



UNIVERSIDADE DA BEIRA INTERIOR

Engenharia

# **Diferencial de transmissão para veículo de ultra baixo consumo**

(Versão final após defesa)

**Dinis Mianga Lelo**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia Eletromecânica**

(2º ciclo de estudos)

Orientador: Prof. Doutor Paulo Manuel Oliveira Fael

**Covilhã, dezembro de 2018**



# Dedicatória

Ao meu pai **João Pedro Lelo**, e ao meu irmão **Pascoal Faustino Macosso**, pelo apoio incontornável nesta longa caminhada. Aos demais irmãos e familiares.



# Agradecimentos

A Deus Todo-Poderoso, pela vida, e proteção e discernimento que me permitiu a execução do presente trabalho.

À minha família, em particular aos meus pais, por serem os responsáveis pela minha formação e educação, na qual obtive os alicerces da construção da minha personalidade o que me permitiu encontrar forças e concentração para lutar contra as adversidades e manter-me firme no sinuoso caminho que segui para atingir este objetivo.

À Tânia, por acreditar, apoiar e caminhar ao meu lado desde o início, pelo estímulo, que a sua curiosidade, interesse e pela sabedoria dada ao longo desta formação.

Uma palavra de apreço em particular aos meus colegas: Ananias Pinheiro, Bernardo Gomes, Jesus Monteiro, Eduardo Camuele e Fortunato Fiau, pelo apoio de toda índole demonstrados na parte final do meu percurso académico.

A todos os professores que me transmitiram os conhecimentos, em especial o Professor Doutor **Paulo Manuel Oliveira Fael**, pela empatia, confiança, disponibilidade e sabedoria demonstrada na orientação desta pesquisa dissertativa.

Por fim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para o sucesso do presente trabalho.

... A todos, o meu muito obrigado!



# Resumo

O presente trabalho visa abordar o dimensionamento de um diferencial de transmissão para o veículo de ultra baixo consumo específico de combustível do motor de combustão interna GX-160 que propulsiona o Eco Veículo 516 com o intuito de o tornar mais competitivo na participação das edições de 2018/2019 da Shell Eco Marathon.

No enquadramento teórico são apresentadas as linhas gerais da estrutura e regulamento da Shell Eco Marathon na categoria onde se insere o Eco Veículo, e um histórico do veículo. Explica-se de forma detalhada os contornos e os procedimentos da realização dos cálculos de relações de transmissão.

A análise dos parâmetros permite perceber o desempenho do motor, somando-se a experiência obtida nas edições anteriores, assim como o conhecimento mais pormenorizado de alguns componentes que, direta ou indiretamente, intervêm no motor e definem no entanto, a melhor estratégia de prova para melhorar a capacidade de intervenção imediata durante a competição, com o objetivo de minimizar o consumo e obter uma melhor classificação.

Nesta linha de investigação, o grupo de docentes ligados ao sistema de órgãos mecânicos da Universidade da Beira Interior, têm desenvolvido há vários anos diversos trabalhos nesta temática.

## Palavras-chaves

Diferencial, Dimensionamento, Consumo, Eco marathon shell.



# Abstract

One of the purposes of this work is to design a transmission differential for ultra-low fuel consumption vehicle with the internal combustion engine GX-160 that drives the Eco Vehicle 516 with the intention of making it more competitive in the participation of the editions of 2018 e 2019 of Shell Eco Marathon.

As a framework, Shell Eco Marathon's structure and regulation are presented in the Eco Vehicle category. It explains in detail the contours and procedures for conducting transmission relation of calculations.

The analysis of the parameters allows to understand the performance of the engine, adding to the experience obtained from the previous editions, as well as allowing a more detailed knowledge of some components that, directly or indirectly intervene in the engine and define however, the best test strategy to improve the ability to intervene immediately during the competition, with the goal of minimizing consumption and obtaining the best classification.

In this way of researches, the group of teachers linked to the system of mechanical design of the University of Beira Interior have for several years presented various works developed in this theme.

## Keywords

Differential, Sizing, Consumption, Eco marathon shell.



# Índice

Dedicatória.....	iii
Agradecimentos .....	v
Resumo .....	vii
Abstract.....	ix
Índice .....	xi
Lista de Figuras.....	xiv
Lista de Tabelas.....	xv
Lista de Acrónimos.....	xvii
Lista de Símbolos .....	xix
Capítulo 1 - Introdução .....	1
1.1. A Shell Eco Marathon .....	1
1.2. UbiCar .....	2
1.3. Objetivos do Projeto .....	3
1.4. Estrutura da dissertação .....	3
Capítulo 2 - Princípio de funcionamento de sistemas de transmissão .....	4
2.1. Introdução .....	4
2.2. Componentes Associados ao Sistema de Transmissão .....	4
2.2.1. Engrenagens.....	4
2.3. Tipos de engranagens .....	5
2.3.1. Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos .....	5
2.3.2. Engrenagens Cilíndricas de Dentes Helicoidais.....	5
2.3.3. Engrenagens Cónicas de Dentes Retos .....	6
2.3.4. Engrenagens Parafuso Sem-Fim.....	7
2.4. Tipos de Correias.....	8
2.4.1. Transmissão por Correia .....	8
2.4.2. Correias Planas.....	9
2.4.3. Correias Trapezoidais.....	10
2.4.4. Correias Dentadas.....	11
2.4.5. Elementos flexíveis .....	12

2.5. Tipos de Correntes.....	13
2.5.1. Corrente de Rolos.....	13
2.5.2. Correntes de dentes.....	13
2.5.3. Corrente de Elos Livres.....	14
2.5.4. Corrente Comum.....	14
2.5.5. Corrente de Blocos.....	15
2.5.6. Transmissão por Corrente .....	15
2.6. Diferencial .....	17
2.6.1. Principais funções do diferencial .....	18
2.6.2. Aplicações dos diferenciais .....	18
2.6.3. Tipos de diferenciais e possíveis montagens no veículo.....	18
2.6.4. Diferenciais Abertos ou Livres.....	20
2.6.5. Engrenagens de dentes retos do diferencial .....	21
2.6.6. Diferencial Bloqueante.....	21
2.6.7. Torsen.....	23
2.6.8. Schaeffler Symposium .....	25
2.6.9. Veio de Transmissão .....	27
Capítulo 3 - Cálculo da Relação de Transmissão .....	29
3.1. Relação de transmissão de um trem de engrenagens .....	29
3.2. Representação esquemática .....	32
3.2.1. Cálculo da engrenagem .....	34
3.2.2. Forças presentes .....	34
3.2.3. Momento torsor .....	36
3.2.4. Relação de transmissão .....	36
3.2.5. Pressão admissível do material.....	36
3.2.6. Cálculo de pressão admissível .....	36
3.2.7. Fator de serviço.....	37
3.2.8. Módulo de engrenamento .....	37
3.2.9. Força tangencial .....	37

3.2.10. Fator de forma .....	37
3.2.11. Tensão máxima atuante no pé do dente .....	37
Capítulo 4 - Resultados e Discussões .....	38
4.1. Introdução .....	38
4.2. Esquema do trem de transmissão .....	39
4.2.1. Seleção e Transmissão .....	39
4.2.2. Fator de serviço.....	40
4.2.3. Fator de tipo de corrente.....	40
4.2.4 Determinação da Potência de projeto .....	40
4.3. Dimensionamento da corrente entre polia motora e a movida .....	41
4.3.1. Potência da área projetada.....	41
4.3.2. Velocidade máxima da corrente .....	43
4.3.3. Comprimento da corrente .....	43
4.3.4. Força útil .....	44
4.3.5. Força centrífuga .....	45
4.3.6. Força cantenária .....	45
4.3.7. Esforços nos veios .....	46
4.3.8. Somatório das forças .....	46
4.3.9. Fabricante Renold Technology Chain .....	47
4.3.10. Escolha da Corrente .....	47
4.3.11. Rolamentos .....	48
Capítulo 5 - Considerações Finais .....	49
5.1. Trabalhos futuros .....	50
Referências bibliográficas.....	51
Lista de websites consultados .....	52
Anexo A.1 .....	54

# Lista de Figuras

Figura 1 - Foto do Urbanconcept Ubian 18 .....	2
Figura 2.1 - Engrenagens primitivas .....	4
Figura 2.2 - Engrenagens cilíndricas de dentes retos .....	5
Figura 2.3 - Engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais .....	6
Figura 2.4 - Engrenagens cónicas de dentes retos .....	6
Figura 2.5 - Engrenagem Parafuso Sem-Fim .....	7
Figura 2.6 - Transmissão por correia (plana) .....	10
Figura 2.7 - Corte transversal de uma correia trapezoidal na polia .....	11
Figura 2.8 - Exemplo de uma aplicação de uma correia dentada .....	12
Figura 2.9 - Componentes da corrente de rolos .....	13
Figura 2.10 - Desenhos de uma corrente de dentes .....	13
Figura 2.11 - Desenho de uma corrente de elos livres .....	14
Figura 2.12 - Desenho de uma corrente comum .....	14
Figura 2.13 - Desenhos de uma corrente de blocos.....	15
Figura 2.14 - Corrente de rolos e polia movida .....	16
Figura 2.15 - Comportamento do diferencial com boa aderência em linha reta .....	17
Figura 2.16 - Diferencial de tração dianteira .....	19
Figura 2.17 - Diferencial de tração traseira .....	19
Figura 2.18 - Diferencial de tração integral (4WD) .....	20
Figura 2.19 - Funcionamento do diferencial aberto ou livre .....	20
Figura 2.20 - Engrenagens de dentes retos do diferencial (FZG).....	21
Figura 2.21 - Diferencial bloqueante .....	21
Figura 2.22 - Comparação de engrenagens de dentes retos e helicoidal .....	22
Figura 2.23 - Corte no diferencial <i>torsen</i> .....	24
Figura 2.24 - Interior do diferencial <i>torsen</i> .....	24
Figura 2.25 - Diferencial Schaeffler Symposium .....	25
Figura 2.26 - Diferencial leve com habitação.....	26
Figura 2.27 - Eixo traseiro de um kart, sem diferencial eixo único .....	27
Figura 2.28 - Semi-eixos com duas juntas homocêntricas .....	27
Figura 3.1 - Trem epicicloidal .....	29
Figura 3.2 - Vista principal do trem de engrenagens .....	32
Figura 3.3 - Diagrama de forças .....	34
Figura 3.4 - Engrenagem ligada a corrente .....	35
Figura 4.1 - Corte do trem de engrenagens no diferencial.....	39
Figura 4.2- Corrente de rolo .....	41

## Lista de Tabelas

Tabela 3.1 - Resultados dos cálculos do dimensionamento de engrenagens .....	31
Tabela 4.1 - Fator do tipo de corrente K1 .....	40
Tabela 4.2 - Fator de serviço Ks em transmissões por corrente .....	40
Tabela 4.3 - Renold Technology Chain .....	47
Tabela 4.4 - Características dos rolamentos .....	48



# Lista de Acrónimos

ANSI	American National Standards Institute
DEM	Departamento de Eletromecânica
FEUBI	Faculdade de Engenharia da Universidade Beira Interior
LSD	Limited Slip Differential
UBI	Universidade Beira Interior



# Lista de Símbolos

$c$	Distância entre eixos
$C_u$	Fator da carga dinâmica
$D$	Diâmetro da polia movida
$d$	Diâmetro da polia motora
$d_p$	Diâmetro primitivo do pinhão
$D_1, D_2$	Diâmetros primitivos da polia motora e da polia movida
$f$	Flecha
$F_c$	Força centrífuga
$i$	Relação de transmissão
$L_p/L$	Comprimento teórico da corrente.
$L_r$	Comprimento real da corrente
$K_1$	Fator do tipo de corrente
$K_s$	Fator de serviço
$m$	Módulo
$M_t$	Momento torsor
$n$	Número de dentes
$N_G$	Número de dentes da coroa
$N_p$	Número de dentes do pinhão
$n_p$	Velocidade (celeridade) do pinhão
$P$	Potência nominal a transmitir
$p$	Passo
$P_d$	Passo diametral do pinhão
$p_N$	Passo normal da base
$P_u$	Fator de carga dinâmica equivalente do rolamento
$q$	Peso por unidade de comprimento

$T_u$	Força útil
$T_{cat}$	Esforços devido ao efeito da catenária.
$V_m$	Velocidade média da corrente
$\omega$	Velocidade angular
$\gamma/2$	Ângulo de inclinação, ângulo de rotação dos elos quando entram em contacto com a polia motora.
$Z_1, Z_2$	Número de dentes da polia motora e da polia movida

# Capítulo 1 - Introdução

## 1.1 - A Shell Eco Marathon

A **Shell Eco Marathon** é uma competição anual apoiada pela Shell, direcionada para o projeto e construção de veículos que desenvolvem uma melhor eficiência em consumo de combustível. Uma das finalidades é desenhar e construir um carro que utilize menor quantidade de combustível ao longo da competição. A organização é sediada em Londres. Começou em 1939 nos laboratórios de pesquisa nos Estados Unidos da América, quando dois cientistas da Shell decidiram utilizar o número máximo de milhas percorridos por cada um para um galão de combustível. Surgiram evoluções e a competição transferiu-se também para Europa onde teve a sua estreia em França, em 1985. A Shell Eco Marathon Europe atraiu centenas de estudantes vindos de vários países europeus.

