - Reparação da carcaça (Whitaker 2009)

- Aplicação da nova banda de rodagem: o novo piso é adicionado e preparado através de uma ligação química à carcaça;



Figura 10 - Aplicação de nova banda de rodagem (Whitaker 2009)

- Vulcanização: neste processo os pneus são colocados numa câmara de autoclave, expostos a uma temperatura e pressão previamente determinadas. O objetivo será ligar quimicamente a banda de rodagem à carcaça;



Figura 11 – Vulcanização (Chakravarty 2016)

- Inspeção final: os pneus já vulcanizados, passam por uma inspeção final, onde serão testados consoante os padrões de qualidade.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

3. Manutenção

3.1 Histórico

Desde o início dos tempos que sempre foi necessária a manutenção, desde equipamentos como até ferramentas mais básicas, grande parte apenas quando a ocorrência da paragem total do equipamento em questão.

Na década de 1950, após a segunda guerra mundial um pouco por todo o mundo, principalmente na Europa e com ênfase no Japão, apareceu uma preocupação em baixar custos na manutenção, como reduzir tempos de inatividade, aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos. Foi então que um grupo de alguns de engenheiros japoneses começaram um novo conceito de manutenção, que consistia em seguir as recomendações dos fabricantes sobre os cuidados a ter com o equipamentos como também cuidados a ter durante a operação do equipamento. Esta tendência, hoje conhecida como manutenção preventiva, encorajou os quadros médios/altos das empresas, a ter supervisores mecânicos, eletricitas e de outras especialidades para desenvolverem programas de lubrificação e fazer observações importantes para prevenir danos e paragens nos equipamentos. Esta foi uma opção um pouco dispendiosa pois embora tenham conseguido diminuir o tempo de inatividade dos equipamentos, muitas peças era trocadas ainda com um tempo de utilização muito pequeno comparado com tempo de vida útil, como foi contratada muita mão-de-obra como também o excesso de lubrificação dos equipamentos trazia mais problemas do que benefícios (Kister and Hawkins 2006; Mora 2011).

Com o avanço do tempo, foram aparecendo novas tecnologias e consequentemente novas necessidades, aquando na década de 60 “*Productive Maintenance*” aparecera como a nova tendência com uma abordagem mais profissional, atribuindo assim maior responsabilidade às pessoas relacionadas com a manutenção que consistiu numa série de considerações sobre a fiabilidade e desempenho, existindo assim uma maior compreensão de cada elemento das máquinas e instalações em geral (Kister and Hawkins 2006; Mora 2011).

Apenas uma década depois, a globalização do mercado criou novas e mais fortes necessidades, com uma exigência de padrões de excelência aparecendo assim um

sistema dinâmico, o *TPM* é um conceito de melhoria contínua que tem provado ser eficaz (Kister and Hawkins 2006; Mora 2011).

3.2 Tipos de manutenção

Existem essencialmente dois tipos de manutenção, a preventiva e a corretiva (Mobley and Wikoff 2008). A diferença entre estas duas é quando a ação de manutenção é executada. Na manutenção preventiva são feitas manutenções antes de existir algum problema evidente no equipamento, enquanto na manutenção corretiva são agendadas operações de manutenção para corrigir certos problemas no equipamento que foram identificados.

3.2.1 Manutenção preventiva

Consiste num conjunto de procedimentos e ações antecipadas que visam manter o equipamento em funcionamento. Este tipo de manutenção é baseado em inspeções agendadas que são realizadas para avaliar a situação do equipamento, substituindo assim componentes que podem ser considerados consumíveis como filtros, óleos, correias. Este tipo é bom para fazer um despiste á condições do equipamento ou par dar ordem de trabalho a uma manutenção corretiva, bem como aumentar o tempo de vida útil dos equipamentos para que os indicadores de confiabilidade e disponibilidade se mantenham em valores aceitáveis (Ramesh Gulati 2009).

A manutenção preventiva é baseada num plano de manutenção agendado e regular, de forma a manter os equipamentos e máquinas num ótimo estado de operação.

Derivada da manutenção preventiva, aparece o conceito da manutenção preditiva, que é baseada no conhecimento das condições de cada um dos componentes das máquinas e equipamentos. Estes dados são obtidos pelo acompanhamento do desgaste dos componentes sendo elaborados testes periódicos para determinar a época adequada de substituição ou reparação como também o seu tempo de vida útil (Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic 2009).

3.2.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva consiste na intervenção após a ocorrência de uma avaria no equipamento. Enquanto a preventiva se foca na prevenção de avarias, a corretiva é aplicada na sua resolução.

A eficiência desta manutenção é dada pelo ciclo de vida/custo do equipamento. Ainda, pode ser considerado um subconjunto de um amplo plano de manutenção preventiva, sendo uma abordagem pró-ativa de gestão de manutenção. O principal objetivo desta abordagem é fazer com que avarias, desvios da condição inicial e ótima, reparações desnecessárias sejam eliminadas para que se otimize a eficácia dos equipamentos e máquinas.

Todos trabalhos são planeados, e é verificado se a máquina ou o equipamento retorna ao serviço de acordo com as especificações iniciais (Mobley and Wikoff 2008).

Por vezes, este tipo de manutenção é feito na hora da avaria para que o equipamento ou máquina voltem ao trabalho o mais depressa possível, seguindo assim uma metodologia *run to failure*, em que o equipamento trabalha até à rutura.

Basicamente não passa de uma ação de reparação como resultado do observado ou medido, antes ou depois da falha funcional (Ramesh Gulati 2009).

3.3 Fiabilidade

Segundo Smith, R. (2004), o conceito de fiabilidade foi atribuído nos finais da década de 1960, princípios de 70's, devido à política de manutenção na indústria aeronáutica. Com o objetivo de aumentar a fiabilidade do avião como do equipamento do mesmo, mas acima de tudo da segurança dos passageiros, foi formada uma equipa de engenheiros para estudar as novas práticas de manutenção para além das constantes e sucessivas revisões aos equipamentos. Até à data acreditava-se que cada peça num equipamento se degradava ao longo do tempo e que a partir de um certo tempo especificado deveria ser agendada uma revisão pois não estava garantida a segurança e a fiabilidade operacional. O trabalho resultante deste grupo de engenheiros demonstrou que não existia uma forte correlação entre a idade e a taxa de falha do equipamento e

que a ideologia básica de manutenção baseada no tempo era falsa para a maioria dos equipamentos. O resultado final significativo deste grupo vinha então afirmar três ideologias (Smith and Hawkins 2004):

- A revisão programada até a data tinha pouco efeito na fiabilidade geral do equipamento, a não ser que algum elemento já estivesse degradado e a ação de manutenção iria apenas ser direcionada para esse mesmo elemento;
- Havia muitos equipamentos para os quais não era possível identificar uma forma eficaz de manutenção programada;
- Seria possível reduzir nos custos de manutenção sem comprometer a fiabilidade do equipamento, de facto, um melhor estudo e compreensão do processo de falha de equipamentos complexos iria melhorar a fiabilidade aquando ações de manutenção desnecessárias fossem eliminadas.

A abordagem tradicional para a manutenção preventiva seria fazer uma revisão ou substituir equipamentos ou elementos antes que estes entrassem em desgaste elevado e causassem uma falha no equipamento. O truque seria determinar com precisão onde este ponto de falha estava no ciclo de vida do equipamento.

Sendo, só é possível manter um nível de fiabilidade de um equipamento quando o mesmo está abrangido por um programa de manutenção preventiva pois o conceito de fiabilidade está diretamente relacionado com gestão deste tipo de manutenção. Caso isso não aconteça e apenas se aplique um tipo de manutenção corretiva onde o equipamento só é reparado ou trocado após a existência de uma falha ou avaria, a fiabilidade dos equipamentos fica comprometida até chegar a um ponto em que a diferença entre custos de manutenção e o valor criado pelo equipamento será inaceitável, atingindo assim, o equipamento, fim de vida (Smith and Hawkins 2004).

Assis (Assis 2010) refere que para o cálculo da fiabilidade é necessário descrever métodos de medição empírica da fiabilidade e deduzem-se as expressões analíticas dos principais parâmetros de fiabilidade (função densidade de falha, função de fiabilidade, função de probabilidade acumulada de falha e função de risco). Descreve-se

o comportamento típico destas funções ao longo do ciclo de vida do equipamento (Assis 2010).

3.3.1 Taxa de falhas

É de elevada importância, no domínio da fiabilidade, nomeadamente na caracterização do envelhecimento ou desgaste de qualquer elemento/equipamento. Estes, podem “falhar” devido a muitas razões como por exemplo desgaste, esforço para o qual não foram dimensionados, corrosão, alterações de temperatura ou até mesmo por defeito de fabrico.

De forma a distinguir as diversas funções de probabilidade (funções densidade) tem que se ter em conta a taxa de falha, que é uma forma matemática de descrever o este fenómeno (Morais 2007).

Para tal a taxa de falhas é um indicador que representa a proporção de equipamentos que devem de avariar, que de forma genérica é dada por:

$$\lambda_i = \frac{N_i}{T},$$

Equação 1 - Taxa de Falhas

onde N_i representa o número de falhas e T um período de tempo decorrido.

3.3.2 Mean Time Between Failures

Esta taxa é uma estimativa de fiabilidade de um equipamento reparável. É também frequente a utilização e cálculo de um outro parâmetro, o *MTBF* (*Mean Time Between Failures*) que é relacionado com a taxa de avarias da seguinte forma:

$$MTBF = \frac{1}{\lambda},$$

Equação 2 – MTBF

3.3.3 Curva da banheira

Se se traçar um gráfico com o comportamento da taxa de falhas ao longo do tempo, mais conhecida por curva da banheira, pode-se verificar que o ciclo de vida de um equipamento apresenta três períodos característicos de vida, mortalidade infantil, maturidade ou vida útil e por fim a mortalidade ou degradação como se pode ver na figura seguinte:

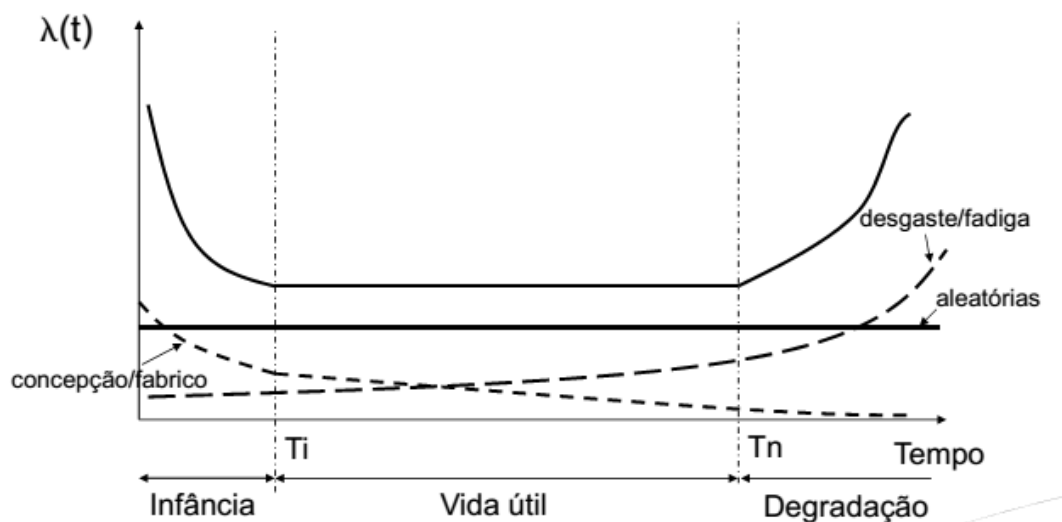


Figura 12 - Curva da banheira(Vieira 2015)

No período de infância onde existe uma taxa de falhas elevada o comportamento da curva está associado a deficiências de projeto, má concepção/fabrico ou arranque de equipamentos que não foram calibrados devidamente. Na fase de vida útil a taxa de falhas mantém um valor constante e baixo, onde as falhas existentes neste período são falhas aleatórias. Por fim na fase de degradação onde a taxa de falhas volta novamente para valores elevados, está associada devido a fenómenos de desgaste/fadiga (Vieira 2015).

No caso em estudo, os pneus quando montados com zero quilómetros, sendo novos ou recauchutados, passaram por uma fase de inspeção final, que pode passar por uma inspeção visual, ou mesmo eletronicamente, como colocar os pneus a rodar em equipamentos próprios, para que quando montados no veículo já se encontrem no período de vida útil para não ocorrerem falhas derivadas ao período de infância.

3.4 Manutenção baseada na idade

A política de substituição preventiva baseada na idade para equipamentos que falham de forma não aleatória é bastante conhecida na prática da manutenção industrial e tem sido profundamente falada ao longo do tempo por diversas pessoas como Barlow, R.E., e Proschan, F. (1965), Jardine, A.K.S (1973). De acordo com esta política, um equipamento é substituído quando atinge uma idade específica ou em caso de falha (Barlow and Proschan 1965; Jardine and Tsang 2013).

Uma manutenção preventiva eficaz é aquela que reduz ou tenta evitar as paragens não programadas de um equipamento. Com a posição industrial atual, em que qualquer paragem, seja de uma máquina singular ou de uma linha em série, tem um significado relativo no custo associado a essa paragem, as empresas não se podem dar ao luxo de deixar que isso aconteça. Para tal uma estratégia de manutenção adequada é crucial a qualquer empresa para que esta não esteja a gastar recursos desnecessariamente na substituição de um equipamento enquanto este pode desempenhar as suas funções em perfeitas condições durante mais algum tempo.

Quando se trata de estimar o ponto de falha de um equipamento através de modelos estatístico, duas distribuições são as mais utilizadas, a distribuição exponencial negativa e a distribuição de *Weibull*.

3.4.1 Estatística de Falha

A maioria dos dados podem ser classificados em duas categorias: dados completos e dados censurados.

Dados completos, significa que conjunto de dados é composto por todos os tempos entre falhas de todos os equipamentos da nossa amostra, já os dados censurados podem conter informação incompleta, isto ocorre quando no momento de análise de dados não são conhecidos os tempos exatos de falha ou mesmo situações em que os elementos ainda não falharam onde existem três tipos de, dados censurados à esquerda, censura por intervalo, e dados censurados à direita (também chamados por dados

suspensos). (Assis 2010; Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic 2009).

Dados censurados à esquerda correspondem a dados em que, por alguma razão, não existe informação relativamente ao momento da ocorrência da falha anterior. Isto pode acontecer quando o estudo é feito após a existência da falha.

Nos dados censurados à direita correspondem à informação em que a ocorrência da falha ainda não aconteceu até ao momento em que se obteve a informação sobre o equipamento.

Por fim a censura por intervalo é composto por informação analisada apenas num intervalo de tempo, em que pode ou não ocorrer a existência de alguma falha. Este tipo de dados pode existir quando o estado do equipamento é verificado a cada inspeção (Assis 2010; Gertsbakh 2005; Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic 2009).

A imagem seguinte ilustra a classificação dos dados consoante a sua característica.

