

**USP - UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**  
**Escola Politécnica**  
**Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva**

**IGOR RUBINSZTEJN GREGHI**

**ESTUDO COMPARATIVO DOS TIPOS DE SISTEMA DE  
SINCRONISMO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E  
ESTUDO DE FALHAS PREMATURAS DEVIDO A UTILIZAÇÃO EM  
REGIÕES SEVERAS**

**São Paulo**  
**2009**

**ESTUDO COMPARATIVO DOS TIPOS DE SISTEMA DE  
SINCRONISMO EM MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA E  
ESTUDO DE FALHAS PREMATURAS DEVIDO A UTILIZAÇÃO EM  
REGIÕES SEVERAS**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São Paulo  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia

Área de Concentração:  
Engenharia Automotiva

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto  
Leal Alves

**São Paulo  
2009**

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

**Greghi, Igor Rubinsztejn**

**Análise dos tipos de sistema de sincronismo em motores de combustão interna e estudo de falhas prematuras devido a utilização em regiões severas / I.R. Greghi. -- São Paulo, 2009.**

**116 p.**

**Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.**

**1. Correias (Manutenção) 2. Motores de combustão interna I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha esposa e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para este estudo.

**“O QUE NÃO SE COMPREENDE NÃO SE POSSUI.”  
JOHANN WOLFGANG VON GOETHE**

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Valter e Kraindla sempre ao meu lado desde os primeiros rabiscos, me ensinaram a importância do conhecimento, da ética, da integridade e de nunca desistir dos meus sonhos mesmo que pareçam inalcançáveis.

A minha esposa, Luciana também sempre ao meu lado apoiando, incentivando e nunca me deixando desviar das minhas metas.

Aos meus amigos praticamente irmãos que sempre apoiaram com experiência, ensinamentos, alegria, paciência e respeito.

## RESUMO

A principal função do sistema de sincronismo em motores a combustão interna consiste na transmissão de movimento do virabrequim do motor ao eixo do comando de válvulas responsável pela dosagem de ar na câmara de combustão e determinando o exato momento de abertura e fechamento das válvulas de admissão e exaustão conforme as posições dos pistões.

No presente estudo foram investigados alguns tipos de sistema de sincronismo mais comumente utilizados em motores a combustão interna analisando os tipos de falhas decorrentes do uso em regiões severas.

O sistema de sincronismo por correia apresenta índices muito pequenos de falhas prematuras quando ocorre a manutenção correta e no prazo estipulado pelo fabricante.

Também é possível analisar comparativamente as vantagens e desvantagens, como durabilidade, ruído, manutenção e a influência no consumo e emissões de poluentes, entre os sistemas de sincronismo por correia ou corrente, sendo o objetivo analisar a viabilidade da opção de projeto por um ou outro sistema de sincronismo.

Palavras-chave: Sistema de sincronismo, correia dentada, motores a combustão interna, falhas em correias dentadas, confiabilidade, corrente, engrenagem, uso severo.

## **ABSTRACT**

The main function of the engine timing system consists in movement transmission from crankshaft to camshaft, responsible to control the air in the combustion chamber determining the exact moment to open and close the admission valve or the exhaust valve in according to the piston position.

The current study intend to investigate the types of timing system more usually applied to combustion engines analyzing the current failure types in areas of harsh use.

Usually if done the correct maintenance recommended by the manufacturer, the timing belt system has a very low index regarding premature failures.

It is also possible to make a comparison between the timing systems for belt or chain, with advantages and disadvantages, like durability, NVH, maintenance and the influence in the consumption and pollutant emissions aiming at to analyze the feasibility between one or another timing system.

Keywords: Timing System, toothed belt, engine, failure in toothed belts, reliability, chain, gear, harsh use.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Gráfico das Condições das Rodovias Federais em 2004.....	15
Figura 2: Histórico das Condições de Conservação.....	15
Figura 3: Malha Rodoviária Brasileira. ....	16
Figura 4: Exemplo de pavimento em estado péssimo.....	17
Figura 5: Classificação de Veículos .....	20
Figura 6: Aumento de poeira no eixo traseiro .....	21
Figura 7: Configuração do motor na fase de admissão.....	23
Figura 8: Configuração do motor na fase de compressão.....	24
Figura 9: Configuração do motor na fase de Combustão/Explosão .....	25
Figura 10: Configuração do motor na fase de Exaustão .....	26
Figura 11: Motor em corte .....	27
Figura 12: Exemplo de sistema de transmissão por correia.....	28
Figura 13: Sistema de transmissão por correia com esticador.....	29
Figura 14: Corrente de Buchas .....	29
Figura 15: Exemplo de Esticador para correntes .....	30
Figura 16: Exemplo de sistema de transmissão por engrenagem.....	31
Figura 17: Sistema de transmissão por correia .....	33
Figura 18: Típica correia de sincronização.....	34
Figura 19: Sistema de Classificação de Elastômeros .....	35
Figura 20: Dinâmica de crescimento de trinca entre HNBR e CR.....	37
Figura 21: Comparativo da Resistência a vulcanizantes entre HNBR x CR.....	38
Figura 22: Influência da temperatura pelo ciclo de vida da borracha .....	39
Figura 23: Resistência Mecânica de Correia Dentada, Comparativo CR x HNBR ....	40
Figura 24: Distribuição de Tensão no dente da correia de sincronismo.....	41
Figura 25: Resistência Mecânica, Comparativo Tensionador Fixo x Automático.....	42
Figura 26: Sistema de sincronismo por corrente .....	45
Figura 27: Corrente utilizada no Sistema de sincronismo por corrente .....	46
Figura 28: Corrente utilizada no Sistema de sincronismo com objetivo de minimizar ruídos. ....	48
Figura 29: Tensionador de Corrente .....	49
Figura 30: Trilho Tensor e Trilho Guia.....	50
Figura 31: Desgaste de elos e bucha de corrente.....	51
Figura 32: Sistema de sincronismo por engrenagens .....	52
Figura 33: Distribuição do estudo por região.....	58
Figura 34: Foto do Motor em uso extremamente severo.....	58
Figura 35: Foto da proteção de correia em uso extremamente severo. ....	59
Figura 36: Foto do Sistema de Sincronismo do Motor em região de uso extremamente severo.....	59
Figura 37: Foto de Correia com desgaste prematura dos dentes. ....	61
Figura 38: Foto de Correia com desgaste lateral. ....	62
Figura 39: Foto de Correia com desgaste no costado.....	63
Figura 40: Foto de Correia com rompimento prematuro. ....	64
Figura 41: Foto de Correia com desprendimento prematuro dos dentes. ....	65
Figura 42: Foto de Correia com desprendimento prematuro dos dentes. ....	65
Figura 43: Danos causados em um pistão atingido por uma válvula. ....	66
Figura 44: Modelagem matemática das funções $(R(t), f(t), F(t)$ e $\square(t)$ .....	73
Figura 45: Histograma da Análise Global.....	76



Figura 46: Confiabilidade Global .....	77
Figura 47: Taxa de Falha Global .....	78
Figura 48: Histograma Região A .....	80
Figura 49: Confiabilidade da Região A.....	82
Figura 50: Taxa de Falha Global .....	83
Figura 51: Histograma Região B .....	85
Figura 52: Confiabilidade Região B.....	87
Figura 53: Taxa de Falha Região B.....	88
Figura 54: Histograma Região C .....	89
Figura 55: Confiabilidade Região C.....	91
Figura 56: Taxa de Falha Região C .....	92
Figura 57: Avaliação do Sistema de Sincronismo com a proteção de correia de série. .....	94
Figura 58: Avaliação do Sistema de Sincronismo com a nova proposta de proteção de correia. ....	95
Figura 59: Sistema de Sincronismo com utilização da nova proposta de proteção de correia. ....	97
Figura 60: Veículos na região A que falharam antes dos 16,7%.....	98
Figura 61: Veículos na região B que falharam antes dos 16,7%.....	99
Figura 62: Veículos na região C onde não ocorreu falha antes dos 16,7%.....	100
Figura 63: Posição dos acelerômetros .....	103
Figura 64: Medições Globais de Vibração.....	104
Figura 65: Princípios de funcionamento da Polia Oval.....	106
Figura 66: Melhoria do sincronismo através da Polia Oval .....	108
Figura 67: Exemplo de Uso da Correia Dentada em Óleo .....	110

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo CR x HNBR. ....	36
Tabela 2: Comparativo entre tipos de tensionadores. ....	44
Tabela 3: Dados de Manutenção da Correia Dentada ....	56
Tabela 4: Dados em porcentagem dos tempos de falhas por região ....	57
Tabela 5: FMEA Sistema de sincronismo ....	69
Tabela 6: Índice de Avaliação para Severidade do efeito ....	70
Tabela 7: Índice de Avaliação para Probabilidade de Ocorrência ....	71
Tabela 8: Índice de Avaliação para Probabilidade de Detecção ....	71
Tabela 9: Dados e Cálculos Global. ....	74
Tabela 10: Classificação das Falhas em Períodos de Ocorrência. ....	76
Tabela 11: Resumo Estatístico Global ....	77
Tabela 12: Análise Estatística da Região A. ....	79
Tabela 13: Classificação das Falhas (Região A) em Períodos de Ocorrência. ....	80
Tabela 14: Resumo Estatístico Região A ....	81
Tabela 15: Análise Estatística Região B ....	84
Tabela 16: Classificação das Falhas (Região B) em Períodos de Ocorrência. ....	85
Tabela 17: Resumo Estatístico Região B ....	86
Tabela 18: Análise Estatística Região C ....	88
Tabela 19: Classificação das Falhas (Região B) em Períodos de Ocorrência. ....	89
Tabela 20: Resumo Estatístico Região C ....	90
Tabela 21: Correia versus Corrente ....	105
Tabela 22: Benefícios da Polia Oval em sistema de motor a combustão interna com 4 cilindros (Traduzido de Schulte, 2007). ....	107
Tabela 23: Comparação das Vantagens e Desvantagens entre os tipos de sistema de sincronismo ....	111

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ACM - Borracha poliacrílica

ACSM - Borracha de polietileno clorosulfonado alquilado

ANFAVEA - Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores

ASTM - American Society for Testing and Materials

CNT - Confederação Nacional do Transporte

CR - Borracha de cloropreno

CR - Policloroprene

CSM - Borracha de polietileno clorosulfonado

DER - Departamento de Estradas de Rodagem

EPDM - Terpolímero de etileno-propileno

EVM - Borracha de etileno vinil acetato

FKM - Borracha fluorada

FMEA - Análise dos Modos e Efeitos das Falhas

HNBR - Borracha Nitrílica Hidrogenada

NBR - Borracha nitrila-butadieno

PMI – Ponto Morto Inferior

PMS – Ponto Motor Superior

PP – Polipropileno

SAE - Society of Automotive Engineers

SBR - Borracha de estireno-butadieno

SENAT - Serviço Nacional de Aprendizagem do Transporte

SEST - Serviço Social do Transporte

VMQ - Borracha de silicone

VVT – Comando de Válvulas Variável

## SUMÁRIO

FICHA CATALOGRÁFICA .....	3
INTRODUÇÃO .....	14
1.1 OBJETIVOS.....	18
1.2 FINALIDADE DO ESTUDO.....	18
JUSTIFICATIVA.....	19
UNIDADE E OBJETO DE ESTUDO.....	20
REVISÃO TEÓRICA .....	22
1.3 FUNCIONAMENTO DO MOTOR A COMBUSTÃO .....	22
1.3.1 ADMISSÃO .....	23
1.3.2 COMPRESSÃO .....	24
1.3.3 COMBUSTÃO .....	25
1.3.4 EXAUSTÃO .....	25
1.3.5 FUNÇÃO DO COMANDO DE VÁLVULAS.....	26
1.4 ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO.....	27
1.4.1 CORREIAS .....	28
1.4.2 CORRENTES .....	29
1.4.3 ENGRENAGENS .....	31
1.5 SISTEMAS DE SINCRONISMO DO MOTOR .....	32
1.5.1 SISTEMAS DE SINCRONISMO POR CORREIA .....	32
1.5.1.1 RUÍDO NO SISTEMA DE SINCRONISMO POR CORREIA.....	34
1.5.1.2 CARACTERÍSTICAS DAS CORREIAS DE SINCRONISMO.....	34
1.5.1.3 CARACTERÍSTICAS DO TENSIONADOR.....	41
1.5.1.4 MANUTENÇÃO.....	44
1.5.2 SISTEMAS DE SINCRONISMO POR CORRENTE .....	45
1.5.2.1 CONSTRUÇÃO DAS CORRENTES .....	46
1.5.2.2 FUNCIONAMENTO DO TENSIONADOR DE CORRENTES .....	48
1.5.2.3 TRILHO GUIA E TRILHO TENSOR .....	49
1.5.2.4 DESGASTE E FALHAS NA CORRENTE.....	50
1.5.3 SISTEMAS DE SINCRONISMO POR ENGRENAGEM.....	51
ESTUDO DE CONFIABILIDADE .....	53
1.6 ESTUDO DE CASO .....	54
1.7 USO SEVERO.....	54
1.8 ENSAIO EM REGIÕES DE USO SEVERO .....	56
1.8.1 DADOS DO ESTUDO POR REGIÃO.....	57
1.8.2 ESTADO DE USO NAS REGIÕES.....	58

1.9	CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE FALHAS .....	60
1.9.1	MARCAS DE DESGASTE PREMATURO NA CORREIA SINCRONIZADORA .....	60
1.9.2	MARCAS NAS LATERAIS DOS DENTES DA CORREIA SINCRONIZADORA .....	62
1.9.3	FISSURAS NAS COSTAS DA CORREIA SINCRONIZADORA.....	62
1.9.4	ROMPIMENTO DA CORREIA SINCRONIZADORA .....	63
1.9.5	DENTES SE DESPRENDEM DA CORREIA SINCRONIZADORA.....	64
1.9.6	SISTEMA DE SINCRONISMO GERA RUÍDOS .....	66
1.10	CONSEQÜÊNCIA DA FALHA .....	66
1.11	FMEA .....	67
1.12	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	72
1.12.1	ANÁLISE GLOBAL DOS DADOS .....	72
1.12.2	ANÁLISE DA REGIÃO A .....	79
1.12.3	ANÁLISE DA REGIÃO B .....	84
1.12.4	ANÁLISE REGIÃO C.....	88
	AÇÕES CORRETIVAS .....	93
1.13	MODIFICAÇÕES NO SISTEMA DE SINCRONISMO .....	93
1.13.1	ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROTEÇÕES DE CORREIA. ....	93
1.13.2	ESTUDO PARA PRAZO DE MANUTENÇÃO EM USO SEVERO.....	95
1.14	CONCLUSÕES DA PROPOSTA .....	97
	ANÁLISE DA MODIFICAÇÃO DO TIPO DE SISTEMA .....	101
1.15	SUJIDADES.....	101
1.16	MANUTENÇÃO.....	101
1.17	CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E EMISSÕES DE POLUENTES .....	101
1.18	VIBRAÇÃO E RUÍDO.....	103
1.19	TABELA COMPARATIVA DE CORREIA VERSUS CORRENTE .....	104
	NOVAS TECNOLOGIAS .....	106
1.20	POLIA MOTORA OVAL.....	106
1.21	CORREIA DENTADA TRABALHANDO EM ÓLEO .....	109
	CONCLUSÕES .....	113
	REFERÊNCIAS.....	115

## INTRODUÇÃO

A principal função do sistema de sincronismo em motores a combustão interna consiste na transmissão de movimento do virabrequim do motor ao eixo do comando de válvulas responsável pela dosagem de ar na câmara de combustão, sendo imprescindível ao funcionamento e desempenho do motor, pois determina o exato momento da abertura e fechamento das válvulas de admissão e exaustão conforme a posição dos pistões que estão montados no eixo do virabrequim.

Dos veículos fabricados no Brasil cerca de 90% possuem sistema de acionamento do comando de válvulas (sistema de sincronismo) realizado através de transmissão por correia sincronizadora (correia dentada), estes dados são estimados a partir do relatório Produção de Autoveículos por Tipo e Combustível da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA) de Novembro 2008.

A falha da correia sincronizadora ocasiona geralmente conseqüências críticas para o motor, ocasionando pane ao mesmo.

Normalmente com a correta aplicação da manutenção no sistema, através da troca da correia dentada, tensionador (esticador da correia) e polias no prazo estipulado pelo fabricante do veículo, os casos de falha prematura são raros.

Porém o sistema de sincronismo do motor a combustão interna sofre diversas influências que podem ocasionar sua falha prematura, assim o presente estudo objetiva um entendimento dos principais fatores que influenciam na falha prematura de um sistema de sincronismo de motores de combustão interna nas condições de rodagem semelhantes às Brasileiras, bem como indicar possíveis soluções de melhoria.

A malha rodoviária brasileira até o ano de 2004 possuía cerca de 1.559.906 quilômetros de estradas não pavimentadas, segundo dados retirados do site da Confederação Nacional do Transporte de 2007 (CNT).

As condições das estradas na rede rodoviária brasileira podem ser melhor ilustradas no gráfico da figura 1 em porcentagem.

### Rede Rodoviária Federal

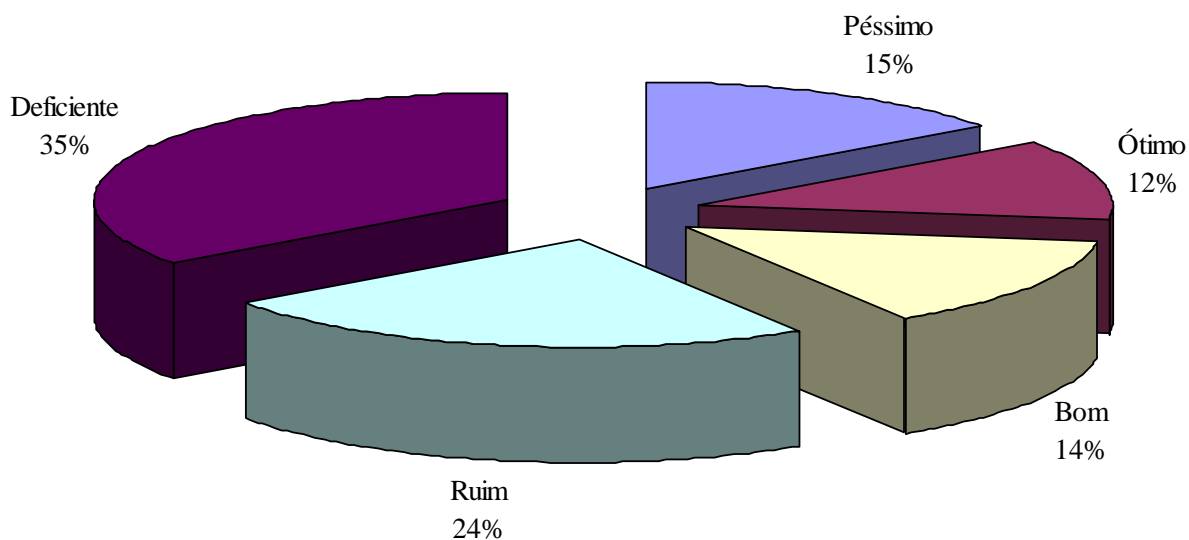


Figura 1: Gráfico das Condições das Rodovias Federais em 2004 (CNT/SEST SENAT, 2004).

As condições de conservação das rodovias federais possuem uma elevada variação de acordo com as pesquisas anuais realizadas pela CNT, conforme gráfico da figura 2.

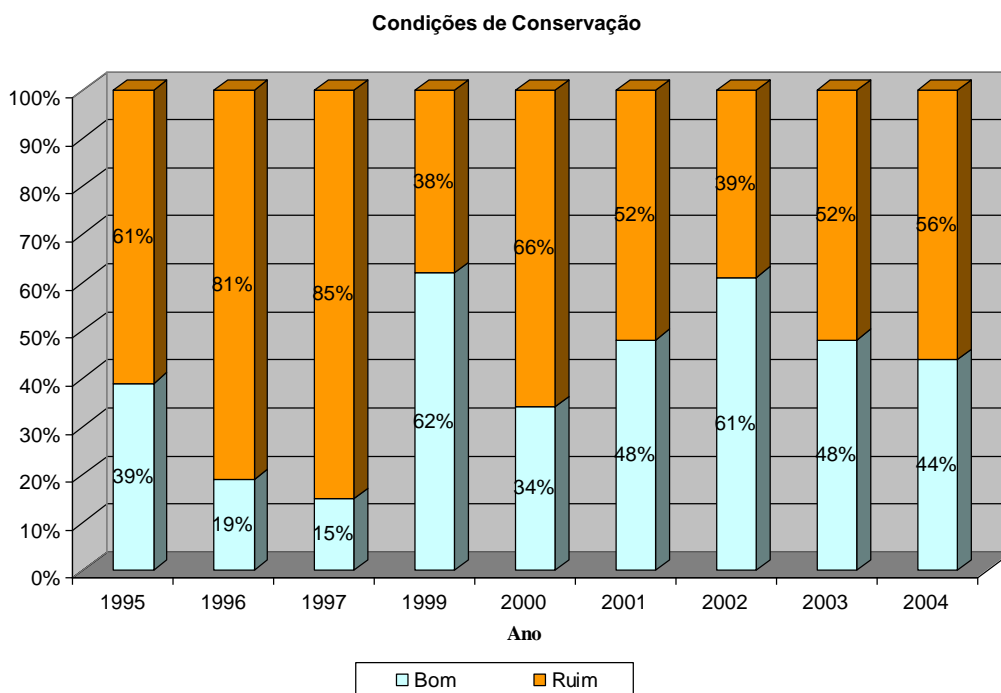


Figura 2: Histórico das Condições de Conservação (CNT/SEST SENAT, 2004).

Na figura 2 observam-se as grandes variações relativas ao estado de conservação das rodovias federais, que apesar de apresentar um grande índice de melhoria entre os anos de 1997 e 1999, volta a apresentar queda nos últimos anos da pesquisa entre 2002 e 2004.

As estradas não pavimentadas são observadas no mapa rodoviário brasileiro da figura 3, onde se encontram com coloração cinza.



Figura 3: Malha Rodoviária Brasileira. (CNT/SEST SENAT, 2007).



Segundo o relatório CNT/SEST SENAT de 2007 as rodovias nacionais apresentam longos trechos rodoviários em estado crítico assim 54,5% cerca de 47.777 km da extensão pesquisada encontram-se com o pavimento em estado regular, ruim ou péssimo, como pode ser exemplificado pela figura 4.



Figura 4: Exemplo de pavimento em estado considerado péssimo.

Com a utilização de veículos nessas condições, as partículas de poeira, lama, pedras e gravetos podem infiltrar no sistema de sincronismo causando pane ao motor.

Essas influências serão especificadas através de um estudo de caso.

## **1.1 OBJETIVOS**

Este estudo tem por objetivos:

- Analisar os tipos mais comuns de sistemas de sincronismo disponíveis para este tipo de motorização de modo comparativo;
- Analisar os fatores que influenciam na falha prematura do sistema de sincronismo;
- Realizar a análise de confiabilidade de um sistema de sincronismo por correia com uso em regiões severas;
- Indicar possíveis soluções de melhorias.

## **1.2 FINALIDADE DO ESTUDO**

O presente estudo tem por finalidade explicar os principais fatores que contribuem para a ocorrência da falha no sistema de sincronismo do motor a combustão interna e desenvolver melhorias.

Assim a finalidade desse estudo direciona-se para os benefícios como os baixos custos de manutenção e o alto índice de durabilidade, por consequência o crescimento da confiabilidade e imagem do produto.

## **JUSTIFICATIVA**

Acredita-se que este estudo possa contribuir com uma melhoria no entendimento sobre os sistemas de sincronismo comumente utilizados nos motores a combustão interna auxiliando na melhoria do sistema atual para uma maior robustez no uso em regiões severas.

Apesar de inicialmente uma melhoria no desempenho do sistema de sincronismo onere custos de desenvolvimento e investimentos estes devem ser amortizados devido à diminuição nos índices de reclamações e reparo prematuro para uso em regiões severas e devido a utilização em larga escala.

Visto que o mercado consumidor busca veículos com maior robustez, resistência e baixo valor de manutenção além de veículos com baixo consumo, poucas emissões de poluentes e menos ruidosos, importante função no desempenho dos sistemas de sincronismo.

Segundo Koyama (1999), são acentuadas as reclamações relacionadas ao sistema de sincronismo no quesito ruído.

## UNIDADE E OBJETO DE ESTUDO

A unidade de estudo será uma montadora de veículos situada no Brasil, sendo o objeto de estudo um veículo que utiliza motorização com ciclo Otto e tração traseira o qual é comumente utilizado no transporte de pessoas ou cargas limitado até 1000 kg.

Segundo o Departamento de Estradas de Rodagem (DER) trata-se de veículo do tipo leve, pois esta classificação é definida através da quantidade de eixos (dois) e quantidade de rodas (quatro), conforme figura 5.

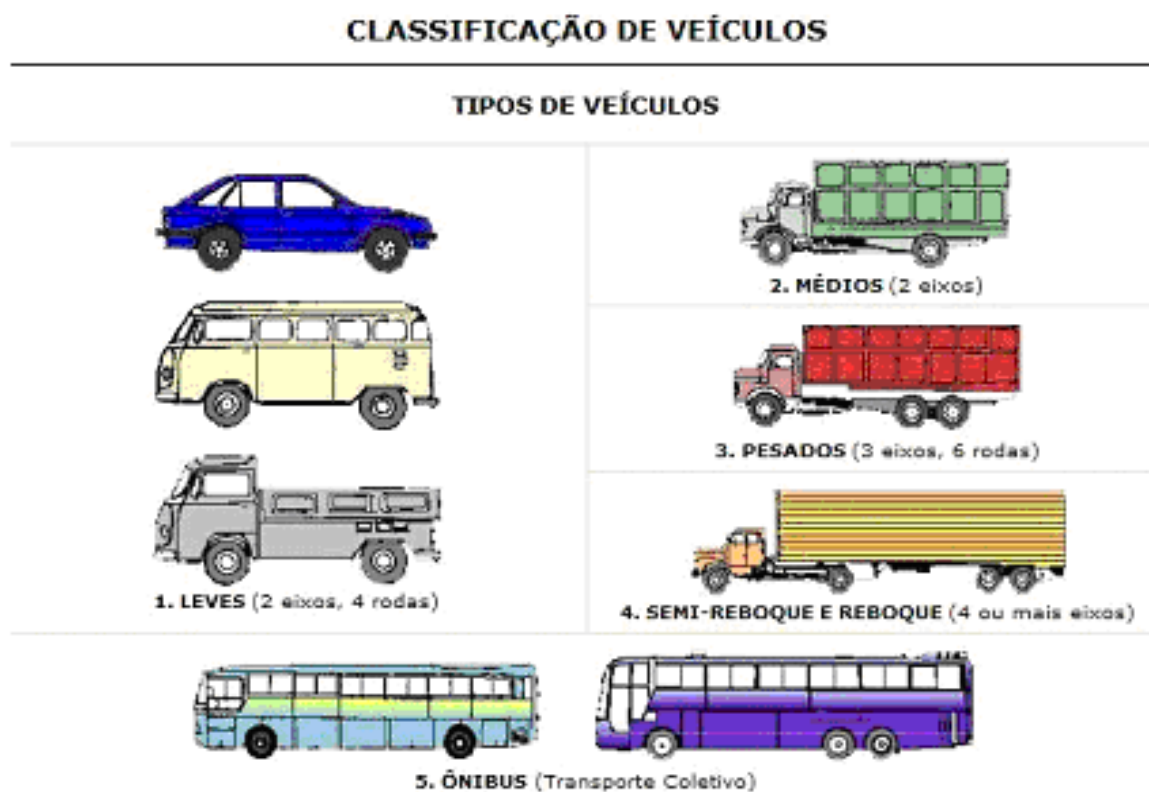


Figura 5: Classificação de Veículos. (DER, 2008).

A posição do motor torna-se um fator determinante para a análise do objeto de estudo, pois veículos com motorização traseira tendem a acumular maior quantidade de sujeira no habitáculo do motor, fato observado na figura 6.



Figura 6: Aumento de poeira no eixo traseiro (foto: Donizetti Castilho, Rally dos Sertões 2008)

Observa-se que as rodas do eixo dianteiro auxiliam na suspensão da poeira e conseqüentemente um volume maior de partículas de poeira se concentrarão no eixo traseiro.

## **REVISÃO TEÓRICA**

### **1.3 FUNCIONAMENTO DO MOTOR A COMBUSTÃO**

O motor a combustão interna de ciclo Otto funciona através do princípio da utilização de uma pequena quantidade de combustível pulverizado juntamente com uma quantidade maior de ar na câmara de combustão.

A gasolina ou álcool possuem uma grande quantidade de energia contida, em um reduzido espaço fechado no qual se gera uma centelha, liberando a quantidade de energia quando o motor está no seu ponto superior (PMS), na forma de gás em expansão.

Essa energia é transformada em movimento, energia química transformada em energia mecânica, através da criação de um ciclo provocando centenas de explosões por minuto e tornando possível a utilização dessa energia.

Segundo a ANFAVEA no Brasil de Janeiro até Agosto de 2009 foram produzidos 1.895.995 veículos, entre automóveis e comerciais leves, com motores a combustão com ciclo Otto de funcionamento a quatro tempos.

Os quatro tempos do motor são admissão, compressão, combustão e exaustão, respectivamente.

### 1.3.1 ADMISSÃO

O chamado primeiro tempo do motor ciclo Otto é a admissão, o pistão na sua trajetória sai do PMS e percorre todo seu curso, chegando ao ponto morto inferior (PMI), conforme a figura 7.

No tempo de admissão, os gases são forçados a preencher o cilindro através da válvula de admissão, nesta etapa o virabrequim terá percorrido meia volta e o eixo de comandos de válvulas terá percorrido um quarto de volta, isto ocorre porque para que se complete o ciclo do motor o virabrequim terá percorrido duas voltas enquanto o comando de válvulas apenas uma volta.

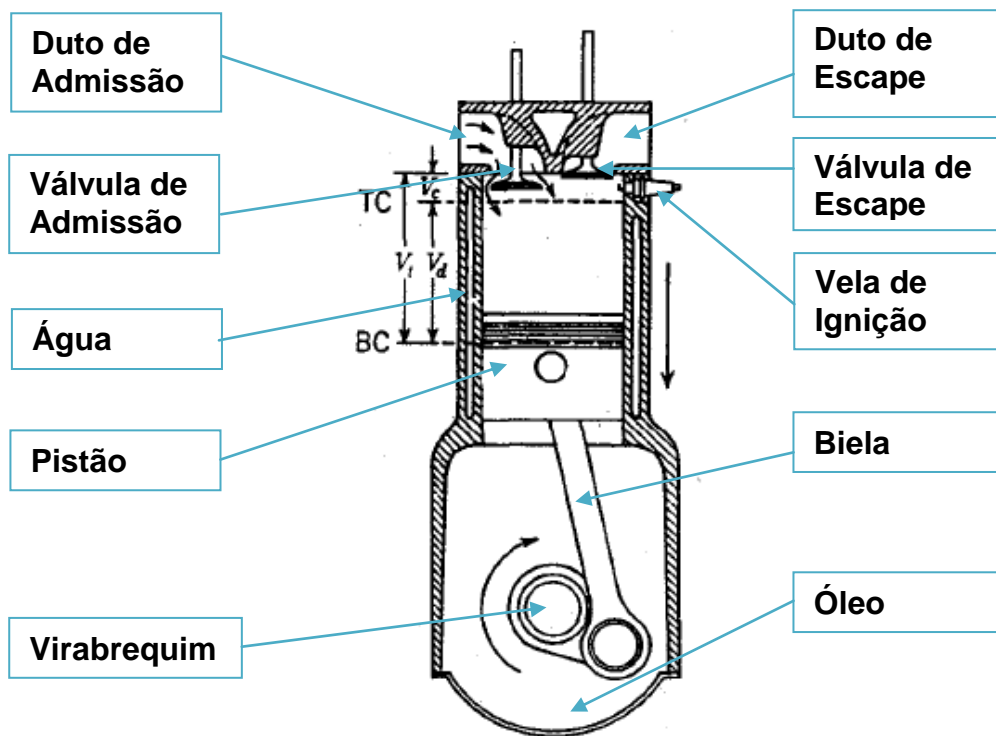


Figura 7: Configuração do motor na fase de admissão. (adaptado Heywood, 1988)

### 1.3.2 COMPRESSÃO

Nesta etapa as duas válvulas (admissão e exaustão) estão fechadas e o pistão sai do PMI seguindo a trajetória para o PMS, altas pressões são geradas dentro do cilindro com conseqüente aumento de temperatura e pressão dos gases devido ao efeito do movimento de compressão.

Com este percurso o virabrequim percorreu mais meia volta do seu percurso total, este tempo é denominado tempo parasita, como no tempo de admissão, pois são carregados pelo próximo tempo, na figura 8 observa-se que a movimentação dos tempos de admissão e compressão dependem do tempo de combustão.

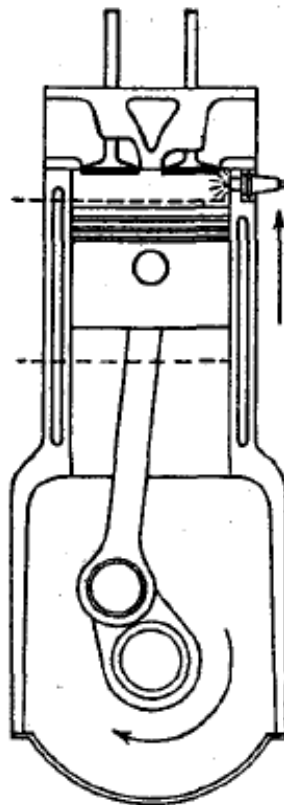


Figura 8: Configuração do motor na fase de compressão (Heywood, 1988).



### 1.3.3 COMBUSTÃO

Neste tempo ocorre a queima do combustível dentro do cilindro, empurrando o pistão do PMS para o PMI, conseqüência do aumento de pressão provocado pelos gases em expansão, conforme observado na figura 9, gerando a força de torque do motor e o movimento rotativo, com mais meia volta do virabrequim.

No tempo da combustão, os esforços nos componentes internos são limítrofes devendo estes componentes serem preparados para altas resistências.