A competição Shell Eco Marathon surgiu em 1939, como resultado de uma discussão amigável entre dois empregados de um dos laboratórios de pesquisa da SHELL OIL COMPANY nos EUA sobre quem conseguiria percorrer uma maior distância com a mesma quantidade de combustível.

Na Europa existiam duas competições distintas no Reino Unido e em França; a primeira foi extinta e a segunda transformou-se na versão europeia, cuja localização tem variado consoante as pretensões da organização. Após um ano a desenvolver e a testar os veículos, as equipas reúnem-se em pista ou em circuito urbano para mostrarem os resultados dos seus trabalhos, com estímulo de troféus e prémios financeiros que se somam ao reconhecimento e orgulho de quem participa neste evento.

Nesta organização são avaliados outros fatores importantes, que também são pontuados: a estética, o conforto. É um exercício real da conceção de um veículo. Esta competição representa um projeto valioso, uma vez que concilia a prática e a teoria de mecânica, despertando, portanto, o interesse da indústria mundial nos novos engenheiros.

A competição divide-se em duas classes: *Prototype* e *Urban Concept*. A primeira privilegia a máxima eficiência em detrimento do conforto. A segunda, em que insere a UBicar, favorece *designs* mais práticos e adaptáveis à utilização corrente. Existem seis categorias de veículos de acordo com a fonte de energia utilizada: gasolina, gásóleo, biocombustíveis, hidrogénio, energia solar e eletricidade. No período da prova as equipas podem fazer um número de tentativas limitado. Geralmente, são usadas quatro tentativas para se atingir o melhor desempenho a uma dada velocidade média, sendo calculado o consumo segundo o critério específico de cada categoria, definindo-se assim um vencedor para cada uma. As equipas também são premiadas segundo critérios tais como: a segurança, o *design*, a inovação tecnológica e o trabalho em equipa. O que deu início a uma “luta” para ultrapassar a barreira dos 18 km com 1 litro de combustível, 79 anos depois o desafio permanece e atualmente as equipas mais avançadas trabalham para atingir os 4000 km com a mesma quantidade de

combustível, alimentando-se também a disputa de tecnologia mais limpa e adequada à propulsão de veículos.

Na décima oitava participação, a equipa UBicar basear-se-á na estrutura do ano anterior e desde então evoluir para componentes mais leves e resistentes tentando para isso reduzir o peso total do veículo de modo a efetuar melhores performances em pista sem detrimento da resistência das matérias. Para tal manter-se-á o chassi em fibra de carbono e substituir-se-á o sub-chassi do ano anterior que era construído em aço por uns mais resistentes e leves em fibra de carbono de modo a que suportem melhores esforços do motor e que, ao mesmo tempo, mantenha o baixo peso.

## 1.2 - UBicar

O projeto UBicar surge para conceber e desenvolver um veículo automóvel de elevada eficiência e economia energética para participar na Shell Eco Marathon. Foi desenvolvido por uma equipa de investigadores composto por professores e alunos do DEM da FEUBI, tendo como mentor o Professor Doutor Paulo Fael. Atualmente, é o único membro ativo desde o início do projeto em 2000, visto que a equipa tem recebido a participação dos alunos que revelam interesses e disponibilidades em participar no projeto e contribuir com o trabalho na sua passagem pelo DEM, tendo, por isso, vindo a ser renovada ao longo dos anos. Como o veículo de competição *Shell Eco Marathon* Ubian 18 vai utilizar um motor de um motor GX-160 e a polia motora que encaixa na perfeição na saída do motor é de uma transmissão por corrente. Ela é considerada como uma oportunidade de acumular a vivência laboratorial e prática à componente teórica proveniente da frequência das aulas, permitindo a aplicação de conhecimentos de engenharia e de ferramentas avançadas de projeto em engenharia e desenvolvimento de aptidões de empreendedorismo, inovação e gestão de recursos. A colaboração de outros professores da FEUBI, tem sido muito útil.



Figura 1- Foto do Urbanconcept Ubian 18 [Autor]

### 1.3 - Objetivos do projeto

Esta dissertação tem como objetivo dimensionar o sistema de transmissão de um veículo de competição *Shell Eco Marathon*. Com este protótipo serão apresentados as forças de tração para duas rodas em termos de lateralidade.

### 1.4 - Estrutura da dissertação

Esta dissertação é composta por cinco capítulos, numerados de 1 a 5 e um anexo, designado respetivamente por A1. Assim sendo, **Capítulo I** e **Capítulo II** abordam os seguintes assuntos:

- Componentes associados ao sistema de transmissão;
- Princípio de funcionamento de um diferencial de transmissão para veículo de ultra baixo consumo.

#### No Capítulo III

- Introdução sobre a competição e relação de transmissão do veículo da Shell Eco Marathon;
- Cálculos de relação de transmissão;

#### No Capítulo IV

- Resultados e discussões
- Rolamentos
- A construção do sistema funcional do nosso mecanismo;
- Alguns cálculos de força de atrito sobre a roda da engrenagem.

Finalmente, o **Capítulo V** trás algumas considerações finais, e perspetivas de trabalhos futuros a realizar na referida área de investigação.

# Capítulo 2 - Princípio de funcionamento de sistemas de transmissão.

## 2.1 - Introdução

Em geral, todos os componentes que constituem o sistema de transmissão, fazem parte do sistema do veículo que produzem movimentos e transmitem para duas rodas, o motor, a caixa de velocidades, ou seja, a transmissão entre a polia motora e a polia movida, eixos ou semi-eixos, diferenciais e todos os elementos de ligação entre estes componentes. Em seguida, começamos por uma introdução teórica cujo teor é explicar todos os possíveis componentes que podem ser utilizados no sistema de transmissão [1].

## 2.2 - Componentes Associados ao Sistema de Transmissão

### 2.2.1 - Engrenagens

As engrenagens são órgãos de máquinas que transmitem movimento de um veio para o outro por meio de dentes, entre o pinhão, roda motora, carreto e a roda movida que entram, sucessivamente em contacto uns aos outros [1].



Figura 2.1- Engrenagens modernas [1]

A roda motora é, geralmente, a menor das duas rodas em contacto. Normalmente está ligada ao motor. A roda movida ou a roda é, neste caso, a maior das duas e transmite a potência ao outro veio. As engrenagens permitem velocidades periféricas, velocidades angulares, potências

e binários variando desde valores muito baixos até valores muito elevados, abrangendo praticamente toda a gama de valores de interesse prático [2] [3].

**As engrenagens acima têm como vantagens:**

- Permitem distâncias entre eixos pequenas;
- Rendimentos muito elevados;
- Longa duração.

Tem ainda fraca resistência às condições ambientais (humidade e poeiras), obrigando assim a criação de dispositivos de proteção que podem necessitar de lubrificação.

## 2.3 - Tipos de Engrenagens

### 2.3.1 - Engrenagens Cilíndricas de Dentes Retos

As engrenagens mais simples e comuns. Transmitem o movimento entre dois eixos, paralelos e os dentes são paralelos ao eixo de rotação [1].

Estas engrenagens atingem velocidades periféricas na ordem dos 200 m/s.

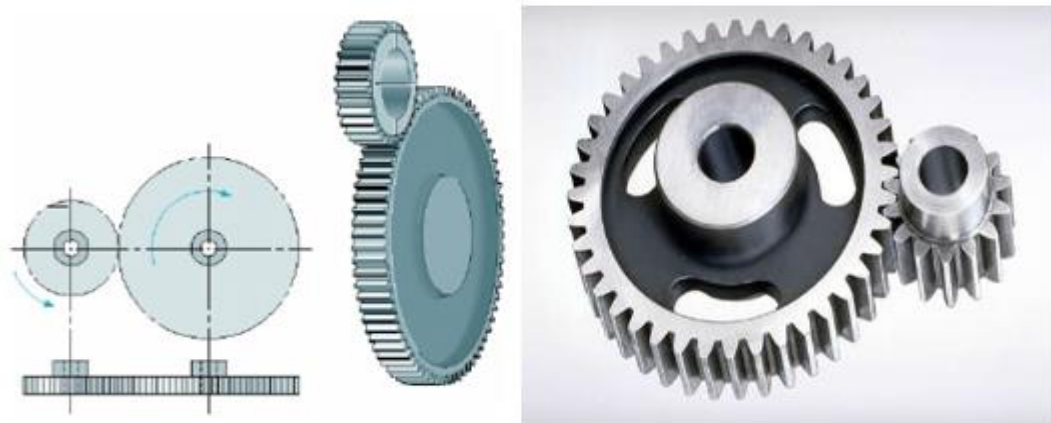


Figura 2.2 - Engrenagens cilíndricas de dentes retos [14]

### 2.3.2 - Engrenagens Cilíndricas de Dentes Helicoidais

São menos ruidosas que as engrenagens cilíndricas de dentes retos e os dentes são inclinados com o eixo de rotação. Podem transmitir movimento entre eixos paralelos ou não paralelos [9].

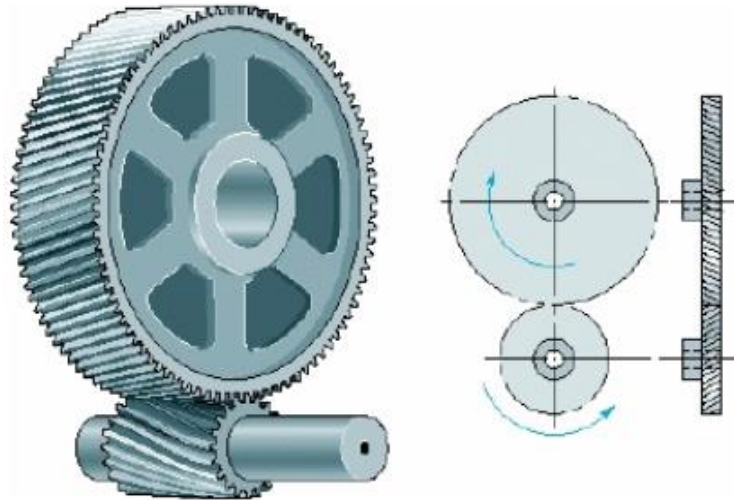


Figura 2.3 - Engrenagens cilíndricas de dentes helicoidais [15]

### 2.3.3 - Engrenagens Cónicas de Dentes Retos

Nesta tipologia, os dentes de superfícies cónicas podem ser retos ou em espiral. As engrenagens cónicas são montadas em eixos que se interseçam entre si. Estes podem ser ou não perpendiculares [9].

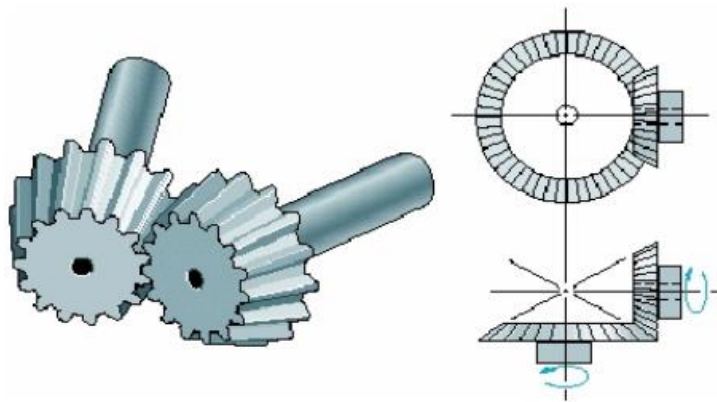


Figura 2.4 - Engrenagens cónicas de dentes retos [16]

### 2.3.4 - Engrenagem Parafuso Sem-Fim

A engrenagem supracitada é constituída por uma rosca de um parafuso com uma roda dentada especial. Tal como um parafuso; também pode possuir mais que uma rosca. Normalmente é usado para razões de velocidades elevadas, tendo uma eficiência de transmissão geralmente baixas. Transmite movimento entre veios que não sejam paralelos e nem se intersectem [1].