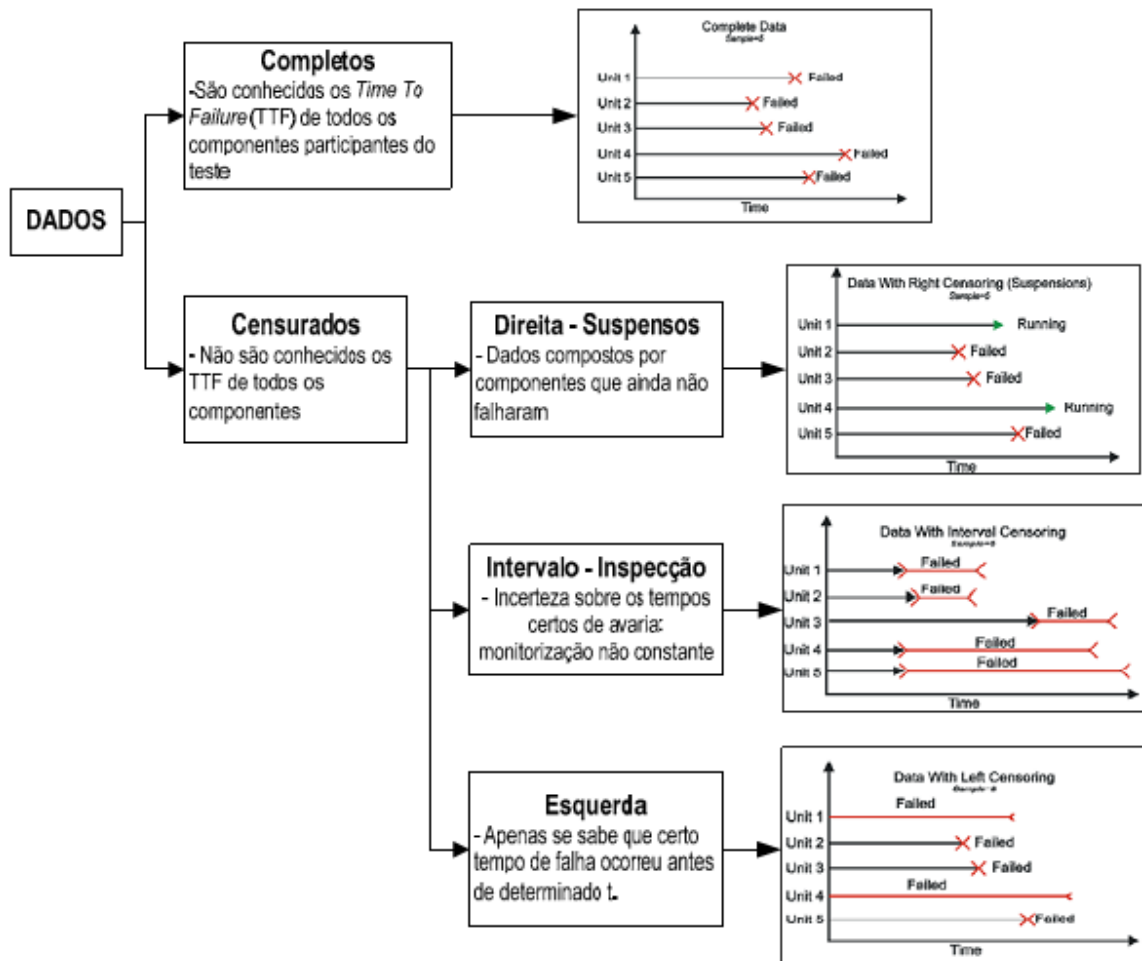


Figura 13 - Classificação de dados (Almada-Lobo 2008)

3.4.2 Distribuição exponencial negativa

Como já dito, a distribuição exponencial é uma das mais utilizadas para o cálculo da disponibilidade de certo equipamento, quando este apresenta uma taxa de falha constante em determinado intervalo de tempo.

Aqui o cálculo da fiabilidade de certo equipamento é dado pela seguinte equação:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda dt} = e^{-\lambda t},$$

Equação 3 – Função fiabilidade para taxa de avaria constante

que representa a probabilidade de sobrevivência entre 0 e t .

Já a função densidade de probabilidade é dado por:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1 - R(t))}{dt} = \lambda e^{-\lambda t},$$

Equação 4- Função densidade para taxa de avaria constante

onde a probabilidade de avaria ou falha do equipamento varia entre t e dt , ou seja, a probabilidade de se registar uma falha num determinado momento t (Vieira 2015).

Esta distribuição que está representada na figura seguinte, apresenta uma propriedade muito intrínseca, que é a chamada “falta de memória”. A função de risco instantânea, $h(t)$, é independente de t . Então a mudança condicional da probabilidade de falha num dado intervalo de tempo é a mesma, independentemente do tempo que o equipamento está em funcionamento (Miguel 2009).

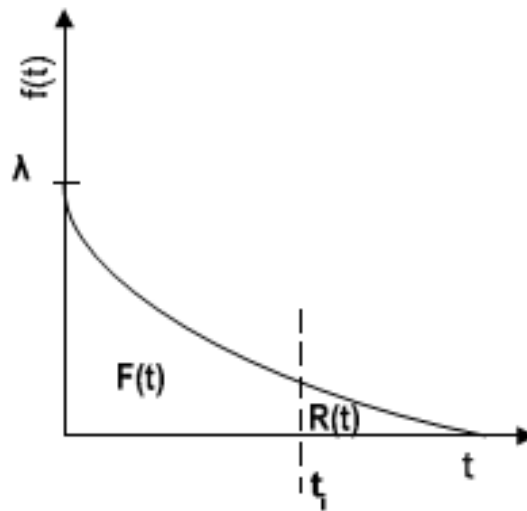


Figura 14 - Distribuição exponencial negativa (Miguel 2009)

3.4.3 Distribuição de Weibull

A distribuição de *Weibull*, deve o seu nome ao apelido do físico sueco *Waloddi Weibull* quando este em 1939 estudava a resistência de materiais.

Esta função é popularmente usada para taxas de avarias variável devido á sua versatilidade na descrição do tempo de vida até à falha de componentes sujeitos a fenómenos de degradação, desgaste, corrosão entre outros (Assis 2010).

O modelo estatístico de fiabilidade de *Weibull*, consegue exprimir o comportamento de componentes elementares ao longo do seu ciclo de vida onde a taxa de falha revela padrões constantes, crescente ou decrescentes devido aos seus parâmetros, podendo assim ser adaptada a várias distribuições.

Os seus parâmetros são então o parâmetros de forma e o parâmetro de escala que são representados por β e μ , respetivamente.

Sendo assim, função taxa de falha designa-se por:

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1}, \quad \eta > 0, \beta > 0, t/t_0$$

Equação 5 - Função taxa de falha para taxa de avaria variável

A função densidade de probabilidade, para a distribuição de *Weibull* de dois parâmetros é dada por:

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t - t_0}{\eta} \right)^{\beta-1} \times e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta},$$

Equação 6 - Função densidade de probabilidade para a distribuição de *Weibull*

onde o parâmetros de escala e o parâmetro de forma assumem valores positivos.

A distribuição acumulada de falha é dada por:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta},$$

Equação 7 - Função da distribuição acumulada de falha

Por fim, a função de fiabilidade aplicada a distribuição de *Weibull* é dada da seguinte forma:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \left(\frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^{\beta-1}\right) dt} = e^{-\left(\frac{t-t_0}{\eta}\right)^\beta}.$$

Equação 8 - Função de fiabilidade para a distribuição de *Weibull*

O parâmetro de forma (β) caracteriza a forma da curva de ocorrência de avaria $f(t)$, define o período do ciclo de vida e reflete o modo de degradação do equipamento, por outras palavras, determina a forma da função densidade de probabilidade e caracteriza a tendência da função intensidade de falha.

Na figura seguinte podemos observar que para um β compreendido entre $0 < \beta < 1$, a função densidade de probabilidade comporta-se com uma curva exponencial negativa. Para $\beta = 1$, a função de *Weibull* comporta-se como uma função exponencial, que como podemos ver, o valor da taxa de falhas tem um comportamento constante. Quando $\beta > 1$, a função probabilidade de densidade começa a apresentar declives positivos, que eventualmente se irá aproximar de uma distribuição normal (Vieira 2015).

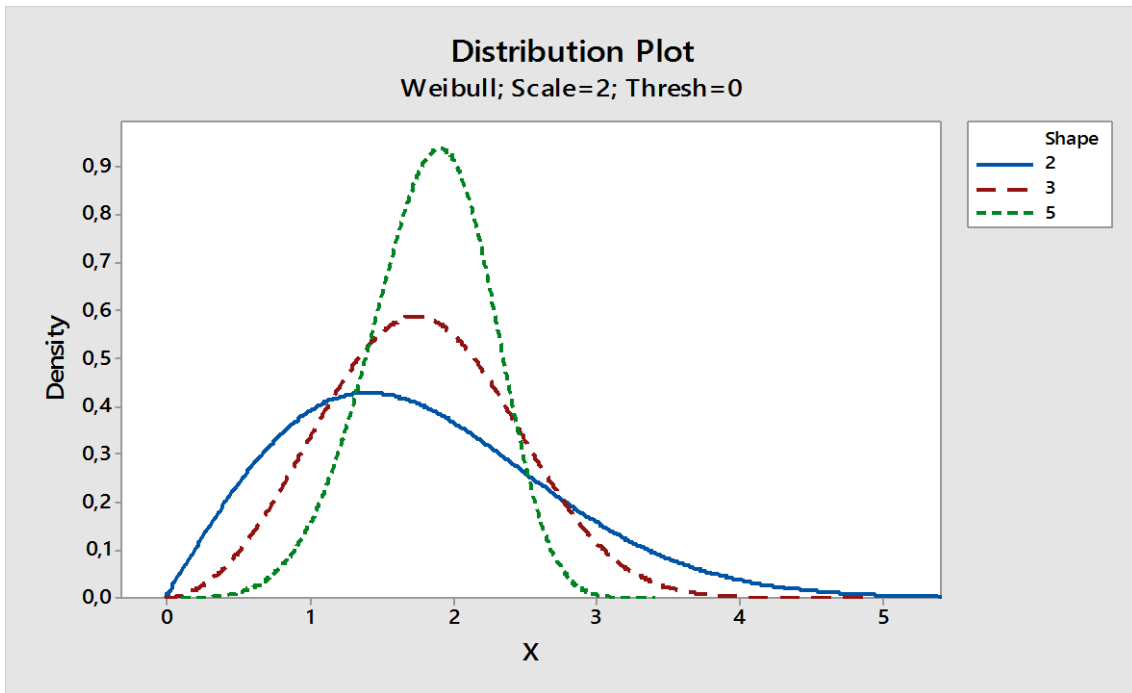


Figura 15 - Comportamento do parâmetro de forma

Se se mantiver o parâmetro de forma constante e se variar o parâmetro de escala, pode observar-se que a distribuição vai começar a esticar e a encolher a distribuição não tendo assim qualquer contributo para a forma da distribuição como se pode observar na Figura 16 com um parâmetro de forma de 3 (McCool 2012).

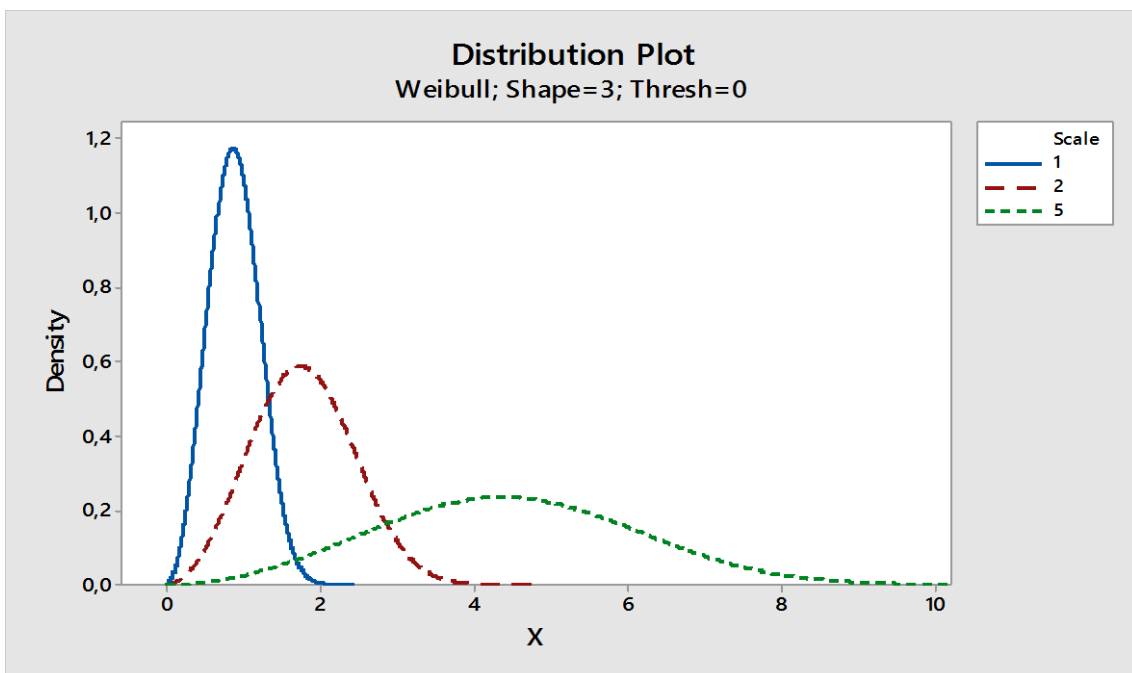


Figura 16 - Comportamento do parâmetro de escala

3.4.4 Estimativa de parâmetros

Para se determinar e estimar os parâmetros de forma e escala, é necessário recorrer ao gráfico de *Weibull*.

Primeiramente ordenam-se os valores de forma crescente da distribuição acumulada de falha já referenciada na Equação 7, inserem-se os pontos obtidos no gráfico de *Weibull* onde se traça uma reta.

Dependendo do tamanho da amostra, a estimativa da distribuição de falha acumulada é dada por uma das seguintes fórmulas:

- Para $n < 20$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i - 0.3}{n + 0.4}$$

- Para $20 < n < 50$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i}{n + i}$$

- Para $n > 50$

$$\hat{F}(t_i) = \frac{i}{n + i}$$

Equação 9 - Estimativa da distribuição de falha acumulada

Na leitura, a reta traçada irá intersectar uma reta intrínseca ao gráfico de *Weibull*, e no ponto dessa intersecção pode-se obter o valor do parâmetro de escala no valor correspondente no eixo das abcissas.

O parâmetro de forma é retirado ao traçar uma reta no ponto de origem da reta do parâmetro de escala com o mesmo declive que a reta traçada através dos pontos obtidos (Vieira 2015).

Para melhor compreensão, na Figura 17 está representado o gráfico de *Weibull* já com este procedimento descrito.

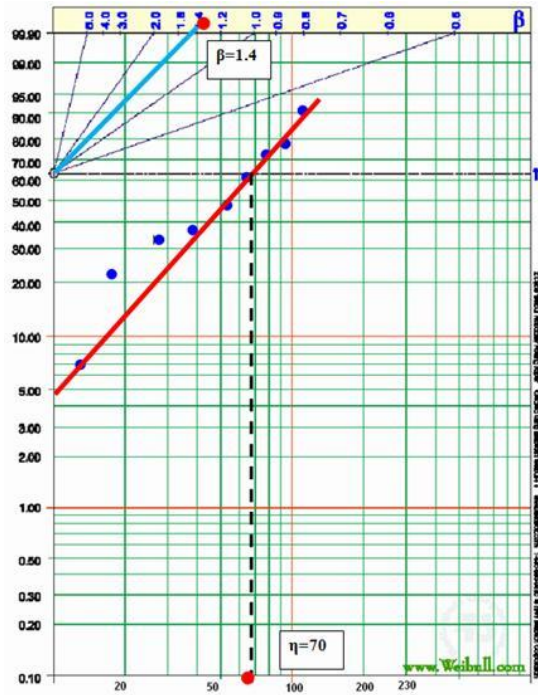


Figura 17 - Gráfico de Weibull (Vieira 2015)

3.4.5 Ponto ótimo de troca

Encontrar o ponto ótimo de troca do equipamento antes que ocorra uma falha/avaria é crucial para a gestão de manutenção, pois a manutenção corretiva acarreta custos que podem ser evitados como o custo da máquina parada, o operador, o custo da intervenção, o custo da substituição do equipamento ou reparo e o custo de tempo de paragem, para além de que a falha de um equipamento pode levar a rutura de um outro equipamento adjacente ou a um desgaste precoce. Esse ponto situa-se no ponto de menor valor no eixo das ordenadas na curva do custo total. Esta curva do custo total é a soma da curva do custo da manutenção corretiva com a curva do custo da manutenção preventiva como se pode ver na imagem seguinte.

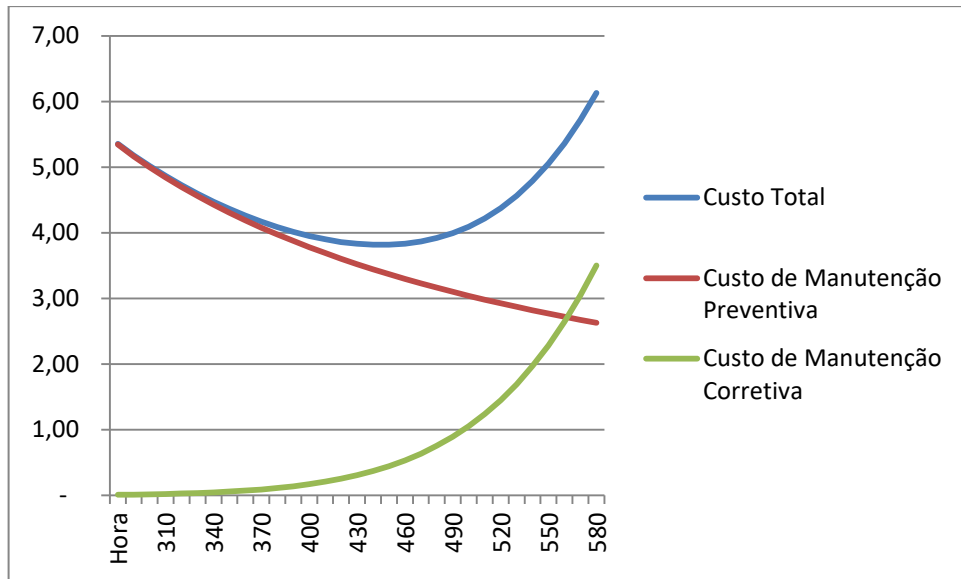


Figura 18 - Ponto ótimo de troca

Existe uma metodologia para ajudar a definir o calendário de manutenções e a alocação de redundância que minimizam o custo médio do ciclo de vida de um equipamento.