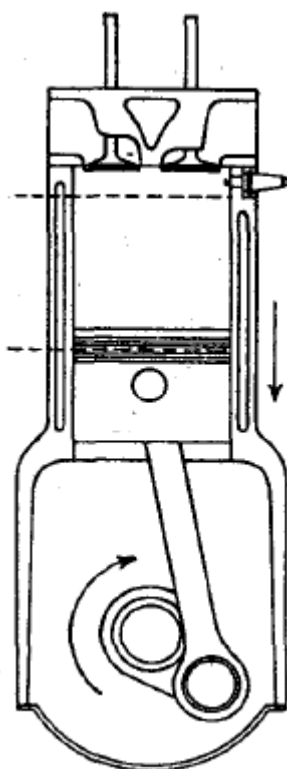
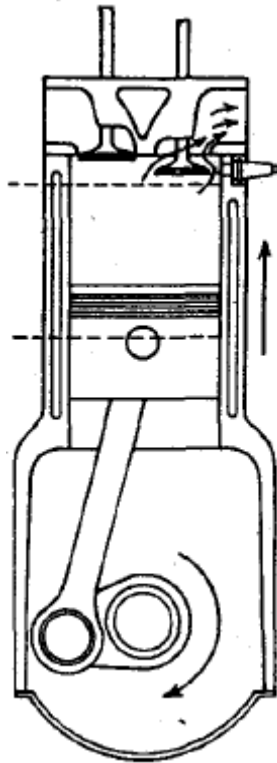


Figura 9: Configuração do motor na fase de Combustão/Explosão (Heywood, 1988).

### 1.3.4 EXAUSTÃO

No tempo de exaustão ou escape a válvula de escape é aberta permitindo que os gases queimados saiam neste tempo o virabrequim percorreu mais meia volta e completou todo o ciclo do motor com duas voltas já o comando de válvulas irá girar mais um quarto de volta totalizando o ciclo de uma volta, conforme figura 10.



**Figura 10: Configuração do motor na fase de Exaustão (Heywood, 1988).**

### 1.3.5 FUNÇÃO DO COMANDO DE VÁLVULAS

A configuração da figura 11 demonstra um motor em corte com apenas uma árvore de comando de válvulas por cabeçote, na mesma pode-se observar o sistema de sincronismo e as posições dos pistões e das válvulas de admissão e escape.

Enquanto o pistão 1 e 4 estão na fase de compressão, o pistão 3 e 4 estão na fase de admissão.

Os ressaltos no comando de válvulas movimentam os balancins que pressionam as válvulas para baixo abrindo-as.

As molas retornam as válvulas para sua posição fechada, após a passagem do ressaltos, essas molas possuem alta resistência para que em ciclos com altas rotações, as válvulas sejam empurradas rapidamente para baixo e as molas se mantenham em contato com os balancins.

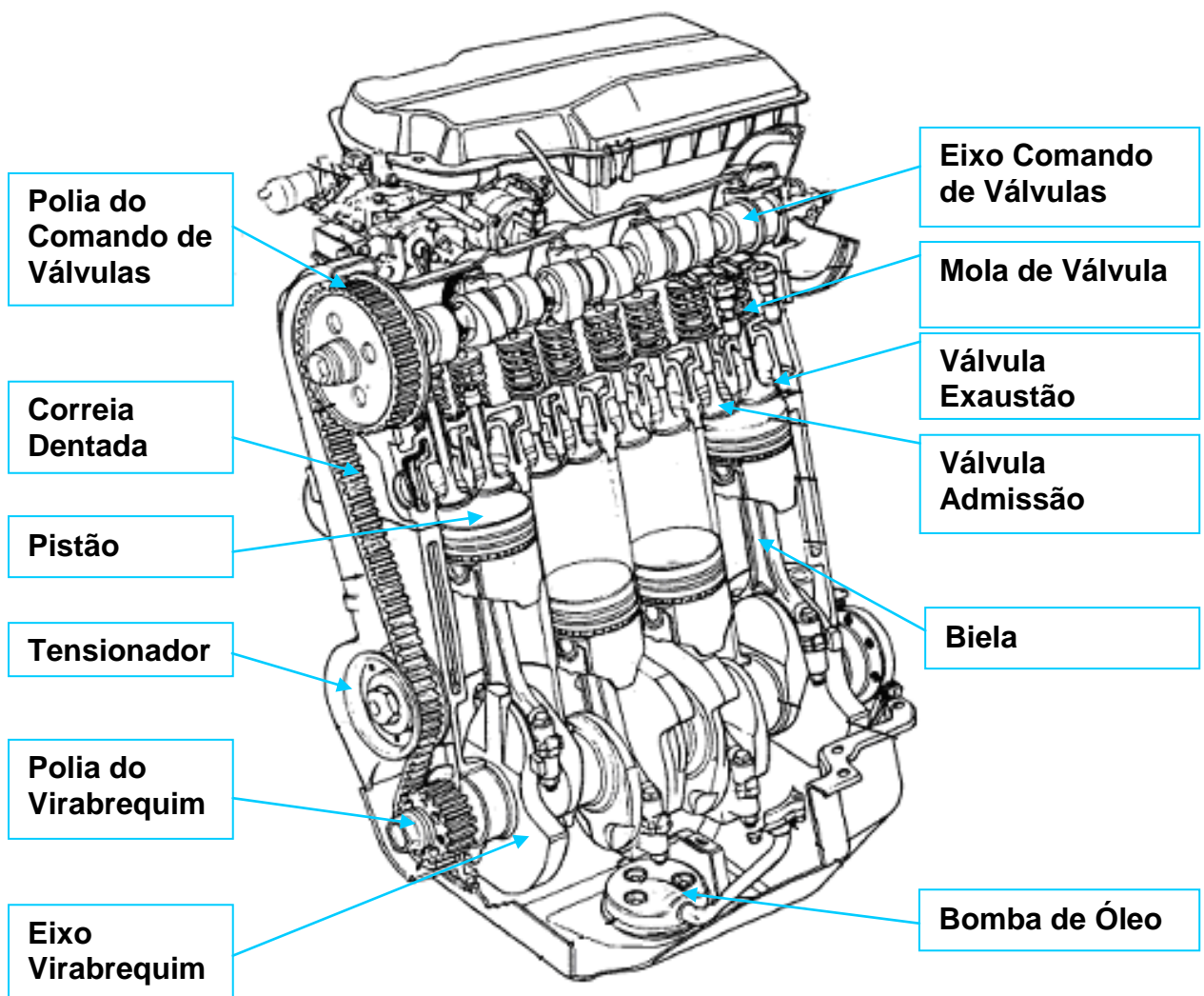


Figura 11: Motor em corte (Heywood, 1988)

Os motores com um ou dois comandos de válvulas no cabeçote são acionados pelo virabrequim através de correia, corrente ou engrenagens, formando o sistema de sincronismo.

#### 1.4 ELEMENTOS DE TRANSMISSÃO

A transmissão de movimento circular entre duas polias, rodas ou discos poderá ocorrer através de dois sistemas. Encostando-os, nestes casos costuma-se utilizar engrenagens cujos dentes transmitem o movimento por contato direto, ou ligando-os por uma correia ou corrente.

A coroa ou a polia dentada encaixam-se nos elos da corrente ou nos dentes da correia, impedindo assim deslizamento ou escorregamento.

Na transmissão por contato ocorre à inversão do sentido do movimento, não ocorrendo na transmissão por corrente ou correia, em ambas as situações as velocidades lineares dos pontos periféricos das duas rodas são iguais, em cada instante.

No sistema de transmissão considera-se que a velocidade tangencial nas polias é a velocidade linear da correia, portanto a velocidade tangencial da polia conduzida é igual à velocidade tangencial da polia condutora.

#### 1.4.1 CORREIAS

Elementos de máquina que transmitem movimento de rotação entre eixos através de polias. Sendo as polias fixadas aos eixos por meio de interferência, chaveta ou parafuso.

A figura 12 representa a transmissão de movimento por correia do tipo dentada.

Na transmissão por polias e correias, o sistema que transmite movimento e força através da polia motora ou condutora é chamado de sistema motor e o sistema que recebe o movimento através da correia é chamado de sistema movido.

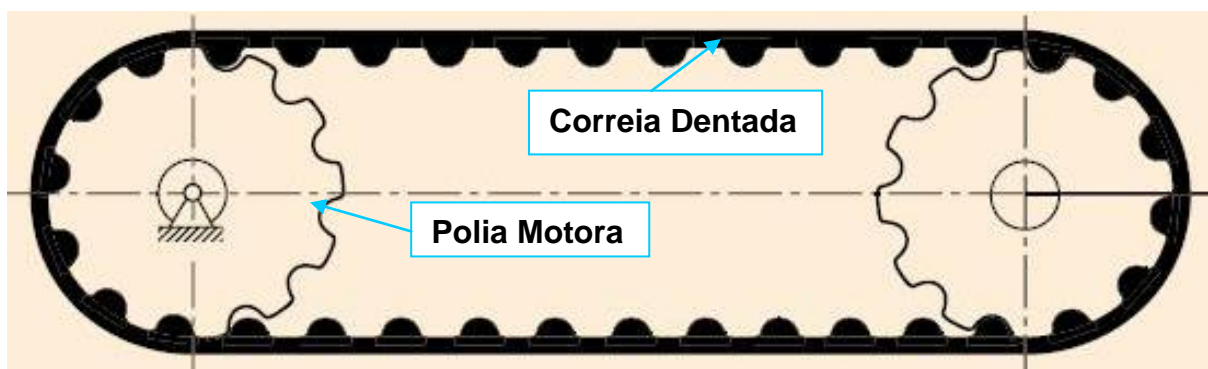


Figura 12: Exemplo de sistema de transmissão por correia (Contitech, 2006).

Conforme pode ser observado na figura 12 os sistemas com correia e polias dentadas praticamente não apresentam deslizamento assim permitem o uso de polias bem próximas, eliminam os ruídos e os choques típicos em correias planas.

Normalmente utiliza-se o tensionador de correia que tem como função manter a correia com a tensão predeterminada conforme a figura 13.

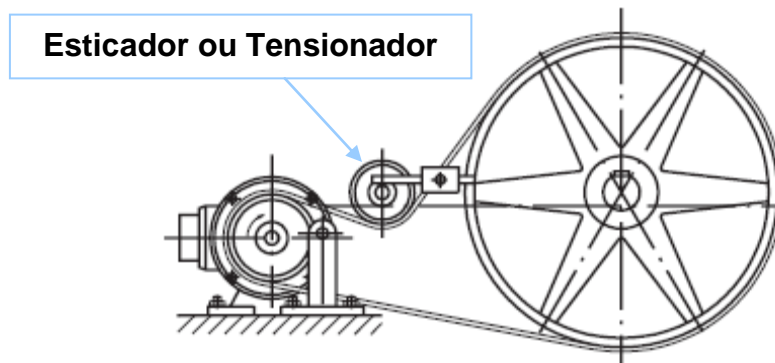


Figura 13: Sistema de transmissão por correia com esticador (GORDO; FERREIRA; et. al., 2001).

O tensionador atua garantindo a transmissão de movimento, evitando pulo de dentes, arrancamento dos dentes ou rompimento prematuro da correia.

#### 1.4.2 CORRENTES

As correntes são elementos de transmissão, geralmente metálicos e constituídos de uma série de anéis ou elos.

A figura 14 mostra a corrente de buchas comumente utilizada em sistema de sincronismo dos motores à combustão interna.

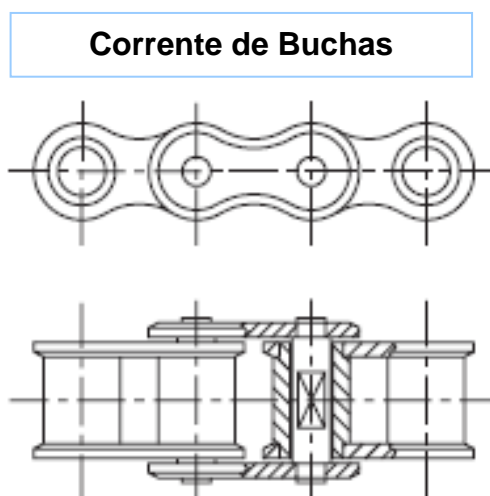
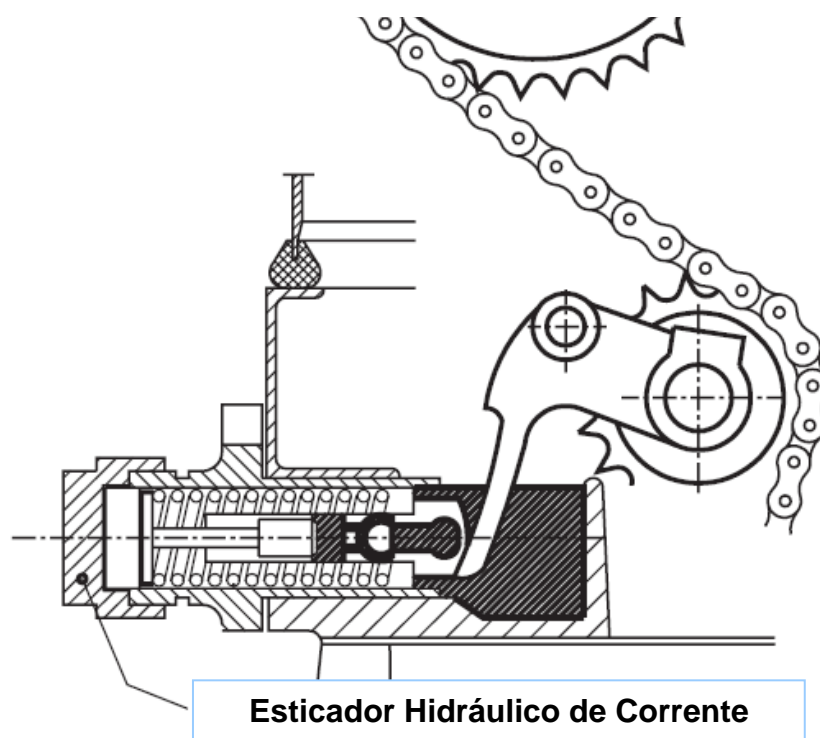


Figura 14: Corrente de Buchas (GORDO; FERREIRA; et. al., 2001).

A transmissão ocorre por meio do acoplamento dos elos da corrente com os dentes da engrenagem e a junção desses elementos gera uma pequena oscilação durante o movimento.

Para amenizar estas oscilações utiliza-se um dispositivo chamado esticador ou tensor quando existe uma folga excessiva na corrente. O esticador melhora o contato das engrenagens com a corrente, evitando quebra prematura da corrente ou dos dentes da coroa, conforme a figura 15.



**Figura 15: Exemplo de Esticador para correntes (GORDO; FERREIRA; et. AL, 2001).**

Para as correntes transmitirem força e movimento as engrenagens devem estar no mesmo plano. Entre as características básicas de uma transmissão por corrente, incluem-se a relação de transmissão constante e a possibilidade de acionar vários eixos a partir de uma única fonte motora.

### 1.4.3 ENGRENAGENS

Engrenagens são rodas com dentes padronizados que servem para transmitir movimento e força entre dois eixos.

As engrenagens são utilizadas também para variar o número de rotações e o sentido da rotação de um eixo para o outro.

Na figura 16 segue um esquema de transmissão por engrenagens.

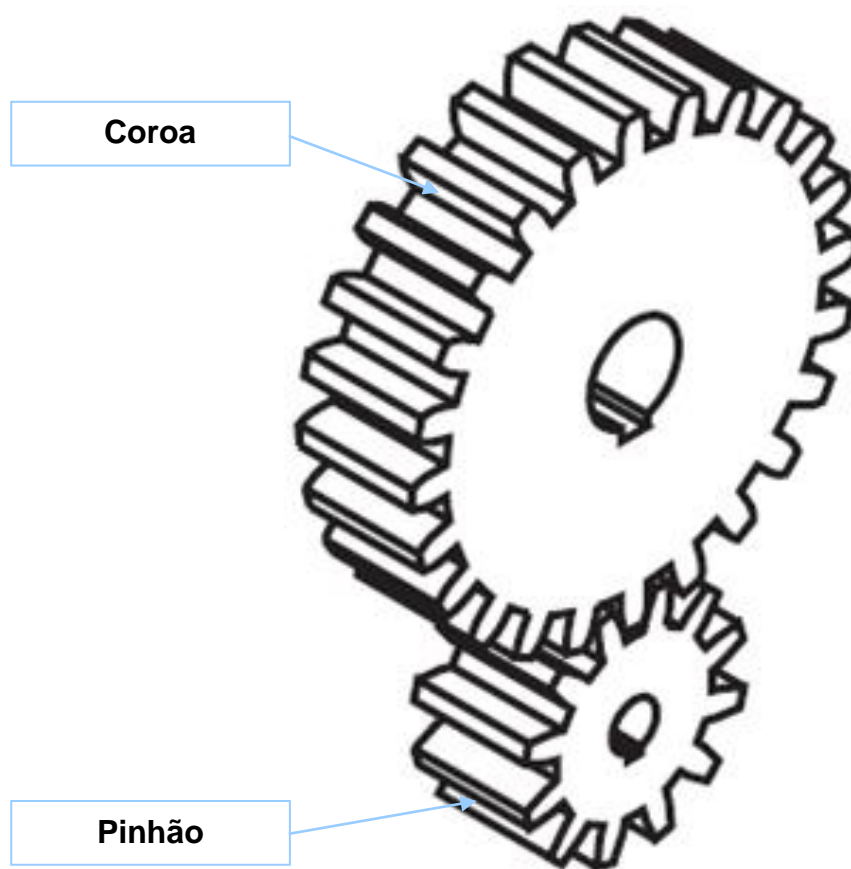


Figura 16: Exemplo de sistema de transmissão por engrenagem (GORDO; FERREIRA; et. al., 2001).

Os dentes são um dos elementos mais importantes das engrenagens, através deles se transmite o movimento.

## **1.5 SISTEMAS DE SINCRONISMO DO MOTOR**

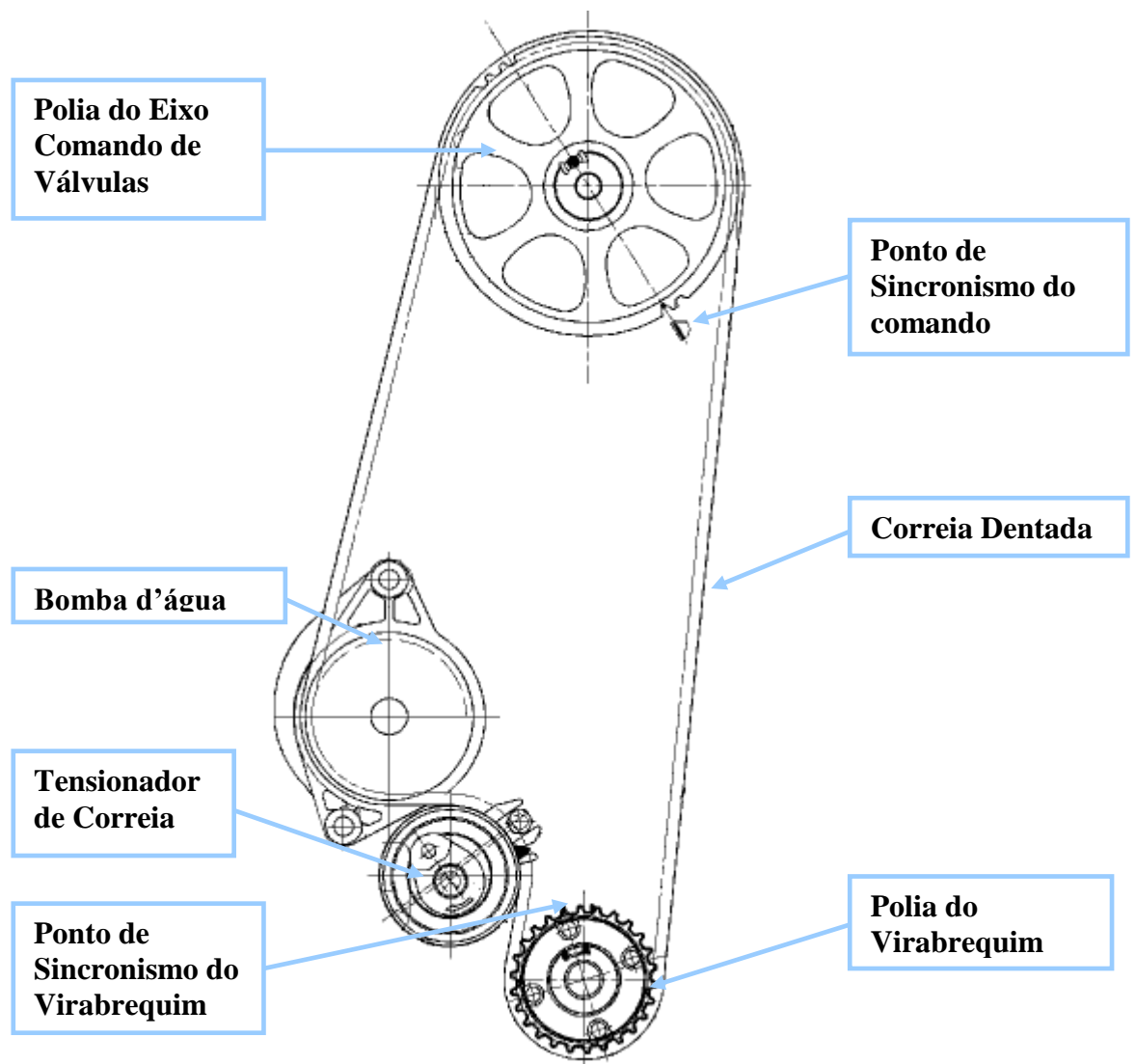
O sistema de sincronismo do motor funciona para controlar a abertura e o fechamento das válvulas de admissão e escape do ar nas câmaras de combustão no tempo correto sendo fundamental para o funcionamento do motor.

Os elementos de transmissão mais comumente utilizados para a construção dos sistemas de sincronismo em motores ciclo Otto são por correia, corrente e polias ou engrenagens.

### **1.5.1 SISTEMAS DE SINCRONISMO POR CORREIA**

O sistema de sincronismo do motor por correia é o mais comumente utilizado nos veículos do mercado brasileiro. A figura 17 mostra uma típica configuração de montagem do sistema de sincronismo.





**Figura 17: Sistema de transmissão por correia (Adaptado Volkswagen do Brasil, 2007).**

Para a montagem do sistema de sincronismo por correia deve-se girar a polia do virabrequim no sentido de rotação do motor até o ponto morto superior, seguindo as marcas conforme indicado na figura 17.

Assim com o eixo de comando de válvulas e virabrequim nas devidas posições pode-se montar a correia dentada e o esticador, para que o sistema funcione em sincronismo.

O sistema de sincronismo por correias permite também a movimentação da bomba d'água do motor e neste exemplo a polia da bomba d'água possui abas laterais com função de auxiliar no alinhamento da correia.

### 1.5.1.1 RUÍDO NO SISTEMA DE SINCRONISMO POR CORREIA

Segundo Koyama (1999) a principal fonte de ruído de um sistema sincronizador é ocasionado pelo impacto sonoro causado na colisão dos dentes da correia com os dentes da polia e também devido à vibração transversal que o motor transfere a correia.

Também segundo Koyama (1999) o impacto periódico sonoro de uma correia sincronizadora é amortecido com uma freqüência de ressonância da galeria de ar formada entre a correia e o canal do dente da polia. Esta freqüência de ressonância é inversamente proporcional ao comprimento da galeria de ar (largura da correia).

Assim a largura e o perfil do dente da correia influenciam diretamente na diminuição do ruído gerado pelo sistema de sincronismo no veículo.

### 1.5.1.2 CARACTERÍSTICAS DAS CORREIAS DE SINCRONISMO

As correias do sistema de sincronismo são confeccionadas com os detalhes conforme indicado na figura 18.

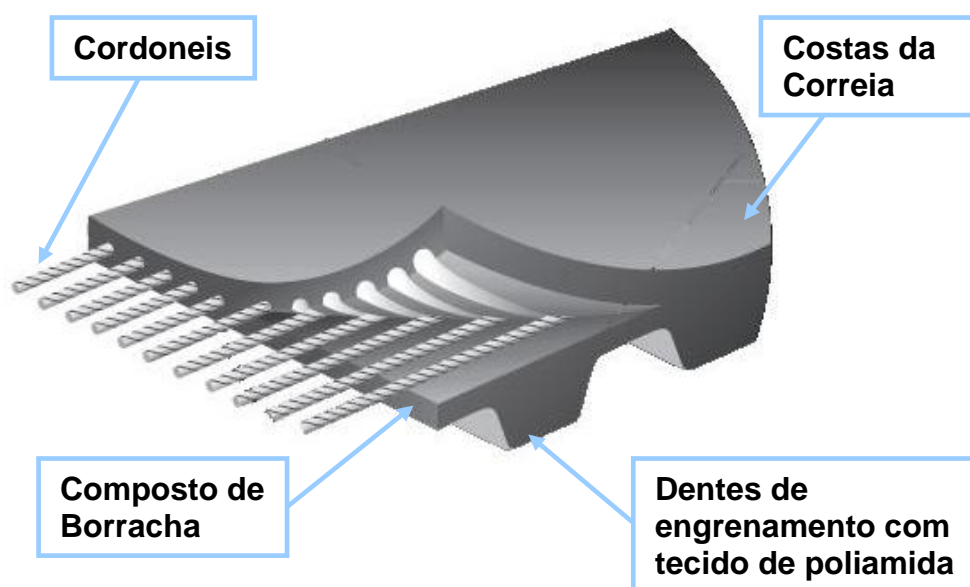


Figura 18: Típica correia de sincronização (adaptado de Contitech, 2006).

Basicamente são utilizados dois tipos de materiais para confecção da borracha das correias sincronizadoras ou dentadas, sendo o material em Borracha Nitrílica Hidrogenada (HNBR) ou Policloroprene (CR).

A indústria automobilística torna cada vez mais rigorosas as exigências das confecções em borracha para aumentar a confiabilidade e o desempenho dos seus produtos. Especificações freqüentemente incluem propriedades, que são difíceis de obter simultaneamente, como exemplo a combinação de resistência a temperatura, a estabilidade de envelhecimento, a resistência ao óleo, a resistência a baixa temperatura e boa flexibilidade.

O sistema de classificação comumente utilizado é a norma ASTM D 2000/SAE J 200 onde as variáveis de estabilidade ao calor e a resistência ao ataque de óleo são observados, porém é necessário que seja complementado pelas variáveis de flexibilidade a baixa temperatura e melhorias nas propriedades dinâmicas.

Um sistema adequado, onde os principais elastômeros são caracterizados de acordo com as suas propriedades dinâmicas e de flexibilidade a baixa temperatura, foi descrito por Mezger conforme figura 19.

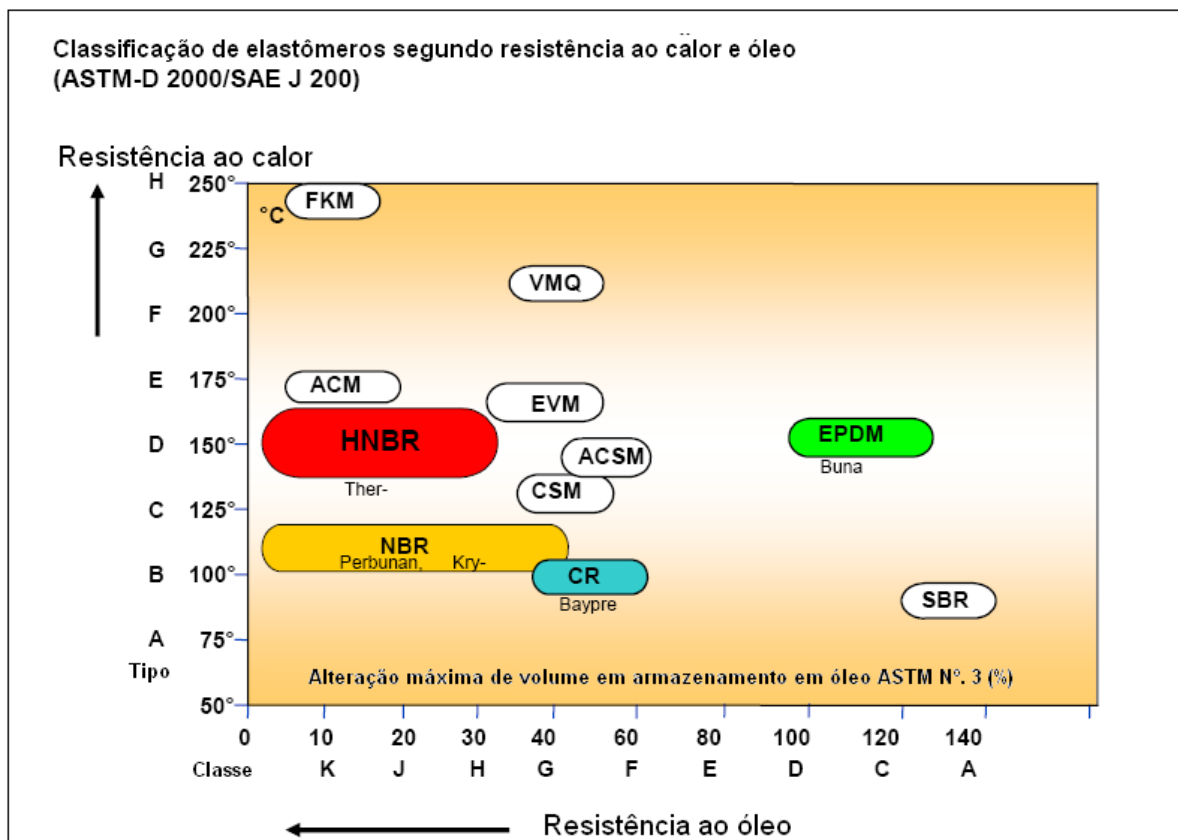


Figura 19: Sistema de Classificação de Elastômeros (Mezger 2004).

Na figura 19 pode-se observar que a resistência a óleo dos elastômeros são caracterizados por baixa temperatura e relativamente baixa flexibilidade. Em relação

aos outros elastômeros o HNBR ocupa uma posição normal em relação a estas características.

A vitrificação imputável ao etileno fornece ao HNBR uma temperatura de transição vítrea inferior a -30 ° C, este baixo desempenho a temperatura limite torna o HNBR inadequado para aplicações a temperaturas inferiores a -30 ° C.

Na tabela 1 observam-se comparativamente as características entre a correia confeccionada em CR e a correia confeccionada em HNBR.

**Tabela 1: Comparativo CR x HNBR.**

<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>CR</b>	<b>HNBR</b>
Temperatura Permanente de Trabalho	90°C	130°C
Faixa Mín. e Máx. de Temperatura	-25°C a 110°C	-30°C a 150°C
Resistência a óleo	+	++
Fibras no composto	Não	Sim
Resistência Mecânica	++	++
Resistência a Intemperismo	+	+
Resistência Química	+	+++
Adesão	+	+
Custo	++	+

Classificação: 0 = Ruim, + = Regular, ++ = Bom, +++ = Ótimo

Segundo Mezger (2004), atualmente cerca de 35 a 40% de todos os veículos produzidos utilizam correia de sincronismo em HNBR, uma vez que sistemas com correias em HNBR possuem vida útil de 150.000 km ou mais.

O alto desempenho de correias de sincronismo em HNBR em relação a segurança, ou seja, vida útil do sistema de sincronismo, a facilidade de manutenção, a redução de ruído, a melhoria no consumo de combustível e a redução de emissão de metais pesados são itens que vem ganhando grande importância e assim resultam em uma relação favorável entre custo e desempenho que reduz

continuamente o risco de substituição da correia de HNBR por outros elastômeros ou sistema por corrente, conforme Mezger (2004).

As propriedades mecânicas provenientes de elastômeros que possuem como base o HNBR são excelentes, pois possuem elevada resistência a tração conforme o teste presente na DIN 53 504, não apenas em temperatura ambiente, mas também em temperaturas de serviço entre 100 e 150 °C.

A borracha de HNBR não possui comportamento termoplástico, pois não sofre grande deterioração das propriedades mecânicas em altas temperaturas.

Para avaliar resistência dinâmica de crescimento de trinca no material utiliza-se o método Tear Analyser que tem como característica básica registrar vários parâmetros como frequência, amplitude e temperatura.

Como exemplo, a resistência dinâmica do crescimento de trinca de acordo com o método "Tear Analyser", veja figura 20, encontra-se em função da temperatura.

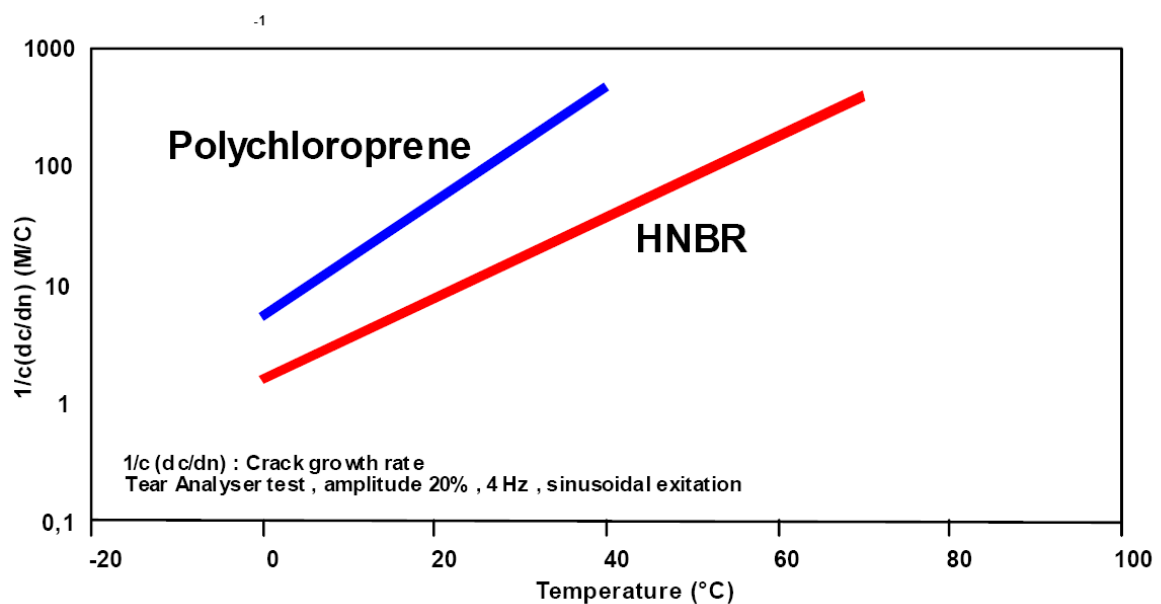


Figura 20: Dinâmica de crescimento de trinca entre HNBR e CR (Mazger, 2004).