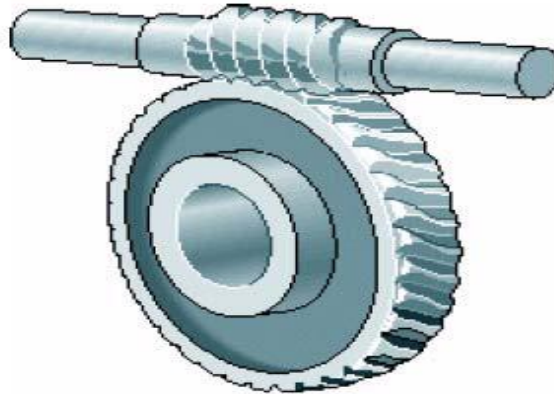


Figura 2.5 - Engrenagem Parafuso Sem-Fim [17]

## 2.4 - Tipos de Correias

### 2.4.1 - Transmissão por Correia

Esta transmissão é geralmente utilizada para a transmissão de potência entre dois eixos paralelos e distanciados de um valor mínimo calculado, dependendo do tipo de correia usada para que a transmissão ocorra de maneira eficiente. Tais transmissões são aplicadas na indústria têxtil, indústria automóvel, máquinas ferramentas, bombas, compressores, ventiladores, máquinas gráficas, equipamento doméstico, entre outros [7].

As correias possuem as seguintes características:

- São usadas para grandes distâncias entre eixos;
- Devido ao deslizamento e a deformação das correias, a velocidade angular não é constante, nem é exatamente igual à razão dos diâmetros das polias (exceto nas correias síncronas);
- Quando se usam correias planas, poder-se-á obter o efeito de embraiagem passando-se a correia de uma das polias;
- Quando se utilizam correias em V, pode-se obter alguma variação na razão das velocidades angulares pelo emprego de uma pequena polia com as partes laterais sob ação de molas. O diâmetro da polia é então função da tensão na correia e pode ser variado mudando a distância entre eixos;
- Usando as correias, geralmente é necessário algum ajuste da distância entre eixos regularmente ou a utilização de tensores da correia que influenciam no rendimento desta;
- Pode obter-se um meio económico de variar a razão de velocidades utilizando-se polias cónicas;
- Não necessitam de lubrificação e por isso apresentam superioridade na resistência às condições ambientais (humidade e poeiras). São menos resistentes a temperatura;
- Tem um funcionamento silencioso;

Na transmissão por polias e correias, a polia que transmite o movimento e a força é chamada de polia motora ou condutora. Por sua vez, a polia que recebe o movimento e força é a polia movida ou conduzida.

Os materiais empregados para a construção das polias são: ferro fundido, aços, ligas leves e materiais sintéticos. A superfície da polia não deve apresentar porosidades, ou seja, tem de ter um nível de acabamento elevado para a correia não sofrer um desgaste prematuro [7].

## 2.4.2 - Correias Planas

As correias planas transmitem grandes quantidades de potências em velocidades moderadas por um longo período de tempo. Porém, podem sofrer estiramento ou contração e geralmente são de custo alto. Outros fatores que influenciam a seleção de materiais para correias são a vida, a fiabilidade desejada, o tamanho das polias e o custo.

Se a distância entre os eixos é muito grande; na prática são utilizadas muitas vezes estas correias. São também muito úteis para instalações de acionamento em grupo, devido ao efeito de engrenagem que se pode obter e à sua adaptabilidade a distâncias relativamente longas. Hoje em dia, devido a conveniência dos acionamentos individuais, as máquinas fabricadas trazem um acionamento próprio, portanto o uso de correias planas decresceu significativamente nos últimos anos. No entanto, estas correias são muito eficientes para altas velocidades, podem transmitir grandes potências e são bastante flexíveis, pelo que, não necessitam de grandes polias.

Quando estamos diante duma correia montada na horizontal, a polia motora deve girar de forma a fazer com que o lado submetido à menor tensão, o ramo frouxo, esteja em cima, neste sentido, quando a distância de eixos é pequena deve-se utilizar um tensor de correia [6][8].

### **Principais características das correias planas:**

1. As correias planas apresentam limites superiores de velocidade periférica (devido à força centrífuga) e inferiores (devido ao escorregamento) de respetivamente 90 m/s e 5 m/s.

2. As potências máximas transmissíveis são aproximadamente 1600 kW.

3. As aplicações das correias planas adaptam-se à transmissão do movimento entre veios não complanares com ou sem inversão de sentido.

4. Quanto à temperatura estas correias apresentam uma melhor resistência do que as correias trapezoidais, embora ambas sejam menos resistentes a este parâmetro do que as correntes ou engrenagens.

5. Economicamente são mais favoráveis do que os restantes tipos de transmissões, embora com vida útil inferior e na ordem das 40000 horas.

6. As correias planas são mais fáceis de montar do que as correias trapezoidais, sobretudo quando se trata de polias situadas em veios bi-apoiados [6].

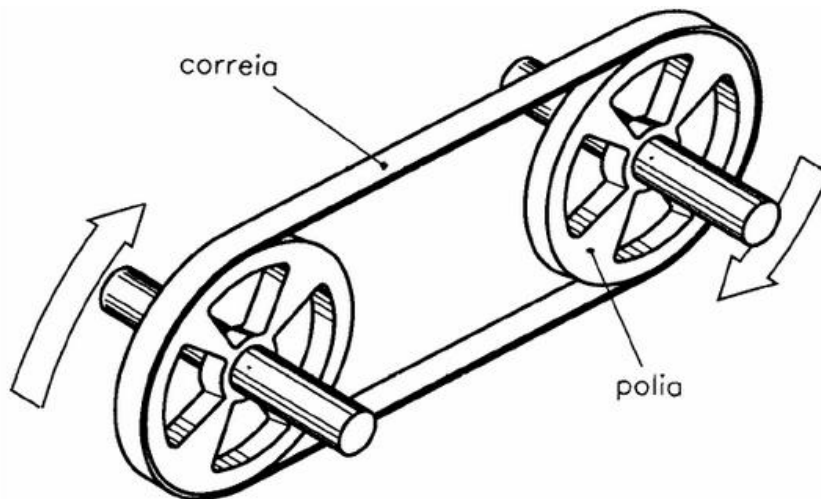


Figura 2.6 - Transmissão por correia (plana) [18]

### 2.4.3 - Correias Trapezoidais

Uma **correia** trapezoidal é feita do mesmo material que a correia plana. As trapezoidais podem operar com polias menores e podem ser usadas em menores distâncias entre eixos. Além disso, as correias podem ser usadas em determinados números para uma mesma polia, constituindo assim um acionador múltiplo.

Nesta linha, a correia trapezoidal articulada é composta de um grande número de elos feitos de tecido impregnado com borracha, ligados por grampos metálicos adequados. Podem ser desmontadas em qualquer ponto e ajustadas para qualquer comprimento, permitindo assim a remoção de alguns elos. Grosso modo, elimina a necessidade de se terem distâncias entre eixos ajustáveis e simplifica a montagem. Além disso, torna possível ajustar-se a tensão na correia para obter-se a máxima eficiência e também reduz o número de tamanhos de correias [6][1].

#### **Principais características das correias trapezoidais:**

1. As correias trapezoidais apresentam limites superiores de velocidade periférica (devido a força centrífuga) e inferiores (devido ao escorregamento) de respectivamente 25 m/s e 5 m/s. As potências máximas transmissíveis são aproximadamente de 1100 kw.

2. As aplicações das correias trapezoidais limitam-se apenas a veios paralelos e de preferência horizontais, sem inversão do sentido de rotação.

3. Economicamente são mais favoráveis do que os restantes tipos de transmissões, embora tenham uma vida útil inferior.

4. Para pequenas distâncias entre eixos, as correias trapezoidais adaptam-se melhor em virtude de não requererem polias de dimensões tão elevadas.

5. As correias trapezoidais apresentam uma vida que pode variar de 8000 a 10000 horas [6][1].

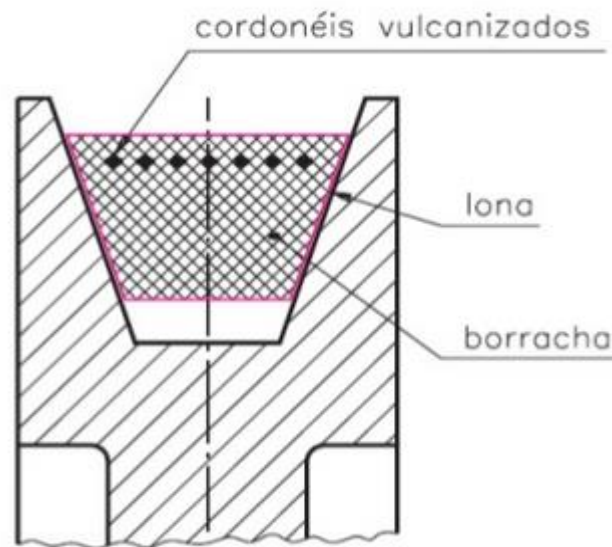


Figura 2.7- Corte transversal de uma correia trapezoidal na polia [19]

#### 2.4.4 - Correias Dentadas

Em seguida, a **correia dentada** é uma correia tal como o nome ilustra que possui dentes que encaixam em outros feitos na superfície das polias. O facto das correias possuírem dentes proporcionam uma série de vantagens sobre as correias comuns. Uma destas vantagens não é que não é necessária nenhuma tensão inicial, de forma que se podem usar distâncias fixas entre os eixos. Além disso, elimina-se qualquer restrição a velocidade uma vez que os dentes permitem a sua utilização prática a qualquer velocidade, rápida ou lenta. As desvantagens consistem principalmente no custo e na necessidade de dentes nas polias, que acrescem no preço das próprias polias. As correias dentadas são feitas de borrachas e fios de aço para suportar tensões axiais. Têm dentes que encaixam nas polias dentadas. Isto para não haver escorregamento nem esticarem. Logo são superiores às outras correias apresentadas anteriormente [6].

#### As principais características das correias dentadas são:

1. As correias dentadas não sofrem escorregamento e a velocidade máxima periférica é de 60 m/s.
2. A velocidade máxima angular é de 30000 r.p.m.
3. A potência máxima transmitida é de 300 kW.

4. Estas correias têm de ser montadas em veios paralelos e de preferência na posição horizontal.
5. Transmite potência a uma razão de velocidades constante.
6. Não dependem da pré-tensão da correia.
7. Necessita de polias adequadas.
8. Não é necessária lubrificação.
9. Funcionamento silencioso.
10. Eficiência 98%.



Figura 2.8- Exemplo de uma aplicação de uma correia dentada [20]

### 2.4.5 - Elementos Flexíveis

Elementos flexíveis são utilizados quando existem distâncias relativamente grandes entre a roda motora e a roda movida, tais como as correntes, os cabos ou as correias para transmitirem potência. Ao serem empregues, estes elementos estarão a substituir um sistema de engrenagens por um dispositivo similar de transmissão de potência, simplificando a máquina e reduzindo os custos.

Para além destas, existem também outras vantagens pelo facto de serem elementos elásticos. Geralmente, desempenham um papel de absorção de cargas de choque e amortecimento de algumas vibrações. Embora estas vantagens sejam importantes para a redução dos custos que geralmente superam todas as outras vantagens, entretanto no nosso caso também interessa o peso e o rendimento [4][5].

## 2.5 - Tipos de Correntes

### 2.5.1 - Corrente de Rolos

A corrente representada na imagem abaixo é composta por elementos internos e externos, onde as placas são permanentemente ligadas através de pinos e buchas e sobre as buchas são ainda colocados rolos [2].

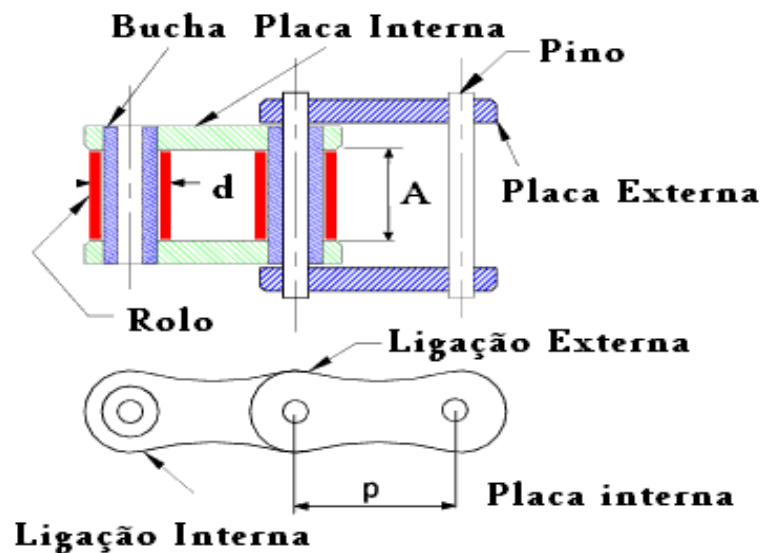


Figura 2.9- Componentes da corrente de rolos [21]

### 2.5.2 - Correntes de dentes

Neste tipo de corrente há sobre cada pino articulado várias talas expostas uma ao lado da outra, onde cada tala pertence ao próximo elo da corrente. Desta maneira, podem ser construídas correntes bem largas e muito resistentes. Além disso, mesmo com o desgaste, o passo fica igual pois entre os elos não há diferença. Esta corrente permite rotações superiores [8].