Para minimizar os custos da manutenção preventiva, é possível calcular o ponto ótimo de troca do equipamento tendo em conta os custos já descritos como a função de fiabilidade do mesmo.

A equação é representada com os fatores C_{PS} que traduz o custo de manutenção preventiva, $R(t)$ a fiabilidade do sistema calculado, C_{FS} o custo de uma paragem por falha avaria do equipamento e por $F(t)$ que contribui com a probabilidade de falha (Siopa, Garção, and e Silva 2015).

$$\Phi_{OARP}(t) = \frac{C_{PS}R(t) + C_{FS}F(t)}{E[u(T1)]}$$

Equação 10 - Otimização de custos (Siopa, Garção, and e Silva 2015)

3.5 Confirmação de dados

Para que a análise de dados seja credível, é necessário identificar de que os dados seguem uma distribuição específica para que mais tarde se possa continuar com o estudo. Para tal foi utilizado o auxílio de um *software* de cálculo estatístico. Com isso é necessário ter em conta os seguintes aspetos.

3.5.1 Teste de *Anderson-Darling*

Stephens, M. (1979), diz que o teste de *Anderson-Darling* é usado para testar se uma amostra de dados de uma determinada população pertence a uma distribuição específica. É uma modificação do teste de *Kolmoorov-Smirnov* (K-S) que dá mais peso às caudas do que o teste K-S. O teste K-S é livre de distribuição no sentido de que os valores críticos não dependem da distribuição específica que está a ser testada. O teste *Anderson-Darling* faz uso da distribuição específica no cálculo de valores críticos. Isto tem a vantagem de permitir um teste mais sensível e a desvantagem de que valores críticos devem ser calculados para cada distribuição (*Anderson-Darling Test*; McCool 2012).

Este teste é definido por:

- H_0 : Os dados seguem uma distribuição específica.
- H_1 : Os dados não seguem uma distribuição específica.

Para concluir sobre os teste, compara-se o valor do nível de significância (alfa (α)= $1-0.95=0.05= 5\%$) com o valor de *p-value* (menor risco de rejeitar H_0).

3.5.2 *P-value*

P-value ou nível descritivo é definido como o “menor nível de significância (α) que pode ser assumido para se rejeitar H_0 ” (menor risco de rejeitar H_0). De notar que o nível de significância (α) é um valor arbitrado previamente, enquanto o nível descritivo (p) é calculado em função dos dados obtidos. Sendo assim em pensamento com o α da definição do teste de *Anderson-Darling*, se o valor de *p-value* foi maior que 5% não se rejeita a hipótese nula (H_0) e pode-se afirmar que com 95% de probabilidade, existem evidências estatisticamente significativas de que os dados seguem uma distribuição específica.

Se $p\text{-value} < \alpha$ rejeita-se H_0 .

A grande vantagem de usar o valor nível descritivo (p) é a possibilidade de quantificar a “significância estatística do teste”, ou seja, no lugar de uma resposta do tipo, “sim ou não”, temos a informação de “quanto” (Ferreira and Barros 2015).

Com tudo, existe um problema no *p-value* relacionado com as amostras grandes, o *p-value* mede a hipótese nula usando uma estimativa do parâmetro de interesse. A distância é tipicamente em unidade de desvios padrão dessa estimativa (erros padrão). Estimadores consistentes têm erros padrão que diminuem à medida que o tamanho da amostra aumenta. Com uma amostra muito grande, o erro padrão torna-se extremamente pequeno, de modo que mesmo distâncias minúsculas entre a estimativa e a hipótese nula se tornam estatisticamente significativas (Greenwald et al. 1996). Como refere Tukey (1991), a hipótese nula tomada literalmente é sempre falsa, pois mesmo com um grau minúsculo, o caso de uma amostra grande produzirá um resultado significativo que conduzirá à sua rejeição, então a hipótese nula é sempre falsa. Assim não há garantia de que a amostra tem o tamanho o suficiente para produzir resultados significativos. Noutras palavras, com amostras grandes, deve-se ter o cuidado para além de rejeitar a hipótese nula com base no sinal do coeficiente e do valor de *p-value*. Deve de existir cautela na avaliação se o pequeno *p-value* é apenas é um resultado do grande tamanho da amostra e cautelosamente quantificar a magnitude e a sensibilidade do efeito (Tukey 1991).

(Meehl 1978) afirma que, as amostras grandes podem dominar completamente os efeitos da variabilidade da amostra, na medida em que elas são a única coisa que se

tem em consideração. É necessário um maior esforço para abordar esta questão porque pequenos problemas podem produzir efeitos muito pequenos em comparação com a variação da amostra, mas que o acumular destes efeitos pode resultar num efeito com alguma significância. Ou seja, o impacto deste tipo de problema não é um problema com o teste de hipóteses em si, mas na maneira como a amostra foi obtida, ou tratar essa amostra como uma amostra aleatória quando ela não o é.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

4. Dados recolhidos

Numa primeira análise aos dados, os pneus foram separados nas seguintes categorias: pneus novos, recauchutados, pneus colocados à frente novos, colocados atrás em que o veículo apenas dispunha de uma roda atrás em cada um dos lados, colocados atrás em que o veículo dispunha de duas rodas atrás em cada um dos lados e naturalmente por marcas novos e recauchutados.

4.1 SMTUC

Para que este trabalho fosse elaborado, foi necessária a colaboração de uma entidade que fornecesse dados, para tal os Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra (SMTUC) com toda a gentileza e colaboração forneceram tal informação. Mais informação sobre os SMTUC no Anexo A

4.1.1 Frota

Os SMTUC têm uma frota composta por 147 viaturas onde 4 delas são dedicadas para transporte de pessoas com mobilidade reduzida ou para pessoas que precisem de transporte especial.

Este estudo irá incidir nas viaturas Gulliver, MAN 18280, Mercedes Citaro, Mercedes Cito, Scania K280 (EEV), Volvo B7L, e ainda por mais *trolleys*, veículos estes movidos a energia elétrica que são o Trolley S. Caetano/Efacec e o Trolley Sclaris Trollino 12.

Tabela 1 - Frota de troleicarros e miniautocarros SMTUC(Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra 2016)

	Viaturas por grupo homogéneo	Quantidade	Idade média	Percentagem
Troleicarros	Caetano EFACEC 190TR110	11	33	7%
	Solaris Trollino 12	1	7	1%
Mini Autocarros	VIAT. TRANSP. DEFECIENTES	5	10	3%
	MERCEDES SPRINTER	10	18	7%
	TECNOBUS GULLIVER U520	3	13	2%
	FUSO CANTER FEB74ELD	2	0	1%
TOTAL		32	13,5	22%

Na Tabela 1 pode ver-se que a frota de troleicarros e miniautocarros perfaz um conjunto de 32 viaturas com uma média de idade de 13,5 anos. Estes contribuem com um total de 22% da totalidade das viaturas.

Tabela 2 - Frota autocarros SMTUC (Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra 2016)

	Viaturas por grupo homogéneo	Quantidade	Idade média	Percentagem
Autocarros	MAN SL200F	1	31	1%
	MERCEDES O,450 (TRICANA)	10	23	7%
	MERCEDES O,450 (CAMO)	6	22	4%
	VOLVO B10B (TRICANA)	4	21	3%
	VOLVO B10B (CAMO)	7	20	5%
	MERCEDES O,450	6	19	4%
	VOLVO B10B LOW-FLOOR (CAMO)	9	17	6%
	MERCEDES O,530 (CITARO)	19	15	13%
	MAN HOCLA	1	15	1%
	MAN SG 313 (Articulado)	1	14	1%
	MERCEDES O,520 (CITO)	4	13	3%
	VOLVO B7L	7	12	5%
	MAN 18310 KOCL NL	1	12	1%
	MERCEDES O,530 (CITARO) Used	5	12	3%
	MAN SL 283 88	1	11	1%
	MAN 18.280 HOCL	3	10	2%
	SCANIA CNUB4X2 EB	5	10	3%
	VOLVO B7R	1	9	1%
	MAN 12.240 HOCL	10	8	7%
	VOLVO B7RLE	3	7	2%
	SCANIA K 280 UB 4X2 (Viale)	1	7	1%
	MAN 14.240 HOCL	3	7	2%
	SCANIA K 280 UB 4X2 (Atomic)	2	5	1%
TEMSA AVENUE LF	5	0	3%	
TOTAL		115	13,33	78%

Os 115 autocarros, contribuem com uma parcela de 78% da totalidade das viaturas disponíveis nos SMTUC apresentando uma média de idade de 13,37 anos.



Figura 19 - Scania K280 (EEV)(SMTUC frota)



Figura 20 - Trolley Solaris Trollino 12(SMTUC frota.)

* Mais imagens de viaturas apresentadas no Anexo B

Os SMTUC afirmam ter uma rede de 508,9 quilómetros, e que 24,7 desse total pertencem à rede aérea (troleicarros).

Na Tabela 3 pode observar-se os quilómetros percorridos no ano de 2016 por tipologia de autocarro.

Tabela 3 - km percorridos (Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra 2016)

Veículos km (totais)	(Valores em milhares)
Autocarros + Mini-autocarros	5.474
Troleicarros	69
Mini-autocarros elétricos e híbridos	25
Rede	5.595

4.2 Aplicação de conceitos

A Tabela 4 representa os dados recolhidos e inseridos no ficheiro da empresa.

Tabela 4 - Amostra de dados fornecidos

VIAT URA	Nº SERIE	MARCA	MEDID A	TIPO	DT.MONT AGEM	P O	S I	C A O	VIAT URA	KILOMTR AGEM	MDT. DESMON	TAKILOMTRAGEM DESMONT
8358	8358	MICHELIN	12R22,5	RECAUCHUTADO	28/03/2007	A	-	TI	3209	630730	07/05/2008	701214
8964	8964	KORMORAN	275/70R22,	NOVO	09/10/2012	A	-	FE	3269	559028	18/09/2014	658285
9401	9401	KORMORAN	275/70R22,	NOVO	25/02/2015	A	-	TE	3269	663012		
88365	88365	KORMORAN	12R22,5	NOVO	31/07/2013	A	-	FD	3092	673389		
90711	90711	KORMORAN	275/70R22,	NOVO	23/10/2013	A	-	TE	3268	638375	02/04/2014	663024
10000 1	M9B21 5284	BRIDGESTONE	275/70R22,	NOVO	08/11/2004	A	-	FD	3255	181668	06/07/2006	260091
10000 2	M9J40 7105	BRIDGESTONE	275/70R22,	NOVO	04/08/2006	A	-	TI	3255	263445	13/02/2007	288002
10000 3	7666	MICHELIN	275/70R22,	RECAUCHUTADO	08/11/2004	A	-	TI	3255	181668	04/08/2006	263445

Como podemos observar na Tabela 4, é feito o registo dos quilómetros tanto na montagem como na desmontagem, em que viatura o pneu circulou, a marca, datas e posição em que foi montado.

4.2.1 Análise global

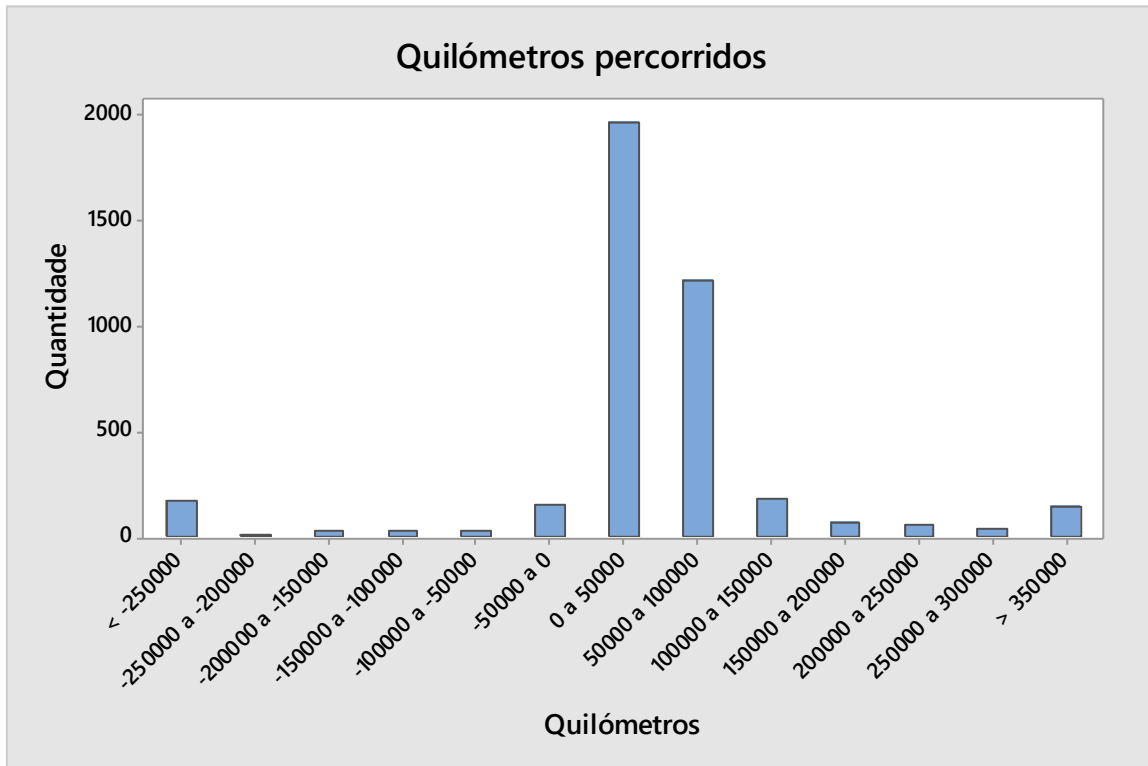


Figura 21 - Quantidade de pneus por quilómetros percorridos

Como se pode ver na Figura 21, os dados relativos aos quilómetros percorridos contêm muita dispersão. Valores de registo de quilómetros de trabalho abaixo de zero (cerca de 155 pneus) e acima de 200 000 quilómetros (cerca de 300 entradas). Existem também valores registados no intervalo entre os 150 000 e os 200 000 quilómetros que devem ter sido um erro de introdução no ficheiro.

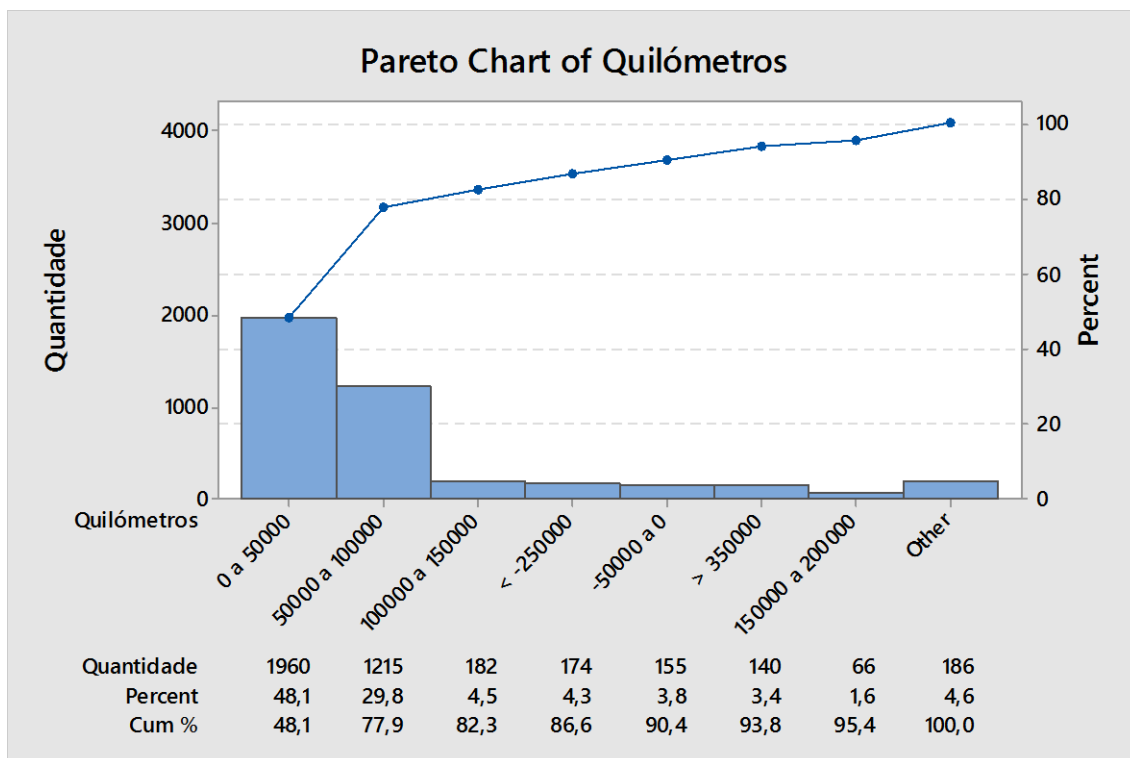


Figura 22 - Gráfico de *Pareto* para quilómetros percorridos de todos os pneus

No gráfico de *Pareto*, da Figura 22, de todos os pneus, pode constatar-se que 77,9% dos dados estão compreendidos entre os zero e os 100 000 quilómetros, o que torna o estudo mais consistente pois a maioria dos dados encontra-se entre valores considerados normais para a vida útil de pneu, e até aos 150 000 quilómetros encontram-se 82,3% dos dados.