A resistência termo-oxidativa dos elastômeros são dimensionados através de testes de resistência ao peróxido cruzado vulcanizante que conforme a figura 21 mostra valores para a borracha de HNBR mais elevados em comparação com a borracha CR tornando assim uma opção mais adequada à resistir as temperaturas elevadas do motor que chegam a atingir 135 a 150°C de pico máximo.

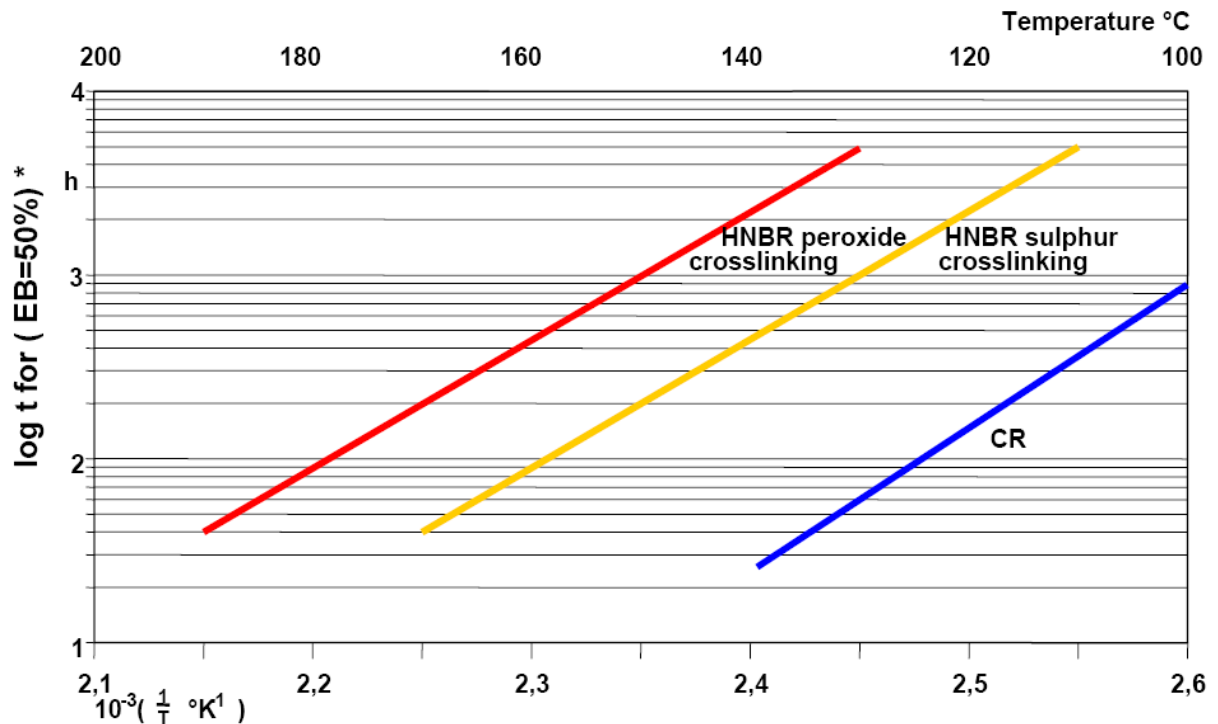


Figura 21: Comparativo da Resistência a vulcanizantes entre HNBR x CR. (Mezger, 2004).

O custo da correia de HNBR é cerca de 6 vezes maior que a correia de CR, porem analisando os benefícios da correia de HNBR versus a correia em CR os números relativos a correia em HNBR são surpreendentemente melhores.

Conforme Mezger (2004), a vida útil da correia em HNBR é cerca de 2,3 vezes maior que a correia em CR.

Porem a grande vantagem em se utilizar a correia em HNBR vem do uso em alta temperatura, como exemplo a 130°C considerada uma temperatura padrão para o veículo em estudo, onde conforme Mezger (2004) a vida útil aumenta cerca de 12 vezes.

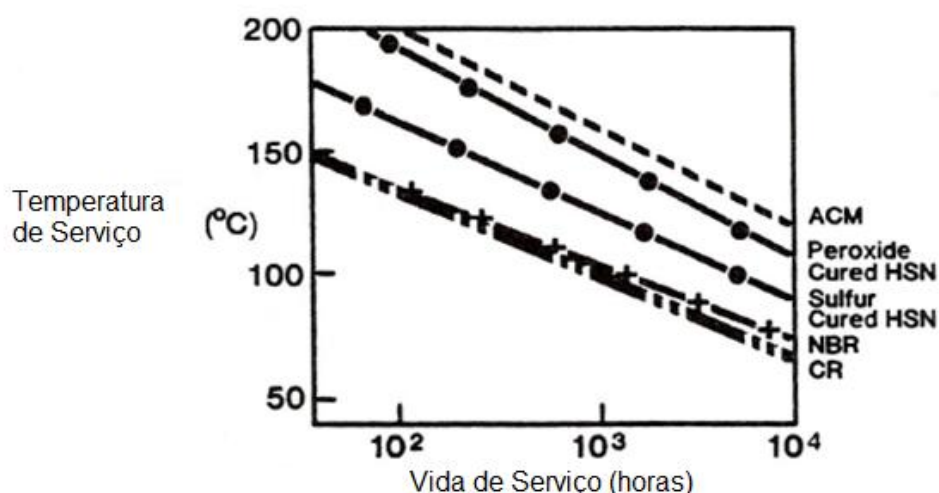
Desta forma apesar do aumento do custo de matéria prima, com o uso de HNBR em veículos onde o motor trabalha em alta temperatura a relação custo/benefício é justificável.

Em termos ecológicos as correias fabricadas em HNBR são vantajosas em relação as correias em CR, pois alem de aumentar o intervalo para troca da correia, construções em HNBR não contém materiais halógenos, sendo que os únicos óxidos metálicos que as correias em HNBR possuem são o óxido de zinco e de magnésio que não são considerados metais pesados.

Correias em HNBR apresentam vantagens estruturais no que tange maleabilidade quando comparadas com correias em CR devido ao elastômero.

A maleabilidade confere a correia maior resistência a trincas e fissuras quando submetida a variações de carga e temperatura (Contitech Power Transmission Group, 2008).

No gráfico da figura 22 demonstra a melhor resistência à temperatura da borracha de HNBR comparada com CR.



Vida de Serviço baseado no tempo para perda de 80% de alongamento após envelhecimento no ar

**Figura 22: Influência da temperatura pelo ciclo de vida da borracha. (HASHIMOTO, TODANI, 1988).**

Para averiguar o comparativo do material referente à resistência mecânica da correia realiza-se teste de ensaio a tração somente com o composto de borracha, seu desempenho pode ser observado no gráfico da figura 23 de alongação em % por tração em MPa.

Descreve-se um breve resumo das demais características como o intemperismo, a adesão e os cordões utilizados.

O intemperismo trata da capacidade de resistência da borracha a ataque por ozônio, humidade ou óleos.

As correias devem ser armazenadas fora da luz do sol em um ambiente seco e com temperatura ambiente (15-25°C). O armazenamento correto garante a vida da correia entre 4 a 5 anos (Contitech Power Transmission Group, 2006).

A adesão trata da capacidade da borracha em aderir ao cordonel e ao tecido de recobrimento da correia.

Os cordonéis utilizados na correia de CR e de HNBR possuem propriedades diferentes assim as correias em CR apresentam menor resistência a tração devido ao cordonel utilizado, portanto mais suscetível a ruptura conforme apresentado no gráfico 2 de elongação (%) por tração (kN).

Nesta situação é realizado o teste de ensaio de tração com a correia pronta e os resultados de tração em kN por elongação em % pode ser observado no gráfico da figura 23.

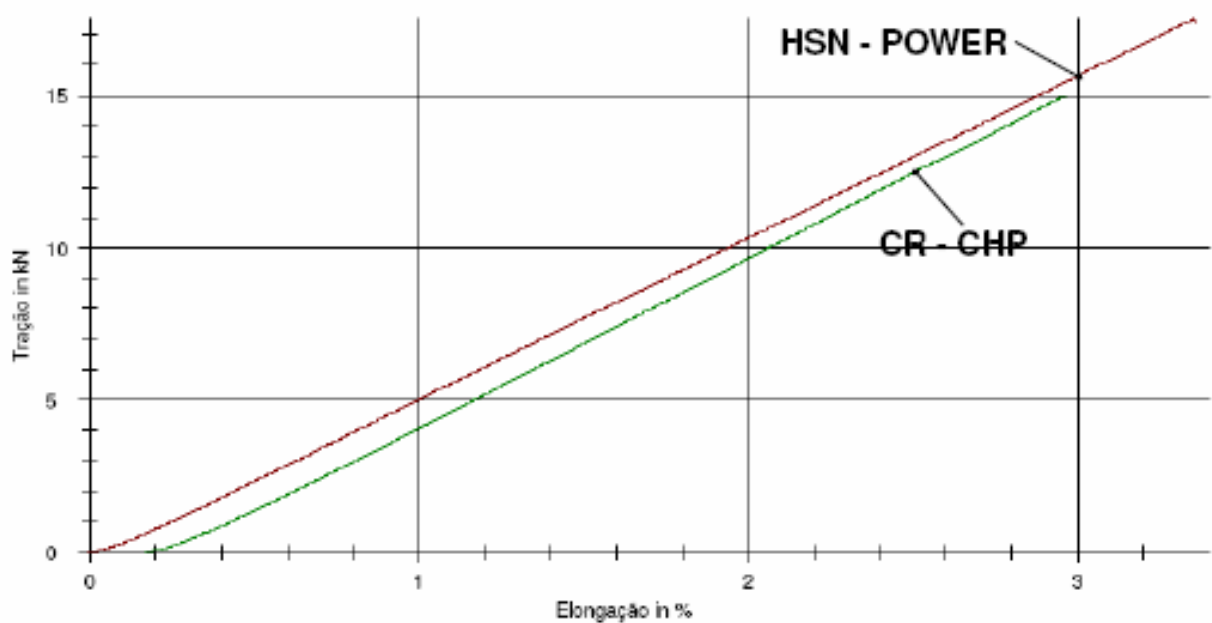


Figura 23: Resistência Mecânica de Correia Dentada, Comparativo CR x HNBR (Contitech, 2006)

Conforme o fabricante de correias Contitech (2006), as correias não podem ser vincadas devido aos cordonéis de fibra de vidro, pois fatalmente ocorrerá trinca no cordonel e conseqüentemente o rompimento da correia com poucas horas de uso.

Como já comentado o perfil do dente da correia de sincronismos influencia diretamente no ruído produzido pelo sistema de sincronismo e conseqüentemente na vida útil da correia.

A distribuição de tensão nos dentes da correia é importante fator para acréscimo da vida útil da correia de sincronismo, conforme a figura 24 onde há uma



comparação entre a correia com dentes trapezoidais e a correia com dentes arredondados.

A tensão é mais bem distribuída em correias com dentes arredondados em relação a correia de formato trapezoidal, Contitech (2002).

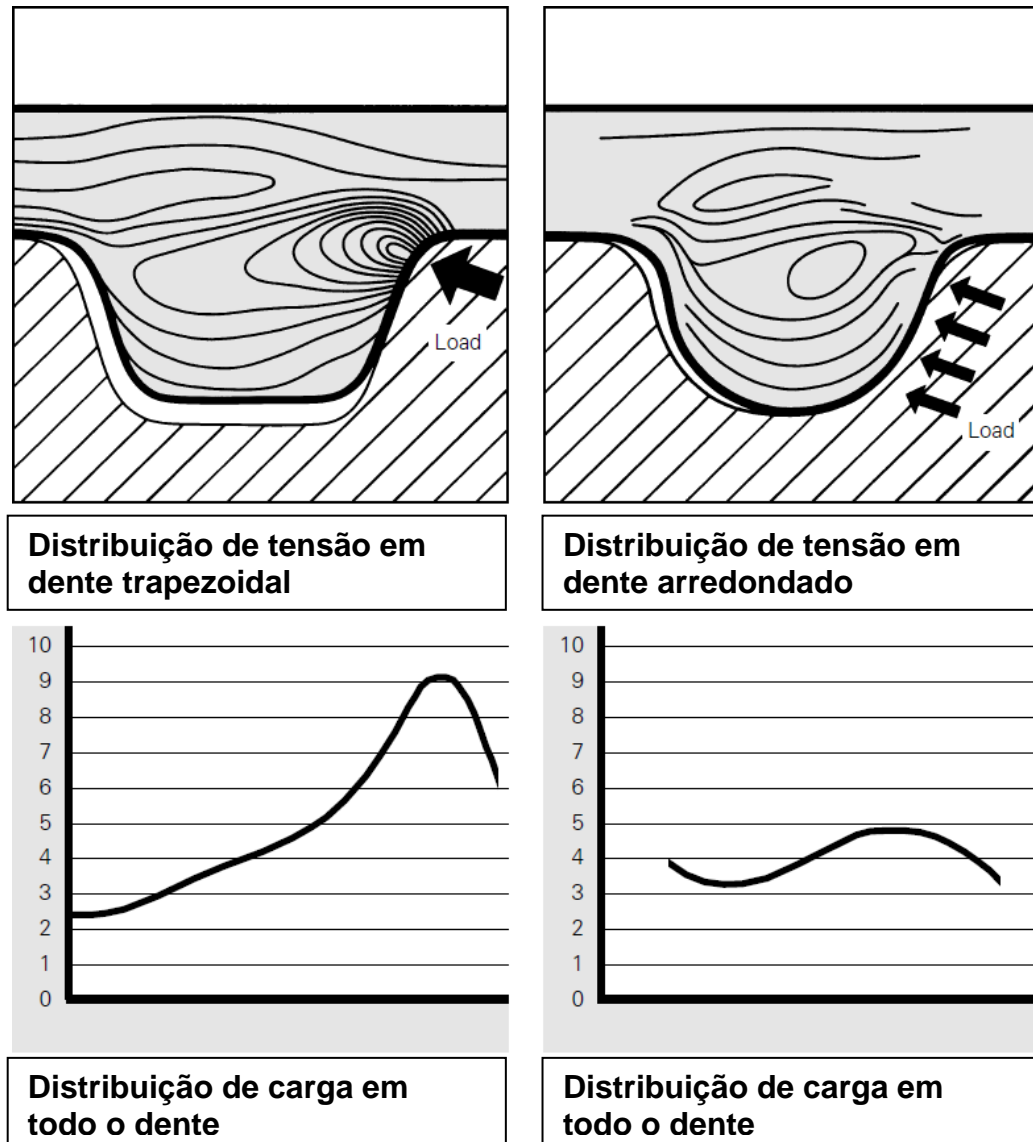


Figura 24: Distribuição de Tensão no dente da correia de sincronismo. (Traduzido de Contitech, 2002)

### 1.5.1.3 CARACTERÍSTICAS DO TENSIONADOR

O tensionador da correia dentada conforme previamente comentado tem como característica manter a correia com tensão predeterminada, garantir a

transmissão de movimento, evitando pulo de dentes, arrancamento de dentes ou rompimento prematuro da correia.

Atualmente existem diferentes conceitos de tensionadores, os mais comuns são o tensionador fixo, tensionador automático de simples excêntrico e tensionador automático de duplo excêntrico.

Conforme a fabricante de tensionadores Litens, cada tensionador tem vantagens e limitações que dependem de sua aplicação.

O tensionador do tipo fixo mantém sempre a mesma tensão aplicada na instalação da correia.

Conforme o fabricante de tensionadores Litens a correia dentada sofre desgaste durante sua utilização aumentando cerca de 0,08% a 0,12% seu comprimento.

Assim com um tensionador do tipo fixo a tensão do sistema poderá sofrer uma queda para níveis inaceitáveis, já o tensionador automático mantém a tensão no sistema durante toda sua vida útil, conforme Litens apresenta no gráfico da figura 25 de tensão na correia por estiramento.

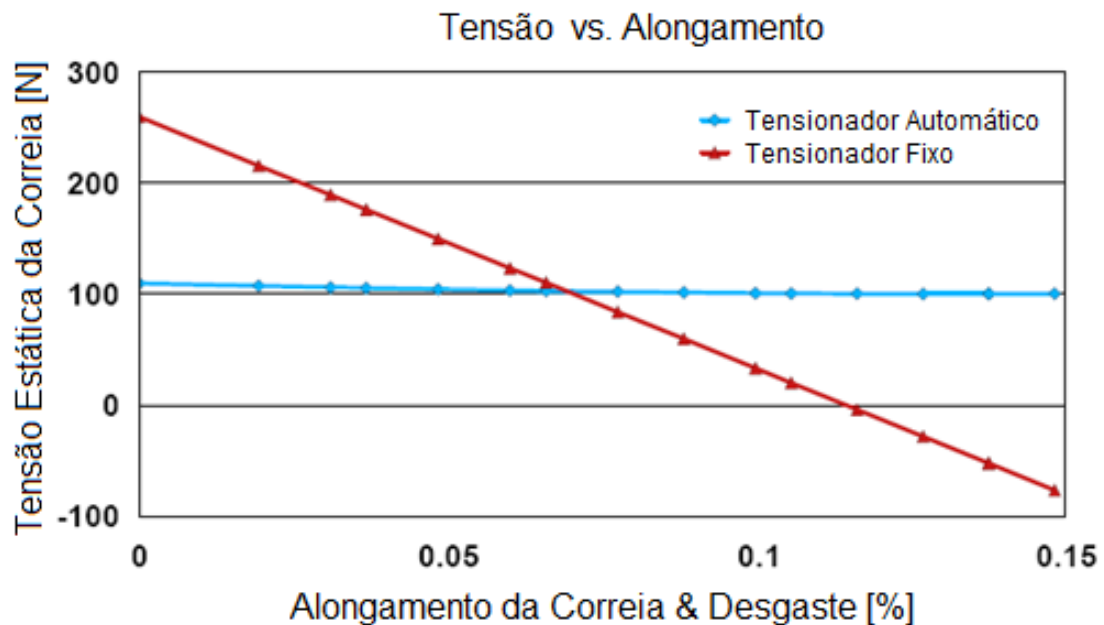


Figura 25: Resistência Mecânica, Comparativo Tensionador Fixo x Automático. (adaptado Litens, 2007).

Pode-se observar no gráfico da figura 25 que a tensão inicial no sistema com tensionador fixo é elevada em relação ao tensionador automático, porém com o

estiramento da correia esta tensão tem uma queda linear enquanto o tensionador automático mantém a tensão do sistema nos níveis adequados aumentando assim a vida útil do sistema.

Deve-se considerar, porém que o tensionador do tipo fixo possui uma construção simplificada resultando num menor custo de fabricação.

Analisando os tensionadores automáticos existem dois tipos mais comumente utilizados, o simples excêntrico e o duplo excêntrico.

O tensionador simples excêntrico com pino possui vantagem de uma instalação otimizada e simples em relação ao duplo excêntrico.

Porém o tensionador de duplo excêntrico possui uma melhor resistência a oscilações do sistema de sincronismo, pois diferentemente do tensionador de simples excêntrico, o tensionador de duplo excêntrico utiliza seu primeiro excêntrico para ajustar o sistema mantendo a correia tensionada e o segundo excêntrico trabalha conforme as solicitações aplicadas pelo motor.

Assim o tensionador duplo excêntrico mantém o sistema de sincronismo sempre com uma tensão adequada com curto tempo de resposta em relação ao sistema de simples excêntrico que primeiro necessita manter o sistema tensionado e posteriormente corrigir solicitações excessivas do motor.

Conforme o fabricante de tensionadores Litens (informação pessoal) <sup>1</sup> entende-se como exemplo de solicitações excessivas, o uso do veículo em regiões com oscilações de aceleração e posterior uso do freio motor criando assim grandes variações na tensão da correia dentada.

Na tabela 2 seguem alguns aspectos comparativos a serem analisados quanto ao tipo de tensionador a ser utilizado no sistema de sincronismo por correia dentada.

---

<sup>1</sup> Informação fornecida pelo P.Eng. Frank Schimpl supervisor do grupo de tecnologia em sistema de sincronismo da empresa Litens Automotive Group, em São Bernardo Campo em 15 de Junho de 2008.

Tabela 2: Comparativo entre tipos de tensionadores.

TIPO DE TENSIONADOR	FIXO	SIMPLES EXCÊNTRICO	DUPLO EXCÊNTRICO
Custo	+++	++	+
Pulo de Dente	+	++	+++
Instalação	++	+++	+
Durabilidade	+	++	++
Ruído	+	++	+++

Classificação: 0 = Ruim, + = Regular, ++ = Bom, +++ = Ótimo

#### 1.5.1.4 MANUTENÇÃO

Veículos com sistema de transmissão por correia prevêm manutenção antecipada em relação a sistema por corrente ou engrenagens.

Os prazos para troca da correia dentada, ou mesmo das polias e tensionador variam de acordo com o fabricante do motor, que leva em consideração a vida útil da correia e o tipo de utilização do veículo.

Conforme o fabricante de correias Contitech (2006) deve-se somente utilizar as ferramentas adequadas para realizar a troca da correia dentada, em hipótese alguma deve se aplicar força para colocação da correia dentada, assim como não se deve utilizar solventes ou outra substancia química na correia.

### 1.5.2 SISTEMAS DE SINCRONISMO POR CORRENTE

Comumente utilizado nos veículos do mercado europeu o sistema de sincronismo do motor por corrente possui como característica não sofrer a influência de baixas temperaturas e de sujidades do meio ambiente por se tratar de um sistema estanque.

O sistema de sincronismo por corrente possui maior resistência a tração em relação à correia dentada permitindo suportar as grandes variações de tensão aplicadas pelo motor à combustão.

A figura 26 mostra uma configuração de montagem do sistema de sincronismo por corrente.

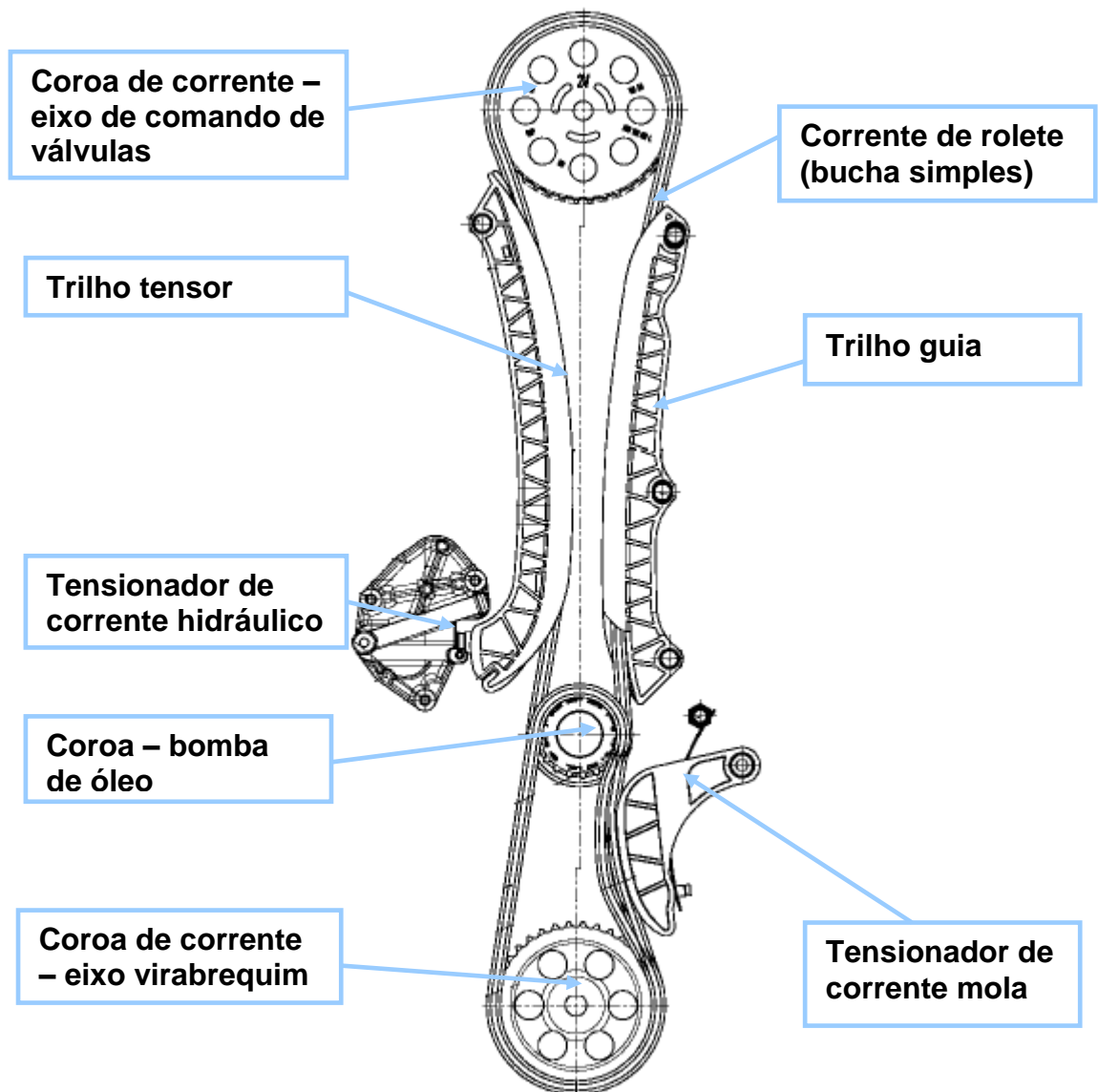


Figura 26: Sistema de sincronismo por corrente (Adaptado Volkswagen do Brasil, 2007)

Os componentes de tensionamento, na maioria das vezes hidráulicos, asseguram ao sistema que a corrente permaneça controlada, neste tipo de sistema os componentes de tensionamento são importantes, pois o eixo virabrequim possui movimentos oscilantes não uniformes.

O tensionador auxilia na compensação das tolerâncias dimensionais do motor, nas alterações dimensionais causadas por temperatura e desgastes no sistema e nos estiramentos provocados pelas altas cargas.

As correntes se movimentam em trilhos guias que necessitam estar ajustados, seus materiais são adequados a trabalhar em óleo e em altas temperaturas, as guias também devem suportar a fricção proveniente da corrente.

As rodas de correntes de diversos tamanhos e estruturas proporcionam a transmissão correta e em caso de necessidade também a inversão da rotação, conforme Schaeffler (2008).

O sistema de sincronismo por corrente funciona transmitindo o movimento e se auto lubrificando com o óleo do motor, por essa razão esse tipo de sistema geralmente não necessita de ações de reparo ou substituição de seus componentes.

#### 1.5.2.1 CONSTRUÇÃO DAS CORRENTES

O tipo de corrente mais comumente utilizada nos sistemas de sincronismo são as correntes de rolo compostas de elos internos e externos iguais, montados alternadamente conforme figura 27.

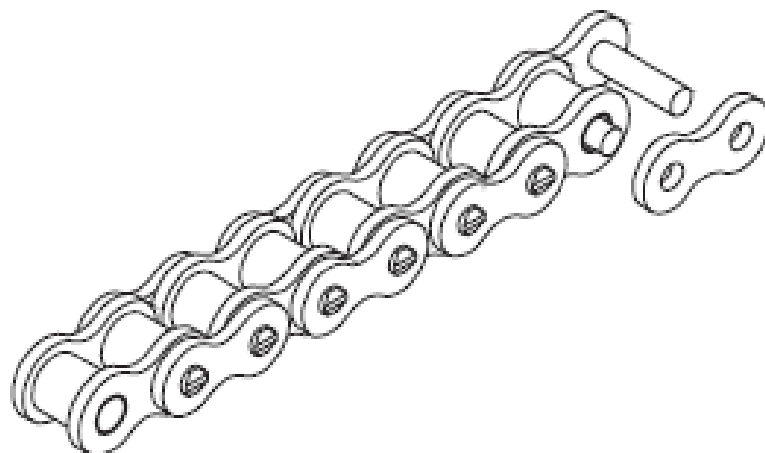


Figura 27: Corrente utilizada no Sistema de sincronismo por corrente (Daydo, 2007).

O elo externo consiste em quatro partes sendo duas placas e dois pinos sendo os pinos rebitados ou com contrapinos para realizar sua fixação. O elo interno consiste de seis partes sendo dois rolos com giro livre sobre duas buchas prensadas por duas placas em ambos os lados.

Os pinos são importantes membros para a formação da corrente atuando juntamente com as buchas suportam a carga de tração imposta pelo sistema, devendo possuir resistência a fadiga, cisalhamento e flexão.

A bucha e o rolo envolvem o pino protegendo o mesmo contra os impactos do engrenamento. As placas suportam os pinos e buchas mantendo-os em suas posições devendo assim suportar a tração, fadiga e os choques do sistema.

Outra construção de corrente comumente utilizada para o sistema de sincronismo é a corrente de dentes, este tipo de corrente possui várias talas disposta uma ao lado da outra, onde cada segunda tala pertence ao próximo elo da corrente.

Desta forma podem-se construir correntes largas e com grande resistência, desta forma mesmo com o desgaste natural, o passo como é de elo a elo vizinho permanece igual, pois não há diferenças entre eles, como ocorre com a corrente de rolo.

A corrente de dentes permite transmissões com rotações superiores às permitidas pela corrente de rolos sendo conhecida como uma corrente silenciosa, *silent chain*.

Objetivando melhor desempenho, fabricantes têm desenvolvido correntes de dentes para minimizar o ruído gerado pelo sistema de sincronismo por corrente, conforme pode ser observado na figura 28.

Os formatos dos dentes da corrente diminuem o impacto entre corrente e engrenagem, este ruído conforme já mencionado causa desconforto ao proprietário do veículo.

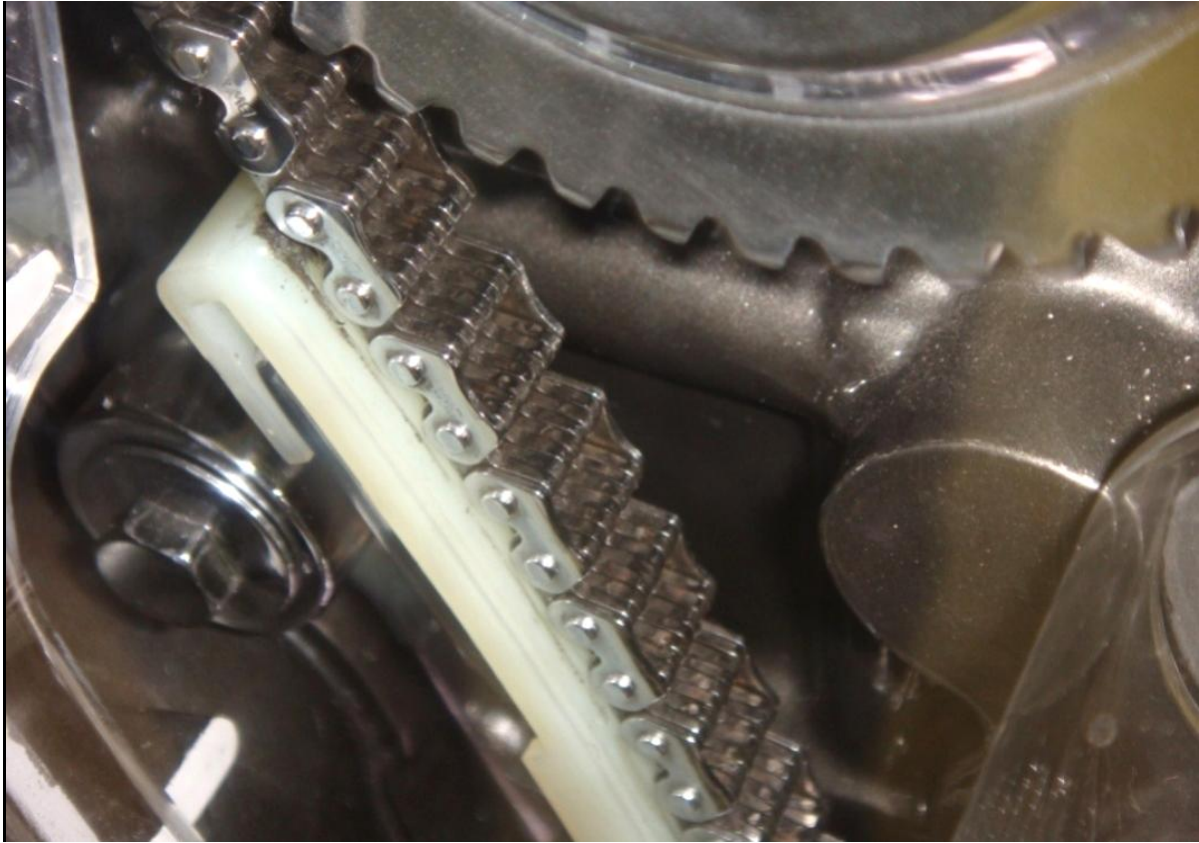


Figura 28: Corrente utilizada no Sistema de sincronismo com objetivo de minimizar ruídos.  
(foto do autor, tirada no Salão do Automóvel, 2008)

Da mesma forma como são considerados os dentes das correias, para as correntes os rolos são considerados os elementos de desgaste, conforme Ragnitz (1997), o rolo da corrente deve ser tratado como elemento de desgaste, somente em raros casos de aplicação este componente não é o predominante em função de desgaste.

#### 1.5.2.2 FUNCIONAMENTO DO TENSIONADOR DE CORRENTES

No intuito de garantir o funcionamento do sistema de sincronismo por corrente sem vibrações e com bom desempenho de ruídos e baixo desgaste faz-se necessário a redução nas oscilações na corrente.