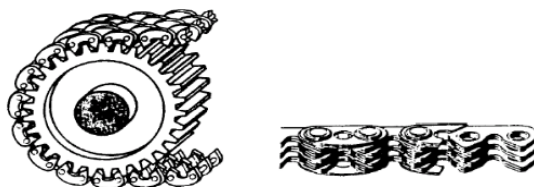


Figura 2.10- Desenhos de uma corrente de dentes [21]

### 2.5.3 - Corrente de Elos Livres

Trata-se de uma corrente especial usada para transportadores e, em alguns casos, pode ser usada em transmissão. A sua característica principal é a facilidade de se retirar a qualquer elo.

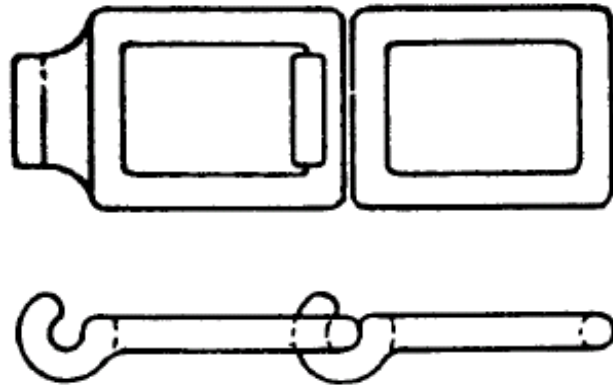


Figura 2.11- Desenho de uma corrente de elos livres [21]

### 2.5.4 - Corrente Comum

Conhecida também por “cadeia de elos” possui os elos de forma oval soldados. É usada em talas manuais, transportadores e em infinidade de aplicações.

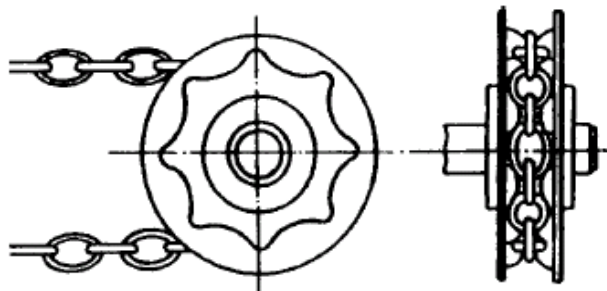


Figura 2.12- Desenho de uma corrente comum [21]

### 2.5.5 - Corrente de Blocos

É um tipo de corrente parecida com a corrente de rolos, mas cada par de rolos com os seus elos, formam um sólido (bloco). É usada nos transportadores e os seus blocos formam base de apoio para os dispositivos usados para transporte.

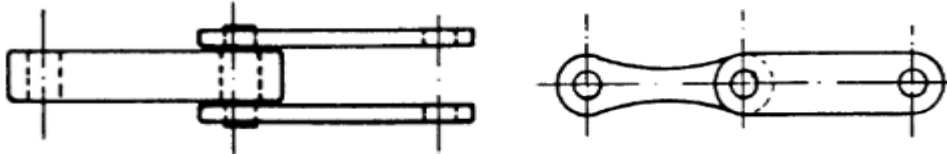


Figura 2.13 -Desenhos de uma corrente de blocos [21]

### 2.5.6 - Transmissão por Corrente

Entre os diversos tipos de correntes existentes as mais utilizadas são: correntes de rolos, correntes de bucha, corrente de elos livres, correntes de dentes e corrente comuns.

As correntes de rolos (são as de maior aplicação prática) resultam da associação alternada de elos interiores e exteriores. Nas características básicas de uma transmissão por corrente, incluem a razão de transmissão constante, visto que não escorrega e nem alonga. Apresenta a possibilidade de acionar vários eixos a partir de uma única fonte de potência.

As correntes para transmissão foram padronizadas usando as dimensões da ANSI (*American National Standards Institute*). Estas correntes são fabricadas em fileiras simples, duplas, triplas ou quádruplas. As principais aplicações recaem em máquinas ferramentas, máquinas agrícolas, compressores, bombas, máquinas para construção civil, máquinas têxteis, veículos motorizados, etc. [2][8]

#### Principais características das correntes:

1. As velocidades periféricas estão limitadas a 17 m/s e as velocidades angulares a 6000 rpm. As potências máximas transmissíveis são aproximadamente de 3700 kW.

2. Só podem ser aplicadas entre veios rigorosamente paralelos. Além disso, exigem o perfeito alinhamento das polias motora e movida (pinhão/roda).

3. Custo intermédio entre as correias e as engrenagens.

4. Permitem ser usadas para distâncias entre eixos menores que as correias em igualdade de potência a transmitir.

5. Apresentam longa duração, até 15000 h sem necessidade de trocar a corrente e as polias.

6. Maior fiabilidade que as correias, mas menor do que as engrenagens.
7. A manutenção é fácil apenas exigem lubrificação.
8. Funcionamento mais ruidoso do que as correias.
9. Rendimento elevado 97% a 98%
10. Montagem bastante fácil.



Figura 2.14 - Corrente de rolos e polia movida [21]

## 2.6 - Diferencial

O Diferencial é um componente mecânico que distribui a potência vinda da caixa de velocidade pelos dois veios de transmissão (um ligado a cada roda) que compensa a diferença de distâncias percorrida entre as duas rodas do mesmo eixo durante uma curva, onde a roda externa percorre uma distância maior que a interna. A diferença entre as distâncias é compensada no diferencial através de um sistema de engrenagens cônicas. Contudo, o seu funcionamento só é perfeito se as aderências das rodas motrizes forem ideais. Se uma das rodas patinar, o diferencial interpreta o patinar como se a roda estivesse a percorrer uma distância ainda maior e logo fornece a essa roda ainda mais potência. No final quando uma das rodas perde aderência, o diferencial funcionará ao contrário do que o desejado, levando várias vezes a patinagem da roda.

Sem o trabalho do diferencial a roda interna a curva patinaria tentando percorrer a mesma distância da roda externa em casos extremos, se a aderência fosse muito boa ocorreria torção ou mesmo quebra do próprio eixo [10,11,12].

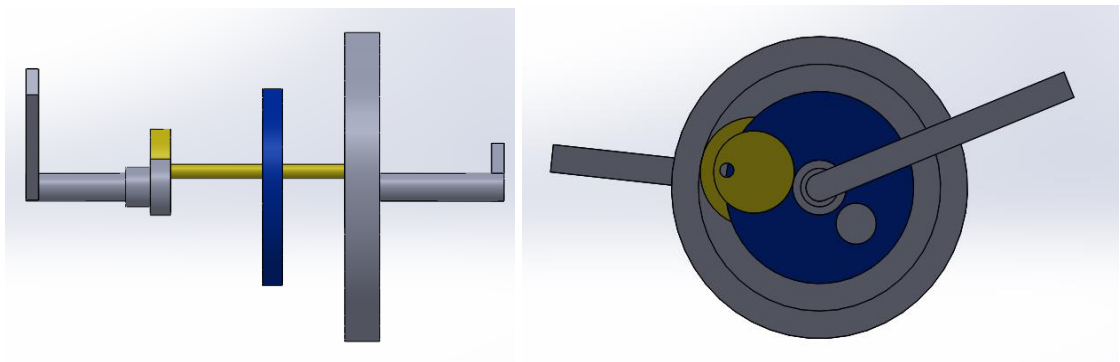


Figura 2.15 - Comportamento do diferencial com boa aderência em linha reta [22]

Imaginemos que estamos diante de um veículo com tração traseira e que o carro está a descrever uma curva de raio  $c$ , e de ângulo  $a$ , com a velocidade angular  $W$ , as rodas traseiras, que estão separadas de uma distância  $d$ , e têm diâmetro  $D$ , têm de rodar a velocidades diferentes,  $V_1$  e  $V_2$ , pois percorrem distâncias diferentes  $E_1$  e  $E_2$ .

$$\begin{aligned} \text{Com: } E_1 &= a \left( c + \frac{d}{2} \right) & \text{e} & & E_2 &= a \left( c - \frac{d}{2} \right), \text{ sendo:} \\ V_1 &= W \left( c + \frac{d}{2} \right) & \text{e} & & V_2 &= W \left( c - \frac{d}{2} \right) \end{aligned} \quad (2.1)$$

A velocidade média das duas rodas é a velocidade do veículo dada pela seguinte expressão:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} = wc \quad (2.2)$$

Se o veículo tivesse apenas um eixo a ligar as duas rodas, ao realizar uma curva, estas teriam de escorregar, criando forças de torção em todo o eixo, podendo partir-se em casos de muito atrito nas rodas. Para a resolução deste problema, temos de optar por dois semi-eixos ligados por um diferencial mecânico.

O diferencial é um dispositivo que divide o binário do motor e transmite-o as rodas através dos dois semi-eixos de tração permitindo que as rodas tenham velocidade de rotação diferentes em curva; a roda de fora gira mais rápido que a roda de dentro da curva.

### 2.6.1 - Principais funções do diferencial

As principais funções do diferencial assentam em:

- Transmitir a potência às rodas;
- Efetuar uma redução de velocidades entre a caixa de velocidades e as rodas;
- Transmitir a potência às rodas permitindo que estas girem com velocidades diferentes.

### 2.6.2 - Aplicações dos diferenciais

Os diferenciais são aplicados na prática em:

- Veículos ligeiros e pesados;
- Veículos de tração integral permanente (três diferenciais pois o grupo dianteiro percorre uma distância diferente do grupo traseiro);
- Veículos de tração integral temporária (dois diferenciais, pois não existem nenhuma entre os grupos dianteiros e traseiros. Quando a tração integral é bastante difícil de virar em estrada, porque as rodas dianteiras giram a mesma velocidade das traseiras).

### 2.6.3 - Tipos de diferenciais e possíveis montagens no veículo

Os tipos de diferenciais são as seguintes:

- Abertos ou Livres;
- Limitadores de escorregamento (LSD - Limited Slip Differential);
- Blocantes;
- *Torsen*.

## TRAÇÃO DIANTEIRA

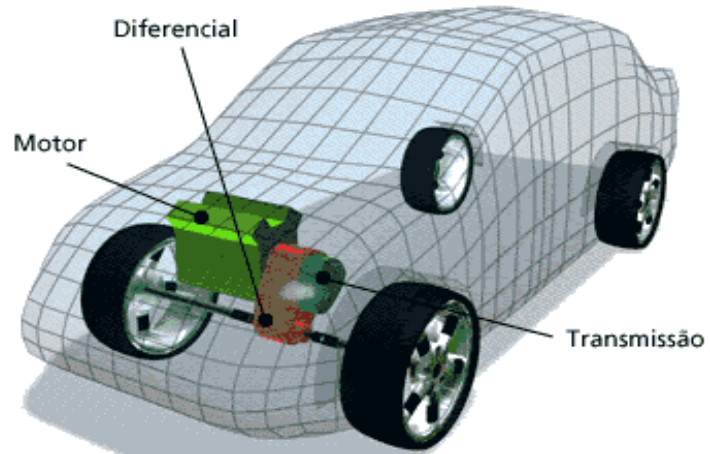


Figura 2.16 - Diferencial de tração dianteira [23]

## TRAÇÃO NAS RODAS TRASEIRAS

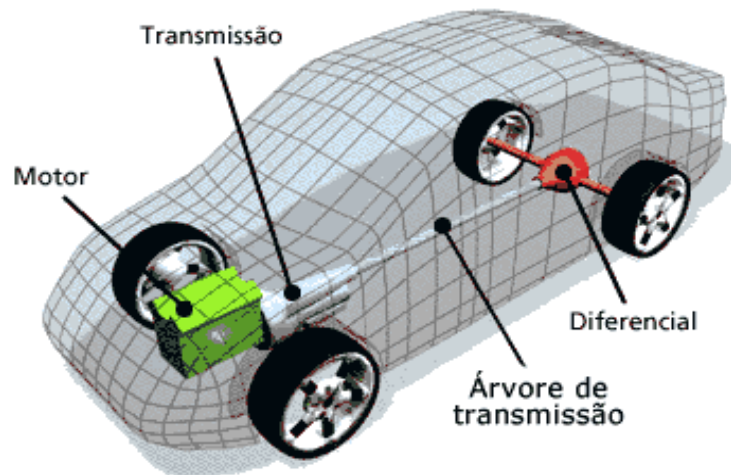


Figura 2.17 - Diferencial de tração traseira [23]



Figura 2.18 -Diferenciais de tração integral e caixa de transferência deverá conter um diferencial [23]

### 2.6.4 - Diferenciais Abertos ou Livres

São diferenciais mais utilizados nos veículos comuns e nela são aplicadas as mesmas quantidades de binário a cada roda. Mas também são problemáticos na medida em que se uma das rodas perde a aderência, o binário transmitido à roda com mais tração é diminuto, sendo o movimento do veículo bastante dificultado. Entretanto, são também ineficazes em condução fora de estrada ou no gelo [12].