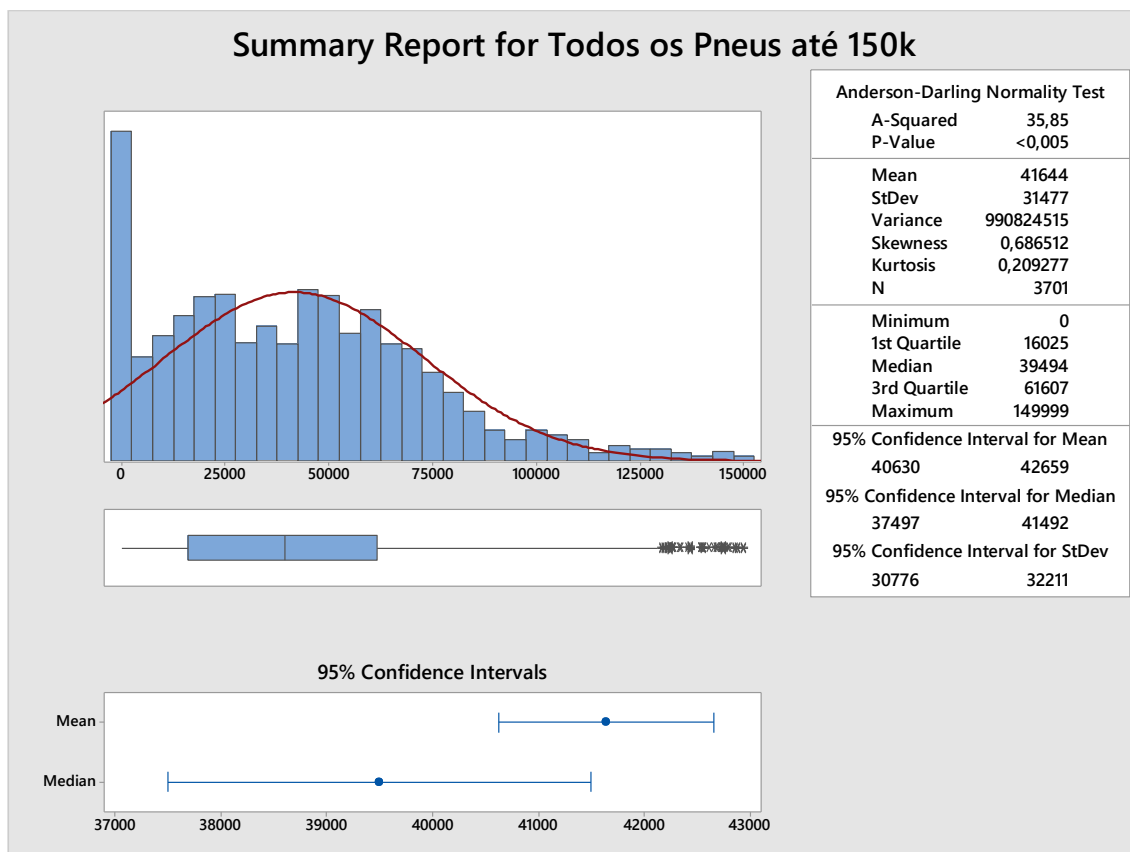


Figura 23 - Análise sumarizada de todos os pneus até 150000 quilómetros

Numa análise global exploratória filtrando os dados entre os zero e os 150 000 quilómetros, pode-se ver pela Figura 23 que os dados apresentam uma média de 41 644 quilómetros. Como o *p-value* extraído do teste de *Anderson-Darling* para a mesma distribuição é menor que 5% o que quer dizer que se rejeita a hipótese nula, ou seja, os dados não seguem uma distribuição normal.

No *box plot* na mesma imagem, pode-se constatar que 50% dos dados estão compreendidos entre os valores de 16 025 e 61 607 quilómetros e apresenta uma mediana de 39 494 quilómetros. Pode-se ainda ver que existe uma dispersão muito grande de dados pelo que a partir dos aproximadamente 125 000 quilómetros os dados são *outliers*, ou seja valores que estão associados a erros de medição, erros de execução ou à variabilidade inerente dos elementos da população.

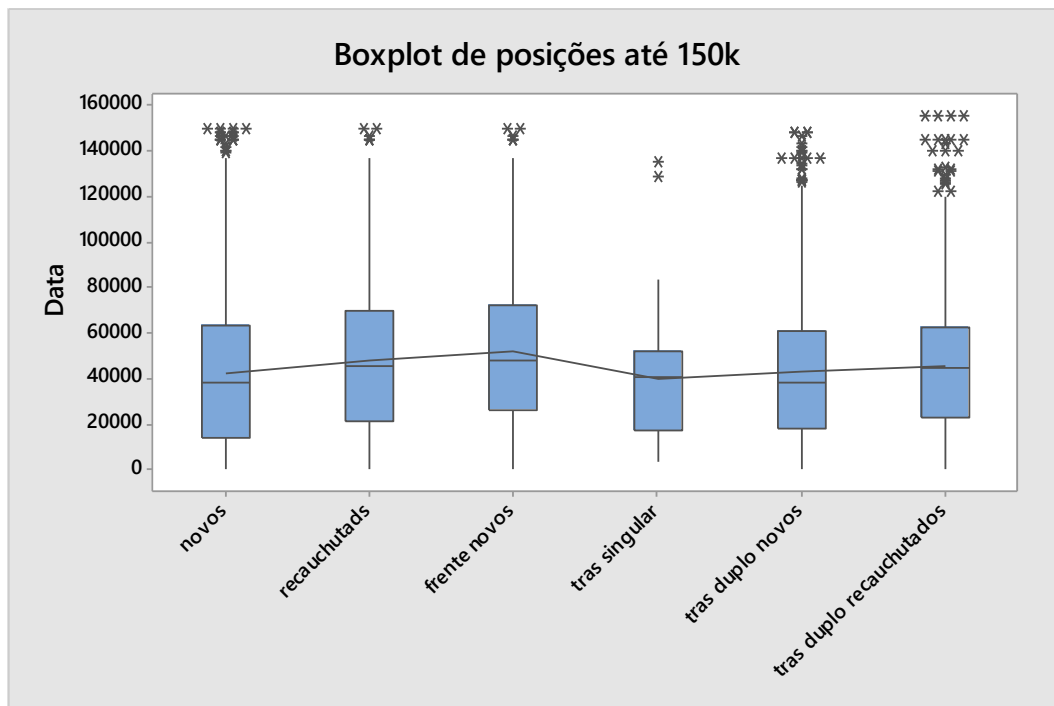


Figura 24 - Análise Box Plot de pneus em diferentes posições

Na Figura 24, consegue-se ter uma percepção inicial de que a partir de aproximadamente os 120 000 quilómetros existem muitos valores *outliers* que não estão a contribuir beneficemente para o estudo em questão e que podem ser eliminados. É de notar de que apesar das médias serem diferentes, não têm grande variabilidade entre as posições apresentando uma amplitude de aproximadamente 10 000 quilómetros entre a posição de pneu com a média mais baixa e a com média mais alta. Consegue-se ainda observar que os pneus singulares montados atrás e os montados atrás duplos caso sigam uma distribuição normal será uma distribuição normal simétrica visto que a média e o valor médio estão muito próximos um do outro. Entre as posições não existe grande variabilidade significativa de dados exceto os pneus singulares montados atrás que apresentam uma dispersão menor. Por fim, é de notar que os dados de forma genérica apresentam simetria pois a linha que representa a mediana apresenta estar localizada mais ou menos ao centro entre o primeiro e o terceiro quartil, excluindo os pneus singulares montados atrás e os duplos novos montados atrás

Para fundamentar o estudo, tal informação foi filtrada de modo a que valores incorretos ou simplesmente com falta de informação não contribuíssem para o resultado final. Para isso apenas foram estudados os valores de pneus que circularam entre 20 000

e 90 000 quilómetros para que pneus com quilómetros de trabalho fora desse intervalo, e dados incompletos ficassem de fora tornando assim todos os dados em estudo completos. Por outra forma ao balizar os dados a partir dos 20 000 está-se a excluir pneus que tiveram um fim de vida prematuro devido a algum falha ou simplesmente os valores foram mal inseridos.

4.2.2 Análise de dados

Numa primeira análise tentou-se perceber onde residiam maioritariamente os valores fazendo assim uma análise de histogramas para assim termos uma perceção do comportamento dos dados, e assim se conseguir ver facilmente a moda dos dados e a dispersão que os mesmos possuem.

Na Tabela 5 é apresentada a quantidade de dados considerados consoante posições e marcas.

Tabela 5 - Dados a analisar

	Quantidade
Novos	1391
Recauchutados	617
Frente novos	613
Trás singular novos	29
Trás duplo novos	733
Trás duplo recauchutados	936
Bridgestone novos	626
Bridgestone recauchutados	303
Kormoran novos	258
Michelin novos	363
Michelin recauchutados	556

Os gráficos seguidamente apresentados fazem uma análise seccionada dos quilómetros feitos pelos pneus.

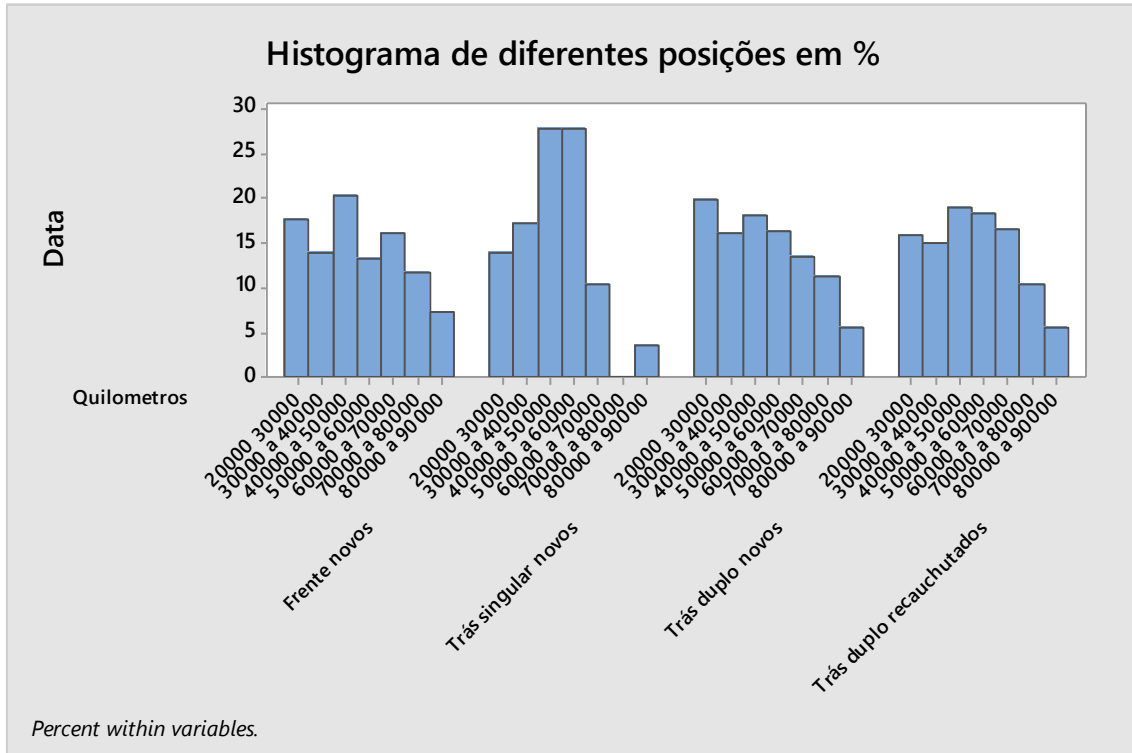


Figura 25 - Histograma de quilómetros percorridos em diferentes posições

De notar que existe uma maior rotação de pneus nas viaturas configuradas com dois pneus atrás de cada lado recauchutados. Já os pneus montados a frente novos e os atrás duplos novos apresentam uma quantidade idêntica de entradas enquanto os atrás pneus singular novos não têm expressão face à rotatividade de pneus nas outras posições em termos de valores absolutos. Se olharmos em valores percentuais como mostra a Figura 25, pode-se ver que não existem diferenças significativas entre posições, tirando os pneus singulares montados no eixo traseiro que mostram uma grande discrepância em relação às outras, mas que se deve ao facto do número da amostra ser muito pequeno.

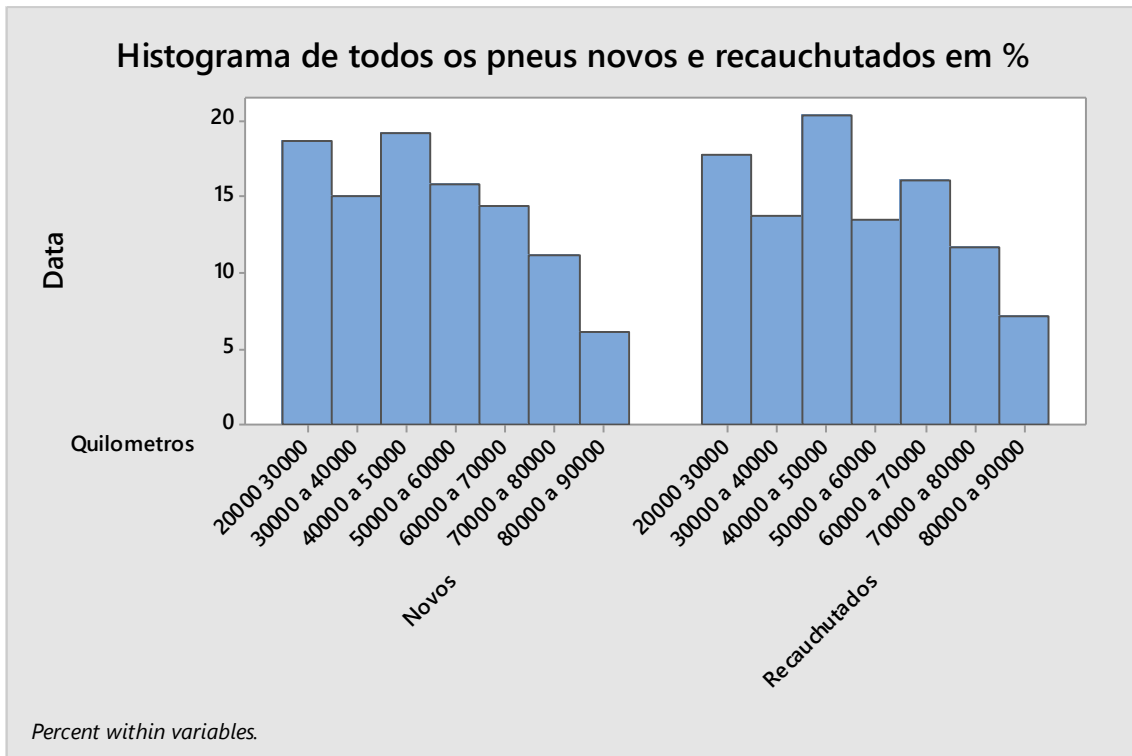


Figura 26 - Histograma de todos os pneus novos e recauchutados

Relativamente a todos os pneus novos e recauchutados, pode-se ver que existe uma muito maior rotação de pneus novos em relação ao pneu recauchutados em números absolutos, em termos percentuais, apenas apresentam uma pequena diferença entre os 60 000 e os 70 000 quilómetros, sendo que os pneus recauchutados apresentam um melhor desempenho.