O tensionador hidráulico de corrente funciona gerando amortecimento ao sistema. Sua forma mais conhecida é a fuga do vaporizador controlado sendo alterado conforme a velocidade do sistema, assim o tensionador utiliza óleo do motor para vaporizar o sistema de sincronismo, segue na figura 29 desenho 3D do tensionador.





Figura 29: Tensionador de Corrente (Schaeffler, 2008).

O óleo é bombeado por uma válvula de retenção na área de alta pressão então quando o tensionador é pressionado, a válvula se fecha e o óleo é pressionado para fora através de uma folga estreita entre a manivela e a carcaça, borrifando óleo em todo o sistema.

#### 1.5.2.3 TRILHO GUIA E TRILHO TENSOR

O trilho guia e o trilho tensor tem funções de evitar as oscilações da correia na engrenagem, assim a corrente é guiada por trilhos nas áreas entre os eixos.

O tensionador de corrente transmite sua força para a corrente através do trilho tensor. Os trilhos guias são fixos no motor, deste modo a corrente se movimenta com pouco atrito e desgaste sobre um revestimento geralmente plástico.

O espaço disponível para o sistema e as cargas sobre os trilhos são fatores decisivos na escolha do material dos trilhos. Alguns materiais utilizados para a confecção dos trilhos são em plástico, plástico reforçado com fibras, alumínio e chapa de aço.

Na figura 30 observa-se a o sistema e o respectivo trilho tensor confeccionado em PP (Polipropileno) e trilho guia confeccionado em plástico, ao centro a correia dentada.

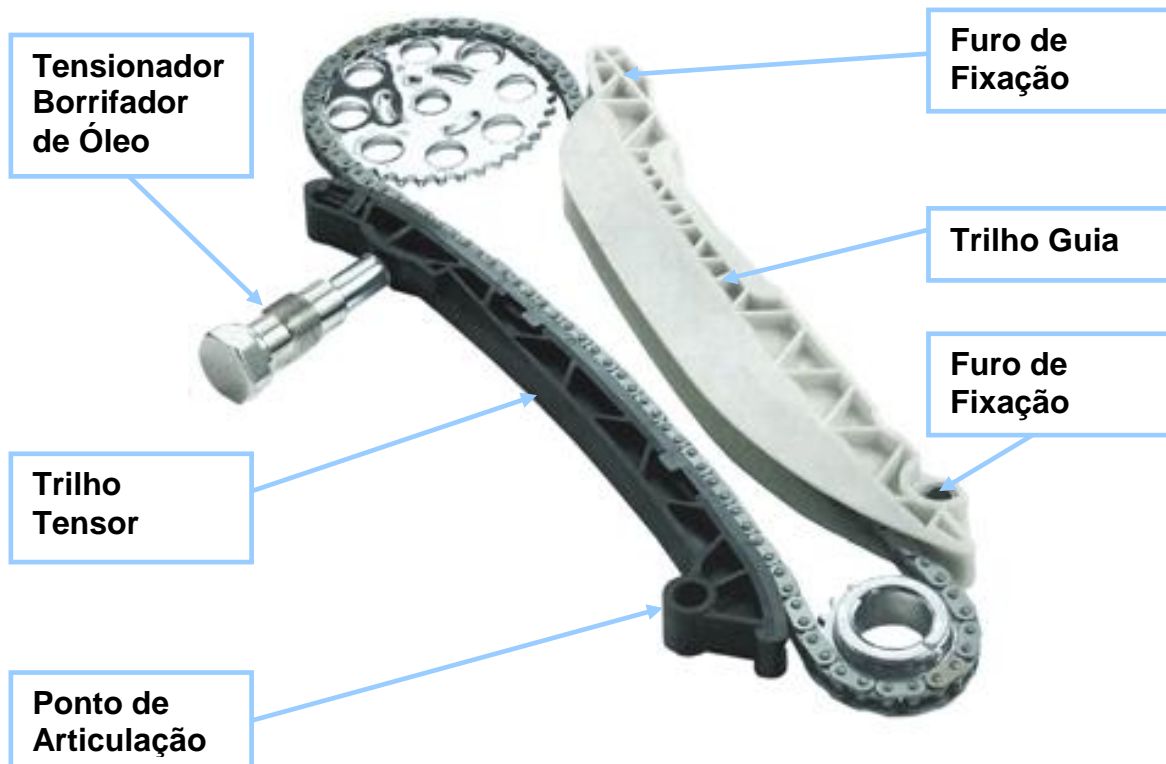


Figura 30: Trilho Tensor e Trilho Guia (Schaeffler, 2008).

Os cálculos de elementos finitos e análises deste tipo auxiliam a alcançar a máxima rigidez com custos mínimos para o espaço mínimo disponível. A fixação no motor é ajustada de acordo com as condições, conforme Schaeffler (2008)

#### 1.5.2.4 DESGASTE E FALHAS NA CORRENTE

Conforme Pawlik (1990) e Kraus (1996), apud Ragnitz (2007), o desgaste das articulações entre o pino e soquete gera um aumento no elo, levando a um alongamento da corrente.

Assim, mesmo com uma boa lubrificação da corrente pode-se resultar nos elos um alongamento devido a oscilação de pressão no sistema de borrifamento, pois as superfícies deslizantes e adjacentes da corrente e as entradas ou saídas dos dentes de roda podem ficar sem nenhum filme de óleo lubrificante.

Desta forma ocorre um atrito elevado no sistema e conseqüentemente um desgaste entre os materiais conforme observado na figura 31.



Figura 31: Desgaste de elos e bucha de corrente. (Ragnitz, 1997).

Um dos fatores que mais contribuem para o desgaste dos elos das correntes mostrados na figura 31 trata do material utilizado e do acabamento superficial aplicado a corrente.

### 1.5.3 SISTEMAS DE SINCRONISMO POR ENGENAGEM

Os sistemas de sincronismo por engrenagem são comumente utilizados em motores Diesel, todavia em poucos casos são utilizados em motores de ciclo Otto.

A figura 32 mostra a configuração de montagem de um sistema de sincronismo por engrenagens.

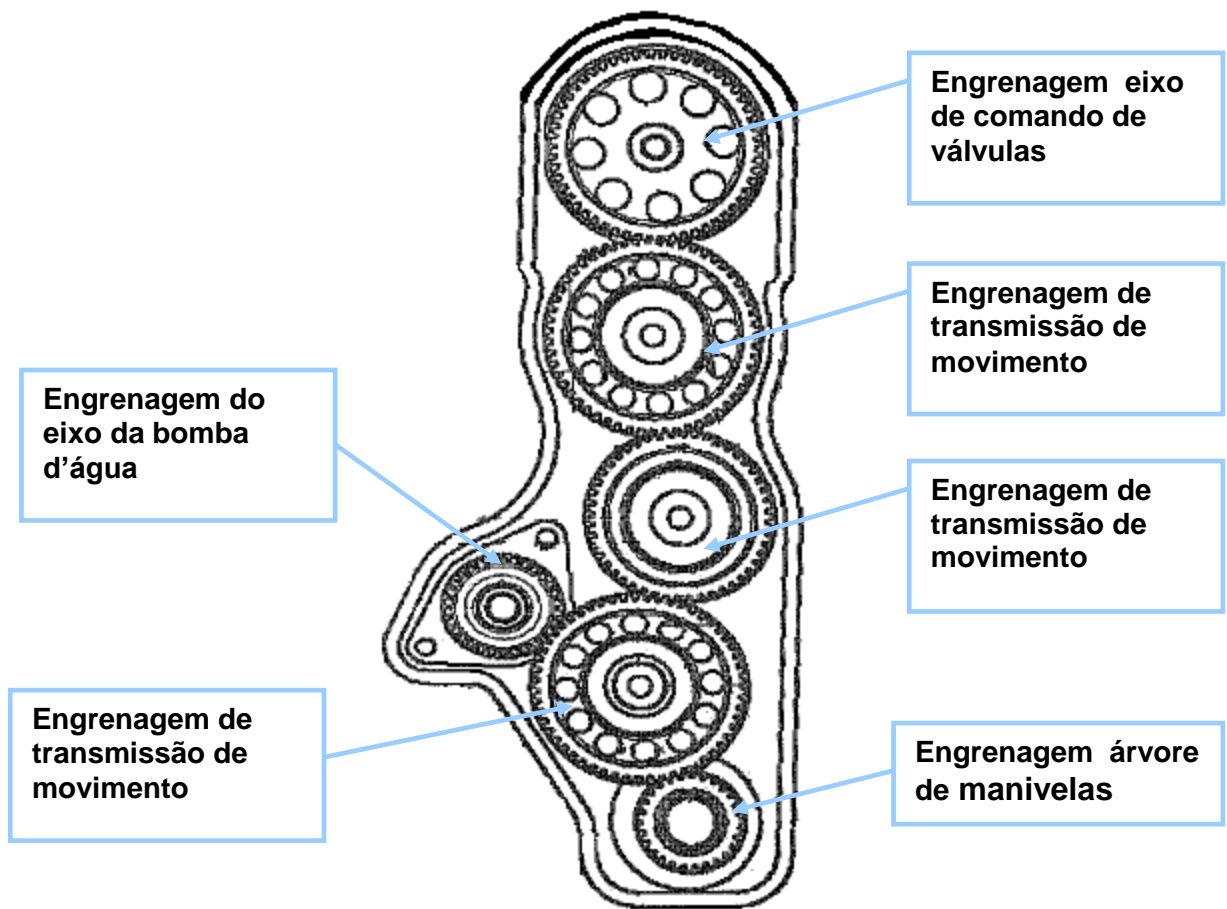


Figura 32: Sistema de sincronismo por engrenagens. (Adaptado Volkswagen do Brasil, 2007).

Neste sistema os dentes das engrenagens são lubrificados com o próprio óleo do motor, sendo um sistema estanque que não possui interação direta com o meio ambiente não sofrendo influência de agentes externos.

## **ESTUDO DE CONFIABILIDADE**

As montadoras procuram testar seus veículos em diversas situações de uso nos diversos tipos de pavimentações existentes no Brasil.

Conforme RODRIGUES (2000) existem duas áreas de capital importância onde é necessário realizar estudos de falhas para analisar as características dos modelos matemáticos das vidas, sendo quando um novo produto se encontra em estágio de desenvolvimento ou quando um produto antigo, aprovado para uma determinada função, está sendo testado em novas aplicações.

Este estudo se refere ao produto sistema de sincronismo por correia que se encontra desenvolvido e aprovado sendo testado em novas aplicações, uso em regiões extremamente severas.

Como o uso dos veículos em regiões com condições severas trata-se de uma pequena porcentagem dos casos, geralmente é recomendado nos manuais do proprietário à inspeção ou troca da correia dentada de forma prematura para esses casos.

Portanto o estudo de confiabilidade, através de dados de campo de um determinado veículo utilizado em regiões com condições de severidade, tem como objetivo realizar uma análise identificando melhorias para aumentar a vida útil da correia de sincronismo.

Assim será executada a Análise dos Modos e Efeitos das Falhas (FMEA), analisando detalhadamente as falhas no sistema para esses usos e conseqüentemente desenvolvendo sugestões de melhorias no produto e os possíveis impactos que as mudanças ocasionariam como custo, custo de garantia e melhoria da imagem do produto.

## **1.6 ESTUDO DE CASO**

Motores com sistemas que dependam de pouca manutenção têm a preferência do mercado consumidor, pois além de possuir custos elevados a manutenção caso feita de forma incorreta poderá acelerar o processo de degradação do motor.

Alem dos testes veiculares são realizados testes em dinamômetros para análise do sistema de sincronismo. Nesses testes são avaliados fatores como ruído, engrenamento, tensão da correia e uso severo como uso constantemente em rotações elevadas, entretanto não é avaliado o efeito de sujidades no sistema.

Deste modo geralmente é recomendado nos manuais a inspeção ou troca da correia dentada de forma prematura para os casos de uso em regiões severas.

Portanto o estudo de confiabilidade surgiu através do aumento do índice de reclamações apresentadas para um determinado veículo utilitário com tração traseira, uso freqüente com carga e utilização em condições de severidade, tendo como objetivo realizar uma análise de qual o tempo ideal para troca da correia dentada para esses casos.

Importante ressaltar que o veículo em estudo utilizava motorização com sistema de sincronismo por engrenagens não havendo a ocorrência de falhas por sujidades por se tratar de um sistema estanque.

A necessidade do estudo apresentado surgiu devido à troca da motorização que passou a utilizar o sistema de sincronismo por correia em HNBR.

## **1.7 USO SEVERO**

Para compreensão da ocorrência da condição de severidade descrita acima foi feita uma pesquisa de campo coletando informações provenientes de algumas montadoras que destacam condições de garantia para seus veículos mediante o uso severo, destacam-se:

A montadora A que para um determinado veículo considerado utilitário solicita que seja verificado o estado da correia dentada e o funcionamento do

tensionador automático a cada 10.000 km, sendo prevista a troca da correia dentada em uso normal aos 60.000 km.

A montadora B para um determinado veículo de passeio solicita a seus clientes que haja um controle do estado e tensão de todas as correias, em especial a correia dentada, nas regiões em que o veículo transite permanentemente por estradas que contenham poeira mineral ou poeira ferrífera.

A inspeção a cada 10.000 km e prevista a troca da correia dentada e do tensionador aos 60.000 km.

A montadora C considera uso severo a utilização de seus veículos nas condições de:

- Trânsito freqüente em estradas ou vias ruins, com alto índice de poeira ou sem pavimentação;
- Uso predominantemente em situações com elevado índice de partículas suspensas (indústrias mineradoras, de cimento e siderúrgicas, marmorarias, salinas, etc.) ou com reboque ou em viagens com carga máxima;
- Utilização em ciclos urbanos com paradas freqüentes ou em trajetos curtos (abaixo de 10 km diários) ou com motor funcionando em temperaturas abaixo do regime considerado ideal.

Para a montadora C, em regime normal a correia dentada deve ser trocada aos 90.000 km e em uso severo previsão de manutenção com possibilidade de troca aos 15.000 km.

A montadora D para um determinado veículo de passeio solicita a seus clientes que em caso de utilização do veículo predominantemente em estradas poeirentas, arenosas ou lamacentas, efetuar o controle do estado de todas as correias a cada 15.000 km e se necessário efetuar sua substituição.

Em regime normal a montadora D determina a substituição da correia dentada e do tensionador aos 60.000 km.

A tabela 3 indica resumidamente os períodos de manutenção previstos pelas montadoras.

Tabela 3: Dados de Manutenção da Correia Dentada

Troca \ Controle		Correia Dentada		Tensionador	
		Normal (km)	Uso Severo (km)	Troca (km)	Uso Severo (km)
<b>Montadora</b>	A	60.000	10.000	Não Especificado	10.000
	B	60.000	10.000	60.000	10.000
	C	90.000	15.000	Não Especificado	15.000
	D	60.000	15.000	60.000	15.000

### 1.8 ENSAIO EM REGIÕES DE USO SEVERO

Realizou-se o estudo utilizando 50 veículos distribuídos em regiões com clima e pavimentação consideradas severas com o intuito de averiguar o desempenho do sistema de sincronismo nessas regiões.

Deste modo as regiões utilizadas foram:

Região A: região onde predomina-se o clima semi-árido e a caatinga com particulados provenientes de estrada poeirenta e arenosa.

A região A foi selecionada, pois apresenta grandes picos de temperaturas e que podem se tornar maléficis a correia dentada.

Região B: região onde predomina-se grande quantidade de particulados ferríferos em suspensão.

A região B foi selecionada, pois os materiais particulados em suspensão por serem de origem ferrífera em contato com o engrenamento do sistema geram abrasão excessiva a correia dentada.

Região C: região onde predomina-se grande quantidade de particulados provenientes de estrada poeirenta e lamacenta.

A região C foi selecionada devido umidade típica da região juntamente com os particulados de poeira e lama que podem se tornar maléficis a correia dentada.



### 1.8.1 DADOS DO ESTUDO POR REGIÃO

Os dados do estudo estão divididos nas respectivas regiões já distribuídos em ordem crescente de falha em fração da vida útil, para uso normal, prescrita para o veículo em estudo conforme a tabela 4.

**Tabela 4: Dados em porcentagem dos tempos de falhas por região (ordem crescente)**

REGIÃO A		REGIÃO B		REGIÃO C	
n	% da vida útil	n	% da vida útil	n	% da vida útil
1	12,3%	1	0,9%	1	1,6%
2	13,4%	2	7,3%	2	7,3%
3	33,9%	3	10,1%	3	19,3%
4	34,4%	4	11,4%	4	33,8%
5	36,8%	5	17,3%	5	36,3%
6	42,5%	6	22,5%	6	49,0%
7	43,2%	7	23,6%	7	55,3%
8	50,1%	8	23,9%	8	82,0%
9	51,7%	9	23,9%		
10	52,6%	10	24,1%		
11	53,8%	11	24,7%		
12	55,2%	12	30,5%		
13	57,5%	13	31,1%		
14	70,9%	14	31,2%		
15	71,0%	15	33,1%		
16	80,2%	16	39,1%		
17	84,7%	17	42,7%		
		18	43,2%		
		19	44,3%		
		20	44,5%		
		21	46,7%		
		22	53,2%		
		23	55,1%		
		24	98,4%		
		25	98,7%		

**Classificação:** n = numero do veículo em teste na região.

Os dados do estudo encontram-se distribuídos pelas regiões conforme o gráfico da figura 33.

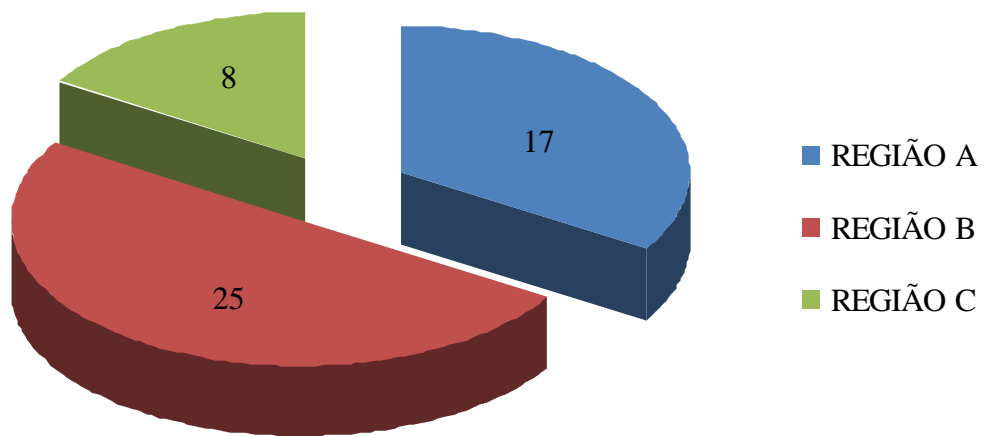


Figura 33: Distribuição do estudo por região.

#### 1.8.2 ESTADO DE USO NAS REGIÕES

Abaixo seguem as fotos 34, 35 e 36 da região de sincronismo com veículo utilizado nas regiões de uso extremamente severo.



Figura 34: Foto do Motor em uso extremamente severo

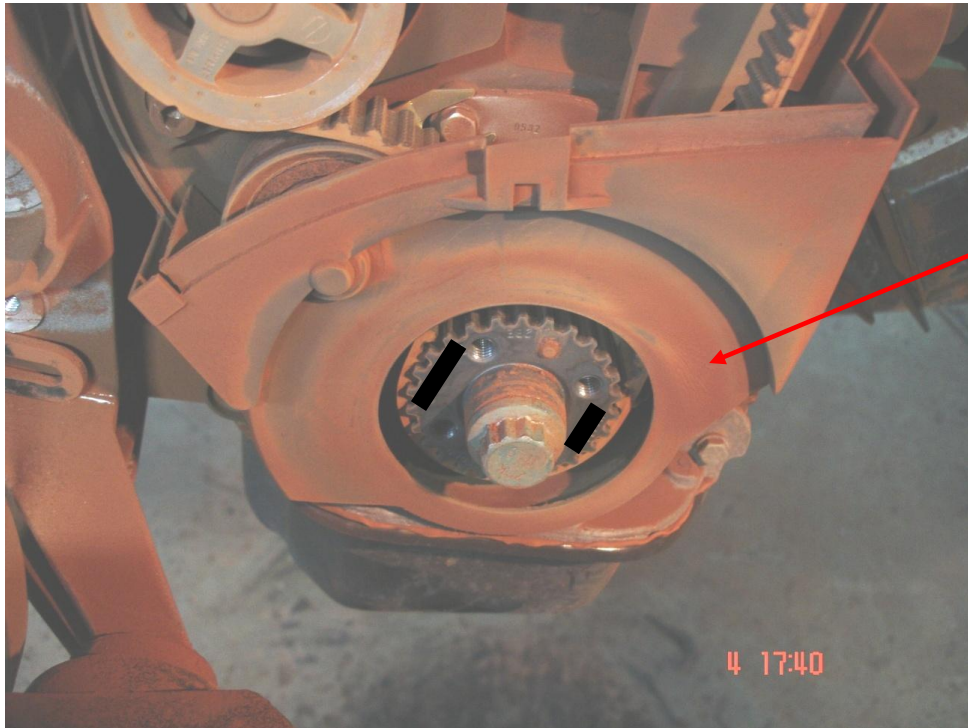


Figura 35: Foto da proteção de correia em uso extremamente severo.

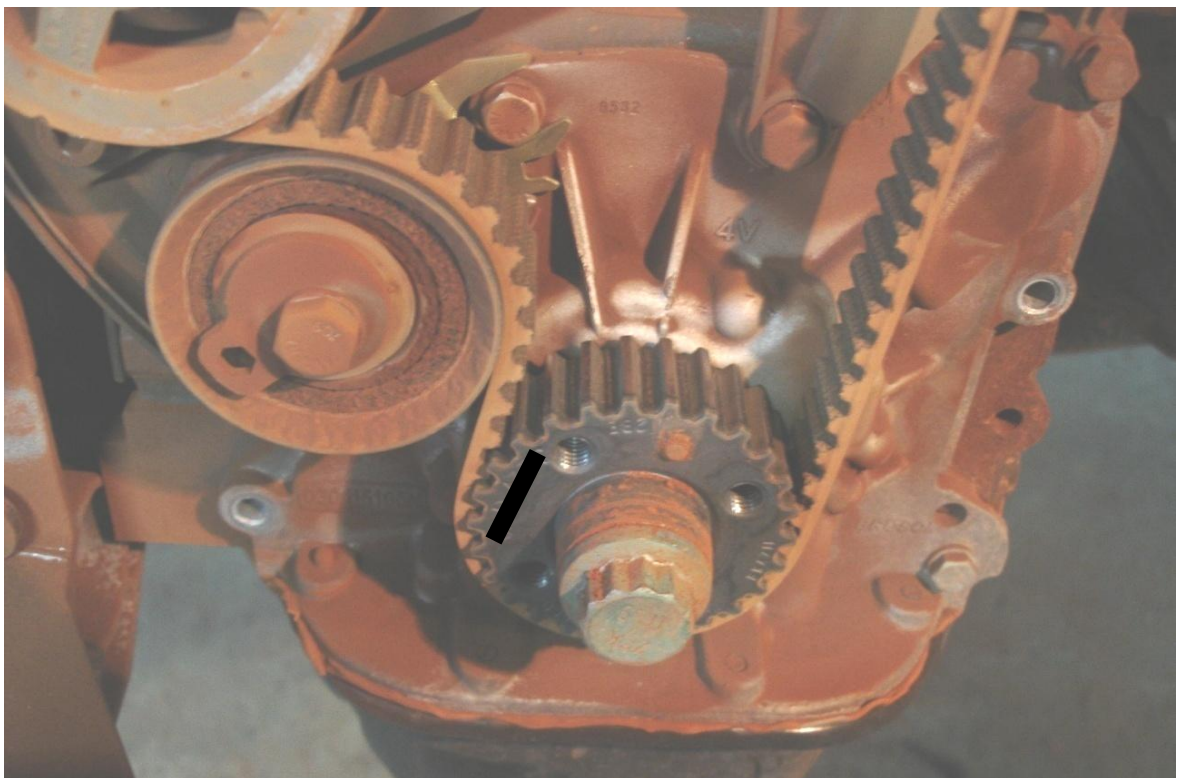


Figura 36: Foto do Sistema de Sincronismo do Motor em região de uso extremamente severo.

Percebe-se que nessas regiões de uso extremamente severo as partículas de poeira, minério de ferro, e outras sujidades impregnam em todo o sistema, pois a proteção de correia não age de maneira eficiente a impedir que estas sujidades adentrem ao sistema de sincronismo.

As partículas de poeira ou minério de ferro adentram ao sistema e se alojam entre os dentes da correia, fazendo com que a própria correia seja uma espécie de transportadora dessas sujidades e conseqüentemente impregnem as polias do sistema.

Com o uso nessa situação a região de contato da correia com as engrenagens diminuirá ou então criará uma região de abrasão na correia, tanto nos dentes quanto no costado da mesma.

Outro importante fator a ser observado é a impregnação das partículas na região do tensionador, atingindo os selos de graxa do mesmo e diminuindo sua vida útil, fazendo o tensionador falhar, conseqüentemente não ajustando a tensão da correia e causando pane no motor.

## 1.9 CARACTERÍSTICAS DOS TIPOS DE FALHAS

As falhas do sistema de sincronismo podem ocorrer por salto de dente da correia de sincronismo ou por falha estrutural da correia.

As correias dentadas utilizadas em situações de uso severo podem gerar diversos tipos de falhas estruturais que serão descritas a seguir.

### 1.9.1 MARCAS DE DESGASTE PREMATURO NA CORREIA SINCRONIZADORA

A foto da figura 37 mostra um exemplo de desgaste prematuro dos dentes da correia sincronizadora.



**Figura 37: Foto de Correia com desgaste prematura dos dentes.**

As prováveis falhas são as entradas de corpos estranhos no sistema de sincronismo, sendo o desgaste proveniente do contato entre a correia, a poeira e as polias, gerando assim uma abrasão excessiva.

Outra provável causa é proveniente de uma tensão muito baixa ou então elevada no sistema, o que nos remete a teoria de uma provável falha no funcionamento do tensionador, o qual não estaria gerando tensão à correia em determinadas faixas de rotação.

Outra possível causa seria o desgaste das polias dentadas do virabrequim ou do comando de válvulas, no entanto descartamos essas hipóteses, pois as falhas aqui estudadas tratam-se de desgastes prematuros, fator que não ocorre nas polias por se tratarem de materiais ferrosos.

### 1.9.2 MARCAS NAS LATERAIS DOS DENTES DA CORREIA SINCRONIZADORA

O desgaste prematuro nas bordas dos dentes da correia sincronizadora pode ser observada na foto da figura 38.

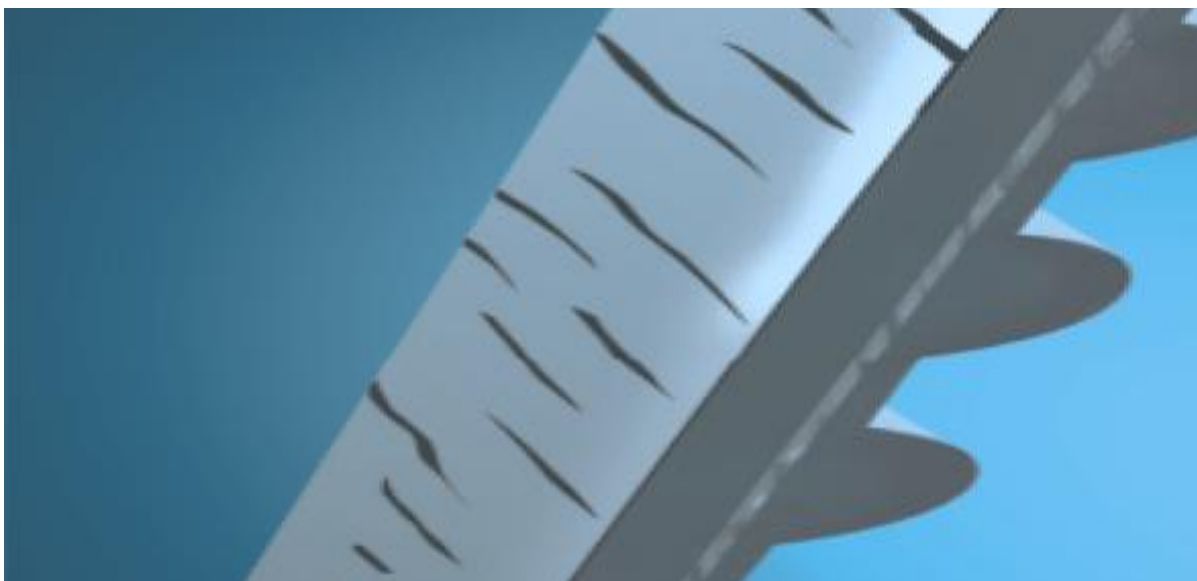


**Figura 38: Foto de Correia com desgaste lateral.**

O desgaste lateral na correia de sincronismo ocorre devido à falta de paralelismo dos eixos, as polias estão deslocadas no sentido axial e assim a correia sincronizadora não pode correr de maneira alinhada, outros fatores são a borda da correia possuir um defeito de fabricação e a existência de folga nos mancais de rolamento.

### 1.9.3 FISSURAS NAS COSTAS DA CORREIA SINCRONIZADORA

O desgaste prematuro no costado da correia sincronizadora é observado na figura 39.



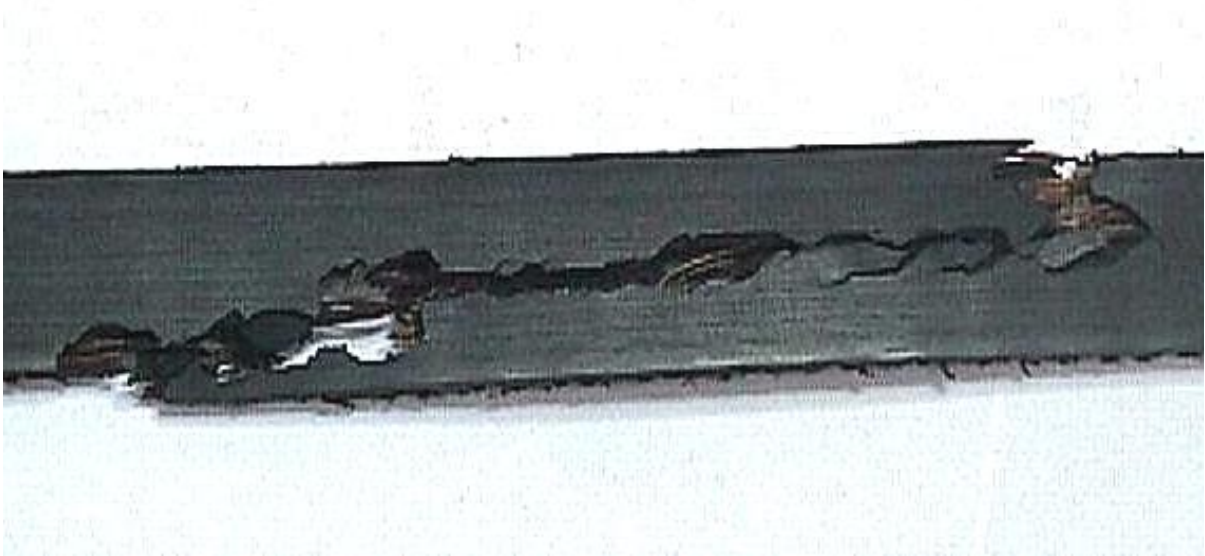
**Figura 39: Foto de Correia com desgaste no costado.**

As possíveis causas para as falhas prematuras no costado da correia de sincronismo são o excesso ou pouca temperatura ambiente, podem ser defeitos causados por meios estranhos como poeira no sistema causando uma abrasão entre as polias e o costado da correia, ou a própria polia livre esta girando com dificuldade devido a partículas de sujeira, outro possível fator decorre do ataque de ozônio sobre a correia que após 5 anos inicia seu processo de degradação.

#### 1.9.4 ROMPIMENTO DA CORREIA SINCRONIZADORA

O rompimento da correia de sincronismo é a pior das falhas para o sistema, porque indica que muito provavelmente ocorreu o atropelamento de válvulas e por consequência a pane.

A figura 40 mostra um exemplo de correia com rompimento prematuro.



**Figura 40: Foto de Correia com rompimento prematuro.**

As possíveis causas de rompimento prematuro na correia de sincronismo são a presença de corpo estranho, a tensão elevada no sistema devido a desgastes prematuros no sistema de sincronismo, a correia foi dobrada antes ou durante a sua montagem causando uma trinca e por conseqüência uma falha preexistente na correia.

#### 1.9.5 DENTES SE DESPRENDEM DA CORREIA SINCRONIZADORA

O desprendimento prematuro de dentes na correia de sincronismo também pode causar a pane do motor com atropelamento de válvulas.

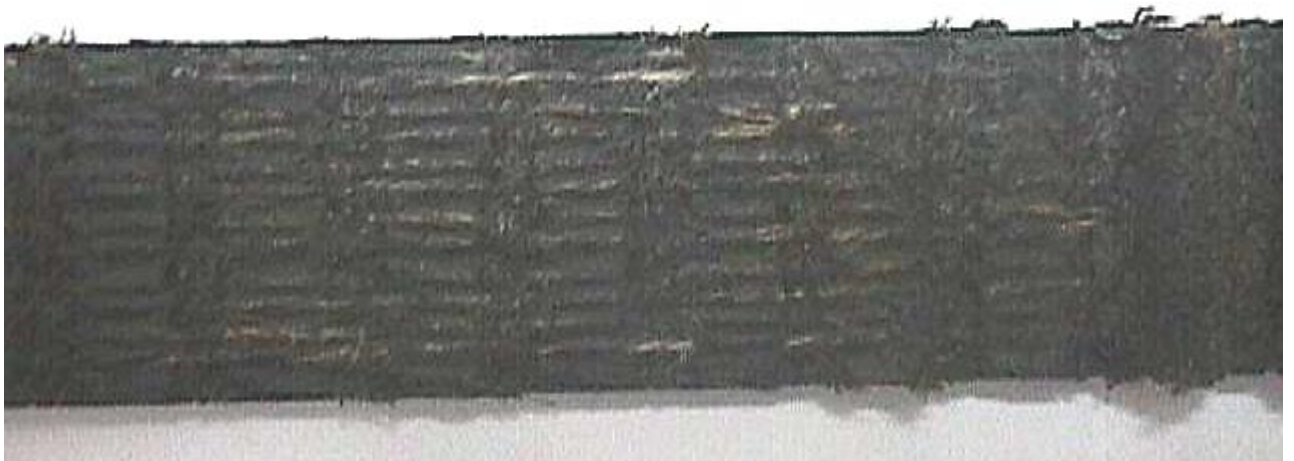
A figura 41 mostra uma correia sincronizadora que teve desprendimento dos dentes devido a sujidades no sistema.