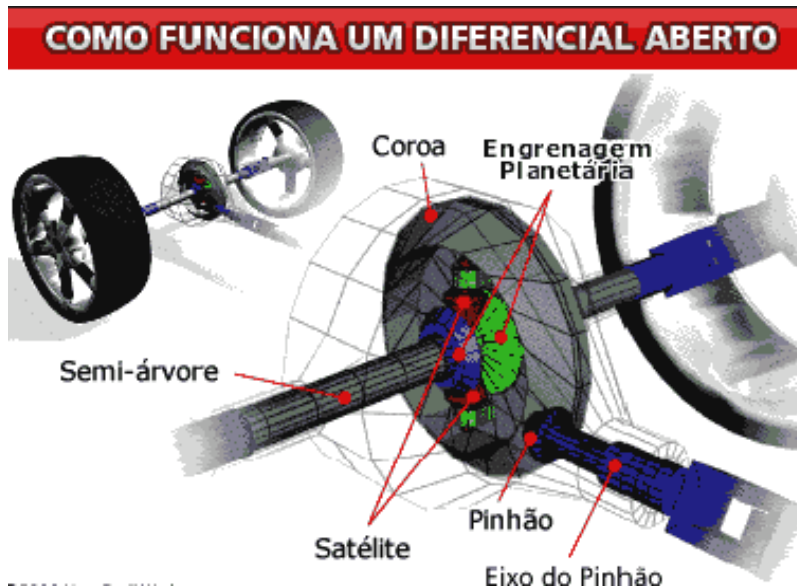


Figura 2.19-Funcionamento do diferencial aberto ou livre [23]

## 2.6.5 - Engrenagens de dentes retos do diferencial (FZG)

São diferenciais que apresentam semelhanças aos abertos ou livres mas possuem adicionalmente embraiagens, de disco ou cónicas, e molas. Quanto ao funcionamento, quando existem diferenças de velocidades é necessário vencer o esforço da embraiagem; e quando uma das rodas desliza, o binário é aumentado na roda aderente. Apresentam boa durabilidade e são bastante bons, apesar do custo ser bastante elevado.

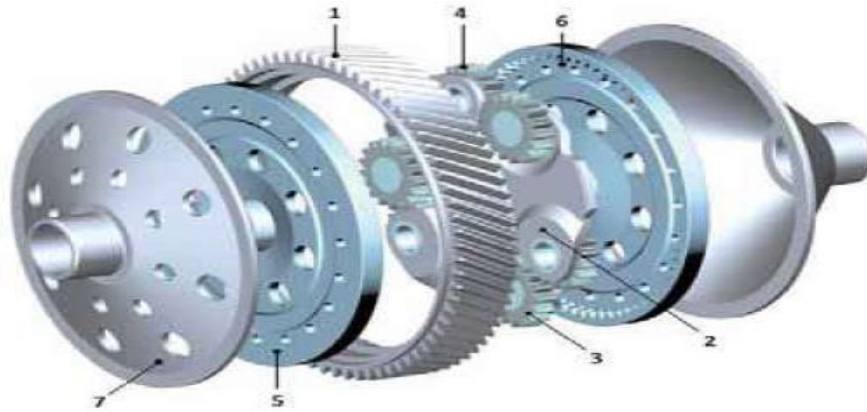


Figura 2.20 - Engrenagens de dentes retos do diferencial (FZG) [24]

## 2.6.6 - Diferencial bloqueante

É um sistema semelhante aos diferenciais abertos ou livres, tendo adicionalmente um mecanismo elétrico, pneumático ou hidráulico que bloqueia ambos os semi-eixos garantindo que estes giram à mesma velocidade. Normalmente é muito utilizado para veículos de todo terreno. [12].



Figura 2.21 - Diferencial bloqueante [25]

O Diferencial Bloqueante tem um componente mecânico incorporado que diminui a possibilidade de uma das rodas começar a patinar, ou seja, se uma das rodas motrizes começar a patinar, o bloqueio contraria o funcionamento normal de um diferencial, permitindo que a potência disponível seja retirada dessa roda e fornecida à roda com boa aderência.

O bloqueio do diferencial é imprescindível no uso normal, pois o diferencial pode ser um problema no uso fora da estrada. Se uma das rodas perder aderência com o solo ficando suspensa ou encaçada em um atoleiro, o diferencial “entenderá” que esta roda pode estar do lado de fora de uma curva e enviará mais binário para ela que oferece menor resistência. Com isto, deixará a outra roda, que ainda tem condições de tração, praticamente sem nenhum binário, paralisando o veículo. Nestas condições, o bloqueio de diferencial entra em ação. Composto de um sistema de engrenagens que iguala e direciona a força proveniente do eixo de transmissão para os dois semi-eixos, oferecendo deste modo binário equivalente para as duas rodas.

O bloqueio de diferencial funciona exatamente para fechar, ou seja, anular o funcionamento do diferencial, equilibrando o binário para ambos os semi-eixos e possibilitando que a roda que está em contacto com o solo também possa girar e mover o veículo. Com a explicação exposta acima, o diferencial é utilizado para auxiliar o veículo a realizar uma curva, sendo assim é importante deixar claro que o bloqueio do diferencial nunca deve ser usado em terrenos de aderência plena, como no asfalto em estradas de terra em boas condições [12].

Quanto ao seu funcionamento é constituído por um conjunto de discos acoplados a cada um dos semi-eixos. Estes discos são geralmente colocados num cilindro com líquido viscoso (óleo). Sempre que um semi-eixo gira mais depressa, arrasta consigo um fluido e o outro semi-eixo tenta igualar as velocidades.

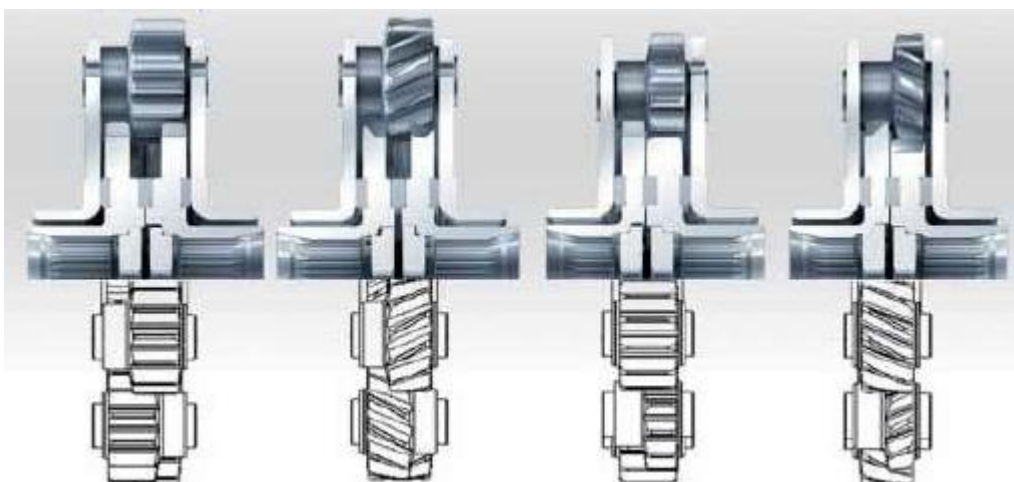


Figura 2.22- Comparação de engrenagens de dentes retos e helicoidal [26]

#### As vantagens são:

- Bom preço (baratos);
- Exigem pouca manutenção.

#### As desvantagens são:

- Um crescente bloqueio exponencial relativamente a diferença de velocidades nos semi-eixos e não progressivo;
- Um atraso no bloqueio induzido pelo tempo necessário para aumentar a viscosidade do fluido;
- Viscosidade diminui com o aumento da temperatura do fluido.

### 2.6.7 - Torsen

O Diferencial *torsen* (*torque sensing*) funciona como um aberto, até que se verifique uma perda de aderência de uma das rodas. Nesta ocasião, é possível transferir binário, do que o seu deslize é controlado.

Numa reta é sabido que as rodas vão a mesma velocidade, cada semi-eixo está ligado a uma engrenagem sem-fim (*worm-gear*) que engrenam nas rodas sem-fim (*worm-weels*).

É um sistema completamente mecânico (sem eletrónica, embraiagens ou fluidos viscosos), tem um comportamento semelhante aos diferenciais abertos ou livres quando o binário é uniformemente distribuído pelas rodas e também é utilizado em veículos de tração integral que exigem elevado desempenho.

Todos os diferenciais *Torsen* têm uma relação de binário que significa que consegue fornecer até cinco vezes mais binário á roda que tem melhor aderência. São normalmente utilizados para distribuir a potência entre o grupo de rodas dianteiro e traseiro (a semelhança do acoplamento viscosos). São mais eficazes que o acoplamento viscoso, pois transmite o binário para as rodas antes de ocorrer o deslizamento.

Quando as condições de má aderência surgem, nesse caso haverá uma roda que começará a patinar, mas como o movimento é comandado pela engrenagem sem-fim e não pela roda sem-fim, que por sua vez está em contacto com o veio em melhores condições de tração. O veio com menor rotação, devido à sua engrenagem de dentes retos em contacto com o seu semelhante, evita que o oposto deslize, porque a rotação das rodas de dentes retos terá de ser igual. Há então uma menor perda de energia na roda que patina, e o binário transmitido á roda da coroa incidirá no veio em melhores condições de tração.

O diferencial *torsen* dispõe de um sistema autoblocante, tal como foi descrito anteriormente. Na F1, as embraiagens do diferencial não são comandadas por sistemas mecânicos, mas por processos eletro-hidráulicos, permitindo assim uma programação do deslize de cada roda, em função das condições de aderência.

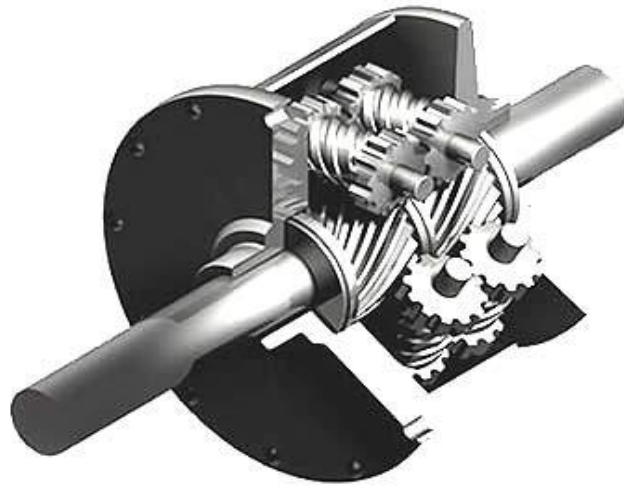


Figura 2.23 - Corte no diferencial torsen [27]

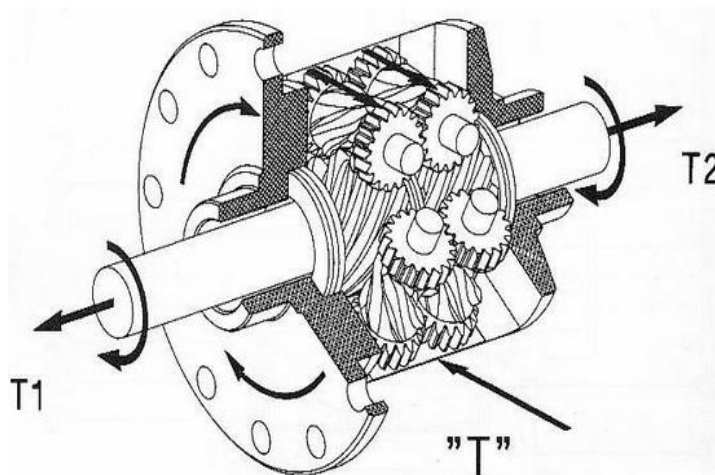


Figura 2.24- Interior do diferencial torsen [27]

As principais vantagens dos diferenciais *torsen* assentam em:

- Resposta instantânea;
- Progressividade de bloqueio relativamente à diferença de velocidades;
- Não bloqueia em travagem;
- Integra um sistema de bloqueio e um diferencial livre num só mecanismo;
- É compacto por ter poucos componentes;
- O seu desgaste é reduzido comparando com os outros diferenciais com sistemas de bloqueio por fricção.