Pode-se concluir que regra geral os quilómetros percorridos de um pneu até à sua troca aparentam ter um comportamento normal. É de realçar que os pneus recauchutados e os pneus na posição frontal novos parecem ter um comportamento bi-modal.

4.2.3 Teste de Anderson-Darling

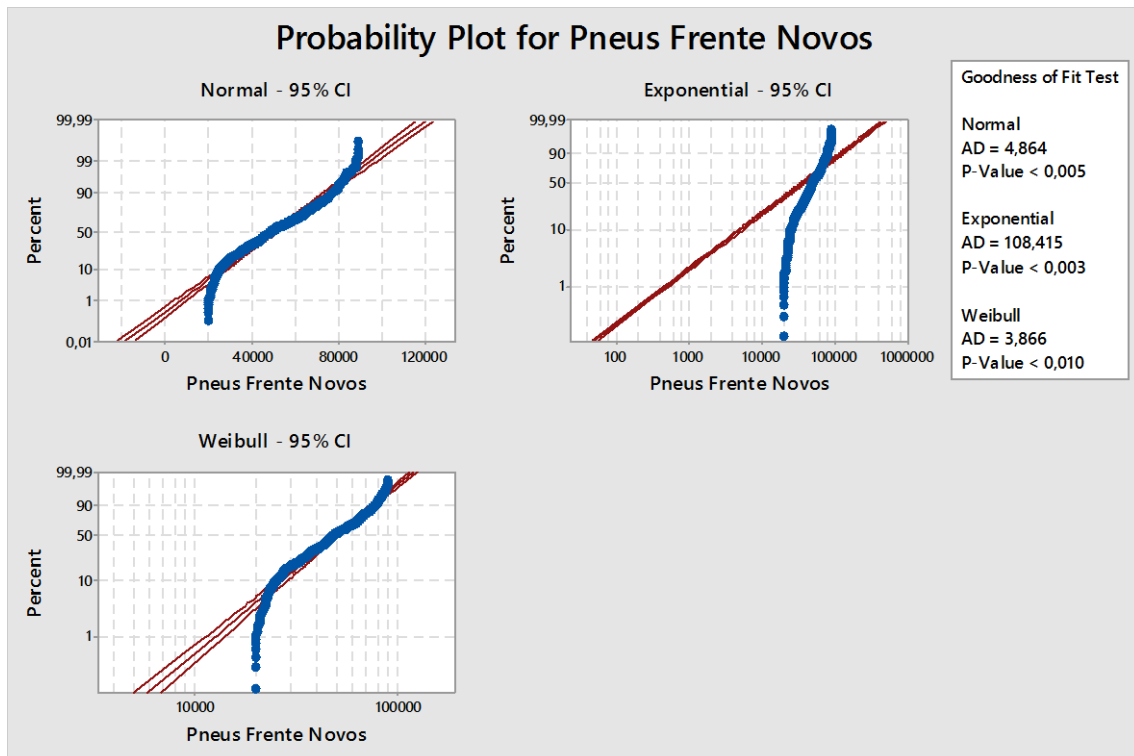


Figura 27 - Teste A-D pneus frente novos

Para os dados dos pneus novos montados no eixo frontal, pelo teste de *Anderson-Darling* pode-se ver que a melhor distribuição a aplicar será a distribuição de *Weibull*, pois todos os testes apresentaram valores de *p-value* < 5% (0,05), ou seja rejeitam a hipótese nula, não seguindo assim a distribuição em questão. A de *Weibull* será a que apresenta um risco menor e um melhor valor de estatística de *Anderson-Darling* (AD=3.866).

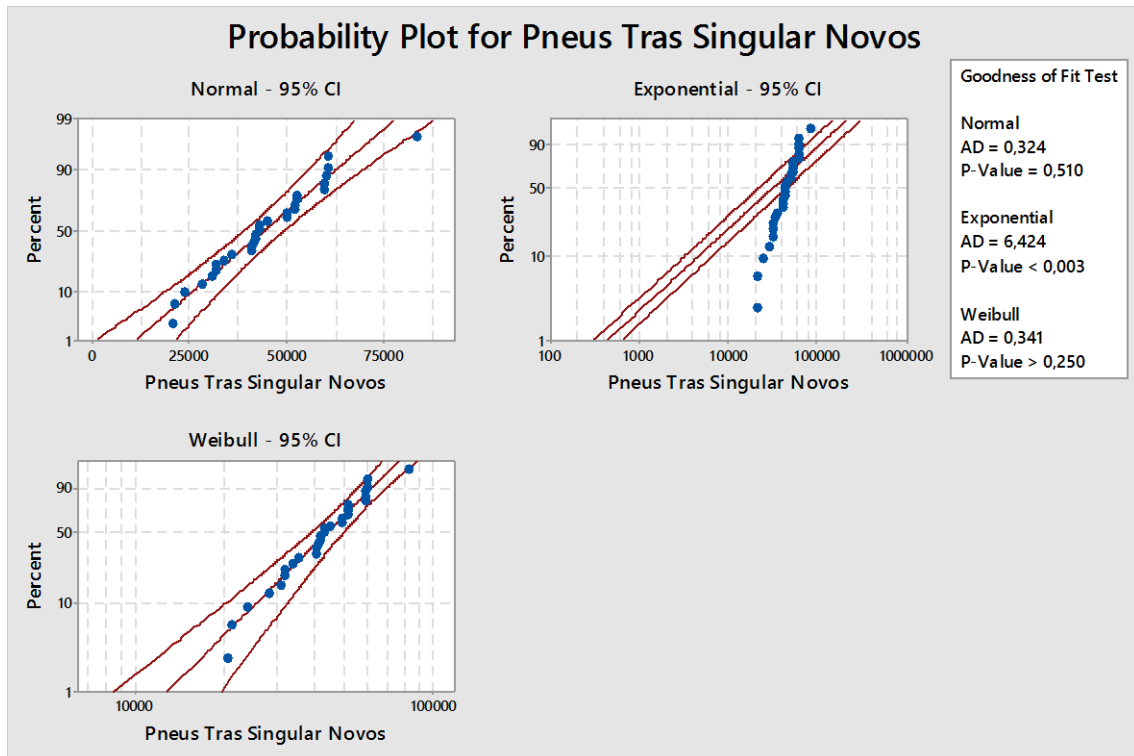


Figura 28 - Teste A-D pneus trás singular novos

Relativamente as valores obtidos no teste de A-D sobre os pneus singulares montados atrás novos, pode-se ver que tanto a distribuição normal como a distribuição de *Weibull* têm um bom ajuste aos dados através da análise de *p-value*, que é maior do que 5% viabilizando assim a hipótese nula e afirmando que os dados seguem a distribuição em causa com 95% de certeza.

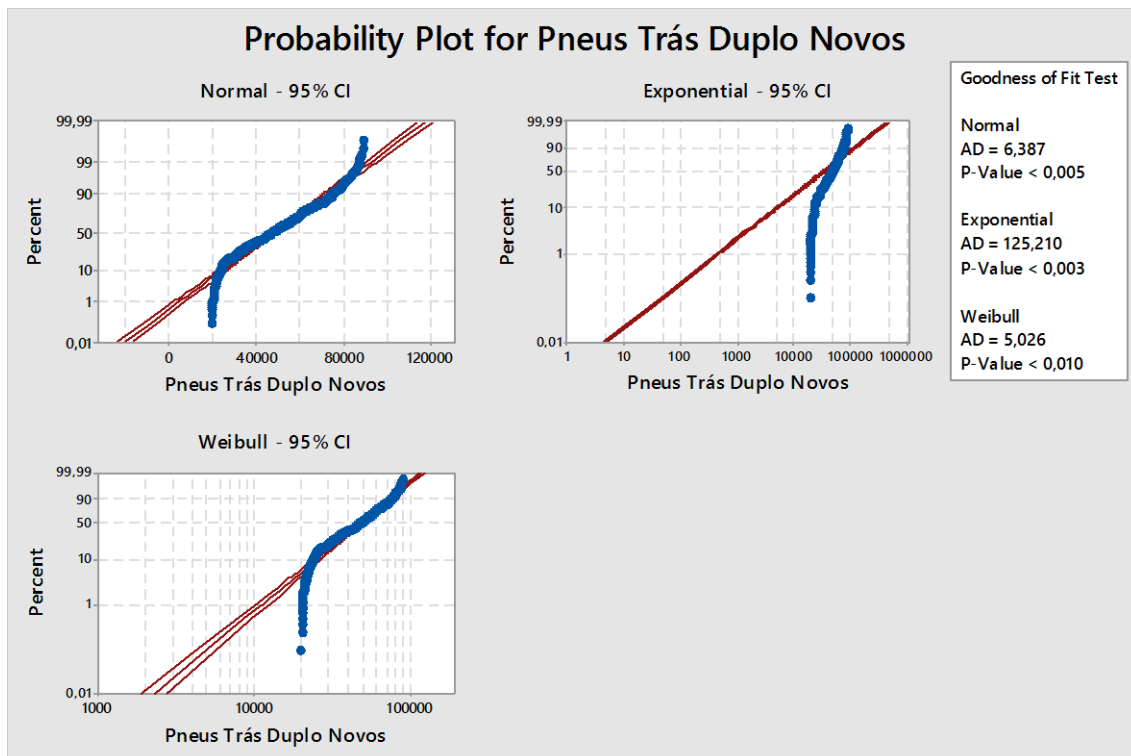


Figura 29 - Teste A-D pneus trás duplo novos

Na Figura 29 que apresenta do teste de A-D referente aos quilómetros percorridos nos pneus traseiros duplos novos pode-se constatar que como na análise aos pneus frontais novos todos os valores de *p-value* são menores do que 5%. De qualquer das maneiras a distribuição de *Weibull* é a que apresenta os melhores valores de *p-value* e de teste de A-D.

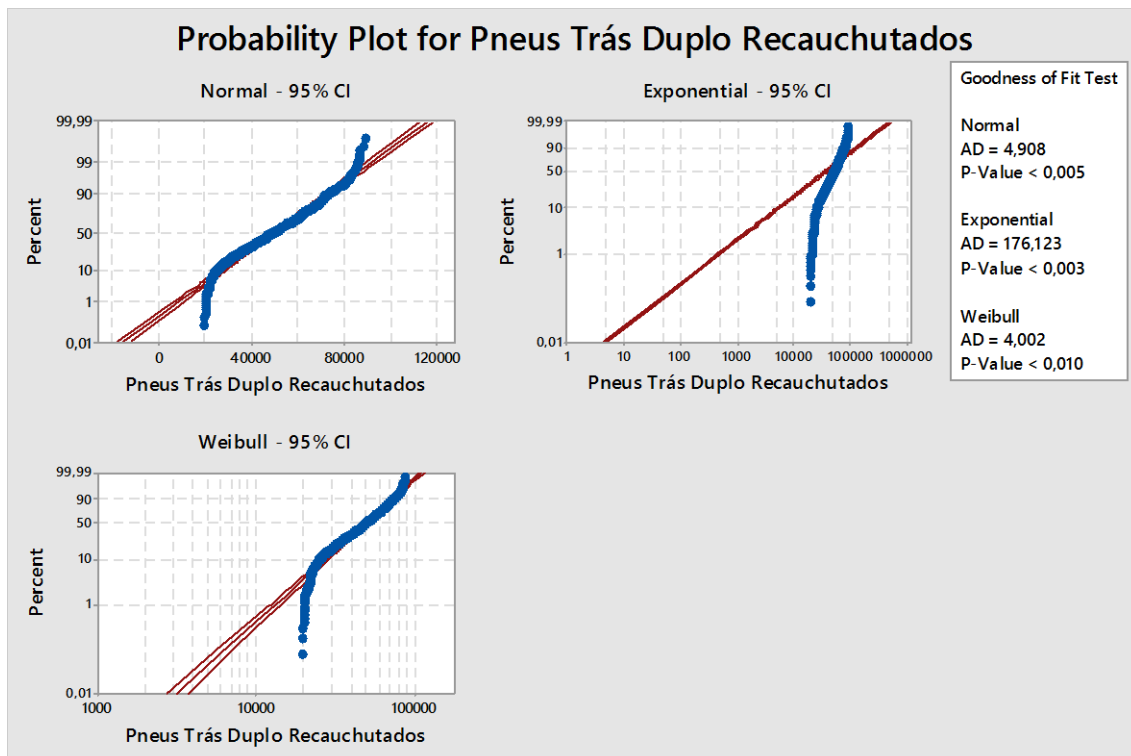


Figura 30 - Teste A-D pneus trás duplo recauchutado

Nos pneus traseiros duplos recauchutados pode-se constatar que a distribuição de *Weibull* é a que melhor se ajusta aos dados apresentando esta o melhor valor de *p-value* e do teste de A-D apesar de ser menor do que 5%.

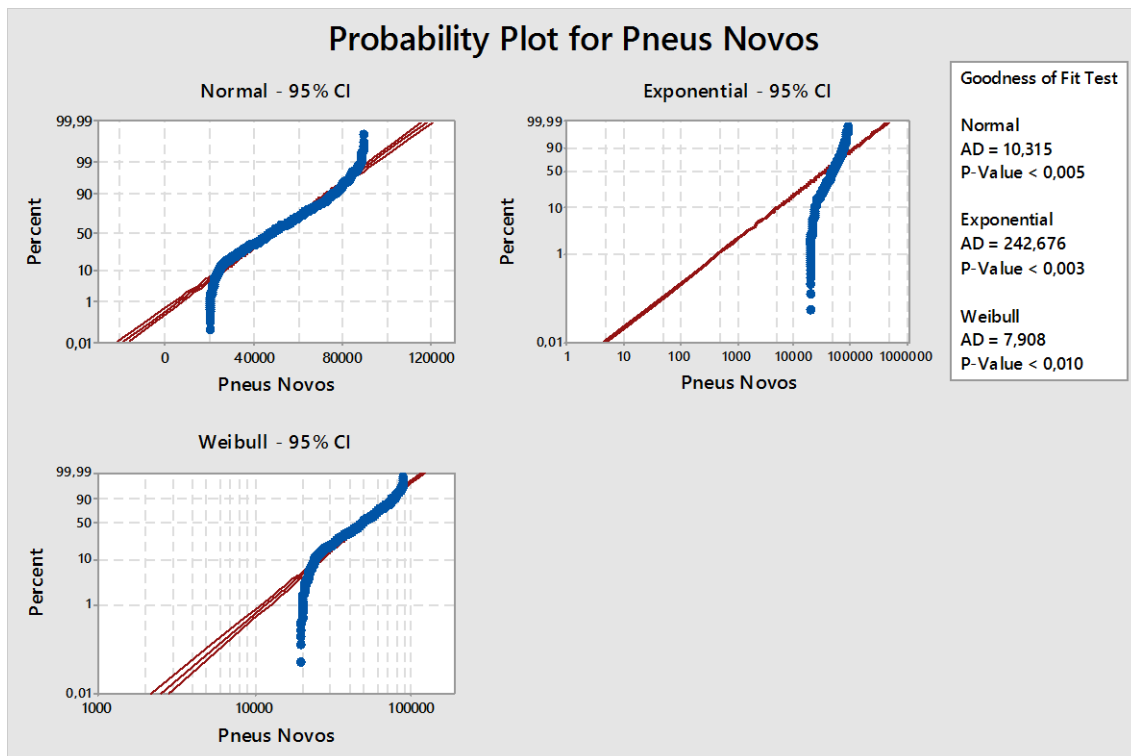


Figura 31 - Teste A-D pneus novos

Relativamente aos dados dos quilómetros percorridos de todos os pneus novos, independentemente da posição montada, pode-se ver que a distribuição de *Weibull* é a melhor que se ajusta aos dados, pelos de valores de *p-value* e do valor do teste de A-D.