**Figura 41: Foto de Correia com desprendimento prematuro dos dentes.**

Na figura 42 é possível observar o mesmo tipo de falha vista de topo.



**Figura 42: Foto de Correia com desprendimento prematuro dos dentes.**

As possíveis causas das falhas com desgaste nas laterais dos dentes, trincas nas bases e arrancamento dos dentes são devido à tensão muito alta ou muito baixa no sistema devido a defeitos na polia tensora ocasionado por sujidades, excesso de temperatura e perda prematura de graxa no rolamento da polia tensora.

Outra possível causa são os corpos estranhos diretamente em contato com os dentes da correia das polias de engrenamento causando também danos nas polias de engrenamento.

#### 1.9.6 SISTEMA DE SINCRONISMO GERA RUÍDOS

O sistema de sincronismo gera ruídos quando o sistema possui peças defeituosas devido a desalinhamento das polias, ou entrada de sujidades que possam causar esse desalinhamento, o excesso de temperatura também pode causar uma sobrecarga na vedação dos rolamentos do tensionador ou da polia livre causando perda de graxa e ruídos no sistema.

#### 1.10 CONSEQÜÊNCIA DA FALHA

Se uma correia de sincronismo se partir, o comando pára de girar e um ou mais pistões poderá atingir as válvulas abertas causando pane ao motor como exemplo a figura 43.



Figura 43: Danos causados em um pistão atingido por uma válvula.

A pane causada por atropelamento de válvulas gera custos de até 12% do valor do veículo em estudo.

### **1.11 FMEA**

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, FMEA (do inglês “*Failure Mode and Effect Analysis*”), trata-se de uma ferramenta de análise que tem como objetivo evitar potenciais de falhas e desenvolver propostas de ações de melhoria, para evitar falhas no projeto do produto ou do processo.

O objetivo básico desta técnica é detectar falhas ainda na fase de projeto e com sua utilização diminuir a probabilidade de falhas, buscando aumentar sua confiabilidade.

A confiabilidade por se trata de uma dimensão da qualidade do produto torna imprescindível que não ocorram falhas, pois a falha de um produto, mesmo que prontamente reparada pelo serviço de assistência técnica e mesmo coberta pela garantia é responsável por insatisfação do consumidor e para esses casos em específico gera prejuízo direto visto que priva o consumidor do uso do veículo por determinado período.

O estudo de FMEA envolve identificações sistemáticas dos aspectos função, falha funcional, modo de falha, causa da falha, efeito da falha e criticidade.

A função trata do objetivo do componente, com respectivo nível desejado de desempenho, a falha funcional refere-se à perda da função ou desvio funcional, modo de falha trata do que poderá falhar, a causa da falha refere-se ao porque de ter ocorrido a falha, o efeito da falha demonstra o impacto resultante na função principal e a criticidade é a severidade do efeito da falha.

Conforme Siqueira (2005), normalmente, a causa da falha quando necessária para a escolha da atividade de manutenção é incluída na descrição do próprio modo de falha.

Desta forma a inclusão da causa da falha torna-se imprescindível em estudos de FMEA realizados ainda na fase de projeto para correção definitiva de possíveis causas de falhas.

Comumente incluem-se no FMEA os sintomas das falhas, o seu roteiro de localização, o mecanismo de ocorrência da falha, as taxas de falha e as recomendações, para que não se perda o histórico da falha.

O FMEA resumido para análise do sistema de sincronismo e sua eventual falha com uso em regiões de severidade segue na tabela 5.

Devido a questões de sigilidade não serão apresentadas as notas utilizadas nos critérios de severidade do efeito, probabilidade da ocorrência e probabilidade da detecção.

Sendo todas as ações recomendadas e aplicadas sugeridas pelo autor.

Tabela 5: FMEA Sistema de sincronismo (adaptado de Moura, 1995).

FMEA																
Item	Função	Modo de Falha Potencial	Efeito Potencial da Falha	Severidade Classificação	Causa(s) Potencial(is) Mecanismo(s) de Falha	Plano de Verificação		Severidade Atual NPR	Ações Preventivas Recomendadas				Resultado das Ações			
						Ocorrência Preventivo	Ocorrência Detectivo		Ação (ões) Recomendadas		Severidade	Ocorrência	Deteção	Resp./ Prazo Implemen.	Ações Tomadas	Severidade
Prover sincronismo entre árvore de manivelas e eixo de comando das válvulas		Rompimento da Correia	Pane / Deficiência no Motor		Penetração de Corpos Estranhos no Sistema de Sincronismo	Dimensionamento Adequado da Proteção de Correia	Testes veiculares em regiões de extrema severidade		Necessário redimensionamento no fechamento da proteção de correia.				Melhorias na proteção de Correia Dentada			
Prover sincronismo entre árvore de manivelas e eixo de comando das válvulas		Cisalhamento do dente da correia	Pane / Deficiência no Motor		Penetração de Corpos Estranhos no Sistema de Sincronismo	Dimensionamento Adequado da Proteção de Correia	Testes veiculares em regiões de extrema severidade		Necessário redimensionamento no fechamento da proteção de correia.				Melhorias na proteção de Correia Dentada			
Prover sincronismo entre árvore de manivelas e eixo de comando das válvulas		Pulo do Dente de Sincronismo da Correia	Pane ou Deficiência no Motor		Penetração de Corpos Estranhos no Sistema de Sincronismo	Dimensionamento Adequado da Proteção de Correia	Testes veiculares em regiões de extrema severidade		Necessário redimensionamento no fechamento da proteção de correia.				Melhorias na proteção de Correia Dentada			
Atender durabilidade de X (km) da correia dentada		Desgaste Precoce da Correia Dentada	Ruído no Sistema de Sincronismo / Cisalhamento de Dente / Rompimento da Correia		Penetração de Corpos Estranhos no Sistema de Sincronismo / Alta temperatura	Dimensionamento Adequado da Proteção de Correia	Testes veiculares em regiões de extrema severidade		Necessário redimensionamento no fechamento da proteção de correia.				Melhorias na proteção de Correia Dentada			
Atender durabilidade de X (km) da correia dentada		Desgaste Precoce da Correia Dentada	Ruído no Sistema de Sincronismo / Cisalhamento de Dente / Rompimento da Correia		Penetração de Corpos Estranhos no Sistema de Sincronismo / Alta temperatura	Manutenção preventiva obrigatória para uso severo.	Testes veiculares em regiões de extrema severidade		Obrigatoriedade de manutenção preventiva para uso severo aos 16% de X(km).				Inclusão no manual do proprietário de ações necessárias em uso severo.			

Obs.: Ações recomendadas e aplicadas sugeridas pelo autor.

Para uma análise eficiente o FMEA recebe diversos índices que possuem notas, sendo respectivamente critério de severidade do efeito, probabilidade de ocorrência e probabilidade de detecção.

O índice de avaliação para severidade do efeito segue na tabela 6.

**Tabela 6: Índice de Avaliação para Severidade do efeito. (Moura, 1995).**

<b>Efeito</b>	<b>Critério: Severidade do Efeito</b>	<b>Índice de Severidade</b>
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio	9
Muito Alto	Veículo/item inoperável, com perda das funções primárias	8
Alto	Veículo/item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente Insatisfeito	7
Moderado	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente sente desconforto	6
Baixo	Veículo/item operável, mas com item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com nível de desempenho reduzido. Cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito Baixo	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado pela média dos clientes.	3
Muito Menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por clientes acurados.	2
Nenhum	Sem Defeito	1

Na tabela 7 são considerados os índices de ocorrência conforme as taxas de falha possíveis.

**Tabela 7: Índice de Avaliação para Probabilidade de Ocorrência. (Moura, 1995).**

<b>Probabilidade de Falha</b>	<b>Taxa de Falhas Possíveis</b>	<b>Índice de Ocorrência</b>
Muito Alta: Falha quase inevitável	= 1 em 2	10
	1 em 3	9
Alta: Falhas Frequentes	1 em 8	8
	1 em 20	7
Moderada: Falhas Ocasionalis	1 em 80	6
	1 em 400	5
Baixa: Poucas Falhas	1 em 2.000	4
	1 em 15.000	3
Remota: Falha é improvável	1 em 150.000	2
	= 1 em 1.500.000	1

Na tabela 8 são consideradas as probabilidades de detecção pelo controle de projeto e são avaliados os índices de detecção.

**Tabela 8: Índice de Avaliação para Probabilidade de Detecção. (Moura, 1995).**

<b>Detecção</b>	<b>Critério: Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto</b>	<b>Índice de Severidade</b>
Absoluta Incerteza	Controle de Projeto não irá e/ou não pode detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha; ou não existe Controle de Projeto.	10
Muito Remota	Possibilidade muito remota que o Controle de Projeto irá detecta um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	9
Remota	Possibilidade remota que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha	8
Muito Baixa	Possibilidade muito baixa que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha	7
Baixa	Possibilidade baixa que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha	5
Moderadamente Alta	Possibilidade moderadamente alta que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha	4
Alta	Possibilidade alta que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha	3
Muito Alta	Possibilidade muito alta que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha	2
Quase Certamente	O Controle de Projeto irá quase certamente detectar uma causa/mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	1

## 1.12 ANÁLISE ESTATÍSTICA

### 1.12.1 ANÁLISE GLOBAL DOS DADOS

As etapas para análise de confiabilidade do sistema iniciam pela classificação dos resultados do teste em ordem crescente, desta forma para realizar a análise global foram considerados todos os resultados das três regiões e classificados em ordem crescente de falha.

Após ordenar os valores deve-se calcular os valores das funções:

- Função distribuição acumulada:

$$F(t_i) = \frac{i}{N+1} \quad (\text{eq.1})$$

Sendo:

N = Numero total de itens ensaiados

$t_i$  = tempo em que se observa a falha do  $i$ -ésimo elemento da amostra, durante a execução do ensaio.

Para um estudo genérico a variável do tempo ( $t_i$ ) pode ser substituída por qualquer outra variável que traduza o ciclo operacional da função e que esteja relacionada à probabilidade de ocorrência de falhas, como o tempo (horas, semanas, meses, etc.), a operação (horas de uso, rotações, produção, quilômetros, toneladas, etc.) ou ciclos (abertura, fechamento, partidas, paradas, reabastecimentos, etc.)

Conforme Siqueira (2005), a unidade de medida mais adequada será função do mecanismo básico de deterioração funcional associado ao modo de falha.

- Confiabilidade:

Trata da probabilidade de que um item sobreviva a um determinado intervalo expresso em tempo, ciclo, distância etc.

A probabilidade de sobrevivência é denominada confiabilidade e expressa por:

$$R(t_i) = 1 - F(t_i) \quad (\text{eq.2})$$

$$R(t_i) = \frac{N + 1 - i}{N + 1} \quad (\text{eq.3})$$



- Função densidade de probabilidade:

$$f(t) = -\frac{R(t_{i+1})-R(t_i)}{(t_{i+1}-t_i)} ; \quad t_i < t < t_{i+1} \quad (\text{eq.4})$$

- Taxa de Falha:

A taxa de falha é definida através da probabilidade condicional da ocorrência de falha em um determinado período de tempo de  $t$  a  $t+dt$ , sendo que não ocorreu falha até o instante  $t$ , dividido pelo período  $dt$ .

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} ; \quad t_i < t < t_{i+1} \quad (\text{eq.5})$$

A figura 44 ilustra as formas típicas das funções taxa de falha  $\lambda(t)$ , confiabilidade  $R(t)$ , probabilidade acumulada de falha  $F(t)$ , densidade de probabilidade  $f(t)$ , para um item com taxa de falha crescente.

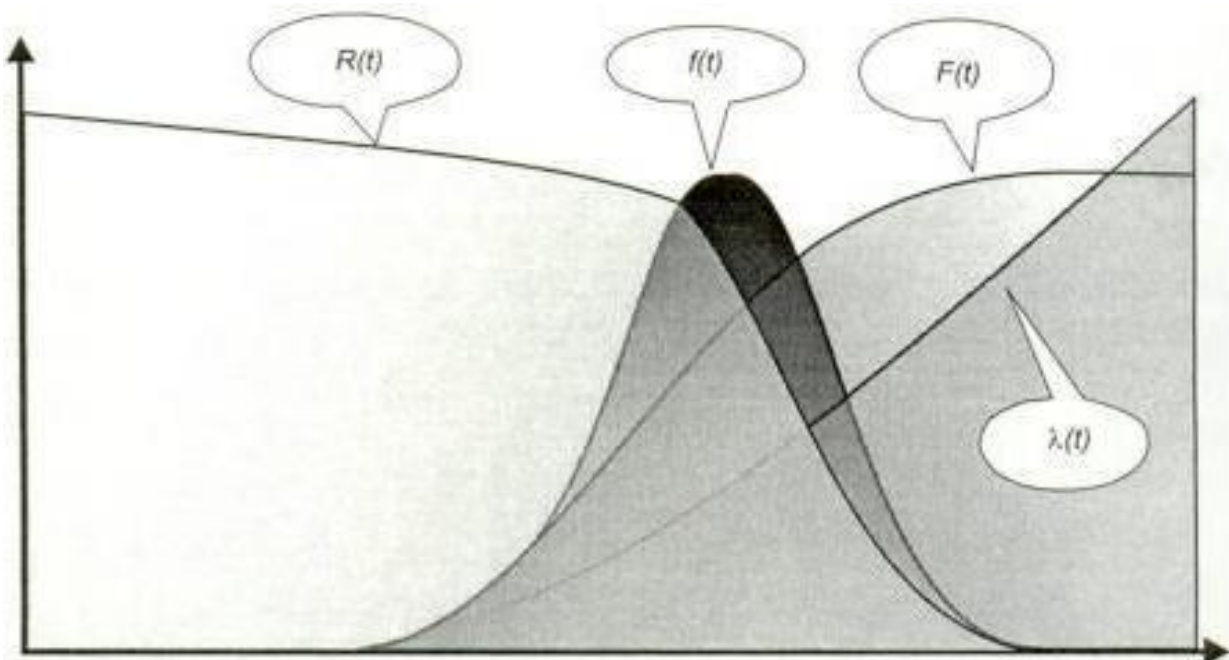


Figura 44: Modelagem matemática das funções  $R(t)$ ,  $f(t)$ ,  $F(t)$  e  $\lambda(t)$ . (Siqueira, 2005).

- Tempo Médio de Falha (MTTF):

$$m_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n t_i \quad (\text{eq.6})$$

- Variância do processo:

$$\sigma_x^2 = \frac{N}{N-1} \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n t_i^2 - m_x^2 \right] \quad (\text{eq.7})$$

A tabela 9 apresenta os dados da análise global e os respectivos cálculos para estimativa do tempo de falha.

Tabela 9: Dados e Cálculos Global.

Análise Global dos Dados								
i	% i	% <sup>2</sup>	(t i+1 - t i)	F(t i)	R(t i)	f(t i)	λ (t)	
0	0		0,87%	0,00	1,000	2,2567	2,2567	
1	1	0,87%	0,0075%	0,74%	0,02	0,980	2,6418	2,6946
2	2	1,61%	0,0260%	5,69%	0,04	0,961	0,3447	0,3587
3	3	7,30%	0,5329%	0,01%	0,06	0,941	135,7466	144,2308
4	4	7,31%	0,5350%	2,83%	0,08	0,922	0,6931	0,7521
5	5	10,14%	1,0289%	1,27%	0,10	0,902	1,5480	1,7162
6	6	11,41%	1,3019%	0,90%	0,12	0,882	2,1706	2,4600
7	7	12,31%	1,5162%	1,08%	0,14	0,863	1,8230	2,1131
8	8	13,39%	1,7926%	3,86%	0,16	0,843	0,5078	0,6023
9	9	17,25%	2,9756%	2,08%	0,18	0,824	0,9437	1,1459
10	10	19,33%	3,7356%	3,18%	0,20	0,804	0,6162	0,7665
11	11	22,51%	5,0670%	1,11%	0,22	0,784	1,7718	2,2590
12	12	23,62%	5,5775%	0,28%	0,24	0,765	6,9204	9,0498
13	13	23,90%	5,7121%	0,02%	0,25	0,745	103,8062	139,3189
14	14	23,92%	5,7211%	0,19%	0,27	0,725	10,2006	14,0603
15	15	24,11%	5,8135%	0,62%	0,29	0,706	3,1569	4,4723
16	16	24,73%	6,1168%	5,77%	0,31	0,686	0,3400	0,4955
17	17	30,50%	9,3018%	0,59%	0,33	0,667	3,3234	4,9850
18	18	31,09%	9,6652%	0,08%	0,35	0,647	25,9516	40,1070
19	19	31,16%	9,7122%	1,97%	0,37	0,627	0,9976	1,5899

20	<b>20</b>	33,13%	10,9760%	0,67%	0,39	0,608	2,9363	4,8307
21	<b>21</b>	33,80%	11,4229%	0,14%	0,41	0,588	13,5747	23,0769
22	<b>22</b>	33,94%	11,5207%	0,41%	0,43	0,569	4,7438	8,3426
23	<b>23</b>	34,36%	11,8030%	1,94%	0,45	0,549	1,0113	1,8420
24	<b>24</b>	36,29%	13,1729%	0,52%	0,47	0,529	3,8032	7,1839
25	<b>25</b>	36,81%	13,5498%	2,27%	0,49	0,510	0,8625	1,6919
26	<b>26</b>	39,08%	15,2751%	3,40%	0,51	0,490	0,5759	1,1749
27	<b>27</b>	42,49%	18,0521%	0,20%	0,53	0,471	9,6962	20,6044
28	<b>28</b>	42,69%	18,2244%	0,47%	0,55	0,451	4,1522	9,2072
29	<b>29</b>	43,16%	18,6298%	0,04%	0,57	0,431	49,0196	113,6364
30	<b>30</b>	43,20%	18,6643%	1,11%	0,59	0,412	1,7718	4,3029
31	<b>31</b>	44,31%	19,6328%	0,17%	0,61	0,392	11,3852	29,0323
32	<b>32</b>	44,48%	19,7857%	2,18%	0,63	0,373	0,8994	2,4143
33	<b>33</b>	46,66%	21,7726%	2,29%	0,65	0,353	0,8567	2,4272
34	<b>34</b>	48,95%	23,9610%	1,19%	0,67	0,333	1,6493	4,9478
35	<b>35</b>	50,14%	25,1391%	1,57%	0,69	0,314	1,2516	3,9894
36	<b>36</b>	51,71%	26,7346%	0,92%	0,71	0,294	2,1262	7,2289
37	<b>37</b>	52,63%	27,6968%	0,53%	0,73	0,275	3,6688	13,3650
38	<b>38</b>	53,16%	28,2622%	0,62%	0,75	0,255	3,1797	12,4740
39	<b>39</b>	53,78%	28,9217%	1,36%	0,76	0,235	1,4465	6,1475
40	<b>40</b>	55,13%	30,3981%	0,05%	0,78	0,216	38,3632	177,8656
41	<b>41</b>	55,19%	30,4545%	0,13%	0,80	0,196	15,6169	79,6460
42	<b>42</b>	55,31%	30,5932%	2,14%	0,82	0,176	0,9158	5,1894
43	<b>43</b>	57,45%	33,0076%	13,41%	0,84	0,157	0,1462	0,9321
44	<b>44</b>	70,86%	50,2161%	0,18%	0,86	0,137	11,1690	81,3743
45	<b>45</b>	71,04%	50,4652%	9,19%	0,88	0,118	0,2135	1,8144
46	<b>46</b>	80,22%	64,3596%	1,79%	0,90	0,098	1,0961	11,1801
47	<b>47</b>	82,01%	67,2619%	2,66%	0,92	0,078	0,7359	9,3828
48	<b>48</b>	84,68%	71,7033%	13,71%	0,94	0,059	0,1430	2,4315
49	<b>49</b>	98,39%	96,7994%	0,31%	0,96	0,039	6,2578	159,5745
50	<b>50</b>	98,70%	97,4169%		0,98	0,020		
<b>Total</b>	<b>50</b>	2010,23%	1082,0126%					
		<b>N =Nº itens ensaiados</b>	<b>50</b>					
		<b>mx (t)</b>	<b>40,20%</b>					
		<b>Variância (t²)</b>	<b>5,59%</b>					
		<b>Desvio Padrão</b>	<b>23,64%</b>					

O Histograma Global tem por objetivo indicar as freqüências de falhas distribuídas em faixas de porcentagem (quilometragem).

Com a finalidade de se criar o Histograma Global as falhas foram separadas a cada 10% do período de troca em uso normal de acordo com o período no qual ocorreu a falha, os dados foram segregadas na tabela 10.

**Tabela 10: Classificação das Falhas em Períodos de Ocorrência.**

Período em %	Qtd. De Falhas
0 a 10%	4
10 a 20%	6
20 a 30%	6
30 a 40%	10
40 a 50%	8
50 a 60%	9
60 a 70%	0
70 a 80%	2
80 a 90%	3
90 a 100%	2

O gráfico da figura 45 representa o Histograma Global no qual se analisa os períodos em que ocorre uma maior quantidade de falhas.

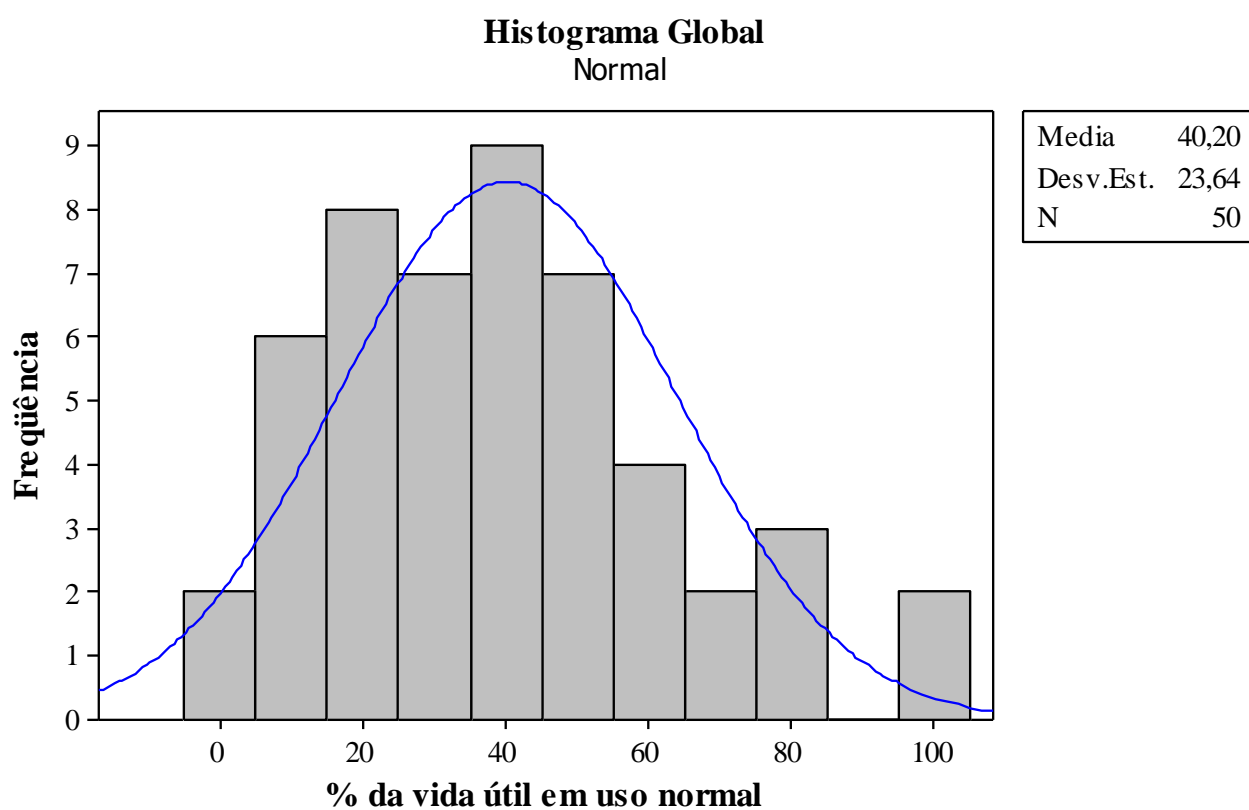


Figura 45: Histograma da Análise Global

No Histograma Global a maior quantidade de falhas ocorre no período de 30 a 40 por cento do valor da vida útil da correia dentada em uso normal.

A Tabela 11 indica a análise estatística realizada para as 50 amostras.

Tabela 11: Resumo Estatístico Global

Análise Global	
Média	40,20%
Erro padrão	3,34%
Mediana	37,95%
Desvio padrão	23,64%
Variância da amostra	5,59%
Curtose	15,87%
Assimetria	60,02%
Intervalo	97,83%
Mínimo	0,87%
Máximo	98,70%
Soma	2010,23%
Contagem	50

A confiabilidade global esta indicada no gráficos da figura 46.

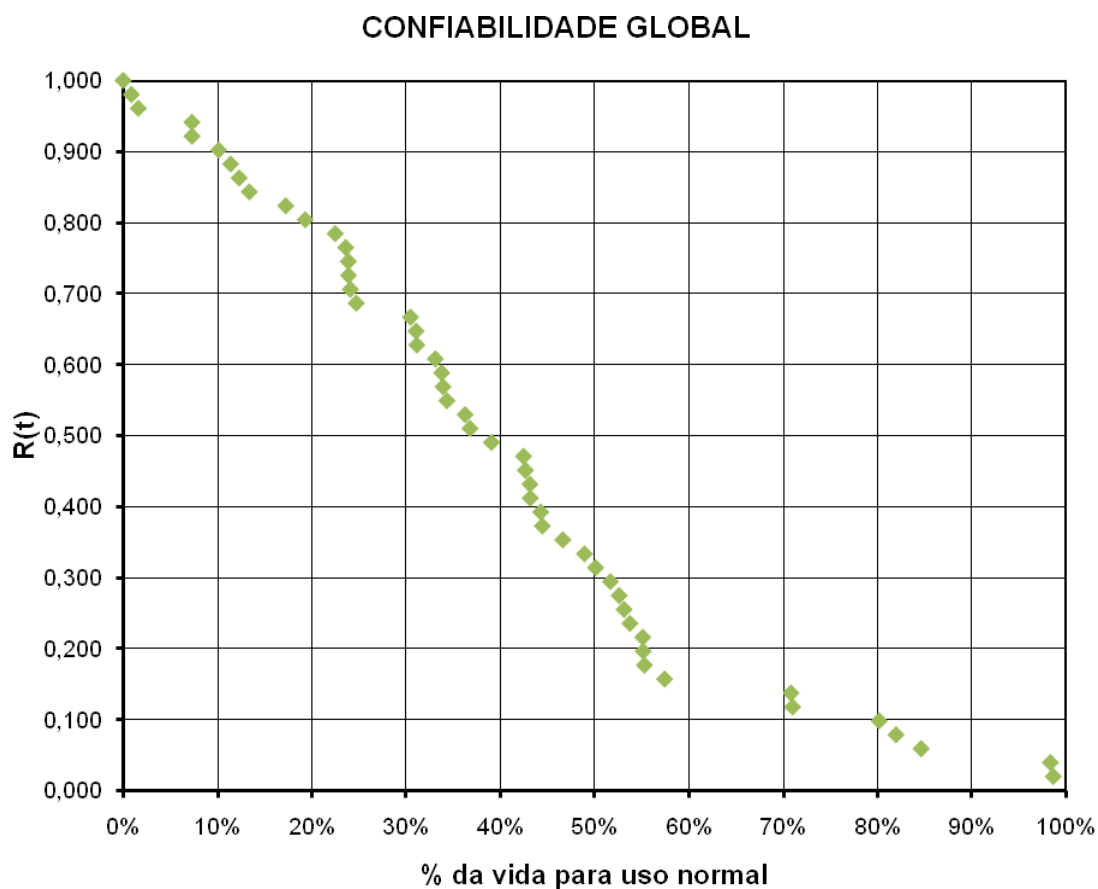


Figura 46: Confiabilidade Global

A função taxa de falha conforme o gráfico da figura 47 quantifica as probabilidades de falha em um dado intervalo de tempo ( $t, t + \Delta t$ ) dividida pelo comprimento do intervalo de tempo.

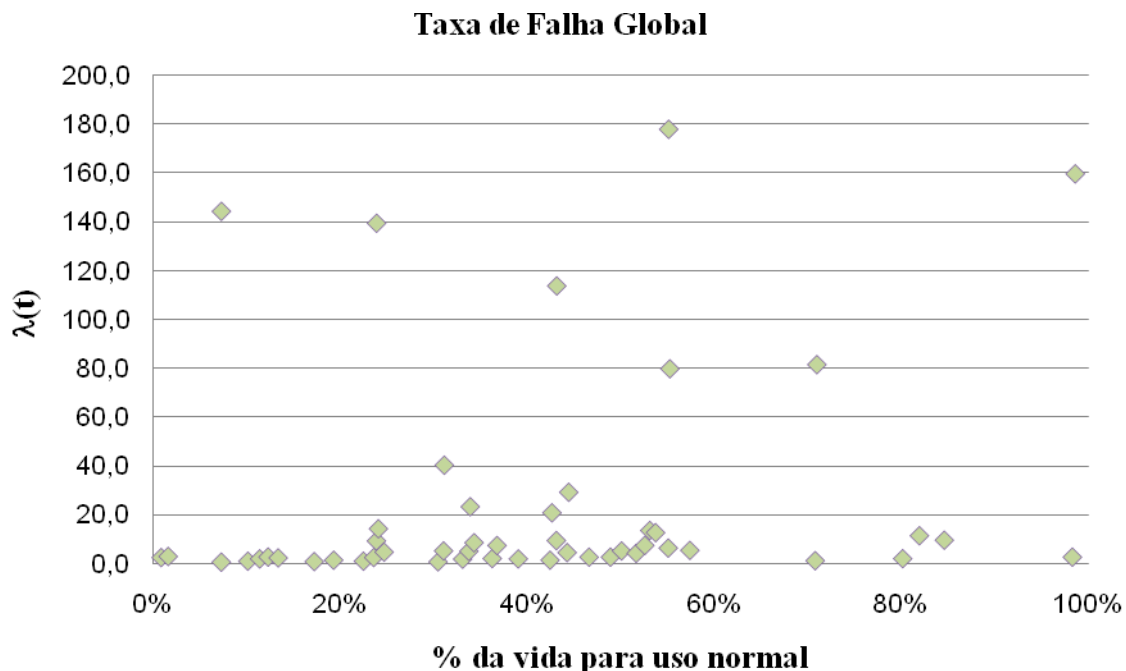


Figura 47: Taxa de Falha Global

O gráfico da figura 47 da função taxa de falha mostra que para o uso em regiões severas as falhas não estão atreladas ao tempo visto que o surgimento das falhas ocorre aleatoriamente.

Portanto para um melhor entendimento da aleatoriedade do fenômeno faremos uma análise estatística das regiões individualmente.

### 1.12.2 ANÁLISE DA REGIÃO A

Para analisar a Região A individualmente faz-se necessário organizar as falhas em ordem crescente e repetir os cálculos conforme apresentado na análise global.

A tabela 12 apresenta os dados da análise da Região A e os respectivos cálculos para estimativa do tempo de falha.

**Tabela 12: Análise Estatística da Região A.**

REGIÃO A							
i	%(Km i)	%(Km i <sup>2</sup> )	(t i+1 - t i)	F(t i)	R(t i)	f(t i)	λ (t)
0	0		12,31%	0,00	1,000	0,451	0,451
1	12,31%	1,5162%	1,08%	0,06	0,944	5,165	5,469
2	13,39%	1,7926%	20,55%	0,11	0,889	0,270	0,304
3	33,94%	11,5207%	0,41%	0,17	0,833	13,441	16,129
4	34,36%	11,8030%	2,45%	0,22	0,778	2,263	2,910
5	36,81%	13,5498%	5,68%	0,28	0,722	0,978	1,355
6	42,49%	18,0521%	0,67%	0,33	0,667	8,237	12,356
7	43,16%	18,6298%	6,98%	0,39	0,611	0,796	1,303
8	50,14%	25,1391%	1,57%	0,44	0,556	3,546	6,383
9	51,71%	26,7346%	0,92%	0,50	0,500	6,024	12,048
10	52,63%	27,6968%	1,15%	0,56	0,444	4,826	10,859
11	53,78%	28,9217%	1,41%	0,61	0,389	3,949	10,156
12	55,19%	30,4545%	2,27%	0,67	0,333	2,451	7,353
13	57,45%	33,0076%	13,41%	0,72	0,278	0,414	1,491
14	70,86%	50,2161%	0,18%	0,78	0,222	31,646	142,405
15	71,04%	50,4652%	9,19%	0,83	0,167	0,605	3,629
16	80,22%	64,3596%	4,45%	0,89	0,111	1,248	11,228
17	84,68%	71,7033%		0,94	0,056		
<b>TOTAL</b>	<b>844,15%</b>	<b>485,56%</b>					
	<b>N =Nº itens ensaiados</b>	<b>17</b>					
	<b>mx (ciclos)</b>	<b>49,66%</b>					
	<b>Variância (ciclos<sup>2</sup>)</b>	<b>4,15%</b>					
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>20,37%</b>					

O Histograma da Região A indica as freqüências de falhas distribuídas em faixas de porcentagem conforme os dados separados a cada 10% do período de troca em uso normal.

Os dados para formulação do Histograma foram segregados na tabela 13.

Tabela 13: Classificação das Falhas (Região A) em Períodos de Ocorrência.