As principais desvantagens dos diferenciais *torsen* são:

- O seu elevado preço;
- Geração de elevada quantidade de calor, que resulta em grande potência dissipada;

- Se uma roda perder completamente a tração, comportar-se-á como um diferencial aberto ou livre;
- Montagem extremamente difícil, apesar do número reduzido de componentes, só fornece uma possibilidade de montagem.

## 2.6.8- Schaeffler Symposium

O bloqueio progressivo com o aumento da potência normalmente é utilizado em competições. Os eixos de transmissão deste diferencial são utilizados na fórmula 1.

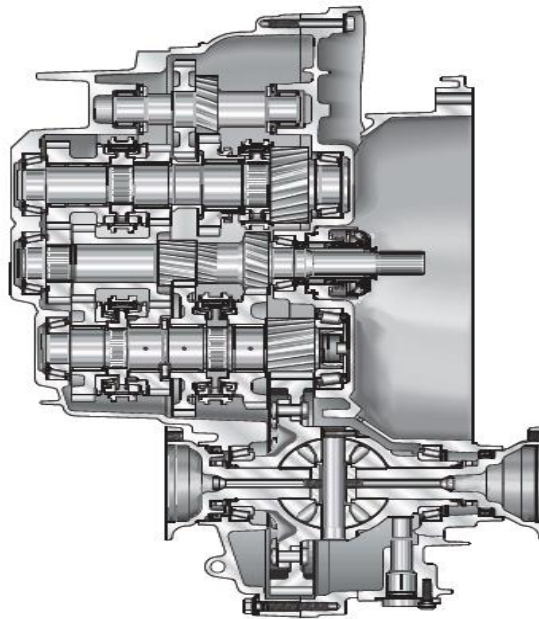


Figura 2.25 - Diferencial Schaeffler Symposium [28]



Figura 2.26 - Diferencial leve com habitação [28]

Com um diferencial normal durante o arranque ou na saída de uma curva, uma parte da potência é perdida através do deslizamento das rodas. Tal situação acontece quando o diferencial comum transfere a potência para a roda com menor aderência, pois é a que tem menor resistência a ser tracionada, perdendo a potência.

A capacidade de transferência de potência da unidade é aumentada ou diminuída através da variação da pressão das hélices e ângulos dos dentes das engrenagens e existe um bloqueio progressivo com o aumento da potência. O diferencial Schaeffler Symposium consegue transmitir de uma forma harmoniosa e constante sem nunca perder a tração numa das rodas, tentando equilibrar sempre a potência nas duas rodas.

Esta operação é automática e o diferencial Schaeffler Symposium faz com que o veículo consiga descrever as curvas com maior velocidade do que um diferencial normal. Este diferencial consegue colocar mais tração na roda de fora da curva, reduzindo o efeito de perda de tração na roda de dentro da curva, permitindo que o condutor consiga atingir uma velocidade superior na saída das curvas. O diferencial Schaeffler Symposium oferece o máximo de tração, ajuda a melhorar o manuseamento do veículo e permite colocar a potência onde é necessária na pista. É também bastante fiável, robusto e duradouro uma vez que não existem placas ou embraiagens como outros diferenciais que sofrem de desgaste rápido. Todos os diferenciais Schaeffler Symposium têm uma garantia vitalícia [12].

## 2.6.9 - Veio de Transmissão

O veio de transmissão tem a função básica de transmitir a energia gerada pelo motor para o diferencial, e por sua vez, o diferencial transfere esta energia recebida do eixo de transmissão para as rodas. Pode até parecer uma tarefa simples, porém não é nada fácil o seu movimento. Em terrenos irregulares, o eixo traseiro oscila muito e a força continua até chegar às rodas sem perda de potência.

O sistema de eixos é o conjunto de uma ou mais transmissões com recursos para movimento axial, que transmite binário e movimento numa relação angular fixa ou variável de um eixo para outro.



Figura 2.27 - Eixo traseiro de um kart, sem diferencial eixo único [29]



Figura 2.28 - Semi-eixos com duas juntas homocêntricas [29]

O semi-eixo é o elemento que une o diferencial a roda motriz. Para cada roda motriz, existe um semi-eixo. Normalmente é usado um eixo de transmissão que é um veio articulado, não apenas para transmitir tração às rodas direcionais, mas também para transmitir sempre que existir um curso de suspensão. Existem outros tipos de uniões entre os veios e os flanges que transmitem a potência à roda motriz. Portanto, há que ter em conta os vários desalinhamentos que possam existir entre os eixos. Estes desalinhamentos são: paralelo, angular, axial e torsional que darei maiores detalhes no ponto a seguir.

# Capítulo 3 - Cálculo da Relação de Transmissão

## 3.1 - Relação de transmissão de um trem de engrenagens

Neste caso, a partir da figura a baixo indicado teremos cálculo de relação de transmissão de um trem planetário entre a roda 2 de entrada e o braço fixo 1 de saída.

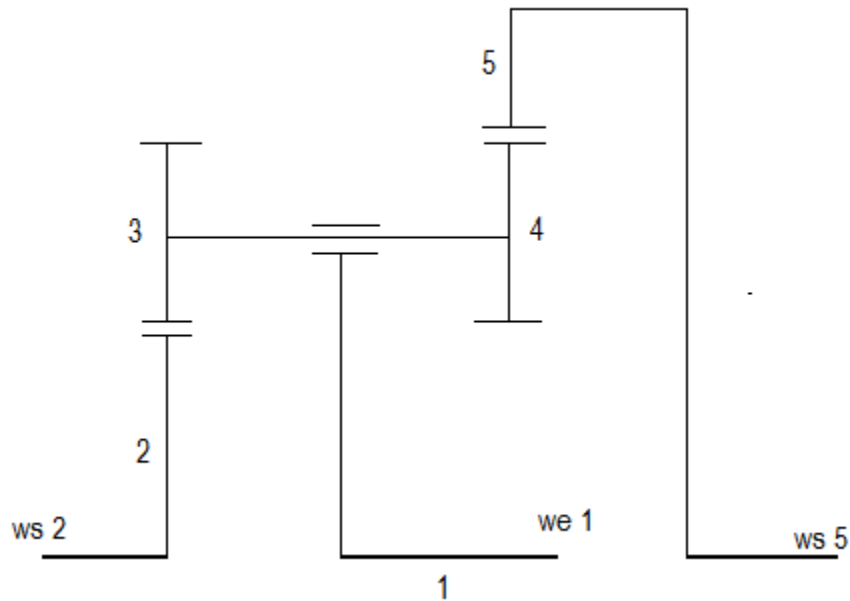


Figura 3.1 - Trem epicicloidial [Autor]

Considerando:

$$\omega_1 = 0 \quad (3.1)$$

Ou seja:

$$\omega_e = 0 \rightarrow \omega_2 = -\omega_5 \quad (3.2)$$

Como  $\omega_2 = -\omega_5$  são simétricos para obtermos o efeito diferencial.

Quando a efeito de diferencial que uma roda dianta e outra atrasa automaticamente na mesma quantidade então, para isso é preciso que quando a velocidade media é 0, o que uma atrasa e outra adianta para serem simétricos.

Teremos então:

$$\omega'_1 = 0 \rightarrow \omega'_2 * z_2 = -\omega'_3 * z_3 \quad (3.3)$$

Porque estão engrenadas uma na outra e o centro fixo.

$$\omega'_3 = \omega'_4 \quad (3.4)$$

Porque estão no mesmo veio então são iguais formam a mesma velocidade e a relação entre a roda 4 e 5 será:

$$\omega'_4 * z_4 = \omega'_5 * z_5 \quad (3.5)$$

Pois a roda a roda 5 é de dentado interno pelo que rodam no mesmo sentido.

Então, se:

$$\omega'_2 = -\omega'_5 \rightarrow \frac{\omega'_2}{\omega'_5} = -1 \rightarrow -\frac{z_3 * z_5}{z_2 * z_4} = -1 \rightarrow z_3 * z_5 = z_2 * z_4 \quad (3.6)$$

Considerando o modulo constante pela figura vemos que:

Módulo = constante  $\rightarrow z_2 + z_3 + z_4 = z_5$

$$z_2, z_4 \rightarrow z_3 = z_5 - z_2 - z_4 \quad (3.7)$$

Substituindo  $z_3$  em:

$$(z_3 = z_5 - z_2 - z_4) * z_5 = z_2 * z_4 \quad (3.8)$$

$$z_5^2 - (z_2 + z_4) * z_5 - z_2 * z_4 = 0$$

Chegamos a equação do 2º grau:

$$z_5 = \frac{(z_2 + z_4) \pm \sqrt{(z_2 + z_4)^2 + 4 * z_2 * z_4}}{2} \quad (3.9)$$

Na tabela 3.1 podemos observar os valores possíveis, de modo e a obedecer as equações, e obtermos valores inteiros e chegamos aos seguintes resultados:

Tabela 3.1- Resultados dos cálculos do dimensionamento de engrenagens

<b>Nº de dentes</b>	<b>Módulo</b>	<b>Diâmetro primitivo</b>
$Z_2 = 30$	1,5	45
$Z_3 = 10$	1,5	15
$Z_4 = 20$	1,5	30
$Z_5 = 60$	1.5	90

### 3.2 - Representação esquemática

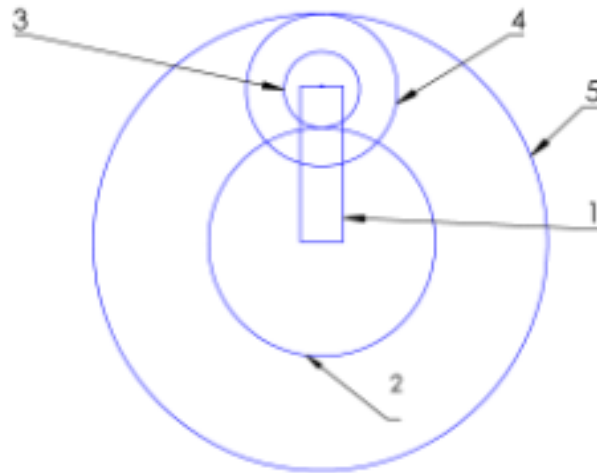


Figura 3.2- Vista principal do trem de engrenagens [Autor]

Considerando agora que o braço 1 se movimenta logo:

$$\omega_2 = \omega'_2 + \omega_1 \quad (3.10)$$

Á que referir-se à velocidade quando o braço esta parado e  $w$  refere-se à velocidade verdadeira da roda.

$$\omega_5 = \omega'_5 + \omega_1 \quad (3.11)$$

Somando a todo o conjunto  $\omega_1$  virá:

$$\omega_2 + \omega_1 = k (\omega'_5 + \omega_1) \quad (3.12)$$

$$\omega_2 - k * \omega'_5 = \omega_1(k - 1)$$

Como temos:

$$\omega_2 = k * \omega_5 \quad (3.13)$$

Sendo assim,  $k$  é a relação entre as velocidades das duas rodas.

Compreendemos que a relação de transmissão é ideal para um valor entre 1 e 6, então vamos utilizar o valor de  $i=2$  uma vez que a relação de transmissão é constante, para obtermos um maior binário no eixo traseiro.

$$i_{1.5} = \frac{\omega_1}{\omega_5} = \frac{\omega_1}{\omega_5 + \omega_1} \quad (3.14)$$

$$\omega_1 = \frac{1}{(k-1)} * (\omega_2 - k * \omega_5)$$

$$- \frac{1}{k-1} * \left( - \frac{z_3 * z_5}{z_2 * z_4} * \omega_5 - k * \omega_5 \right)$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_5}{k-1} * \left( - \frac{z_3 * z_5}{z_2 * z_4} - k \right)$$

$$\frac{1}{i_{1.5}} = \frac{\omega_5}{\omega_1} + 1 = \frac{\omega_5}{\frac{\omega_5}{k-1} * \left( - \frac{z_3 * z_5}{z_2 * z_4} - k \right)} \quad (3.15)$$

$$\frac{1}{i_{1.5}} = \frac{-(k-1)}{\frac{z_3 * z_5}{z_2 * z_4} + k} + 1$$

$$\frac{1}{i_{1.2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{\omega_1}{\omega_5}$$

$$\frac{1}{i_{1.2}} = \frac{1}{i_{1.5}} \quad (3.16)$$

$$\frac{z_3 * z_5}{z_2 * z_4} = \frac{10 * 60}{30 * 20} = 1$$

$$\frac{1}{i_{1.5}} = \frac{1-k}{1+k} + 1 = \frac{1-k+1+k}{1+k} \quad (3.17)$$

$$\frac{1}{i_{1.5}} = \frac{2}{1+k}$$

$$\frac{1}{i_{1.5}} = \frac{1+k}{2}$$

$$\frac{1}{i_{1.2}} = \frac{1+k}{2 * k}$$

$$\frac{1}{i_{1.2}} + \frac{1}{i_{1.5}} = \frac{2 * k}{2} + \frac{2 * (k+1)}{1+k} = 2$$

Depois de duas somadas teremos o valor de 2 porque mostra que é constante.