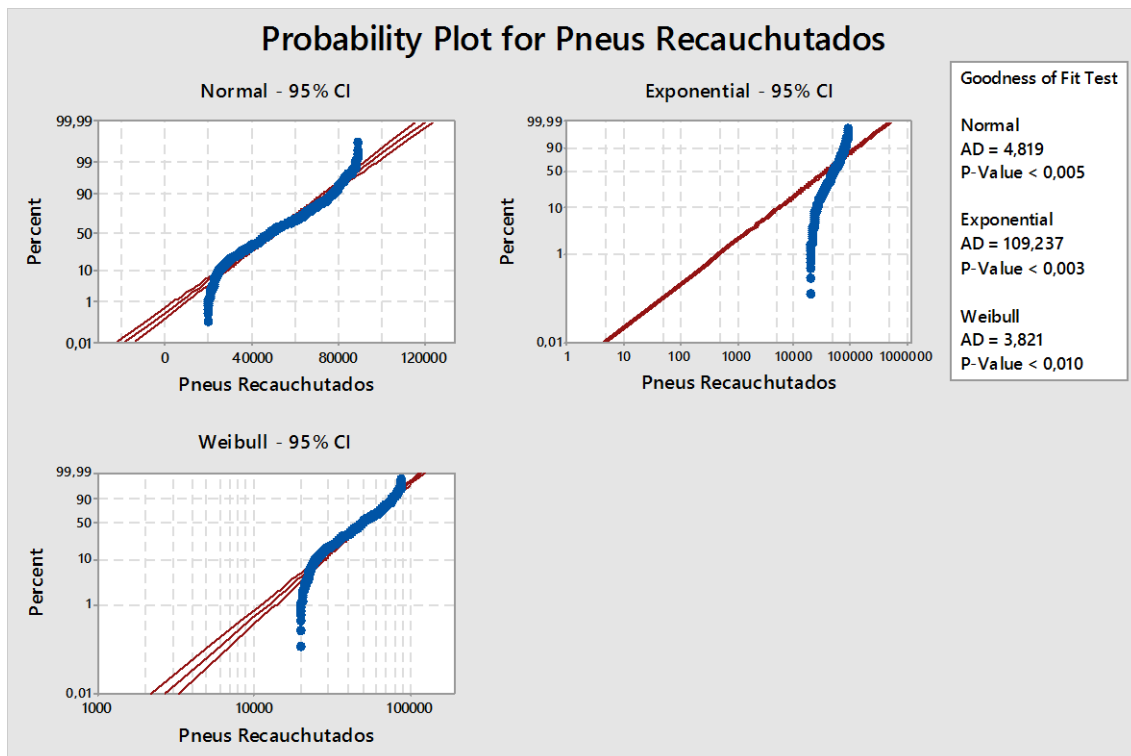


Figura 32 - Teste A-D pneus recauchutados

Por fim, os dados dos quilómetros percorridos relativamente aos pneus recauchutados independentemente da posição em que foram montados, pode-se constatar que mais uma vez a distribuição de *Weibull* é a que melhor se ajusta aos dados apesar de não cumprir com os requisitos de *p-value*.

Em suma, através do teste de *Anderson-Darling*, aplicado aos pneus e posições em estudo, pode-se concluir que, apesar de que as distribuições testadas nem sempre apresentarem os valores de *p-value* que afirmem que não se rejeita a hipótese nula (H_0), maioritariamente a distribuição de *Weibull* é que, dentro das distribuições estudadas, se melhor ajusta ao dados. De qualquer das maneiras, devido à dimensão das amostras pode-se estar perante o problema do *p-value* com as amostras grandes como referido em 3.5.2., que o elevado tamanho das amostras pode estar a condicionar o *p-value* para um valor muito pequeno fazendo assim a rejeição da hipótese nula.

4.2.4 Parâmetros de forma e escala

Tabela 6 - Parâmetros de forma e de escala

	Parâmetros de forma (β)	Parâmetros de escala (η)
Novos	3,05	55 628
Recauchutados	3,07	56 942
Frente novos	3,07	56 999
Trás singular novos	2,31	67 705
Trás duplo novos	2,98	54 731
Trás duplo Recauchutados	3,23	56 195

Como se pode ver na tabela anterior, tirando os pneus montados atrás singular novos que têm uma ligeira diferença em relação aos outros, que apresenta um $\beta=2,31$ um pouco menor em relação aos outros, e um $\eta=67\ 705$ que se distancia dos outros parâmetros com um valor de aproximadamente 10 000, não existe grande discrepância entre os parâmetros de forma, estando todos muito próximos do valor de 3, os que indica que a função densidade probabilidade se assemelha muito a uma função distribuição normal.

Relativamente aos parâmetros de escala, pode-se observar que entre os pneus novos e os recauchutados existem uma diferença de 1000 quilómetros e nos pneus montados no eixo traseiro, entre os novos e os recauchutados existe uma diferença de aproximadamente 1500 quilómetros. Assim pode-se afirmar que no parâmetro de escala os pneus recauchutados têm tendencialmente um desempenho melhor em relação aos pneu novos.

Na Tabela 7 pode ser observado os valores para os parâmetros de forma e de escala das marcas mais utilizadas.

Tabela 7 - Parâmetros de forma e escala relativamente a marcas

	Quantidade	Parâmetros de forma (β)	Parâmetros de escala (η)
Bridgestone novos	625	3,02	56075
Bridgestone recauchutados	302	3,22	54944
Kormoran novos	257	3,25	54670
Michelin novos	363	2,73	56338
Michelin recauchutados	556	3,20	57715

Quanto à análise feita sobre os parâmetros de forma e escala relativamente às marcas mais utilizadas, não se destaca nenhuma marca em específico, pois todas apresentam fatores de forma e escala muito próximos e com uma diferença que não é significativa.

4.2.5 Curvas caracterizadas

Com as curvas de probabilidade densidade ajustada e fiabilidade ajustada pode-se então analisar as curvas dos dados ajustados sendo assim possível tecer algumas conclusões sobre as amostras disponibilizadas, extrapolando para a população que originou as mesmas, com um risco associado dependendo do valor de *p-value* obtido nos testes. De seguida apresentam-se as curvas já caracterizadas pela distribuição de *Weibull*.

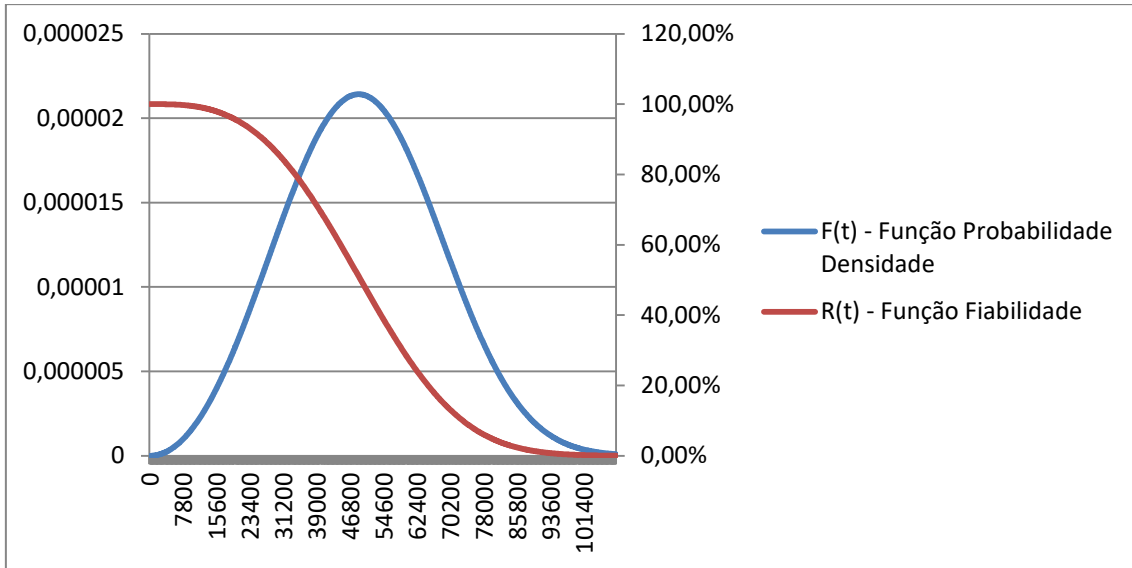


Figura 33 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (novos)

Pela função de fiabilidade relativamente a todos os pneus novos, é possível afirmar aos 25.000 quilómetros apresentam uma fiabilidade de 91,63% e aos 65.000 de 20,04%.

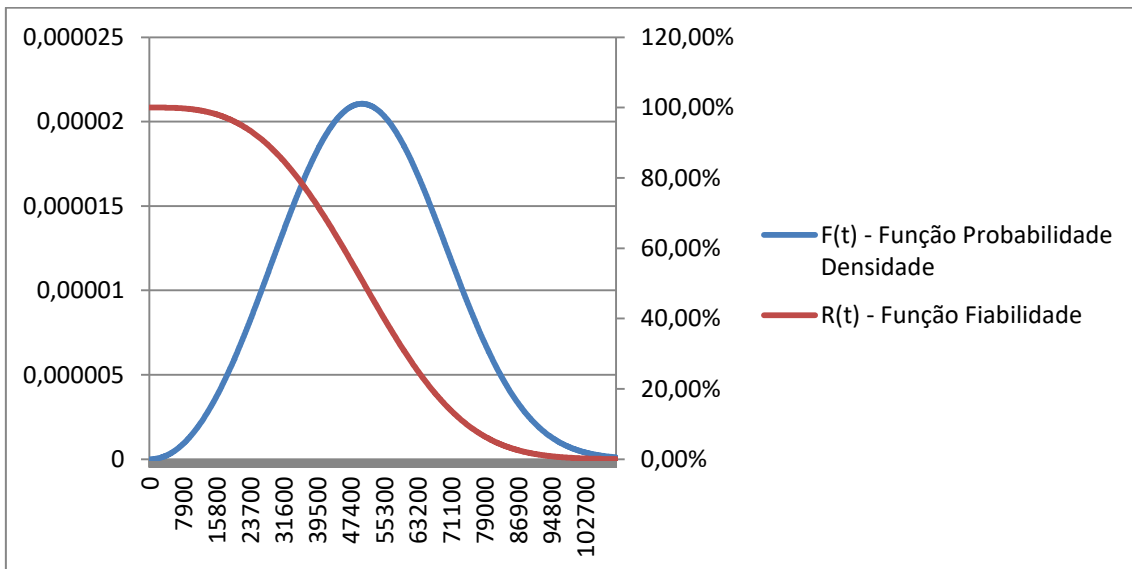


Figura 34 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (recauchutados)

Pela função de fiabilidade relativamente a todos os pneus recauchutados, é possível afirmar que aos 25.000 quilómetros apresentam uma fiabilidade de 92,32% e aos 65.000 de 22,29%.

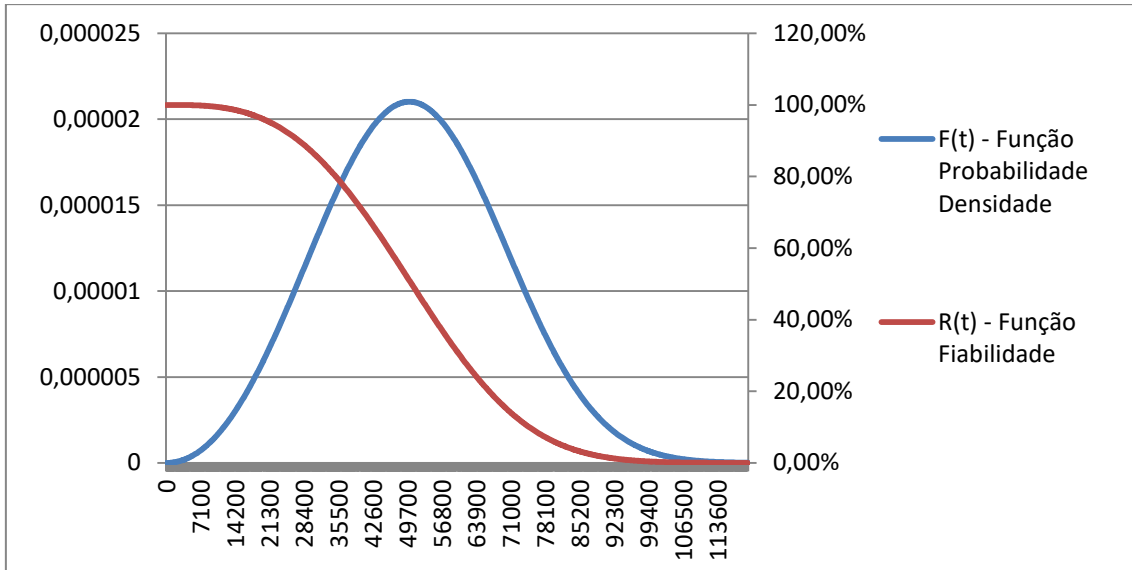


Figura 35 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (frente novos)

Pela função de fiabilidade relativamente aos pneus montados à frente novos, é possível afirmar que aos 25.000 quilómetros apresentam uma fiabilidade de 92,33% e aos 65.000 de 22,40%.

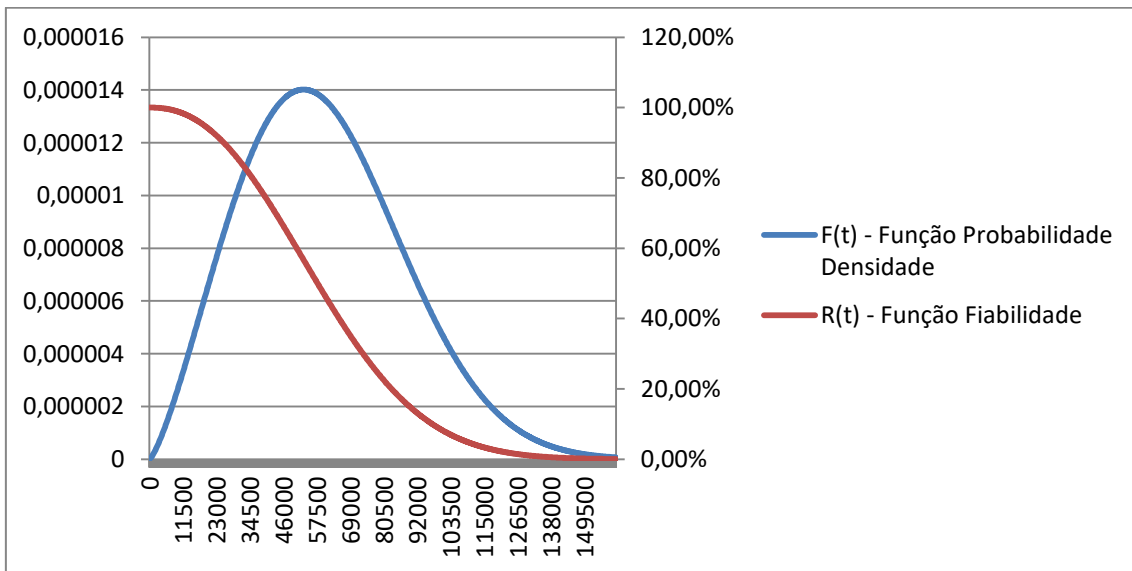


Figura 36 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (trás singular novos)

Pela função de fiabilidade relativamente aos pneus montados atrás singular novos, é possível afirmar que aos 25.000 quilómetros apresentam uma fiabilidade de 90,45% e aos 65.000 de 40,24%.

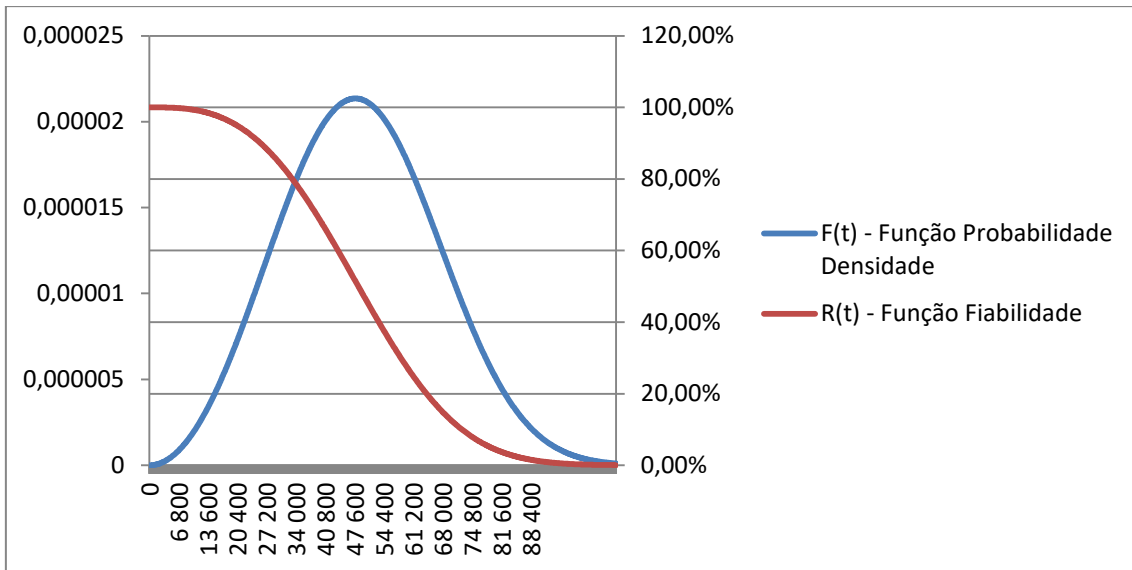


Figura 37 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (trás duplo novos)

Pela função de fiabilidade relativamente aos pneus duplos montados atrás novos, é possível afirmar que aos 25.000 quilómetros apresentam uma fiabilidade de 90,77% e aos 65.000 de 18,84%.