Período em %	Qtd. De Falhas
0 a 10%	0
10 a 20%	2
20 a 30%	0
30 a 40%	3
40 a 50%	2
50 a 60%	6
60 a 70%	0
70 a 80%	2
80 a 90%	2
90 a 100%	0

O gráfico da figura 48 representa o Histograma da Região A no qual se analisa os períodos em que ocorreram a maior quantidade de falhas.

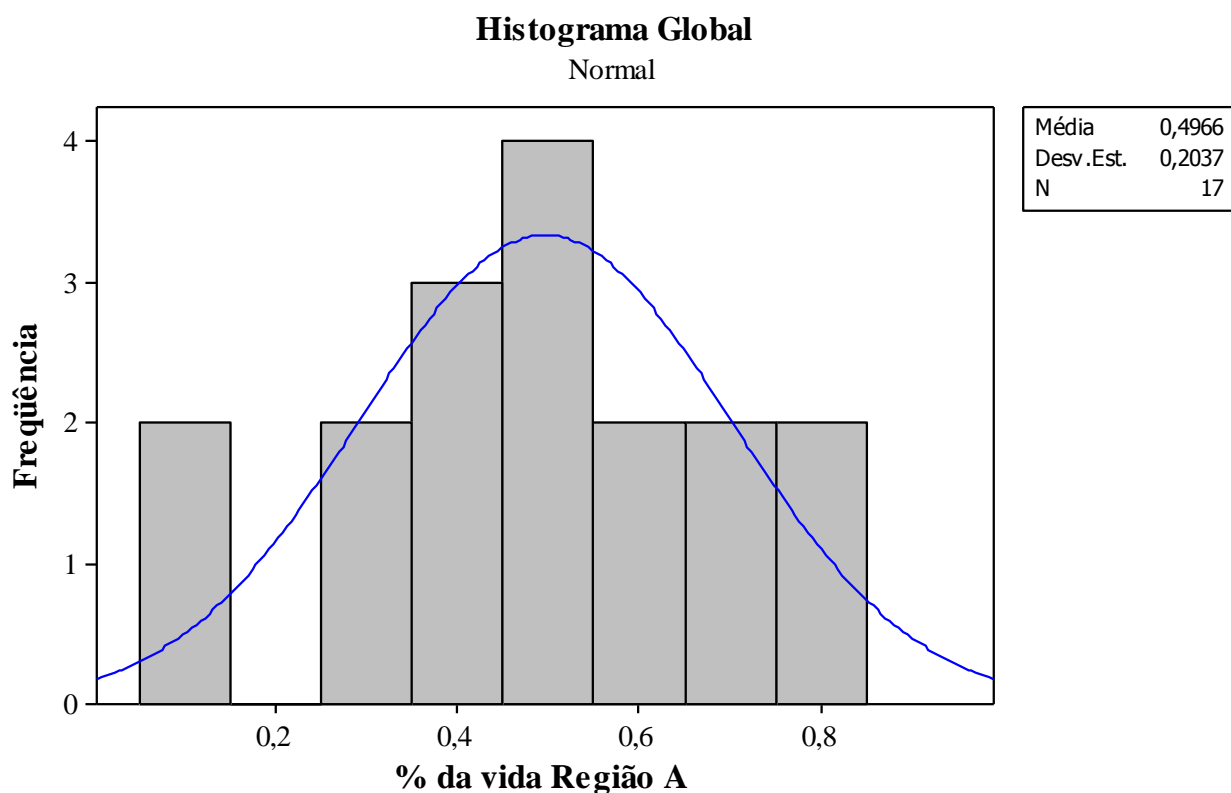


Figura 48: Histograma Região A



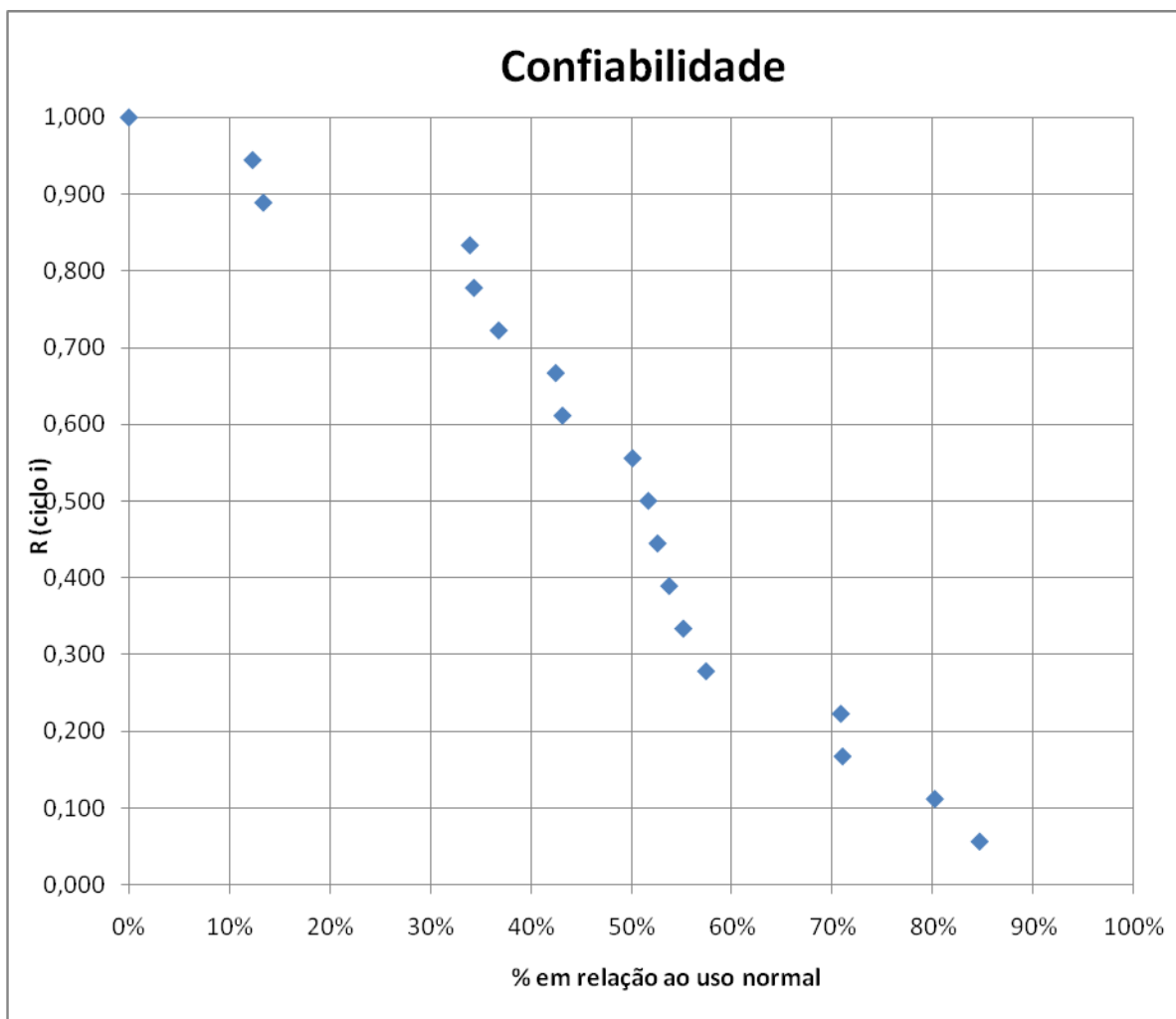
No Histograma da Região A a maior quantidade de falhas ocorre no período de 50 a 60 por cento do valor da vida útil da correia dentada em uso normal.

A Tabela 14 indica a análise estatística realizada para as 17 amostras da Região A.

**Tabela 14: Resumo Estatístico Região A**

<b>Análise Região A</b>	
Média	49,66%
Erro padrão	4,94%
Mediana	51,71%
Desvio padrão	20,37%
Variância da amostra	4,15%
Curtose	-15,76%
Assimetria	-15,44%
Intervalo	72,36%
Mínimo	12,31%
Máximo	84,68%
Soma	844,15%
Contagem	17

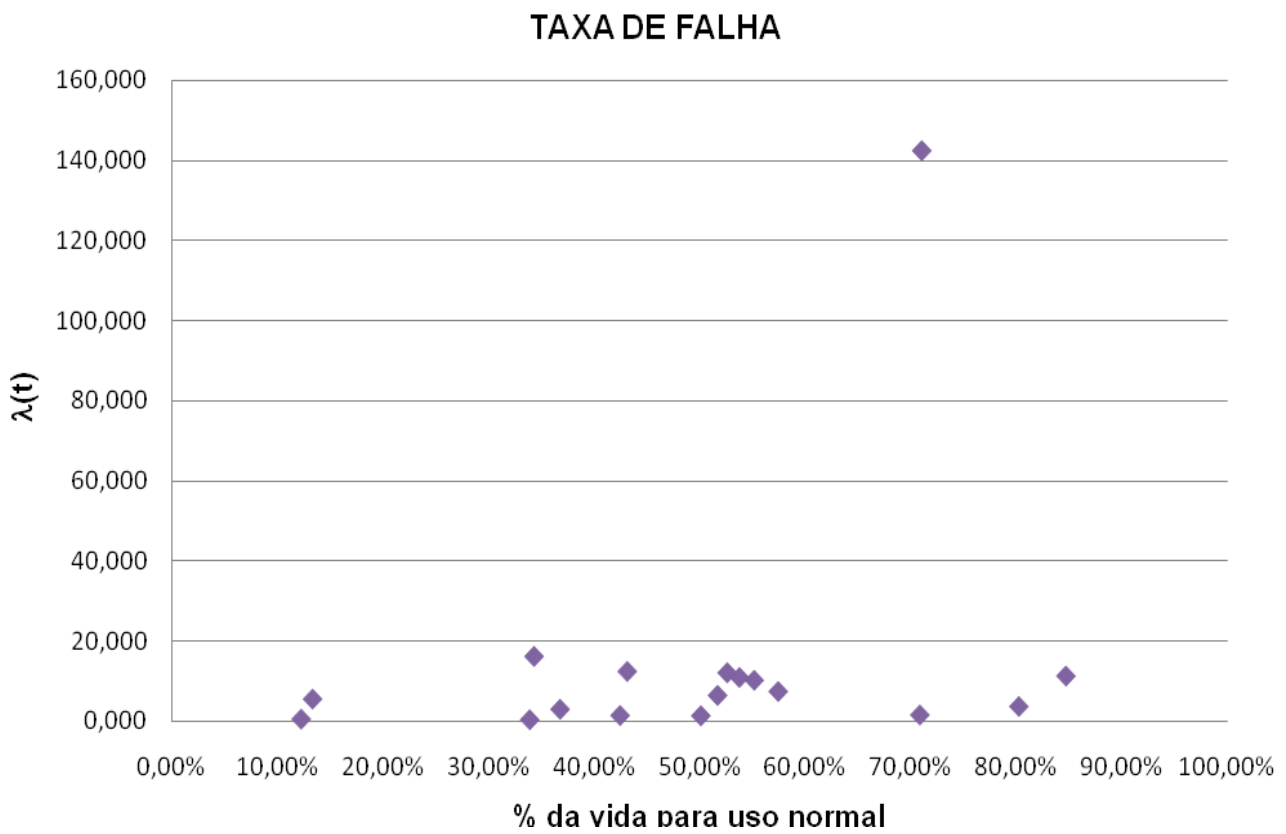
A confiabilidade da Região A esta indicada no gráfico da figura 49.



**Figura 49: Confiabilidade da Região A**

A confiabilidade da Região A mostra que não há uma tendência para as falhas em função do tempo.

A função taxa de falha conforme o gráfico da figura 50 quantifica as probabilidades de falha em um dado intervalo de tempo para a Região A.



**Figura 50: Taxa de Falha Global**

O gráfico da figura 50 mostra que para o uso em regiões severas as falhas na Região A também ocorrem aleatoriamente.

### 1.12.3 ANÁLISE DA REGIÃO B

Para analisar a Região B a tabela 15 apresenta os dados da análise e os respectivos cálculos para estimativa do tempo de falha.

**Tabela 15: Análise Estatística Região B**

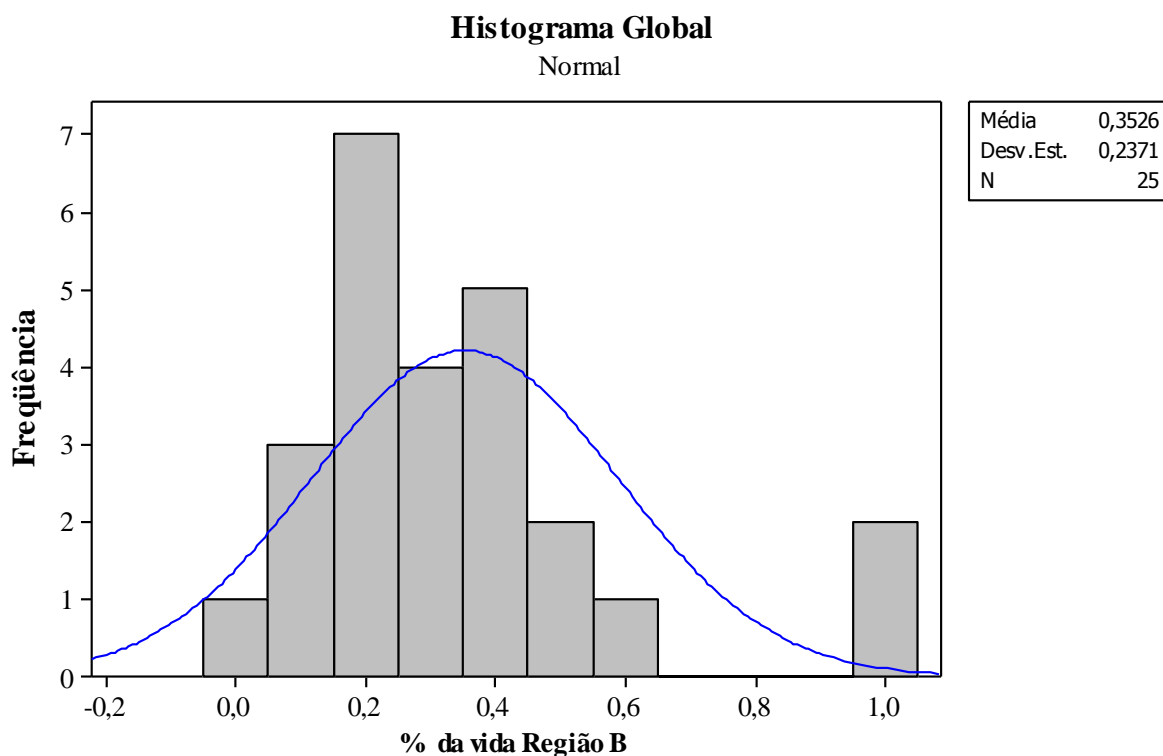
REGIÃO B							
i	%(Km i)	%(Km i <sup>2</sup> )	(t i+1 -t i)	F(t i)	R(t i)	f(t i)	λ (t)
0	0,00%		0,87%	0,00	1,000	4,4265198	4,426520
1	0,87%	0,0075%	6,43%	0,04	0,962	0,5980543	0,621977
2	7,30%	0,5329%	2,84%	0,08	0,923	1,3526919	1,465416
3	10,14%	1,0289%	1,27%	0,12	0,885	3,0364372	3,432494
4	11,41%	1,3019%	5,84%	0,15	0,846	0,6585880	0,778331
5	17,25%	2,9756%	5,26%	0,19	0,808	0,7312080	0,905305
6	22,51%	5,0670%	1,11%	0,23	0,769	3,4754402	4,518072
7	23,62%	5,5775%	0,28%	0,27	0,731	13,5746606	18,575851
8	23,90%	5,7121%	0,02%	0,31	0,692	203,6199095	294,117647
9	23,92%	5,7211%	0,19%	0,35	0,654	20,0088928	30,601836
10	24,11%	5,8135%	0,62%	0,38	0,615	6,1923765	10,062612
11	24,73%	6,1168%	5,77%	0,42	0,577	0,6669631	1,156069
12	30,50%	9,3018%	0,59%	0,46	0,538	6,5189048	12,106538
13	31,09%	9,6652%	0,08%	0,50	0,500	50,9049774	101,809955
14	31,16%	9,7122%	1,97%	0,54	0,462	1,9567770	4,239683
15	33,13%	10,9760%	5,95%	0,58	0,423	0,6460505	1,527028
16	39,08%	15,2751%	3,61%	0,62	0,385	1,0664013	2,772643
17	42,69%	18,2244%	0,51%	0,65	0,346	7,5087602	21,691974
18	43,20%	18,6643%	1,11%	0,69	0,308	3,4754402	11,295181
19	44,31%	19,6328%	0,17%	0,73	0,269	22,3325062	82,949309
20	44,48%	19,7857%	2,18%	0,77	0,231	1,7642908	7,645260
21	46,66%	21,7726%	6,50%	0,81	0,192	0,5916148	3,076397
22	53,16%	28,2622%	1,97%	0,85	0,154	1,9501625	12,676056
23	55,13%	30,3981%	43,25%	0,88	0,115	0,0889238	0,770673
24	98,39%	96,7994%	0,31%	0,92	0,077	12,2749591	159,574468
25	98,70%	97,4169%		0,96	0,038	0,0049136	0,127754
<b>TOTAL</b>	<b>881,45%</b>	<b>445,74%</b>					
	<b>N =Nº itens ensaiados</b>	<b>25</b>					
	<b>mx (ciclos)</b>	<b>35,26%</b>					
	<b>Variância (ciclos<sup>2</sup>)</b>	<b>5,6232%</b>					
	<b>Desvio Padrão</b>	<b>23,7133%</b>					

Os dados para formulação do Histograma da Região B foram organizados na tabela 16.

**Tabela 16: Classificação das Falhas (Região B) em Períodos de Ocorrência.**

Período em %	Qtd. De Falhas
0 a 10%	2
10 a 20%	3
20 a 30%	6
30 a 40%	5
40 a 50%	5
50 a 60%	2
60 a 70%	0
70 a 80%	0
80 a 90%	0
90 a 100%	2

Representação do Histograma da Região B no gráfico da figura 51 analisando assim os períodos de maior ocorrência das falhas.



**Figura 51: Histograma Região B**

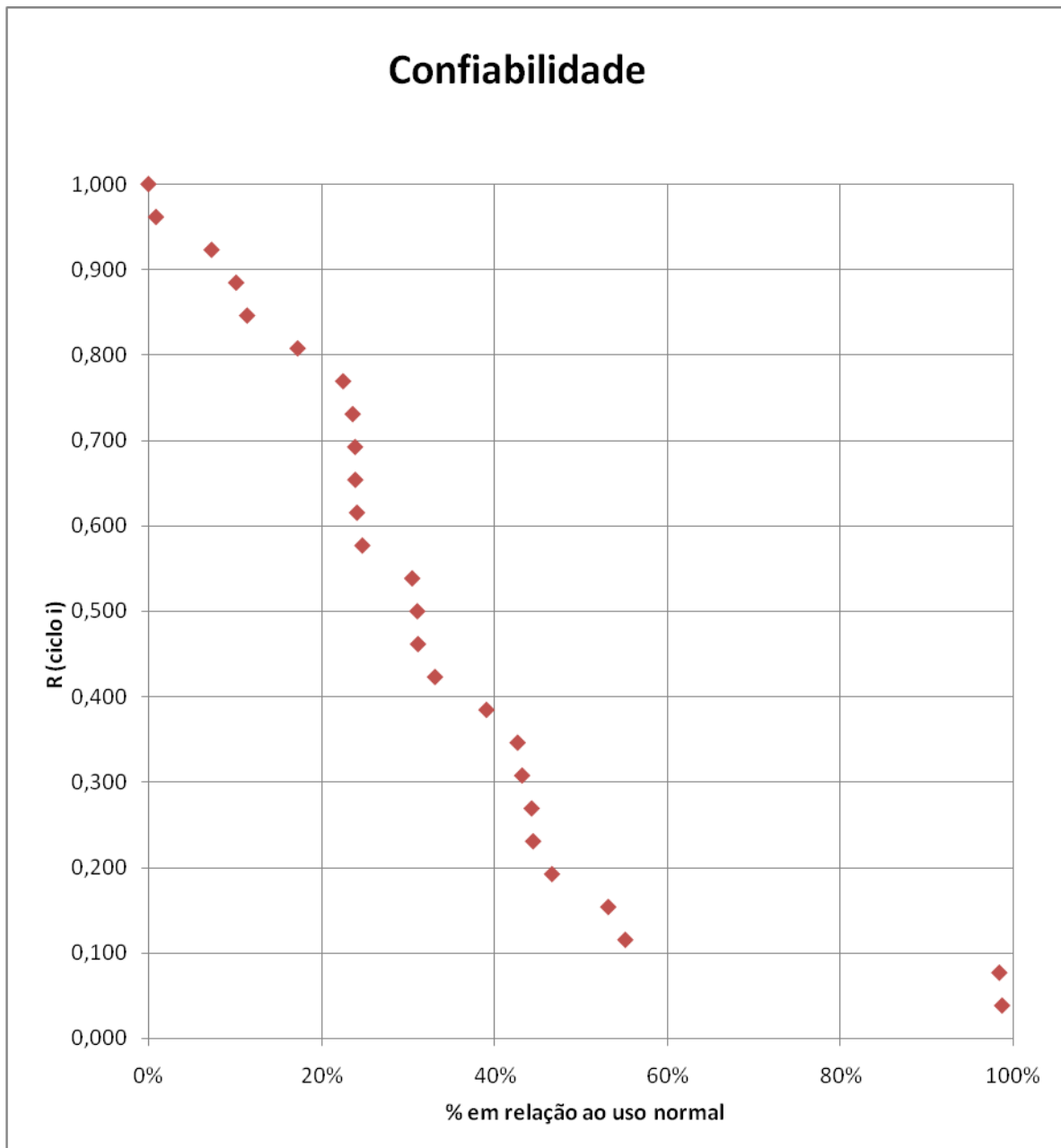
No gráfico da figura 50 analisa-se que na Região B há maior incidência de falhas em veículos no período entre 20% a 50% da fração da vida útil prescrita para o veículo em uso normal.

A tabela 17 indica a análise estatística realizada para as 25 amostras da Região B.

**Tabela 17: Resumo Estatístico Região B**

<b>Análise Região B</b>	
Média	35,26%
Erro padrão	4,74%
Mediana	31,09%
Desvio padrão	23,71%
Variância da amostra	5,62%
Curtose	256,38%
Assimetria	141,75%
Intervalo	97,83%
Mínimo	0,87%
Máximo	98,70%
Soma	881,45%
Contagem	25

A confiabilidade da Região B esta indicada no gráfico da figura 52.



**Figura 52: Confiabilidade Região B**

O gráfico da figura 53 da função taxa de falha mostra que na Região B as falhas não estão atreladas ao tempo, pois as falhas ocorre aleatoriamente.

### TAXA DE FALHA

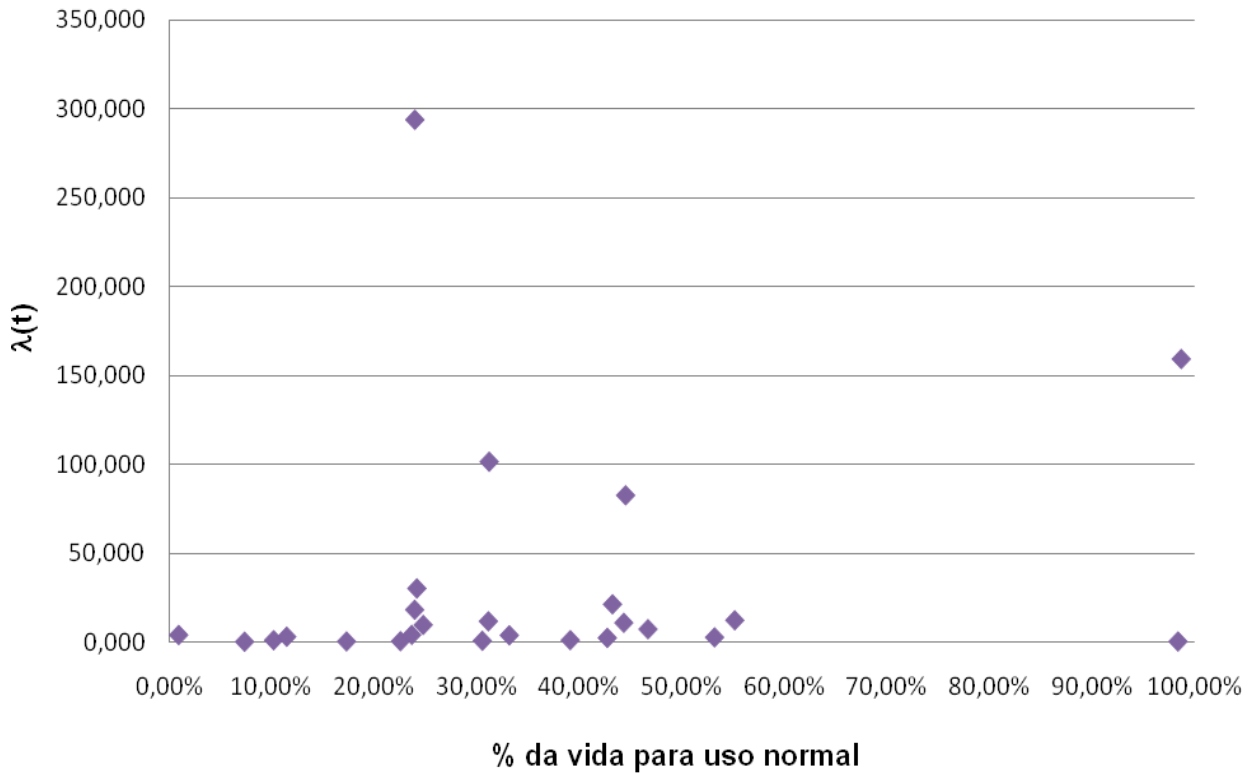


Figura 53: Taxa de Falha Região B

#### 1.12.4 ANÁLISE REGIÃO C

Para analisar a Região C a tabela 18 apresenta os dados da análise e os respectivos cálculos para estimativa do tempo de falha.

Tabela 18: Análise Estatística Região C

REGIÃO C							
i	%(Km i)	%(Km i <sup>2</sup> )	(t i+1 -t i)	F(t i)	R(t i)	f(t i)	λ (t)
0	0,00%		0,016111111	0,00	1,000	6,8965517	6,896552
1	1,61%	0,03%	0,057033333	0,11	0,889	1,9481785	2,191701
2	7,31%	0,54%	0,120133333	0,22	0,778	0,9248983	1,189155
3	19,33%	3,74%	0,1447	0,33	0,667	0,7678722	1,151808
4	33,80%	11,42%	0,024966667	0,44	0,556	4,4503783	8,010681
5	36,29%	13,17%	0,126555556	0,56	0,444	0,8779631	1,975417
6	48,95%	23,96%	0,063611111	0,67	0,333	1,7467249	5,240175
7	55,31%	30,59%	0,267022222	0,78	0,222	0,4161119	1,872503
8	82,01%	67,26%		0,89	0,111	0,0548408	0,493567
<b>TOTAL</b>	<b>284,62%</b>	<b>150,71%</b>					



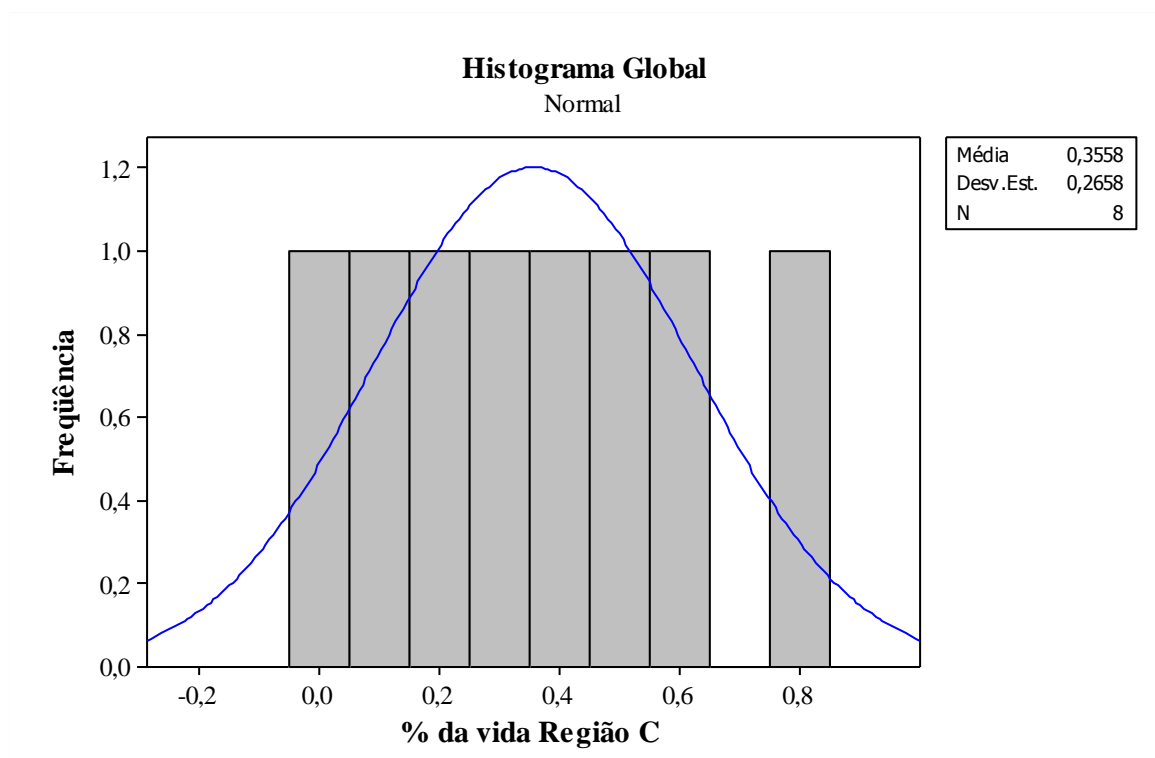
<b>N =Nº itens ensaiados</b>	<b>8</b>
<b>mx (ciclos)</b>	<b>35,58%</b>
<b>Variância (ciclos<sup>2</sup>)</b>	<b>7,06%</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>26,58%</b>

Os dados para formulação do Histograma da Região C estão na tabela 19.

**Tabela 19: Classificação das Falhas (Região B) em Períodos de Ocorrência.**

Período em %	Qtd. De Falhas
0 a 10%	2
10 a 20%	1
20 a 30%	0
30 a 40%	2
40 a 50%	1
50 a 60%	1
60 a 70%	0
70 a 80%	0
80 a 90%	1
90 a 100%	0

O Histograma da Região C segue apresentado no gráfico da figura 54.



**Figura 54: Histograma Região C**

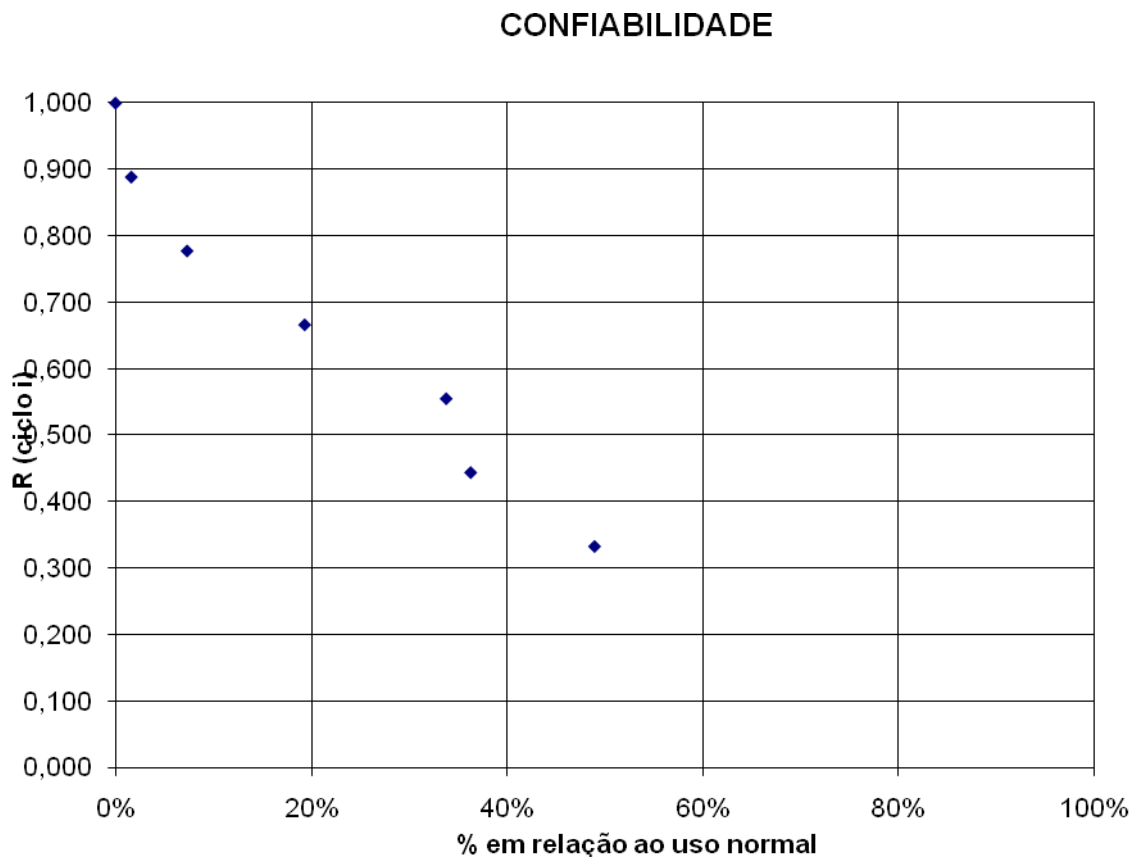
No gráfico da figura 54 as falhas na Região C estão distribuídas ao longo do tempo.

A tabela 20 indica a análise estatística realizada para as 8 amostras da Região C.