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} + \frac{\omega_5}{\omega_1} = 2 \quad (3.18)$$

Implica que:

$$\frac{\omega_2 + \omega_5}{2} = \omega_1 \quad (3.19)$$

Independentemente do k o que significa que, qualquer que seja a curvatura a relação média de transmissão se mantém.

### 3.2.1- Cálculo da engrenagem

### 3.2.2- Forças presentes

Antes de qualquer tipo de análise, é necessário atender as forças que estão envolvidas na roda, de forma a poder calcular de uma forma eficaz e eficiente.

A roda deve ter uma resistência suficiente para o esforço exigido do veículo durante a prova. Como é um planetário as forças vão dividir-se em três.

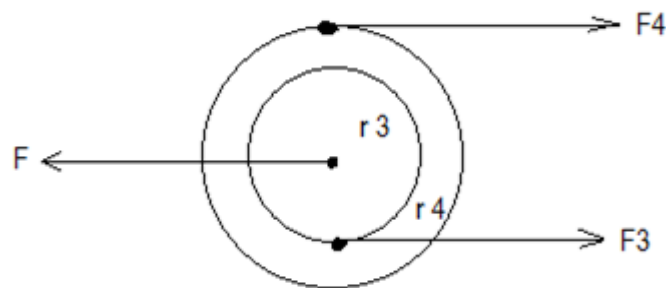


Figura 3.3- Diagrama de forças

com o diagrama de forças feito e as condições encontradas, pode-se dizer que a força normal no eixo de trás são dados por:

$$F_4 = \frac{r_3}{r_3 + r_4} * F \quad (3.20)$$

$$F_3 = \frac{r_4}{r_3 + r_4} * F \quad (3.21)$$

Após algumas estimativas, chegou-se a um consenso acerca dos seguintes valores:

$$b = 8 \text{ mm}$$

$$p = 1 \text{ mm}$$

Fizeram-se então os cálculos de momentos, de modo a obter as reações no eixo de trás.

$$\sum M = 0 \rightarrow F * r_3 - F_4 * (r_3 + r_4) = 0 \quad (3.22)$$

$$F_4 = \frac{r_3}{r_3 + r_4} * F$$

$$\sum M = 0 \rightarrow F * r_3 - F_3 * (r_3 + r_4) = 0 \quad (3.23)$$

$$F_3 = \frac{r_4}{r_3 + r_4} * F$$

O binário transmitido pelo motor como podemos ver a figura a baixo mostra a uma engrenagem ligada a uma corrente, onde teremos o binário máximo do motor que sai da redutora. O binário do motor é de 10.6 N.m, ao qual é acoplada a uma redutora e uma desmultiplicação pinhão/cremalheira de redução final 9.1.

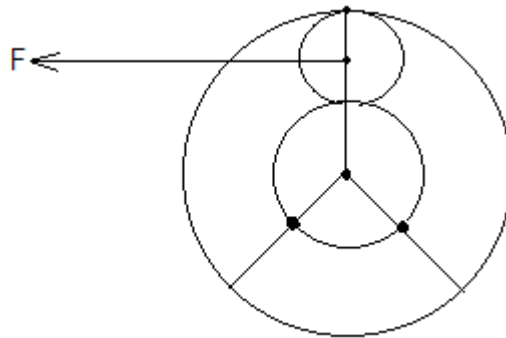


Figura 3.4- Engrenagem ligada a corrente

$$\text{Binário} = 2 \times \text{Binário máximo} \times i$$

$$\text{Binário} = 2 \times 10,6 \times 5$$

$$\text{Binário} = 106 \text{ N.m}$$

O binário é de 106 N.m é duas vezes maior do que o binário do motor como mostra nas características do motor em anexo 1.

### 3.2.3- Momento torsor

$$3 * F * (r_3 + r_4) = M_T \quad (3.23)$$

$$M_T = 9540 [N.m]$$

### 3.2.4- Relação de transmissão

$$i = \frac{z_2}{z_3} \quad (3.24)$$

$$i = \frac{30}{10}$$

$$i = 3$$

### 3.2.5- Pressão admissível do material ( $P_{adm}$ )

Fator de durabilidade (W)

$$W = \frac{60 * n * h}{10^6} \quad (3.25)$$

$$W = \frac{60 * 1140 * 60}{10^6}$$

$$W = 5.04$$

$$W^{0.166} = 5.04^{0.166}$$

$$W = 1.31 \text{ m}$$

### 3.2.6- Cálculo de pressão admissível

$$P_{adm} = \frac{0.487 * HB}{W} \quad (3.26)$$

A dureza especificada de 58 HRC corresponde a 6000 HB, ou seja, 6000 N/m<sup>2</sup>

$$P_{adm} = \frac{0.487 * 6000}{1.31}$$

$$P_{adm} = 2230.53 [N/mm^2]$$

$$P_{adm} = 2.230 * 10^3 [N/mm^2]$$

### 3.2.7- Fator de serviço ( $\varphi$ )

$$\varphi = 1.7$$

### 3.2.8- Módulo de engrenamento

$$m = 1.5$$

### 3.2.9- Força tangencial ( $F_T$ )

$$F_T = \frac{2 * M_T}{60} \quad (3.27)$$

$$F_T = \frac{2 * 9540}{60}$$

$$F_T = 318 [N]$$

### 3.2.10- Fator de forma ( $q$ )

Valor adimensional

$$q = 3.0835$$

### 3.2.11- Tensão máxima atuante no pé do dente

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{F_T * q * \varphi}{b * m} < \sigma_{adm} \quad (3.28)$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = \frac{318 * 3.0835 * 1.7}{8 * 1.5} < 170$$

$$\sigma_{m\acute{a}x} = 113 N/mm^2 < 170 N/mm^2$$

Como  $\sigma_{m\acute{a}x} = 113 N/mm^2 < 170 N/mm^2$  conclui-se que a engrenagem resiste aos esforços implementados. Logo a condição é fiável.

# Capítulo 4 - Resultados e Discussões

## 4.1 - Introdução

Neste capítulo fez-se uma abordagem sobre escolha da transmissão entre a polia motora e a polia movida. Então vamos ter uma distância entre eixos, e vamos ser obrigados a utilizar os elementos flexíveis, ficando a escolha limitada entre a corrente e correia, uma vez que a transmissão por cabos de aço não é a mais indicada, dada as suas características.

Por conseguinte podemos assim diminuir as escolhas possíveis e estamos em condições de comparar a corrente de rolos, a fim de fazer a melhor escolha. Para começar a fiabilidade da corrente é superior à fiabilidade da correia constituindo um indicador muito importante para o nosso veículo. A nível do ruído, a corrente é mais ruidosa do que a correia, porque é feita de materiais metálicos. Enquanto que a correia é feita de borracha, apenas tendo metal no seu interior. Sobre as correntes elas apresentam as seguintes características: elevada potência transmitida, a sua fiabilidade e a duração da vida útil.

## 4.2 - Esquema do trem de transmissão

Representação esquemática de um trem epicycloidal como mostra na (figura 4.1) que vai receber uma corrente e que vai transmitir para os dois veios transmissão.

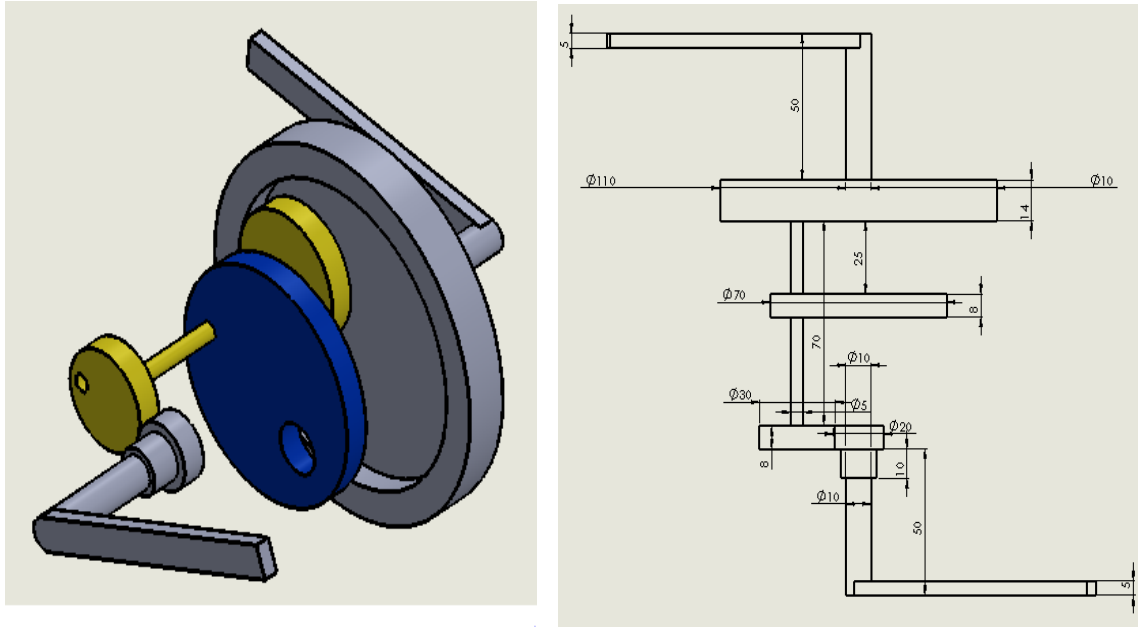


Figura 4.1 - Corte do trem de engrenagens no diferencial [Autor]

### 4.2.1 - Seleção de Transmissão

A seleção de uma transmissão por corrente de rolos consiste em definir os seguintes elementos:

- Passo da Corrente.
- Tipo de corrente (simples, dupla, tripla).
- Comprimento da corrente expresso em números de elos.
- Número de dentes das polias motora e movida.
- Entre - eixo.
- Tipo de lubrificação recomendada e de lubrificante.

Para tal é necessário saber os seguintes elementos:

- Potência transmitida.
- Velocidade de rotação das polias motora e movida.
- Condições de funcionamento: tipo de carga, máquinas motoras e movida.
- Valor aproximado da distância entre eixos.

#### 4.2.2 - Fator de serviço

Quando as condições de funcionamento são diferentes, a potência nominal a transmitir deve ser afetada de um fator de serviço  $K_s$ , determinado a partir da (tabela 4.2), que geralmente é incluída nos catálogos dos fabricantes para correntes com 15000 horas de funcionamento.

#### 4.2.3 - Fator de tipo de corrente

A utilização de correntes simples, duplas e triplas é fator a considerar através do fator  $K_1$ . Este fator toma os valores indicados na tabela 4.1 para os três tipos de correntes de rolos que se fabricam.

Tabela 4.1 -Fator do tipo de corrente  $K_1$

Corrente Simples	Corrente Dupla	Corrente Tripla
1	1,7	2,5

#### 4.2.4 - Determinação da Potência de projeto

A potência de projeto  $P_{proj}$  obtém-se multiplicando a potência nominal a transmitir, pelo fator de serviço  $K_s$ . Este fator surge em função dos tipos de máquinas motoras e movida das condições de serviço e de carga, efetuando-se a sua escolha a partir de tabelas normalmente incluídas nos catálogos dos fabricantes. De seguida é apresentado na (tabela 4.2) retirada de um catálogo, para a determinação do fator de serviço.