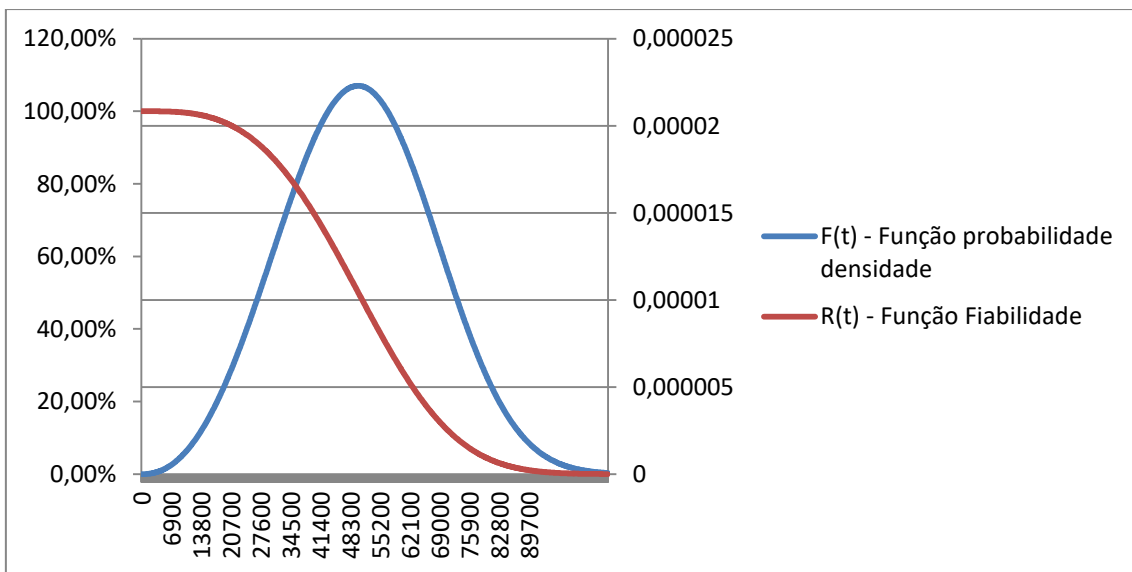


Figura 38 - Função Fiabilidade e Probabilidade Densidade (trás duplo recauchutados)

Por fim, pela função de fiabilidade relativamente aos pneus duplos montados atrás recauchutados, é possível afirmar que aos 25.000 quilómetros apresentam uma fiabilidade de 92,94% e aos 65.000 de 20,20%.

Nos gráficos anteriores da função probabilidade densidade apresentados, pode-se ver que as modas das distribuições rodam a casa dos 50.000 quilómetros, apresentando assim um comportamento normal transformado com assimetria positiva com mais destaque nos pneus singulares montados no eixo traseiro.

Tabela 8 - Apresentação de fiabilidades

	Fiabilidade		
	75%	50%	25%
Novos	36,0	49,3	61,9
Recauchutados	37,9	50,5	63,3
Frente novos	37,9	50,5	63,4
Trás singular novos	39,4	57,7	78,0
Trás duplo novos	36,0	48,3	61,0
Trás duplo Recauchutados	38,1	50,1	62,1

*Valores apresentados em milhares de quilómetros;

**Valores arredondados às centenas.

Com esta análise conclui-se que não existem diferenças significativas em relação à posição em que os pneus são montados, podendo-se assim assumir que todos os pneus, independentemente da posição aparentam ter um coeficiente de desgaste idêntico, tirando as viaturas com apenas uma roda de cada lado atrás que apresentam um pequeno desvio tanto no parâmetro de forma com no de escala, sendo este último cerca de 10000 quilómetros superior, enquanto apresenta valores com desvios na ordem dos 8%, 16% e 22% relativamente ao valores de fiabilidade de 75%, 50% e 25% respetivamente. Relativamente às outras posições não apresentam diferenças significativas nos valores de fiabilidade. Isto pode-se dar devido a vários fatores que não englobam este estudo mas que entre várias hipóteses podem ser:

- Tipo de viatura;

- Distribuição de peso da viatura (passageiros e motor);
- Estado do percurso da viatura (estrada muito irregular);
- Tipo de percurso da viatura (se vira mais para a direita ou para a esquerda);
- Tipo de condução (agressiva, passiva).

4.3 Troca de pneus baseada na rodagem

Como não foi facultada informação financeira relativamente ao custo de por exemplo a um pneu, ou a quaisquer outros custos, como o custo de uma intervenção de troca de pneu, ou em casos mais extremos os custos de um veículo cessar o trabalho devido ao furo de um pneu, ou o custo do reboque para transportar o mesmo até à oficina ou então outro cenário de alguém se deslocar até ao veículo para fazer a troca no local da avaria, foram feitos cálculos para o ponto ótimo de troca de pneu com valores proporcionais, no momento em que não comprometa a segurança do veículo acima de tudo, mas principalmente no momento em que a curva da manutenção preventiva e a da corretiva se cruzam, minimizando assim o custo total como descrito na secção 3.4.5.

Seguidamente será descrito qual o ponto ótimo de troca do pneu tendo em conta o já descrito e assumindo vários cenários de trabalho, onde se irá explorar no caso das posições em que trabalham 2 pneus em simultâneo de cada lado da viatura, a hipótese se caso num desses pneus ocorra uma falha e o outro fique operacional existe a hipótese da viatura circular com apenas um pneu pelo menos até à oficina para se proceder à troca, ou se por outro lado a viatura para de imediato e fica a espera do reboque ou de alguém que se dirija à viatura para a troca do pneu danificado. Ou seja uma comparação entre a manutenção preventiva (C_{PS}) e a corretiva (C_{FS}) com respetivos valores de fiabilidade ($R(t)$) e probabilidade de falha ($F(t)$) associados.

4.3.1 Todos os pneus novos

Assumindo os valores dos parâmetros de forma e de escala de 3,05 e 55 628 respectivamente e um MTBF dos pneus novos de 49 711 quilômetros, temos:

Tabela 9 - Pneus novos só com um pneu ou em caso de falha o veículo para

	C _{PS}	C _{FS}	C _{PS}	C _{FS}	C _{PS}	C _{FS}	C _{PS}	C _{FS}
	1	2	1	3	1	4	2	3
Custo proporcional								
F(t) do elemento (%)	40,4		22,2		15,3		66,6	
R(t) do elemento (%)	59,6		77,8		84,7		33,4	
F(t) do sistema (%)	40,4		22,2		15,3		66,6	
R(t) do sistema (%)	59,6		77,8		84,7		33,4	
Ponto ótimo de troca (km)	44822		35357		30877		57335	

Na Tabela 9 pode-se ver que ao longo que o rácio entre custo proporcional entre a manutenção preventiva e a manutenção corretiva vai diminuindo o ponto ótimo de troca também vai diminuir, pois a curva dos custos da manutenção corretiva vai ter um comportamento exponencial mais acentuado e mais cedo no eixo das abcissas. Os valores de fiabilidade acompanham a diminuição do ponto ótimo de troca, pois se o pneu é trocado mais cedo, existe uma probabilidade menor de falhar e uma fiabilidade maior. Este comportamento é comum em todas as análises seguintes.

Os valores de fiabilidade e probabilidade de falha do elemento e do sistema, são iguais, e isso acontece sempre que a falha num pneu cause a imobilização do veículo.

Relativamente entre o quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/2$ e $1/4$ podemos ver um decréscimo de 31% no ponto ótimo de troca, enquanto entre os cenários de $1/3$ e $2/3$ um acréscimo de 38%, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um acréscimo de 29% e um decréscimo de 57%, o que indica que o custo da manutenção preventiva contribui com um maior peso para o ponto ótimo de troca de pneus mais cedo.

Por fim, num cenário em que $C_{PS} = C_{FS}$, o sistema teria uma situação onde não existiria ponto ótimo de troca pois estávamos perante uma situação de *run to failure* pois economicamente não existira vantagens na troca prematura de pneus. O mesmo se aplica para todas as análises seguintes.

Tabela 10 - Pneus novos com dois pneus e em caso de falha o veículo não para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	3	1	4	1	5	2	5
F(t) do elemento (%)	66,5		47,7		38,8		87,0	
R(t) do elemento (%)	33,5		52,3		61,2		13,0	
F(t) do sistema (%)	44,2		22,8		15,1		75,7	
R(t) do sistema (%)	55,8		77,2		84,9		24,3	
Ponto ótimo de troca (km)	57284		48256		44057		70279	

Neste caso já é normal os valores de fiabilidade de probabilidade de falha sejam diferentes, sendo que tanto a probabilidade de falha como a fiabilidade do sistema assumem valores maiores do que os valores do elemento, pois, caso exista uma falha de um pneu o veículo não é obrigado a parar e por esse motivo o ponto ótimo de troca é superior em relação à análise anterior, e o mesmo se aplica para as análises seguintes que cumpram este requisito.

Relativamente entre o quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/5$ e $2/5$ podemos ver um acréscimo de 37% no ponto ótimo de troca, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um decréscimo de 78% para o elemento e de 71% para o sistema, o que significa que o sistema não está tão vulnerável quanto apenas um elemento à falha.

No caso entre os cenários em que o veículo continua a andar ou fica imobilizado após falha nos casos em que o quociente é $1/3$, o ponto ótimo de troca apresenta um melhoria de 38%, enquanto a fiabilidade do sistema tem um decréscimo de 28% pois neste caso existem dois elementos a operar em paralelo.

4.3.2 Todos os pneus recauchutados

Assumindo os valores dos parâmetros de forma e de escala de 3,07 e 56 942 respetivamente e um MTBF dos pneus recauchutados de 50 900 quilómetros, temos:

Tabela 11 - Pneus recauchutados só com um pneu ou em caso de falha o veículo para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	2	1	3	1	4	2	3
F(t) do elemento (%)	40,1		22,0		15,1		66,2	
R(t) do elemento (%)	59,9		78,0		84,9		33,8	
F(t) do sistema (%)	40,1		22,0		15,1		66,2	
R(t) do sistema (%)	59,9		78,0		84,9		33,8	
Ponto ótimo de troca (km)	45800		36178		31580		58470	

Relativamente entre o quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/2$ e $1/4$ podemos ver um decréscimo de 31% no ponto ótimo de troca, enquanto entre os cenários de $1/3$ e $2/3$ um acréscimo de 38%, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um acréscimo de 29% e um decréscimo de 56%, o que indica que o custo da manutenção preventiva contribui com um maior peso para o ponto ótimo de troca de pneus mais cedo.

Estes valores são muito próximos dos valores obtidos nos pneus novos, pois os parâmetros de forma e de escala também são muito próximos.

Tabela 12 - Pneus recauchutados com dois pneus e em caso de falha o veículo não para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	3	1	4	1	5	2	5
F(t) do elemento (%)	66,3		47,5		38,6		86,8	
R(t) do elemento (%)	33,7		52,5		61,4		13,2	
F(t) do sistema (%)	44		22,6		14,9		75,3	
R(t) do sistema (%)	56		77,4		85,1		24,7	
Ponto ótimo de troca (km)	58522		49346		45068		71654	

O quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/5$ e $2/5$ podemos ver um acréscimo de 37% no ponto ótimo de troca, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um decréscimo de 78% para o elemento e de 70% para o sistema, o que significa que o sistema não está tão vulnerável quanto apenas um elemento à falha.

No caso entre os cenários em que o veículo continua a andar ou fica imobilizado após falha nos casos em que o quociente é $1/3$ o ponto ótimo de troca apresenta uma melhoria de 38%, enquanto a fiabilidade do sistema tem um decréscimo de 28% pois neste caso existem dois elementos a operar em paralelo.

Estes valores são muito próximos dos valores obtidos nos pneus novos, pois os parâmetros de forma e de escala também são muito próximos.

4.3.3 Pneus montados no eixo frontal novos

Assumindo os valores dos parâmetros de forma e de escala de 3,07 e 56 999 respectivamente e um MTBF dos pneus montados no eixo frontal de 50 951 quilômetros, temos:

Tabela 13 - Pneus montados à frente novos e em caso de falha o veículo para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
	1	2	1	3	1	4	2	3
Custo proporcional								
F(t) do elemento (%)	40,1		22,0		15,1		66,2	
R(t) do elemento (%)	59,9		78,0		84,9		33,8	
F(t) do sistema (%)	40,1		22,0		15,1		66,2	
R(t) do sistema (%)	59,9		78,0		84,9		33,8	
Ponto ótimo de troca (km)	45846		36214		31612		58528	

Como os não existem diferenças significativas entres os parâmetros de forma e de escala, entre os pneus novos montados no eixo frontal e os pneus recauchutados, assumo que a análise dos dados será igual à análise feita Todos os pneus recauchutados no subcapítulo 4.3.2 no cenário em que o veículo fica imobilizado após falha de um pneu.

4.3.4 Pneus montados no eixo traseiro singular

Assumindo os valores dos parâmetros de forma e de escala de 2,31 e 67 705 respectivamente e um MTBF dos pneus singulares montados no eixo traseiro de 59 983 quilômetros, temos:

Tabela 14 - Pneus montados atrás singular novos e em caso de falha o veículo para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	2	1	3	1	4	2	3
F(t) do elemento (%)	57,6		33,3		23,2		85,4	
R(t) do elemento (%)	42,4		66,7		76,8		14,6	
F(t) do sistema (%)	57,6		33,3		23,2		58,4	
R(t) do sistema (%)	42,4		66,7		76,8		41,6	
Ponto ótimo de troca (km)	63362		45779		38037		89880	

Relativamente entre o quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/2$ e $1/4$ podemos ver um acréscimo de 39% no ponto ótimo de troca, enquanto entre os cenários de $1/3$ e $2/3$ um acréscimo de 49%, enquanto na fiabilidade respectivamente temos um decréscimo de 45% e um decréscimo de 78%, o que indica que o custo da manutenção preventiva contribui com um maior peso para o ponto ótimo de troca de pneus mais cedo. Estes valores são um pouco discrepantes dos outros observados anteriormente, pois por o parâmetro de forma ser menor, a distribuição tem uma forte assimetria positiva como já visto anteriormente no subcapítulo 4.2.5

4.3.5 Pneus montados no eixo traseiro duplos novos

Assumindo os valores dos parâmetros de forma e de escala de 2,98 e 54 731 respetivamente e um MTBF dos pneus duplos novos montados no eixo traseiro de 48 859 quilómetros, temos:

Tabela 15 - Pneus montados atrás duplos novos e em caso de falha o veículo para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	2	1	3	1	4	2	3
F(t) do elemento (%)	41,6		22,9		15,8		68,1	
R(t) do elemento (%)	58,4		77,1		84,2		31,9	
F(t) do sistema (%)	41,6		22,9		15,8		68,1	
R(t) do sistema (%)	58,4		77,1		84,2		31,9	
Ponto ótimo de troca (km)	44448		34829		30316		57234	

Relativamente entre o quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/2$ e $1/4$ podemos ver um decréscimo de 31% no ponto ótimo de troca, enquanto entre os cenários de $1/3$ e $2/3$ um acréscimo de 39%, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um acréscimo de 30% e um decréscimo de 59%, o que indica que o custo da manutenção preventiva contribui com um maior peso para o ponto ótimo de troca de pneus mais cedo.

Tabela 16 - Pneus montados atrás duplos novos e em caso de falha o veículo não para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	3	1	4	1	5	2	5
F(t) do elemento (%)	67,4		48,4		39,4		87,9	
R(t) do elemento (%)	32,6		51,6		60,6		12,1	
F(t) do sistema (%)	45,4		23,4		15,5		77,3	
R(t) do sistema (%)	54,6		76,6		84,5		22,7	
Ponto ótimo de troca (km)	56867		47647		43398		70337	

O quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/5$ e $2/5$ podemos ver um acréscimo de 38% no ponto ótimo de troca, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um decréscimo de 80% para o elemento e de 73% para o sistema, o que significa que o sistema não está tão vulnerável quanto apenas um elemento à falha.

No caso entre os cenários em que o veículo continua a andar ou fica imobilizado após falha nos casos em que o quociente é $\frac{1}{3}$ o ponto ótimo de troca apresenta um acréscimo de 38%, enquanto a fiabilidade do sistema tem um decréscimo de 29% pois neste caso existem dois elementos a operar em paralelo.