**Tabela 20: Resumo Estatístico Região C**

<b>Análise Região C</b>	
Média	35,58%
Erro padrão	9,40%
Mediana	35,05%
Desvio padrão	26,58%
Variância da amostra	7,06%
Curtose	-17,82%
Assimetria	44,79%
Intervalo	80,40%
Mínimo	1,61%
Máximo	82,01%
Soma	284,62%
Contagem	8

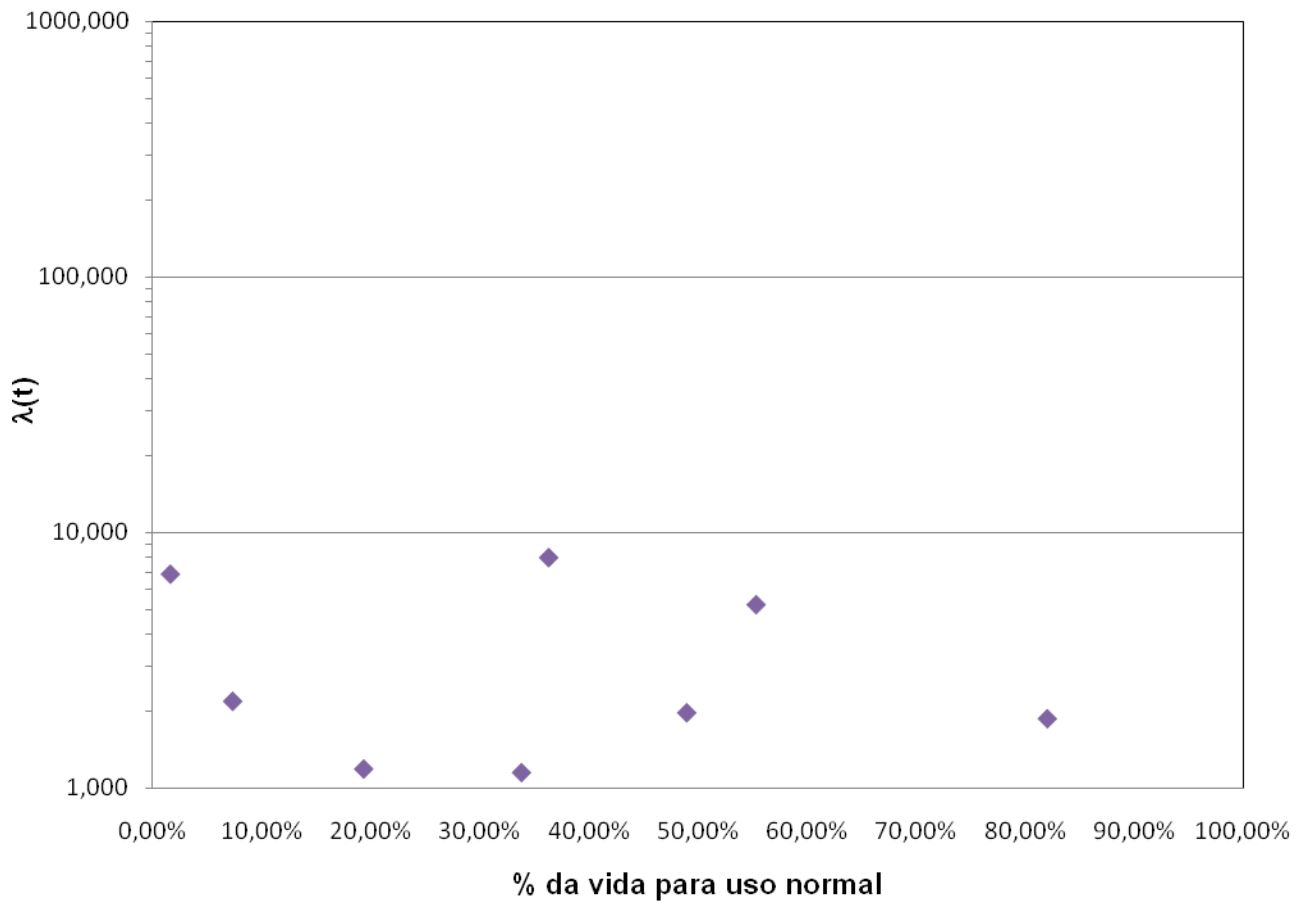
A confiabilidade da Região C esta indicada no gráfico da figura 55.



**Figura 55: Confiabilidade Região C**

O gráfico da figura 56, função taxa de falha, mostra que na Região C as falhas estão distribuídas uniformemente atreladas ao tempo.

## TAXA DE FALHA



**Figura 56: Taxa de Falha Região C**

Assim, gráfico da figura 56 mostra que na Região C as falhas ocorreram prematuramente devido ao uso em região severa e em função do tempo de uso.

## **AÇÕES CORRETIVAS**

Após analisar as falhas ocorridas com uso em regiões severas realizaram-se dois estudos visando a extinção ou redução do índice de falhas.

A primeira ação trata de estudos para diminuir a concentração de sujidades na região de sincronismo do motor.

Como segunda ação visando melhor eficácia para determinação do melhor período de tempo para inspeção ou troca da correia dentada nos veículos utilizados em regiões severas.

### **1.13 MODIFICAÇÕES NO SISTEMA DE SINCRONISMO**

Analisando o sistema de sincronismo observaram-se possibilidades de melhorias na proteção de correia aumentando assim a dificuldade de entrada de sujidades no sistema de sincronismo, por questões de confidencialidade não será apresentado neste trabalho as modificações realizadas.

Com o escopo de observar a eficácia do mesmo realizou-se estudo comparativo entre a proteção de correia utilizada no veículo e uma proteção de correia com as melhorias para dificultar a entrada de sujidades.

A nova proteção de correia diminuiu as entradas de sujidades, porém fez-se necessário primeiramente realizar um estudo para verificar o acréscimo da temperatura no obtáculo do sistema de sincronismo.

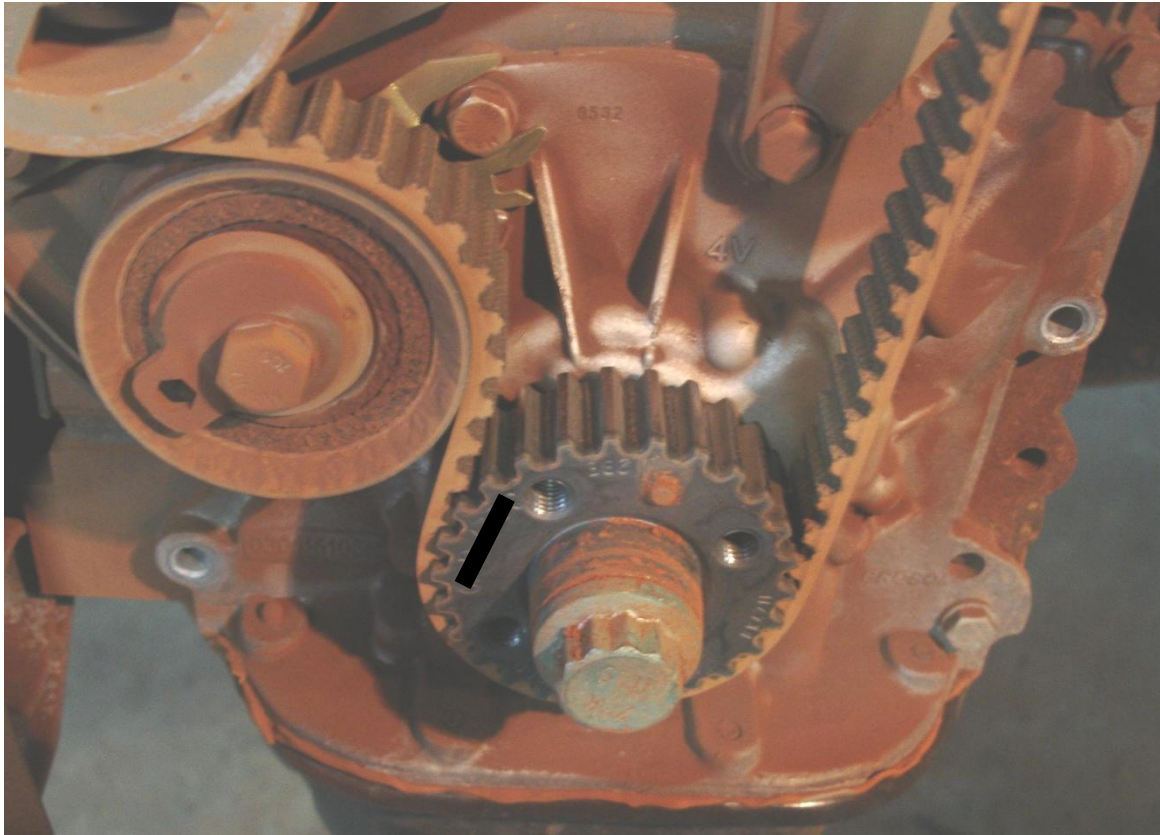
Observou-se que o acréscimo de temperatura aumentou cerca de 0,5%, sendo considerado irrelevante para potencializar um falha gerada por temperatura.

#### **1.13.1 ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROTEÇÕES DE CORREIA.**

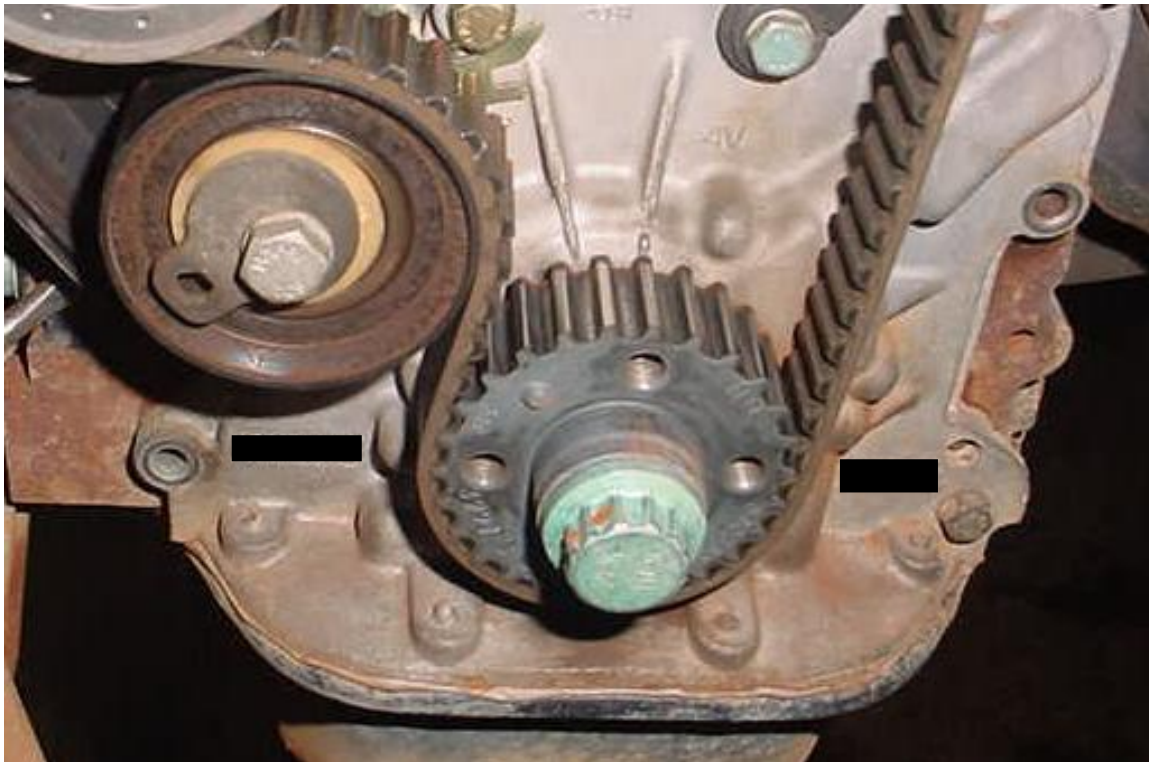
A análise comparativa da proteção de correia foi realizada nas regiões A, B e C.

Determinou-se um circuito para utilização do veículo com as duas versões da proteção de correia.

Comparativamente observa-se que na figura 57 a qual foi utilizada a versão atual da proteção de correia e na figura 58 a qual utilizou uma versão proposta, ocorreu uma diminuição considerável de acúmulo de sujeira no sistema de sincronismo.



**Figura 57: Avaliação do Sistema de Sincronismo com a proteção de correia de série.**



**Figura 58: Avaliação do Sistema de Sincronismo com a nova proposta de proteção de correia.**

### 1.13.2 ESTUDO PARA PRAZO DE MANUTENÇÃO EM USO SEVERO

O sistema atual foi previamente testado nos usos severos como condução com veículo com carga máxima em rotações elevadas, condução esportiva, condução em regiões com aclive e declive constantes e pistas com banho de sal.

Porém para o estudo apresentado com uso em regiões severas, apesar da comprovada eficácia na melhoria da proteção de correia a mesma necessita de uma ação conjunta de manutenção preditiva em veículos com uso severo.

Manutenção trata do conjunto de conhecimentos, técnicas e habilidade cuja aplicação tem por objetivo único garantir a funcionabilidade dos sistemas ao longo de toda a vida útil planejada, Souza (2008).

O estudo das conseqüências das falhas e a escolha das funções significantes de uma instalação são os requisitos exigidos para aplicação de uma manutenção proveniente de um estudo de confiabilidade.

O intuito é de selecionar quais as atividades são aplicáveis na prevenção ou correção das falhas. A atividade de manutenção aplicável a um modo de falha deve assegurar um conjunto de requisitos de natureza técnica e de ordem prática.

Deste modo para garantir a eficácia da manutenção preventiva deve-se determinar os modos de falha e suas causas, bem como os intervalos entre as falhas.

Também se deve definir as ferramentas, a mão-de-obra e os procedimentos para determinar o programa de intervenção.

O veículo do estudo é um veículo que pode ter uma aplicação utilitária e deste modo, assim como na indústria é necessário realizar um planejamento para realização das manutenções em períodos extraordinários, pois nestes intervalos de tempo planeja-se a paradas. Estes custos de mão-de-obra para a indústria, assim como em veículos utilitários causa prejuízo direto ao empresário, muitas vezes o proprietário do veículo.

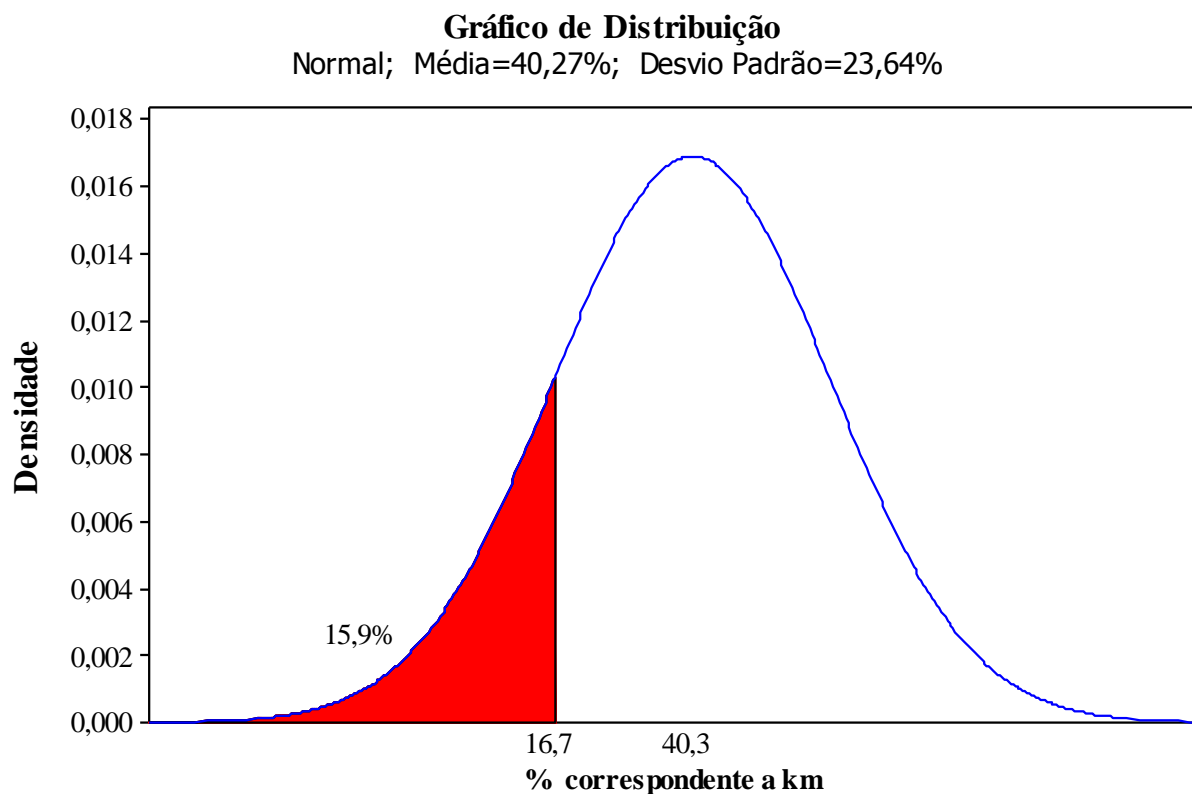
Conforme Belmonte (2005), vale lembrar que também na manutenção um bom planejamento e a utilização do bom senso podem vir a otimizar estas atividades no futuro, diminuindo também os gastos gerados. Assim o objetivo da manutenção é trabalhar com a chamada manutenção oportunista.

Realizar uma manutenção oportunista significa realizar as atividades de manutenção preventiva aproveitando o tempo de paralisação do equipamento, veículo, em contraste com a paralisação ocasionada para a realização de manutenção planejada, Takahashi (2000).

Assim utiliza-se o mesmo prazo para realização das manutenções periódicas.

Portanto conforme indicado no gráfico de distribuição do tipo normal, figura 59, a realização da manutenção com 16,7% da vida para uso normal assim deixará de atender 15,9% dos veículos com uso em regiões severas.





**Figura 59: Sistema de Sincronismo com utilização da nova proposta de proteção de correia.**

Assim faz-se necessário o uso conjunto das ações de melhoria na proteção de correia e na utilização de uma manutenção preventiva para veículos com uso em regiões severas.

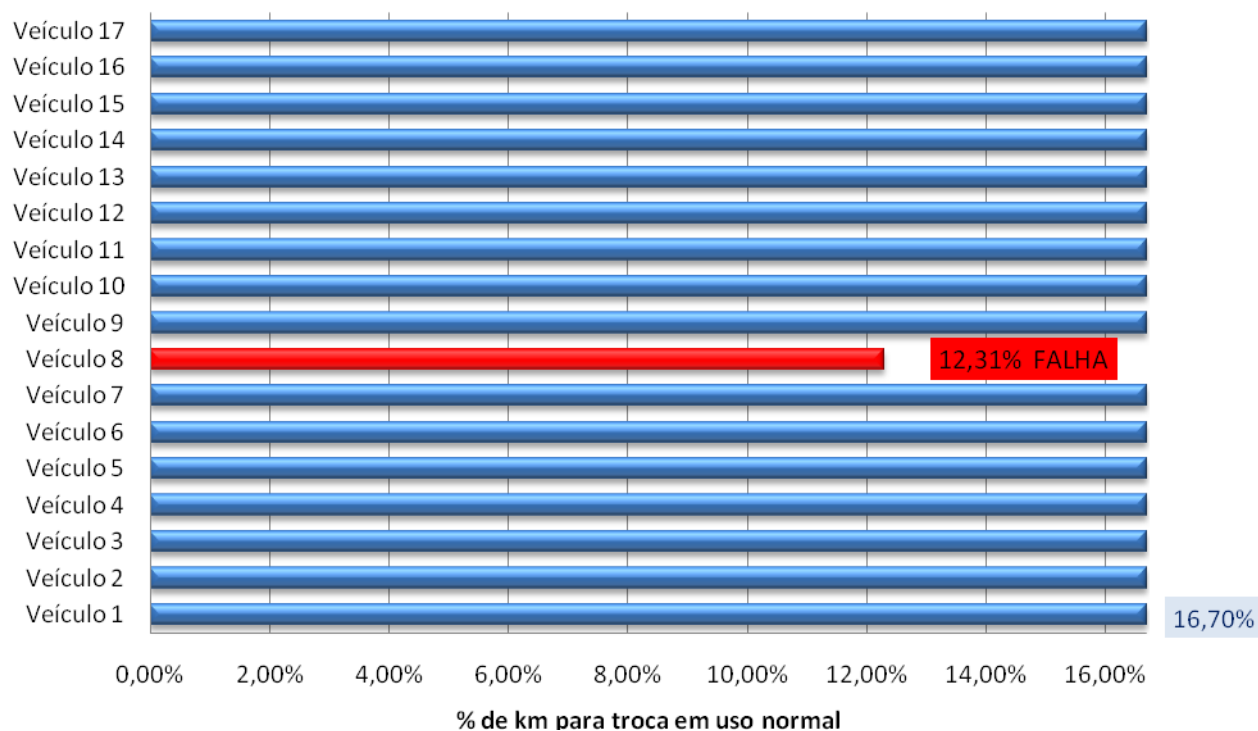
#### **1.14 CONCLUSÕES DA PROPOSTA**

Objetivando validar o estudo de desenvolvimento da nova proteção de correia juntamente com a aplicação da manutenção preventiva utilizou-se novamente os 17 veículos para a região A, os 25 veículos para região B e os 8 veículos para região C.

Analisando a região A com a mesma amostragem de 17 veículos obtivemos 1 falha antes dos 16,7% da vida para uso normal, significando que 5,88% dos veículos não serão atendidos.

As falhas são apresentadas na cor vermelha no gráfico da figura 60.

## TESTE REGIÃO A



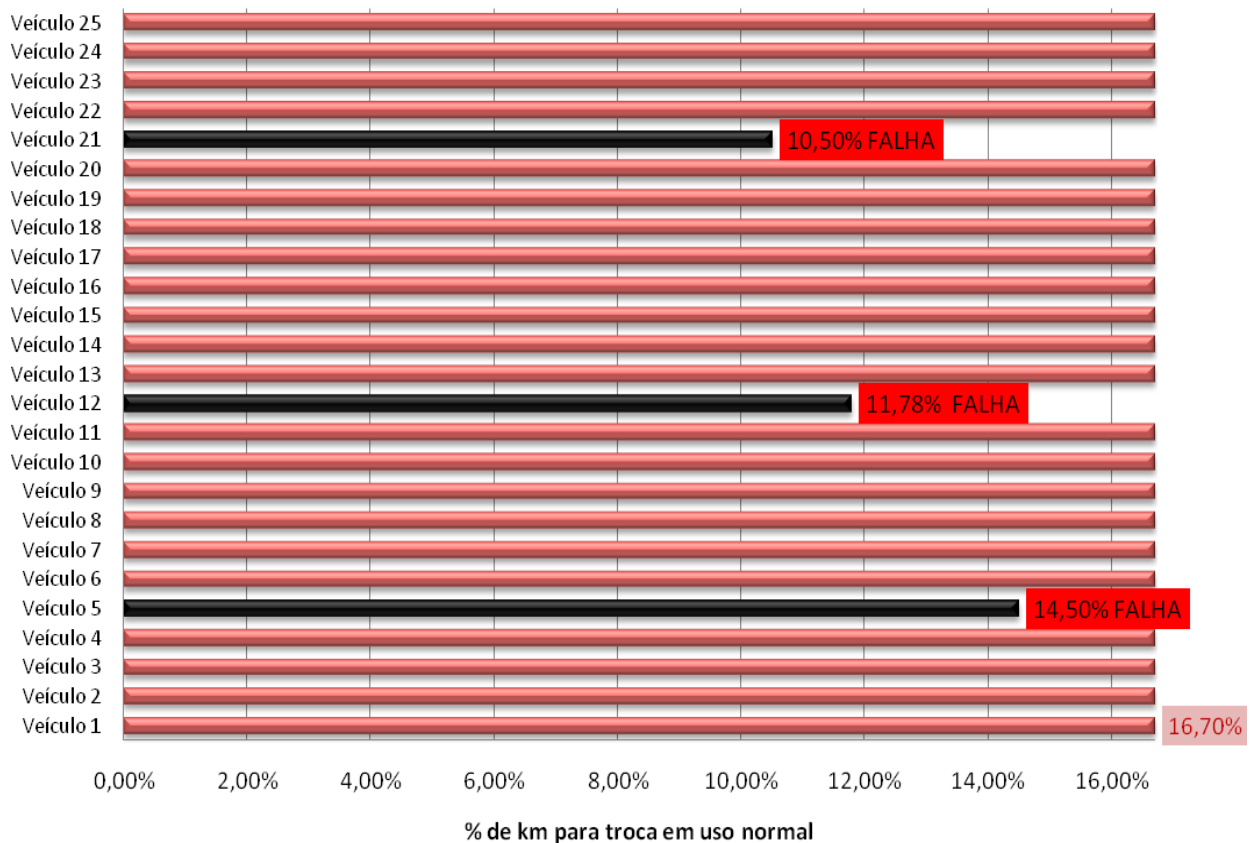
**Figura 60: Veículos na região A que falharam antes dos 16,7%**

Os 5,88% dos veículos não atendidos para a região A mostra que para esta região o índice de falhas ao longo do tempo será menor que os 15,9% de falhas esperados pela análise do prazo de manutenção preventivo, assim a proposta de modificação proposta mostrou eficácia.

Analisando a região B com a amostragem de 25 veículos obtivemos 3 falhas antes dos 16,7% da vida para uso normal, significando que 12% dos veículos não serão atendidos.

As falhas são apresentadas na cor preta no gráfico da figura 61.

## TESTE REGIÃO B

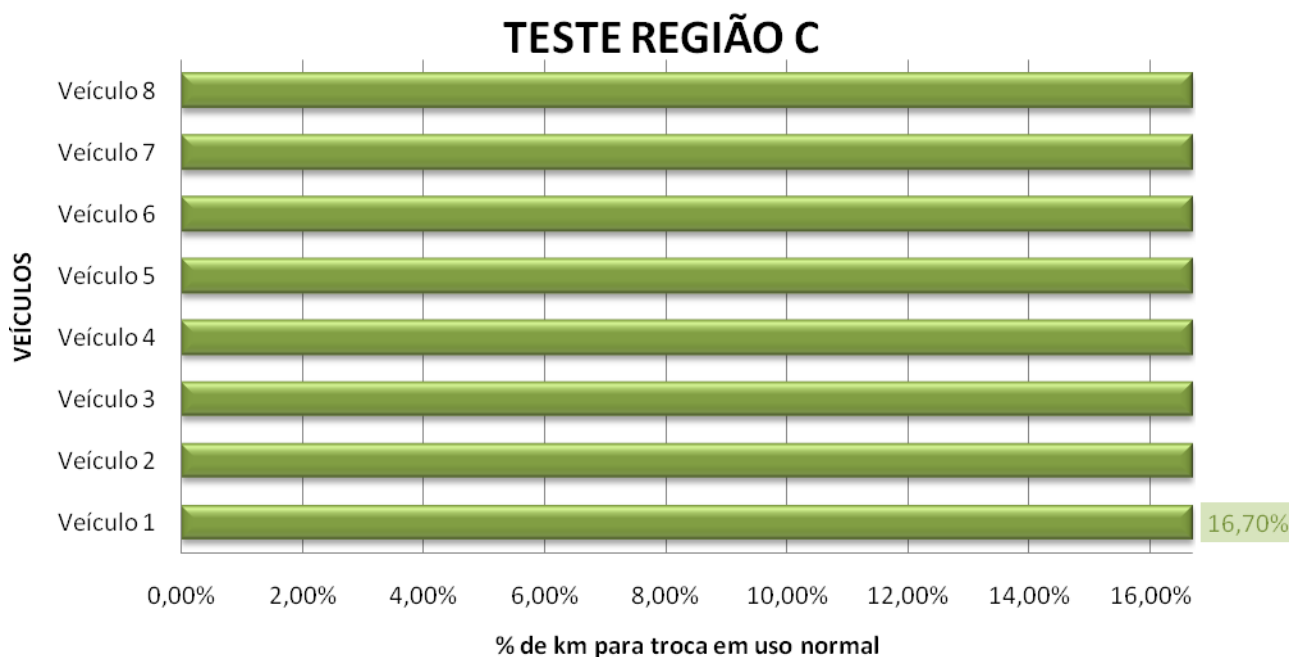


**Figura 61: Veículos na região B que falharam antes dos 16,7%**

A quantidade de 12% dos veículos não atendidos para a região B mostra que para esta região o índice de falhas ao longo do tempo será menor que os 15,9% de falhas esperados pela análise do prazo de manutenção preventivo.

Demonstrando que a nova proposta de proteção de correia não possui alta eficácia quando utilizada na região B.

Analisando a região C a qual possui uma amostragem de 8 veículos, considerada pequena em relação as demais regiões, não obtivemos falhas antes dos 16,7% da vida para uso normal. Conforme observado no gráfico da figura 62.



**Figura 62: Veículos na região C onde não ocorreu falha antes dos 16,7%**

Após a rodagem na região C foram inspecionados todos os sistemas primários dos 8 veículos testados.

Concluiu-se que para a região C a eficácia da nova proteção de correia foi alta, pois nos veículos testados não apresentou concentração expressiva de sujidades no sistema de sincronismo.

## **ANÁLISE DA MODIFICAÇÃO DO TIPO DE SISTEMA**

A análise de uma eventual modificação do tipo de sistema de sincronismo tem por objetivo verificar as vantagens e desvantagens na troca do sistema de sincronismo atual, por correia, para um sistema por corrente.

### **1.15 SUJIDADES**

O veículo em estudo utilizava motorização com sistema de sincronismo por engrenagem, que devido à estanqueidade, não apresentava falhas por sujidades no sistema de sincronismo.

Neste aspecto o sistema de sincronismo por corrente possui vantagem em relação ao sistema de sincronismo por correia uma vez que trabalha de forma estanque, impossibilitando a contaminação direta de sujidades.

### **1.16 MANUTENÇÃO**

Os sistemas de sincronismos por engrenagem ou corrente possuem vantagem para o uso em veículos considerados utilitários, pois este sistema não necessita de uma manutenção específica sendo suficiente a realização das trocas de óleo e filtros de óleo e ar sejam executadas nos períodos indicados pelo fabricante.

A contaminação do óleo por partículas de poeira, geralmente provenientes de uma manutenção inadequada, torna o óleo contaminado um abrasivo para o sistema de sincronismo por correia e o motor como um todo (vide capítulo 4.3.2.4).

### **1.17 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E EMISSÕES DE POLUENTES**

Em relação ao consumo de combustível, redução de emissões de CO<sub>2</sub> e conforto de rodagem, as correias dentadas comparadas as correntes apresentam vantagens no acionamento do comando de válvulas.

O sistema de sincronismo por correia reduz o consumo de combustível em mais de 1% e economiza até 1,5 gramas de CO<sub>2</sub> por quilômetro rodado, conforme resultados apresentados no 17º Colóquio de Tecnologia de Veículo e Motor de Aachen em Outubro 2008 considerando um motor ciclo Otto de 1,6 litros.

O principal motivo da economia de CO<sub>2</sub> pelo sistema de sincronismo por correia ocorre devido aos baixos valores de atrito requeridos pelo sistema.

Conforme a FEV GmbH (2008) constatou em suas investigações utilizando um banco de prova, o acionamento por correia reduz até 0.04 bar o atrito do motor em relação ao acionamento por corrente, correspondendo assim a uma vantagem de 30% em atrito.

Em testes realizados com motor em banco de prova, com regime estacionário e carga máxima ocorre uma economia de até 1% de combustível devido à diminuição do atrito comparado com o motor com sistema de sincronismo por correia.

Estudos em veículo com velocidade de 30 a 50 km/h, condição muito comum para o veículo em estudo, a redução de consumo atinge valores acima de 1%.

O menor consumo de combustível conforme resultados da FEV GmbH (2008), reduz até 1,5 gramas a emissão de CO<sub>2</sub> de um veículo com peso de 1.150 quilos.

O sistema de sincronismo por correia devido às propriedades dos materiais envolvidos na sua composição compensa as altas cargas dinâmicas e os choques no sentido de alongamento da correia sem gerar alongamentos excessivos.

Por outro lado o sistema de sincronismo por corrente é construído de numerosas ligações metálicas com uma elevada rigidez e pouca característica de amortecimento, deste modo o sistema por corrente não possui capacidade para resistir às altas cargas dinâmicas sem que ocorra desgastes devido aos choques.

Assim seu alongamento é irreversível aumentando o comprimento da corrente, como indicado anteriormente.

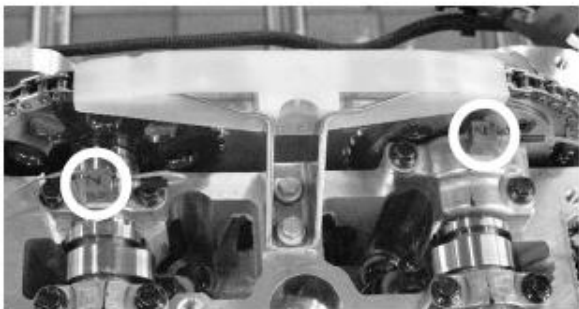
Conforme Körfer e Lacy (2006) o alongamento na corrente causado pelo desgaste ao longo do tempo ocorre até 10 vezes mais do que em uma correia.

Desta forma motores que utilizam sistema de sincronismo por corrente não executarão o sincronismo com a mesma eficiência após grandes quilometragens, tornando-se um fator crítico para o controle de emissões de poluentes.

## 1.18 VIBRAÇÃO E RUÍDO

Vibração e ruído são quesitos importantes na comparação entre sistemas por correia e corrente pois influenciam diretamente no conforto dos ocupantes do veículo.