4.3.6 Pneu montados no eixo traseiro duplos recauchutados

Assumindo os valores dos parâmetros de forma e de escala de 3,23 e 56 195 respetivamente e um MTBF dos pneus duplos recauchutados montados no eixo traseiro de 50 354 quilómetros, temos:

Tabela 17 - Pneus montados atrás duplos recauchutados e em caso de falha o veículo para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	2	1	3	1	4	2	3
F(t) do elemento (%)	37,7		20,6		14,1		63,0	
R(t) do elemento (%)	62,3		79,4		85,9		37,0	
F(t) do sistema (%)	37,7		20,6		14,1		63,0	
R(t) do sistema (%)	62,3		79,4		85,9		37,0	
Ponto ótimo de troca (km)	44575		35684		31360		56094	

Quanto ao quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/2$ e $1/4$ podemos ver um decréscimo de 29% no ponto ótimo de troca, enquanto entre os cenários de $1/3$ e $2/3$ um acréscimo de 36%, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um acréscimo de 27% e um decréscimo de 53%, o que indica que o custo da manutenção preventiva contribui com um maior peso para o ponto ótimo de troca de pneus mais cedo.

A comparação de pneus duplos montados no eixo traseiro entre novos e recauchutados verifica-se que existe uma diferença de 1 495 quilómetros, que significa que os recauchutados em termos percentuais fazem 3% mais quilómetros do que os pneus novos montados na mesma posição. Posto isto é de notar que ambos apresentam valores muito próximos devido aos valores dos parâmetros de forma e de escala serem muito próximos.

Tabela 18 - Pneus montados atrás duplos recauchutados e em caso de falha o veículo não para

	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}	C_{PS}	C_{FS}
Custo proporcional	1	3	1	4	1	5	2	5
F(t) do elemento (%)	64,3		46,0		37,4		84,9	
R(t) do elemento (%)	35,7		54,0		62,6		15,1	
F(t) do sistema (%)	58,7		21,2		14,0		72,1	
R(t) do sistema (%)	41,3		78,8		86,0		27,9	
Ponto ótimo de troca (km)	56711		48371		44434		68442	

O quociente C_{PS}/C_{FS} dos cenários de $1/5$ e $2/5$ podemos ver um acréscimo de 35% no ponto ótimo de troca, enquanto na fiabilidade respetivamente temos um decréscimo de 75% para o elemento e de 67% para o sistema, o que significa que o sistema não está tão vulnerável quanto apenas um elemento à falha.

No caso entre os cenários em que o veículo continua a andar ou fica imobilizado após falha nos casos em que o quociente é $1/3$ o ponto ótimo de troca apresenta uma melhoria de 36%, enquanto a fiabilidade do sistema tem um decréscimo de 47% pois neste caso existem dois elementos a operar em paralelo.

A comparação de pneus duplos montados no eixo traseiro entre novos e recauchutados verifica-se que existe uma diferença de 1 081 quilómetros, que significa que os recauchutados em termos percentuais fazem 2% mais quilómetros do que os pneus novos montados na mesma posição.

4.4 Análise de custos de manutenção

Nas tabelas apresentadas nas secções anteriores pode-se ver que entre todas as posições e todos os cenários, os *MTBF* têm uma diferença com uma amplitude de aproximadamente 10 000 quilómetros. Numa primeira análise, consoante o custo de manutenção corretiva (C_{FS}) vai aumentando em relação ao custo de manutenção preventiva (C_{PS}) pode-se ver que no caso em que o veículo para de imediato não existe diferença entre a probabilidade de falha do equipamento e a probabilidade de falha do sistema, o mesmo se aplica para a fiabilidade dos mesmos, pois se o equipamento (neste caso o pneu) para, o sistema também para (neste caso o veículo), mas no caso em que o veículo pode continuar a circular mesmo que ocorra a falha de um pneu, pode-se ver que os valores de probabilidade de falha e fiabilidade do elemento e do sistema não são iguais, pois o sistema pode ainda continuar a operar apesar de ter ocorrido uma falha num elemento, e claro que a partir desse momento a probabilidade de falha aumenta e a fiabilidade diminui, e obviamente consoante o custo de C_{FS} aumenta o ponto ótimo de troca diminui drasticamente.

Já no caso em que se inverte o custo das manutenções, onde a preventiva custa o mesmo do que a corretiva, o ponto ótimo de troca aumenta para infinito. Nesta situação em que isto acontece, torna-se mais fiável economicamente aplicar uma estratégia de *run to failure* pois não se justifica a troca antecipada de um pneu.

Os pneus recauchutados em comparação com os pneus novos numa situação em que $C_{PS}/C_{FS} = 1/3$, apresentam em média uma melhoria de aproximadamente 36% tanto no ponto ótimo de troca., e relativamente aos pneus duplos no eixo traseiro, apresentam um *MTBF* com uma diferença de aproximadamente 1500 quilómetros.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

5. Conclusões

Este estudo teve como principal intuito fazer uma análise de troca de pneumáticos numa frota de pesados, para desta forma existir uma melhor gestão de manutenção, tendo em conta o aspeto financeiro associado à troca de pneus nomeadamente com foco aos custos de manutenção preventiva e manutenção corretiva.

Foram estudados os dados de pneus que estão compreendidos entre os 20 000 e os 90 000 quilómetros, os restantes dados foram retirados porque esses podem ter sofrido acidentes e/ou foram retirados do veículo precocemente ou simplesmente representam dados mal inseridos.

O formulário de inspeções já recolhe alguma informação importante que possa ser alvo de estudo, mas informações como a razão da intervenção, a profundidade do rasto do pneu, o número de série do pneu, seriam indicações fundamentais para uma análise mais detalhado.

Manter o número de série dos pneus sempre que são recauchutados para que seja possível rastrear os pneus ao longo das suas vidas. De momento, não é possível rastrear um pneu ao longo da(s) sua(s) vida(s) devido ao facto que ao pneumático retirado para recauchutar é sempre atribuído um número de série novo. Assim associar a um pneu apenas um número de série teria sido benéfico para esta análise.

Na análise do ótimo ponto de troca, verificou-se que consoante os custos de manutenção preventiva e corretiva e se após falha o veículo pode continuar a circular ou fica imobilizado, existem vários cenários que são interessantes de se analisar para se encontrar o ponto que é mais favorável a troca dos pneumáticos, tanto economicamente como com um risco associado da existência de falha num pneu.

Deste modo foi possível verificar que os pneus recauchutados têm tendencialmente melhor desempenho em termos de fiabilidade do que os pneus novos. Podem existir vários fatores que influenciam esta conclusão como por exemplo o coeficiente de desgaste, a altura do rasto e a rigidez do pneu que podem ser distintas entre pneus novos e pneus recauchutados.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

6. Trabalhos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros, para que exista uma continuação do estudo feito é sugerido:

- A cada intervenção estar associada uma inspeção completa, com a razão da substituição (pneus partidos, rasgos, furos, bolhas, etc);
- O estudo foi feito com pneumáticos que tiveram uma vida normal, fazer um estudo individual para pneus que tiveram um fim de vida precoce;
- Fazer um estudo individual para cada causa de fim de vida;
- Fazer inspeções de profundidade de rastro a cada abastecimento para assim existir um melhor controlo sobre o estado geral do pneu associado a um sistema de alerta e controle para a sua mudança;
- Melhorar a ficha de inspeção utilizada para se conseguir associar quilómetros a profundidade de rastro;
- Realizar um estudo sobre o coeficiente de desgaste dos pneumáticos associando a posição de montagem ao longo das suas vidas.

Esta página foi intencionalmente deixada em branco

7. Bibliografia

Almada-Lobo, B. 2008. *Conteúdos Da Disciplina de Gestão Da Manutenção*.

“Anderson-Darling Test.”
<http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm> (February 7, 2017).

Assis, Rui. 2010. *Apoio À Decisão Em Manutenção Na Gestão de Activos Fisicos*. ed. LIDEL.

Bandag. 2013. “Bandag Lastik Kaplama.” <https://www.bandag.com.tr/Bandag-lastik-kaplama> (March 16, 2017).

Barlow, R.E, and F Proschan. 1965. *Mathematical Theory of Reliability*. ed. J. Wiley & Sons. New York: SIAM.

Boustani, Avid, Sahni Sahni, Timothy Gutowski, and Steven Graves. 2010. “Tire Remanufacturing and Energy Savings.” Massachusetts Institute of Technology.

Carrilho, Filipe. 2011. “Análise de Não Conformidades Nos SMTUC.” Universidade de Coimbra.

Cenas, Tech. 2014. “Conservação E Manutenção Dos Pneus - Tech & Cenas.” <http://techcenas.com/auto/521-2/> (June 6, 2016).

Chakravarty, S. N. 2016. “Tire Retreading Equipment.” <https://rubbermachineryworld.com/tag/tire-retreading-equipment/> (March 16, 2017).

Euromaster. 2016. “Conselhos Para a Manutenção Dos Nossos Pneus.” <http://www.euromaster.pt/blog/conselhos-euromaster-para-manutencao-dos-nossos-pneus> (June 29, 2016).

Ferreira, Irene, and C. Barros. 2015. “Conteúdos Da Disciplina de Ferramentas Avançadas de Qualidade.” : 2015.

Gertsbakh, Ilya. 2005. *Reliability Theory With Applications to Preventive Maintenance*. Springer - Verlag Berlin Heidelberg.

- Greenwald, Anthony G, Richard Gonzalez, Richard J Harris, and Donald Guthrie. 1996. "Effect Sizes and P-Values: What Should Be Reported and What Should Be Replicated?" *Psychophysiology* 33: 175–83.
- Jardine, A. K. S., and Albert H.C. Tsang. 2013. *Maintenance, Replacement and Reliability: Theory and Applications*. Second Edi. CRC PRESS.
- Kister, Timothy C., and Bruce Hawkins. 2006. *Chemistry & ... Maintenance Planning and Scheduling: Streamline Your Organization for a Lean Environment*. ed. ELSEVIER. BH.
- Kravchenko, Alexander, Olga Sakno, and Alexander Lukichov. 2012. "Research of Dynamics of Tire Wear of Trucks and Prognostication of Their Service Life." *Transport Problems* 7(4): 85–94.
- McCool, John I. 2012. *Using the Weibull Distribution Reliability, Modeling, and Inference*. ed. Sanford Weisberg David J. Balding, Noel A. C. Cressie, Garrett M. Fitzmaurice, Harvey Goldstein, Iain M. Johnstone, Geert Molenberghs, David W. Scott, Adrian F. M. Smith, Ruey S. Tsay. WILEY.
- Meccia, Carlos. 2015. "O NECESSÁRIO ALINHAMENTO | Autoentusiastas." <http://www.autoentusiastas.com.br/2015/09/o-necessario-alinhamento/> (November 12, 2016).
- Meehl. 1978. "Theoretical Risks and Tabular Risks." *Journal of Consulting and Clinical Psychology*.
- Michelin. 2012. "GUIA DE MANUTENÇÃO." <http://www.michelin.pt/pneus-turismo/conselhos/guia-de-manutencao/dez-conselhos-de-manutencao> (June 29, 2016).
- Michelin Agricultural. 2016. "Radial or Bias, the Right Choice / Properly Use Your Tires - Michelin Agricultural Tires." <http://agricultural.michelinman.com/us/Properly-use-your-tires/Radial-or-bias-the-right-choice>.
- MICHELIN NORTH AMERICA INC. 2005. *Michelin Truck Tire Service Manual* ®.

- <http://www.michelintruck.com/assets/pdf/Service.pdf> (November 14, 2016).
- Miguel, Pedro De Sá Pereira. 2009. “Planos de Manutenção Preventiva.” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Mobley, R Keith, and Darrin J Wikoff. 2008. *Maintenance Engineering Handbook*. Seventh Ed. The McGraw-Hill Companies.
- Mohamed Ben-Daya, Salih O. Duffuaa, Abdul Raouf, Jezdimir Knezevic, Daoud Ait-Kadi. 2009. *Handbook of Maintenance Management and Engineering*. Springer Dordrecht Heidelberg London.
- Mora, Enrique. 2011. “Maintenance in History.” http://www.leanexpertise.com/TPMONLINE/articles_on_total_productive_maintenance/tpm/tpmprocess/maintenanceinhistory.htm (October 10, 2016).
- Morais, Manuel Cabral. 2007. “Fiabilidade E Controlo de Qualidade, Notas de Apoio - Fiabilidade, Caps. 1-6.” Instituto Superior Técnico.
- Pecorari. 2007. “Pneus: Da Borracha Ao Controle.” *Batista*.
- Peng, X. 2003. “Effective Factors on Tire Wear.” Institute Of Rubber Industry.
- Ramesh Gulati, Ricky Smith. 2009. *Maintenance and Reliability Best Practices*. eds. John Carleo and Suzanne Remore. Industrial Press.
- Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra. 2016. *Plano E Orçamento 2017*.
- Siopa, Jorge Miguel Peralta, José Eugénio Semedo Garção, and Júlio Montalvão e Silva. 2015. “Component Redundancy Allocation in Optimal Cost Preventive Maintenance Scheduling.” *Journal of the Operational Research Society* 66(6): 925–35.
- Smith, Ricky, and Bruce Hawkins. 2004. *Plant engineering CN - TS155 .S635 2004 Lean Maintenance: Reduce Costs, Improve Quality, and Increase Market Share*. Elsevier Butterworth–Heinemann.
- SMTUC. “SMTUC Frota.” <http://www.smtuc.pt/frota/index.php> (December 29, 2016).

- Tukey, J. 1991. “The Philosophy of Multiple Comparisons.” *J. Polit. Economy*.
- Valorpneu. 2016. “Componentes E Características de Um Pneu.” http://www.valorpneu.pt/artigo.aspx?lang=pt&id_object=221&name=Componentes-e-Caracteristicas-de-um-Pneu (November 22, 2016).
- Vias Seguras. 2013. “O Pneu, Composição E Estrutura.” http://www.vias-seguras.com/layout/set/print/veiculos/pneumaticos/manual_twi_informacoes_tecnicas_sobre_pneus/o_pneu_composicao_e_estrutura (November 22, 2016).
- Vieira, Carlos. 2015. “Organização E Gestão Da Manutenção, Conteudos Da Unidade Curricular de Segurança E Manutenção Industrial.” Instituto Politécnico de Leiria.
- Whitaker, Greg. 2009. “Retread Tyres | ConstructionWeekOnline.com.” <http://www.constructionweekonline.com/article-5755-retread-tyres/> (March 16, 2017).

Anexo A

Os Serviços Municipalizados de Transportes Urbanos de Coimbra são uma estrutura municipal vocacionada para assegurar o Serviço Público de Transporte Rodoviário de Passageiros no Município de Coimbra.

Visão: Ser um prestador de serviços de transportes públicos urbanos com fortes preocupações de carácter eminente social, modernos, de confiança, seguros, responsáveis ambientalmente e assim contribuir para o desenvolvimento sustentável do Concelho.

Missão: Garantir uma oferta de transporte público adequada às necessidades das populações, desenvolvendo ações que privilegiem a opção do uso do transporte coletivo.

História

Os Transportes Urbanos de Coimbra remontam ao ano de 1874 com a introdução dos carros americanos, mas cedo consideraram não ter condições para superar a concorrência do comboio que entretanto tinha passado a ser o transporte preferido dos passageiros aquando da introdução do ramal de caminho-de-ferro no centro da cidade. Até 1910 os Transportes Urbanos estiveram concessionados à Carris de Ferro de Coimbra. A partir desse ano, a Câmara Municipal decidiu municipalizar o serviço de tração elétrica, constituindo então o ponto de partida do Serviço Público de Transporte Coletivo Urbano.

A 1 de Janeiro de 1911 foi inaugurado o sistema de carros elétricos que compreendia 5 viaturas a operar em 3 linhas. Em 1938 iniciaram-se os serviços regulares com veículos de combustão interna, que compõem hoje a maioria dos veículos utilizados, sendo que o último elétrico terminou os seus serviços a 9 de Janeiro de 1980. Os Serviços Municipalizados de Transportes urbanos de Coimbra são hoje uma estrutura Municipal vocacionada para assegurar o Serviço Público de Transporte Rodoviário de Passageiros no Município de Coimbra possuindo cerca de 145 viaturas, 470 colaboradores, uma rede de transportes de 500 km e transportam cerca de 28

milhões de passageiros por ano. Tendo assim ao longo de um século contribuído decisivamente para o desenvolvimento da Cidade, garantindo a mobilidade da população (Carrilho 2011).

Anexo B

Citroen Jumper



Ford Transit



Gulliver



MAN 18280



Mercedes Citaro



Mercedes Cito



Trolley S. Caetano/Efacec



Volvo B7L