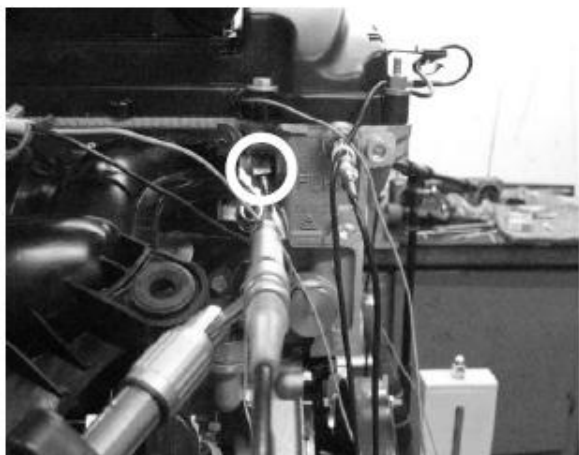
A FEV realizou medições de aceleração nas coordenadas X, Y e Z em um mesmo motor com sistema de sincronismo por correia e posteriormente por corrente, conforme o gráfico da figura 63



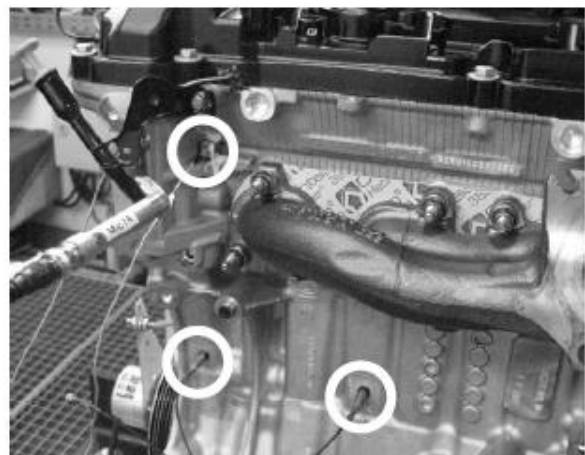
Triaxial accelerometers at camshaft bearings



Triaxial accelerometer at crankshaft bearing



Triaxial accelerometer and microphone



Accelerometers and microphone

Figura 63: Posição dos acelerômetros (Tiemann; et. al, 2008).

Observou-se que devido ao material da correia dentada ter maior amortecimento e conseqüentemente uma maior flexibilidade no momento do engrenamento este causou uma redução em todas as rotações do motor de 2 a 5 dB.

Os resultados são comprovados através dos gráficos da figura 64.

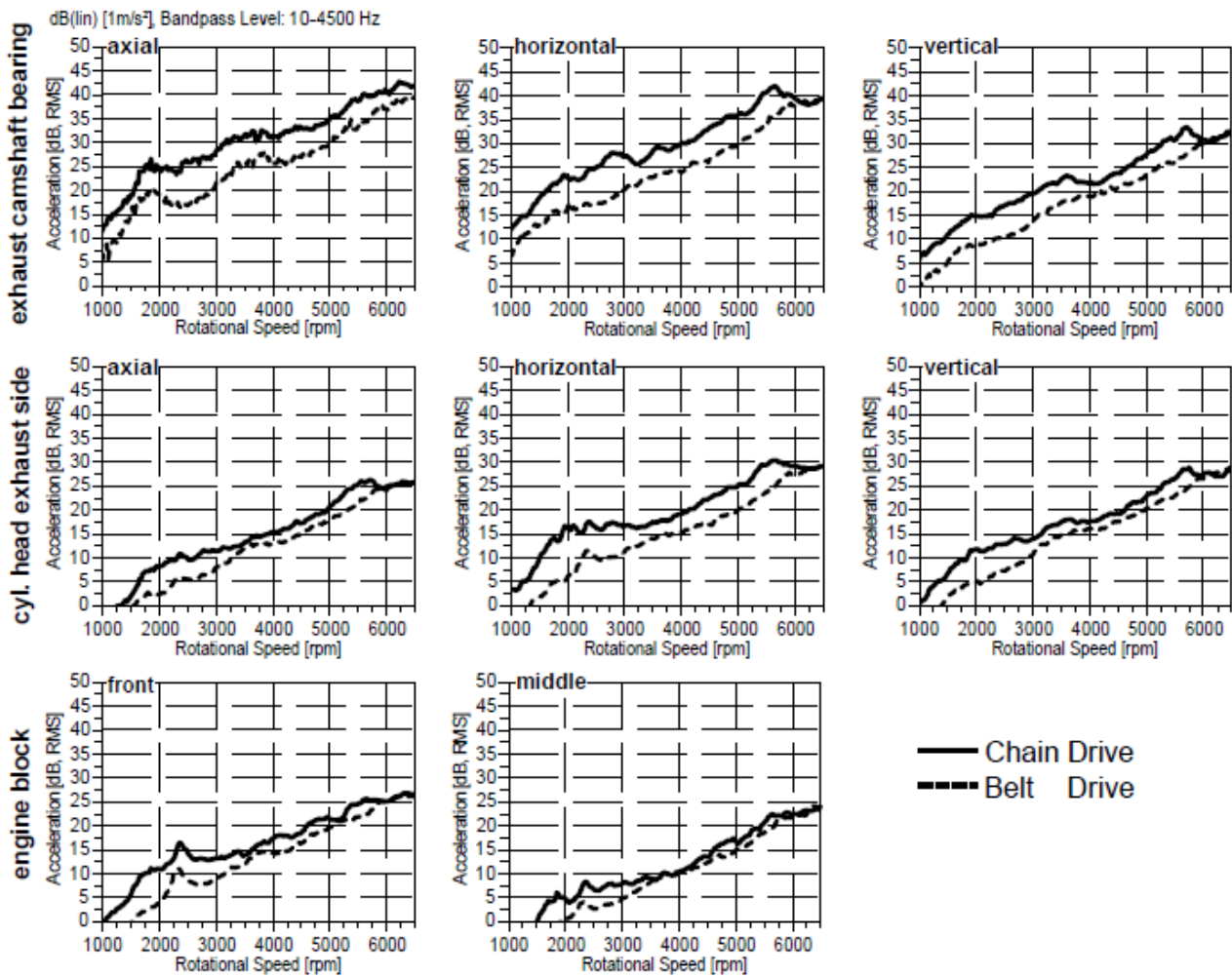


Figura 64: Medições Globais de Vibração (Tiemann; et. al, 2008).

Assim observa-se que no quesito ruído o sistema de sincronismo com correia possui significativa vantagem em relação ao sistema com corrente.

### 1.19 TABELA COMPARATIVA DE CORREIA VERSUS CORRENTE

Observa-se portanto que as vantagens do sistema por correia são maiores que as do sistema de sincronismo por corrente.

Na tabela 21 segue um resumo comparativo entre correia versus corrente.



**Tabela 21: Correia versus Corrente**

Item	Corrente	Correia	Descrição
Confiabilidade	<input checked="" type="checkbox"/>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrente tem a vida útil igual ao motor.</li> <li>• Correia necessita de inspeção ou troca prematura com uso em região severa.</li> </ul>
Ruído		<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correia emite de 3 à 5 db menos ruído que Corrente.</li> </ul>
Consumo de Combustível			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correia consome de 1% à 2% menos combustível que Corrente.</li> </ul>
Emissões de Poluentes		<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correia emite até 1,5 gCO<sub>2</sub>/km menos que Corrente.</li> </ul>
Atrito			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correia possui de 20% à 30% menos atrito que Corrente.</li> </ul>
Arranjo	<input checked="" type="checkbox"/>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Corrente necessita de 16mm de offset enquanto Correia necessita de 20-25 mm.</li> <li>• Corrente necessita de menores diâmetros que Correia.</li> </ul>
Manutenção		<input checked="" type="checkbox"/>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Correia necessita de menos tempo e complexidade para manutenção para reparo.</li> <li>• O Sistema por Correia possui menos itens que o Sistema por Corrente.</li> </ul>

Portanto observa-se que o sistema por correia possui vantagens em consumo e emissões de poluentes.

Esses fatores são importantes diante das restrições severas de emissões e do desenvolvimento de veículos com menor consumo.

## NOVAS TECNOLOGIAS

O objetivo desse tópico é apresentar novas tecnologias que contribuam para aumentar a vida útil do sistema de sincronismo e diminuir o período de manutenção como proposta para melhoria do sistema atual.

### 1.20 POLIA MOTORA OVAL

O princípio de funcionamento da polia motora oval é gerar picos intencionais de forças na correia dentada através da forma oval.

Devido a forma oval da polia a velocidade momentânea periférica da correia é aumentada e reduzida em curtos intervalos de tempo.

A figura 65 mostra os princípios de funcionamento da polia oval.

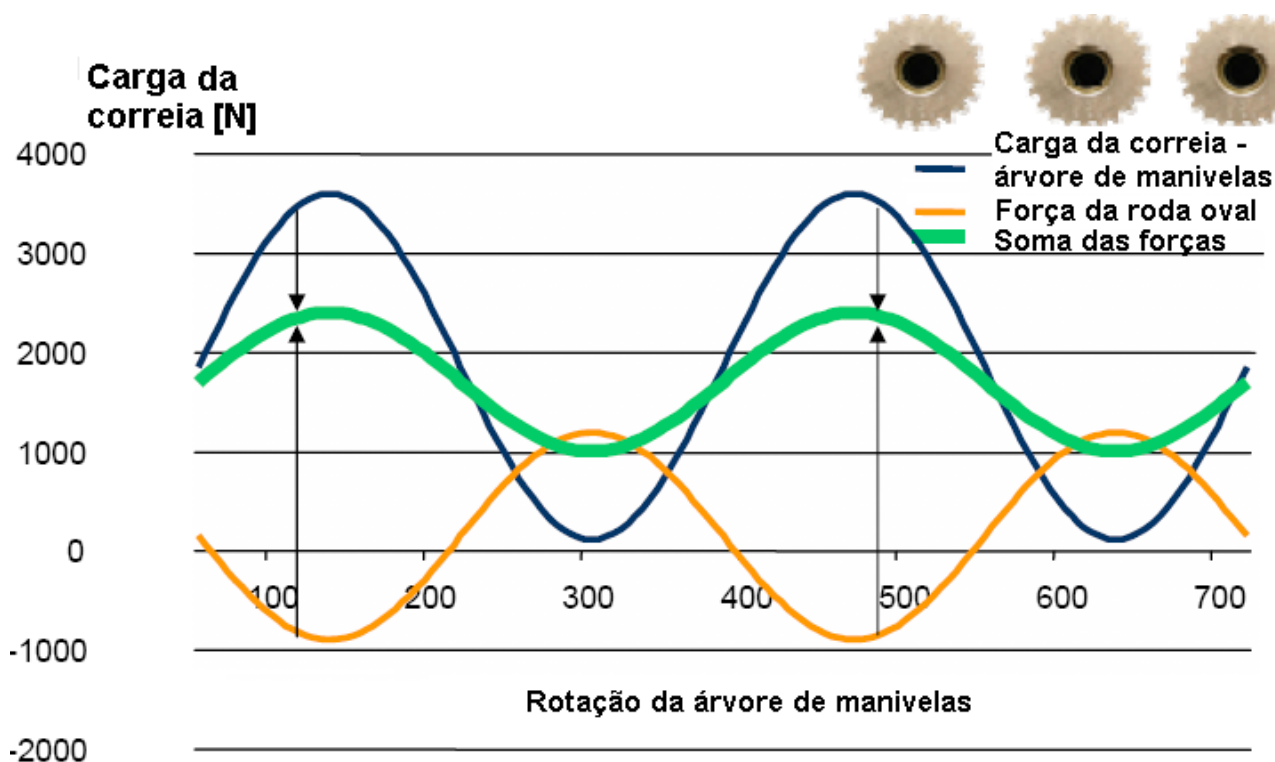


Figura 65: Princípios de funcionamento da Polia Oval (Traduzido de Schulte, 2007).

O aumento e redução da velocidade momentânea de rotação da correia causa uma aceleração e uma desaceleração na inércia do sistema do eixo de comando de válvulas e, desta forma, ocasiona uma curva de torque sobreposta. Assim conforme a

posição de fase, as forças da roda oval serão utilizadas para gerar um amortecimento nas forças da correia dentada.

Os picos de forças gerados no virabrequim (árvore de manivelas) pela explosão dos pistões esta representado no gráfico da figura 65 (linha azul) e os picos de força gerados pela polia oval ao sistema estão representados no gráfico da figura 65 (linha laranja).

Desta forma as forças se anulam gerando um funcionamento no sistema de sincronismo com picos de força menos sinuosos conforme o gráfico da figura 63 (linha verde) através da resultante das forças.

Esta tecnologia reduz as forças que atuam no sistema de sincronismo e nos componentes do motor em aproximadamente 40%, podendo ser reduzida à largura da correia em até 1/3, conforme o fabricante de correia Contitech (2004).

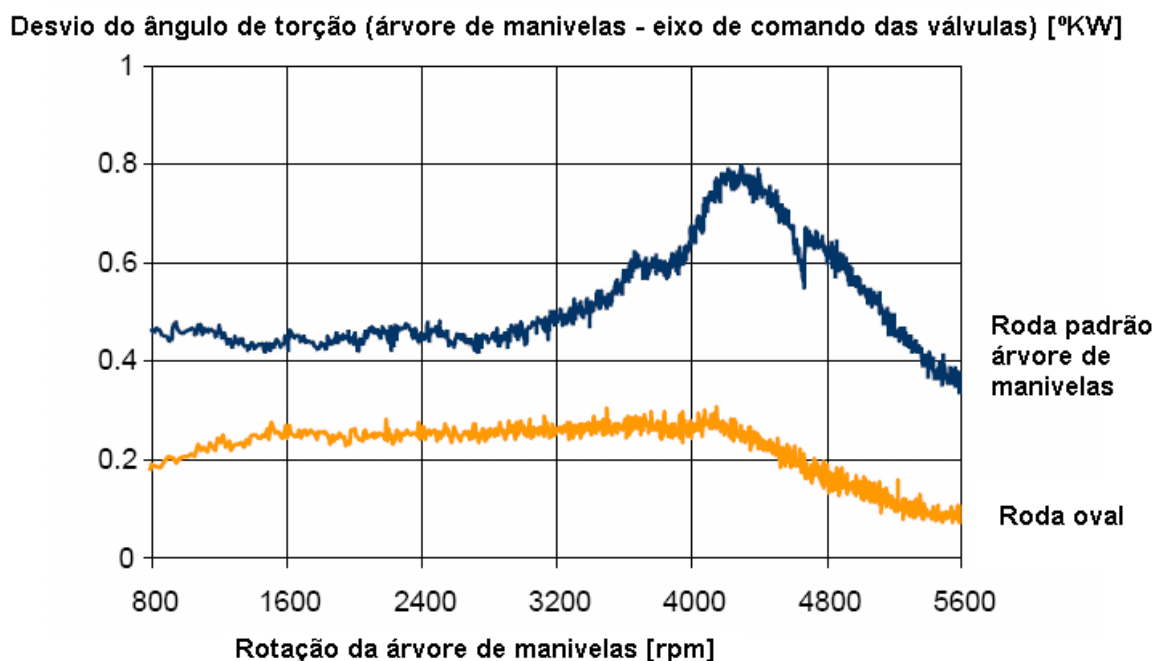
Se a espessura da correia dentada não for reduzida esta poderá ser utilizada por todo o período de vida do motor, sem a necessidade de realizar troca por manutenção, mesmo com as altas cargas dos motores Diesel.

A tecnologia da polia oval aplicada ao sistema de sincronismo possui as vantagens conforme a tabela 22.

**Tabela 22: Benefícios da Polia Oval em sistema de motor a combustão interna com 4 cilindros (Traduzido de Schulte, 2007).**

<b>Vantagem do Sistema com Polia Oval</b>	<b>Vantagem</b>	<b>Benefícios</b>
Redução dos Picos de Força	30 %	Redução de estresse nos componentes e redução de ruído no sistema.
Redução dos erros torcionais no comando de válvulas e na árvore de manivelas	50 %	Manutenção constante dos tempos do comando e dos valores de combustão para EU4 / EU5 sem a necessidade amortecedor vibracional.
Aumento da Vida do Sistema (correia e tensionador).	30%	Aumento da segurança de vida do sistema.
Possibilidade de redução do sistema de sincronismo	30 %	Redução do espaço com a redução da espessura da correia.
Redução de Ruído	3 a 5 dB	Aumento do Conforto dos Clientes

As vantagens também podem ser observadas no gráfico da figura 66 (rotação [rpm] x desvio torcional angular [°KW]) onde o desvio torcional angular é medido através da diferença angular entre o eixo comando de válvulas e o eixo virabrequim.



A tecnologia da roda oval melhora a sincronização

Figura 66: Melhoria do sincronismo através da Polia Oval (Traduzido de Schulte, 2007).

A polia motora oval pode ser utilizada em sistemas de sincronismo por corrente pois, conforme a fabricante Litens, a aplicação do sistema Comando de Válvulas Variável (VVT) resulta em um aumento da ressonância do comando de válvulas podendo resultar na necessidade um aumento da largura da corrente.

Desta forma a polia dentada oval aplicada nessa situação reduz os riscos de falha sem necessidade de troca da correia através de redução dos erros de sincronismo, redução da tensão dinâmica, redução potencial em níveis de ruído, aumento da vida útil dos componentes do sistema, potencial economia de combustível.

Com os benefícios apresentados a polia oval poderia ser uma solução de melhoria a ser implementada no sistema de sincronismo para redução das falhas na correia dentada do veículo em estudo, pois reduz os picos de força gerados no sistema aumentando assim a vida útil da correia dentada.

## 1.21 CORREIA DENTADA TRABALHANDO EM ÓLEO

Conforme a fabricante de correias Contitech (Shulte, 2007) os acionamentos modernos por correia dentada são atualmente dimensionados e validados para a vida útil do motor (objetivo de 240.000 km) para acionamento de comando por correia dentada o que pôde ser obtido através de uma série de inovações. Pertencem às inovações: a elevação da resistência à fricção através de tecido de armação com revestimento de teflon, a melhoria da estabilidade ao alongamento através de tipos novos de fibra de vidro de alta resistência a resistentes a flexão e água, e a resistência ao frio e ao calor em função do material utilizado.

Como alternativa para os acionamentos de comando a corrente que frequentemente possuem piores condições acusticamente são desenvolvidas atualmente correias dentadas resistentes ao óleo.

A fabricante Contitech desenvolveu esta correia dentada que opera em ambiente de óleo e que pode substituir o acionamento por corrente em motores já em fabricação.

Na figura 67 observa-se um motor que utiliza sistema por corrente (*Kettenantrieb*) sendo substituída por correia dentada em óleo (*Zahnriementrieb Oil Runner*).

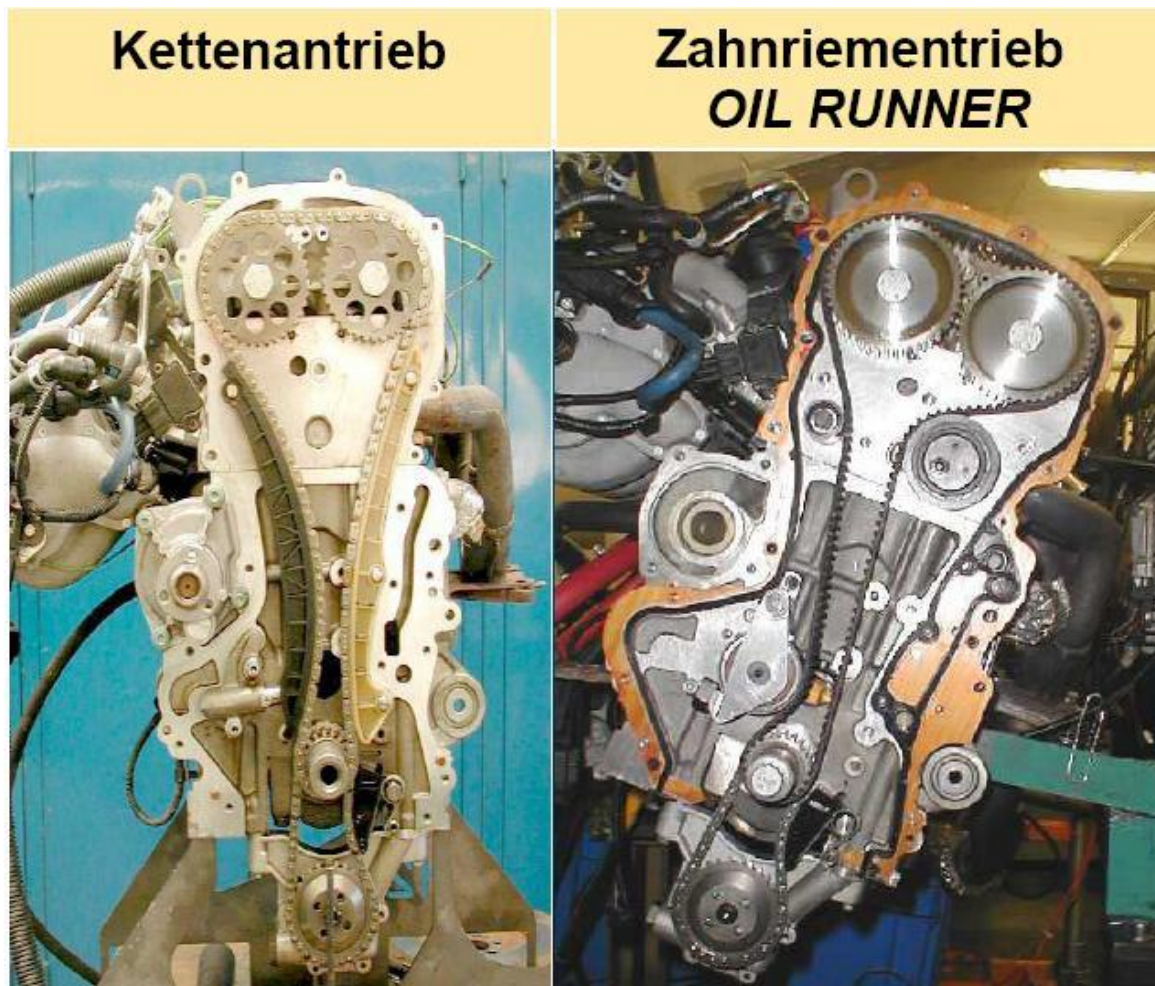


Figura 67: Exemplo de Uso da Correia Dentada em Óleo (adaptado de Schulte, 2007).

A correia dentada que trabalha em óleo é composta de três componentes básicos, sendo um elastômero em HNBR, que forma a base da correia, um cordoanel que transmite a força de uma engrenagem para a outra e um tecido de poliamida que reduz o desgaste e assegura uma aderência otimizada à subestrutura, reduzindo o atrito com a superfície da polia dentada.

Na correia dentada que trabalha a seco o óleo causa inchamento na borracha e danifica seriamente a correia. Já os materiais empregados na nova correia são resistentes ao óleo.

O cordoanel montado em 99% de todas correias dentadas não é resistente ao óleo, desta forma o problema foi solucionado através de uma impregnação resistente ao óleo.

O HNBR utilizado na correia dentada que trabalha em temperaturas entre -40 °C e 150 °C com picos de até 170 °C, sendo resistente a óleo conforme o fabricante de correias Contitech (2007).

A correia dentada que trabalha em óleo apresenta vantagens em relação ao acionamento por corrente ou correia dentada a seco, conforme tabela 23.

**Tabela 23: Comparação das Vantagens e Desvantagens entre os tipos de sistema de sincronismo (adaptado de Schulte, 2007).**

Propriedades	Correia Dentada a Seco	Correia Dentada trabalha em Óleo	Corrente Banhada em Óleo
Durabilidade (300.000 km)	++	++	++
Bom Comportamento Quanto a Ruído	+/O	++	O
Atendimento aos valores de emissões EU5 (pequeno alongamento)	+	+	O
Cumprimento dos Valores de Emissão U5 (Mínimo Alongamento)	+	+	O
Mínimo Atrito (Economia de Combustível)	++	++	O
Aviso de Problema Eminente (Sensor)	- Sensor?	- Sensor?	+ Gera Ruído
Uso em motor Diesel (Resistência a fuligem)	+	+	O / -
Espaço Axial	O	O	+
Custo Mínimo do Sistema	Cobertura em PA (+) VVT (-)	Cobertura de Metal (-) VVT em óleo (+)	Cobertura de Metal (-) VVT em óleo (+)

Classificação: - = Ruim, O = Regular, + = Bom, ++ = Ótimo

Na correia dentada que trabalha em óleo as perdas por atrito são até 30% abaixo das de acionamentos por corrente. Ocorrendo assim uma redução do consumo de combustível em 0,1 a 0,2l por 100 quilômetros e conseqüentemente reduzindo a emissão de dióxido de carbono.

Segundo o fabricante Contitech (Shulte, 2007), a correia dentada que trabalha em óleo possui menor ruído em relação ao acionamento por corrente.

A nova correia juntamente com o uso da polia oval possibilita o uso de menores larguras de construção podendo ser reduzido em 30% a largura da correia em relação aos acionamentos pela correia convencional, além de tornar desnecessário a utilização do trilho tensor requerido para os acionamentos por corrente.

A tecnologia da correia que trabalha em óleo implementada no veículo em estudo poderá apresentar altíssima eficácia na redução do índice de falhas prematuras, pois trata-se de um sistema estanque, além de possuir significativa redução de atrito aumentando assim a vida útil da correia dentada e os demais componentes.



## CONCLUSÕES

O estudo proposto buscou apresentar as melhorias na proteção de correia como solução de redução das falhas provenientes de sujidades juntamente com a recomendação de execução de manutenção preventiva quando ocorrer o uso em regiões severas, desta forma a eficácia foi de 92% dos casos.

A existência de falhas decorrentes de problemas de fabricação, bem como da utilização desse tipo de veículo de maneira à sobreaquecer sua motorização, são fatores que devem ser estudados de maneira aprofundada, pois o veículo em estudo trabalha com picos de temperatura na região do motor cerca de 15% maior que veículos leves sem transporte de carga e com a mesma motorização porém dianteira.

A utilização de um sistema de sincronismo por corrente resultará em uma eficiência de 100% para os casos de falhas por sujidade direta, porém conforme observação de campo ocorrem problemas de falhas devido à falta de manutenção no motor, troca de óleo e filtro, que podem ocasionar falhas no sistema de sincronismo.

Além disso, conforme estudos apresentados o sistema de sincronismo por corrente possui desvantagens significativas em comparação com o sistema por correia dentada como aumento de ruído, consumo de combustível e emissões de poluentes pauta importantíssima que tem se tornado diferencial uma vez que as legislações de emissões de poluentes são cada vez mais rigorosas.

Porém a utilização da polia oval conforme apresentado minimiza a probabilidade das falhas decorrentes dos picos tensão gerados na correia e do *floating*, vibração excessiva na correia dentada em determinado regime de rotação do motor, pois o veículo em questão trabalha constantemente nesse tipo de regime.

Além da polia oval a utilização da correia dentada que trabalha em óleo cessaria a penetração de sujidades no sistema, além de reduzir o ruído e aumentar a vida útil dos componentes devido a redução de atrito em 30%.

Desta forma a melhor configuração para o sistema de sincronismo no caso do veículo em estudo é a utilização da polia oval devido a redução de carga na correia e a utilização da correia dentada que trabalha em óleo, eliminando os problemas com

sujidades, exceto por manutenção inadequada (troca de óleo e filtros), e aumentando a vida útil por redução de atrito e aumento da temperatura de trabalho.

Necessário salientar que os custos dessa implementação devem ser analisados pois como tratam-se de novas tecnologias possuem custos iniciais elevados.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA AUTOINFORME, <<http://www.agenciaautoinforme.com.br>>. Acesso em: 09 de Setembro de 2007.

ANFAVEA. **Relatório de produção de autoveículos por tipo e combustível** Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/tabelas.html>>. Acesso em: 30 de Novembro de 2008.

ANDRADE, E. **Introdução à Pesquisa Operacional: Métodos e Modelos para Análise de Decisões**. 3. ed. São Paulo: ed.Livros Técnicos e Científicos Editora, 2004.

ATZ online, < <http://www.atzonline.de> >. Acesso em: 12 de Dezembro de 2008. **FEV bestätigt CO2-Sparpotenzial von riemengetriebenen Steuertrieben**, Caterina Schröder, 2008.

AYYUB, Bilal M and McCuen, Richard H., **Probability statistics, and reliability for engineers and scientists**, 2. ed. Boca Raton, Florida: ed.CRC, 2002.

BAUMGARTEN, C., **Mixture Formation in Internal Combustion Engines**, 5. ed. Germany: ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

BELMONTE, D. L. **Gestão da Manutenção auxiliada pela Gestão do Conhecimento**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 25., 2005, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: ABEPRO, 2005 1 CD-ROM.

BOSCH (Org.). **Manual de Tecnologia Automotiva**, 25ed., ed.Edgard Blücher, 2005.

CONTINENTAL CONTITECH, **Practical Tips**. Informativo Técnico. 2006.

CONTINENTAL CONTITECH, **Conti Synchronbelts HTD**. Informativo Técnico. 2002.

CONTINENTAL CONTITECH, **Technical News**. Automotive Aftermarket November. 2004.

CNT - Confederação Nacional do Transporte, Disponível em: <<http://www.cnt.com.br>>. consultado em: 20 de Agosto de 2007.

DER – Departamento de Estradas e Rodagens, Disponível em: <<http://www.der.gov.br>>. Acesso em: 22 de Novembro de 2008.

DAYDO. Disponível em: <[www.daydo.com.br](http://www.daydo.com.br)>. Acesso em 10 de Dezembro de 2007.

EL MAHMOUD, M.A.; ISHIKI, S.KUBOTA, A: **Comparison of Friction Losses between belt and chain**. VDI-Bericht 1758, 2003.

ESPÓSITO, J. .; et. al. **Machine Design**. 2ed., ed. Delmar, 1991.

GERGES, S. et. al. **Ruídos e Vibrações Veiculares**, São Paulo: Ed. NR, 2005.

GORDO, N.; FERREIRA, J.; et. al. ; TELECURSO 2000 (Org.), **Elementos de Máquinas**, Volume II, Rio de Janeiro: Ed.Globo, 2001

HASHIMOTO, Kinro; TONADI, Yoshihiro, et. al., **Highly Saturated Nitrile Elastomer (Hsn) Automotive Applications**, Akron, Ohio: Nippon Zeon of America Inc. , 1988.

HONDA. Disponível em: <<http://www.honda.com.br>>. Acesso em: 09 de Setembro de 2007.

HEYWOOD, J. **Internal Combustion Engine Fundamentals**. Nova Iorque: ed.McGraw-Hill, 1988

HOW STUFF WORKS, site < [www.howstuffworks.com](http://www.howstuffworks.com) > Acesso em: 20/07/2008.

JUNG, C. F. **Metodologia para pesquisa & desenvolvimento**: aplicada a novas tecnologias, produtos e processos. Rio de Janeiro: ed. Axcel Editora, 2004.

KÖRFER, W. and LACY, F., **Timing Belt Drives and their Advantages Regarding Engine Efficiency and NVH Characteristics**, MTZ 07-08|2006, Germany.

KOYAMA, T. 1999, **Noise in helical synchronous belt drives, technical paper**, Universidade de Osaka, Japão.

KOYAMA, T. and MARSHALL, K., **Toothed belt drives -- Past, Present and Future**, Mech. Mach. Theory Vol. 23, No. 3, pp. 227-241, ed. Pergamon Press plc, Great Britain, 1988.

KREBS, R., et al.: Der neue Audi-2,0-I-T-FSI-Motor – der erste direkteinspritzende Turbo-Ottomotor bei Audi. Vortrag auf dem 25. Internationalen Wiener Motorensymposium 2004, Wien, Österreich.

LITENS AUTOMOTIVE GROUP, **Comparison Study Between Tensioner with Installation Shaft and Tensioner with Pull Pin Installation**. Relatório de 14 de Abril de 2007.

MOURA, Candido, **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial FMEA**, 2.ed. Brasil: ed. IQA,

MARTHA DE SOUZA, Gilberto F. **Confiabilidade de Produtos e Sistemas**. Notas de Aula. USP - Faculdade Politécnica de São Paulo, São Paulo, 2008.

MEZGER, M. e ACHTEN, D., **Tagung „Zahnriemengetriebe“**, am Institut für Feinwerktechnik und Elektronik-Design der TU Dresden, Bayermaterialscience AG, Leverkusen, 2004.

MWM INTERNATIONAL MOTORES, **Apostila de Treinamento**, São Paulo, 2006.

PALADY, P.; FMEA - **Análise dos modos de falha e efeitos prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. 3.ed. Editora Brochura. 2004.

PULKRABEK, W. **Engineering Fundamental of Internal Combustion Engine**. New Jersey: ed.Prentice Hall.

PIAZZA, G., **Introdução à Engenharia da Confiabilidade**, 1ed. Caxias do Sul: Ed. EDUCS, 2000.

RAGNITZ, D., **Optimierung von rostfreien Rollenketten - ein Überblick**, Renold GmbH, Einbeck, VDI-Berichte Nr. 1997, 2007, 2007.

RODRIGUES, Raul dos Santos, **Confiabilidade do Produto e Administração da Qualidade**, 6.ed. Brasil.: ed. Formacon, 2000.

ROOS, D. e OMAN, B. , **Trends In Power Transmission: The Synchronous Belt**, GatesFacts Technical Information Library, Denver, Colorado USA: ed. Engineer's Digest, ,1987.

SAE - Society of Automotive Engineers (SAE), Surface Vehicle Recommended Practice J1739: **(R) Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA)**, Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA), June 2000.

SIQUEIRA, I. P., **Manutenção Centrada na Confiabilidade**, 1.ed. Brasil: ed. Qualitymark, 2005.

SCHAEFFLER GROUP. Disponível em: <  
[www.schaeffler.com/content.schaeffler.com.br](http://www.schaeffler.com/content.schaeffler.com.br)>. Acesso em 22 de Dezembro de 2008.

SCHULTE, H., **Timing Belts: Development Milestones and Innovations**, ContiTech Antriebssysteme GmbH, pp. 85-100, VDI-Berichte, Hannover, 2007.

SCHUSEIL, B., **Steuertriebe – eine neue Generation von Zahnketten**, Schaeffler KG, VDI-Berichte Nr. 1997, 2007, 2007, Herzogenaurach

TAKAHASHI, Y. et al. **TPM/MPT Manutenção Produtiva Total**. 2. ed. São Paulo: Instituto IMAM, 2000.

TIEMANN, C. et al. **Zahnriemen oder Kette . Studie zum CO2-Sparpotenzial im Steuertrieb**, Publicado no Aachener Kolloquium Fahrzeug- und Motorentechnik 2008, páginas 1107 à 1124, Aachen, Alemanha, 2008.