Tabela 4.2 - Fator de serviço  $K_s$  em transmissões por corrente

Máquina movida	Motor de combustão interna com acionamento hidráulico	Motor elétrico ou turbinado	Motor de combustão interna com acionamento mecânico
Máquina motora			
Suave	1.0	1.0	1.2
Moderno	1.2	1.3	1.4
Pesado	1.4	1.5	1.7

### 4.3- Dimensionamento da corrente entre polia motora e movida

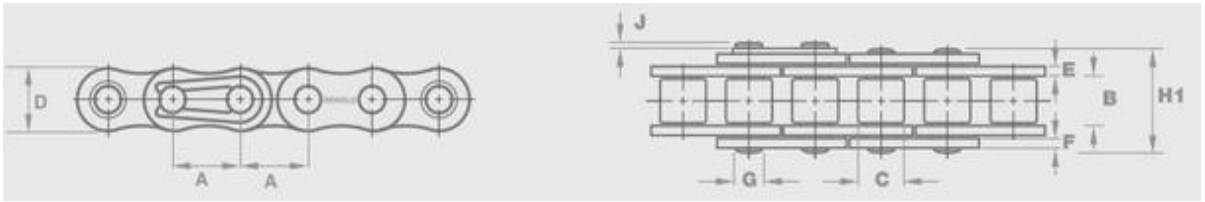


Figura 4.2- Corrente de rolo

#### 4.3.1- Potência da área projetada

$$P_{\text{Proj}} = K_s * P \quad (4.1)$$

$$P_{\text{Proj}} = 1,4 * 4,02$$

$$P_{\text{Proj}} = 5,6 \text{ hp}$$

Com o número de dentes:

$$\text{Diâmetro}_{\text{Rol}} = \frac{P}{\sin\left(\frac{180}{n}\right)} \quad (4.2)$$

Diâmetro exterior do pinhão

$$\text{Diâmetro}_{\text{pinh}} = P_x * \left[ 0.6 + \cot\left(\frac{180}{n}\right) \right] \quad (4.3)$$

Com o número de dentes conseguimos saber o ângulo entre os dentes da polia, basta dividir 360° pelo número de dentes da polia movida/motora.

$\gamma$ - Ângulo de articulação

$$\gamma = \frac{2*\pi}{z} = \frac{360}{z} \quad (4.4)$$

Polia Motora de 11 dentes

$$\gamma = \frac{360}{11} = 32.72^\circ$$

$$\text{Diâmetro}_{\text{Rol}} = \frac{8 \text{ mm}}{\sin\left(\frac{32,72}{11}\right)} = 28,40 \text{ mm}$$

Polia movida 56 dentes

$$\gamma = \frac{360}{56} = 6.4^\circ$$

$$\text{Diâmetro}_{\text{pihn}} = \frac{8 \text{ mm}}{\sin\left(\frac{6,4}{11}\right)} = 143,31 \text{ mm}$$

### 4.3.2 - Velocidade máxima da corrente [ $V_m$ ]

$$V_m = \frac{p * z_1 * n}{6000} \quad (4.5)$$

$$V_m = \frac{8 * 11 * 1800}{60000}$$

$$V_m = 2,64 \text{ [m/s]}$$

Em que:

$$p = 8 \text{ [mm]}$$

$$z_1 = 11 \text{ [dentes]}$$

$$n = 1800 \text{ [rpm]}$$

### 4.3.3 - Comprimento da corrente [ $L_p$ ]

Para a especificação completa da corrente resta determinar os números de elos adequados. Isto é calculado com base na equação abaixo:

$$L_p = \frac{(z_1 + z_2)}{2} + \frac{2 * c}{p} + \frac{(z_1 + z_2)^2 * p}{4 * \pi^2 * c} \quad (4.6)$$

Onde:

$z_1$  e  $z_2$  – números de dentes do pinhão e da coroa

$\frac{L}{p}$  – número de elos da corrente

$c$  – distância entre centros

Com:

$$C = 300 \text{ [mm]}$$

$$p = 8 \text{ [mm]}$$

$$z_1 = 11 \text{ [dentes]}$$

$$z_2 = 56 \text{ [dentes]}$$

Então:

$$L_p = \frac{(11 + 56)}{2} + \frac{2 * 300}{8} + \frac{(11 + 56)^2 * 8}{4 * \pi^2 * 300}$$

$$L_p = 111,53 \text{ elos}$$

Como temos de utilizar um número de elos inteiro, próximo e de preferência par então vamos utilizar 112 elos e vamos ter de corrigir a distância entre eixos.

$$112 = \frac{(11 + 56)}{2} + \frac{2 * c}{8} + \frac{(11 + 56)^2 * 8}{4 * \pi^2 * c}$$

$$c = 301,94$$

#### 4.3.4 - Força útil [ $T_u$ ]

$$T_u = \frac{P}{v_m} \quad (4.7)$$

Em que:

$$P = 3 \text{ KW} = 3000 \text{ [W]}$$

$$v_m = 2,64 \text{ [m/s]}$$

Então:

$$T_u = \frac{3000}{2.64} = 1136,36 \text{ [N]}$$

### 4.3.5 - Força centrífuga [ $F_c$ ]

$$F_c = \frac{q * V_m^2}{g} \quad (4.9)$$

Sabemos que 100 elos pesam 1,91 kg. Sabemos também que o passo da corrente é de 8 mm então 100 elos tem  $100 * 8 = 800 [mm] = 0.8 m$

Logo:

Usamos sistema de três simples para acharmos q- Peso por unidade de comprimento [Kgf/m].

$$8 [m] \text{-----} 1,97 \text{ Kg}$$

$$1 [m] \text{-----} x$$

$$x = 0,2462 [Kg/m]$$

$$q = 0,2462 [Kg/m]$$

Então:

$$F_c = \frac{0,24625 * 2.64^2}{9.81}$$

$$F_c = 0,1749 [N]$$

### 4.3.6 - Força de Catenária

Como não temos a  $f$ - flecha então calculamos a partir desta fórmula:

$$f = \sqrt{0.5 * c * (L_r * p - L * p)} \quad (4.10)$$

$$f = \sqrt{0,5 * 300 * (112 * 8 - 111,53 * 8)}$$

$$f = 15,52 [mm]$$

Agora já estamos em condições de calcularmos a força catenária

$$T_{cat} = \frac{q * C^2}{8000 * f} * \frac{q * f}{2000} \quad (4.11)$$

$$T_{cat} = \frac{0,24625 * 300^2}{8000 * 15,52} + \frac{0,24625 * 15,52}{2000}$$

$$T_{cat} = 7,919 \text{ [N]}$$

#### 4.3.7 - Esforços nos veios [ $M_t$ ]

$$M_t = \frac{P}{V_m} * \frac{d}{2} \quad (4.12)$$

Em que:

$$P = 3000 \text{ [W]}$$

$$V_m = 2,64 \text{ [m/s]}$$

$d = 26 \text{ [mm]}$  diâmetro do veio do pinhão

Então:

$$M_t = \frac{3000}{2,64} * \frac{26 * 10^{-3}}{2}$$

$$M_t = 14,772 \text{ [N * m]}$$

#### 4.3.8 - Somatório das forças

$$\sum T_U + F_C + T_C < \text{Tensão de cedência} \quad (4.13)$$

$$\sum 1136,36 + 0,1749 + 7,919 < 4400$$

$$\sum 1144,45 \text{ [N]} < 4400 \text{ [N]}$$

Após a análise dos casos anteriores fez-se o somatório de todas as forças que envolvem na corrente chegou-se à seguinte conclusão que a tensão de cedência do material imposta pelo fabricante resiste as cargas da corrente.

### 4.3.9 - Fabricante Renold Technology Chain

Este fabricante no catálogo na tabela a baixo apresenta a tensão do material da corrente e o passo deste. Tem uma corrente que é eficaz, sendo a corrente económica a escolha para execução do nosso projeto. Todavia as correntes têm as mesmas particularidades, em termos de passo, largura, diâmetro do pino e comprimento do pino e espessura dos elos. As diferenças consistem na tensão máxima calculada e a tensão do material para ver se a corrente resiste a potência a transmitir. Este fabricante proporciona todas as informações de correntes [29].

### 4.3.10 - Escolha da Corrente

Sabemos que a tensão máxima transmitida pela polia motora é de 3000 [W] que corresponde a 4,02 [hp] e a tensão de cedência do material é de 4400 [N]. Desta vamos analisar o passo e a tensão de cedência do material dos vários tipos de corrente. No nosso caso, a corrente adequada a tensão pretendida e com boa resistência é a corrente “05B-1” que é a mais fiável, no entanto é a que garante a melhor tensão sem partir.

Tabela 4.3- Renold Technology Chain

Chain Ref.	Technical Details (mm)															Weight
ISO Ref.	Pitch (inch)	Pitch (mm)	Inside Width	Roller Diam.	Plate Height	Plate Width Inner	Plate Width Outer	Pin Diam.	Pin Length	Conn. Link Extension	Transverse Pitch	Chain Track	Chain Track	Bearing Area	ISO606 Tensile Strength (Newtons)	Weight
			MIN	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	MAX	mm <sup>2</sup>	MIN	kg/m
<b>European (BS) Standard - Simplex</b>																
	A	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M			
05B-1	0.315	8.000	3.00	5.00	7.11	0.76	0.76	2.31	8.6	1.5	-	8.1	4.7	11	4400	0.18
06B-1	0.375	9.525	5.72	6.35	8.20	1.29	1.04	3.28	12.5	1.3	-	11.1	7.4	28	8900	0.39
08B-1	0.500	12.700	7.75	8.51	11.70	1.55	1.55	4.45	16.5	2.0	-	13.6	9.4	50	17800	0.70
10B-1	0.625	15.875	9.65	10.16	14.60	1.55	1.55	5.08	18.8	2.5	-	14.8	10.3	68	22200	0.96
12B-1	0.750	19.050	11.68	12.07	16.00	1.81	1.81	5.72	21.9	2.6	-	17.6	12.5	89	28900	1.22
16B-1	1.000	25.400	17.02	15.88	21.08	4.12	3.10	8.28	34.9	2.2	-	25.8	19.9	207	60000	2.80
20B-1	1.250	31.750	19.56	19.05	26.42	4.62	3.61	10.19	39.8	2.7	-	30.5	23.8	290	95000	3.85
24B-1	1.500	38.100	25.40	25.40	33.40	6.10	5.08	14.63	52.6	6.8	-	36.6	29.4	548	160000	7.45
28B-1	1.750	44.450	30.99	27.94	37.08	7.62	6.35	15.90	64.2	6.8	-	44.0	35.8	735	200000	9.35
32B-1	2.000	50.800	30.99	29.21	42.29	7.11	6.35	17.81	63.4	8.0	-	45.8	37.1	806	250000	10.10
40B-1	2.500	63.500	39.30	39.37	52.96	8.13	8.13	22.89	78.2	9.5	-	56.7	45.4	1271	355000	16.50

### 4.3.11 - Rolamentos

Para tornar o automóvel mais competitivo e alcançar bons resultados é necessário minimizar as forças de atrito do rolamento do veículo em movimento e a força de resistência aerodinâmica.

Os veios das rodas já estavam projetados e testados, no que concerne as medidas internas dos rolamentos, que foram estabelecidos pelos fabricantes dos mesmos.

A dimensão dos veios é variável, sendo que a parte interna da roda, a secção do veio é de 15 mm e na parte externa a medida é de 12 mm.

Esta ferramenta de cálculo permite-nos fazer a verificação dos rolamentos disponível no website da SKF, foram escolhidos os rolamentos.

Nesta tabela 4.4 podemos observar os seguintes valores possíveis para a verificação das principais características dos rolamentos selecionados [30].

Tabela 4.4 - Características dos rolamentos

D (mm)	d (mm)	B (mm)	C (KN)	C <sub>0</sub>	P <sub>U</sub> (KN)	Massa (kg)	V (r.p.m)	Ref.
26	10	8	4,55	1,95	0,30	0.019	31000	6000-2RS
28	12	8	5,10	2,70	2,40	0,022	27000	6001-Z
32	15	9	8,10	3,45	0,30	0,030	23000	6002-Z
32	12	10	6,80	3,0	0,60	0,027	22000	6201-2RS

A vida útil nominal é baseada num modelo estatístico com 90% de confiabilidade, no qual é definido como o número total de revoluções que podem alcançar ou superar em 90% de um grupo de rolamentos idênticos sujeitos às mesmas condições de operação, antes que ocorra o descascamento devido a fadiga do material. Para que os rolamentos trabalhem em rotações constantes, a vida básica nominal (90% de confiabilidade) é expressa pelo número total de horas de operação.

Ao analisar os resultados do Software da SKF, disponível no site deles, podemos concluir que o rolamento tem uma vida nominal ajustada de 240 milhões de revoluções para uma fiabilidade de 90%.

Portanto, pode-se dizer ainda que os rolamentos têm um ciclo de vida útil de aproximadamente 2400 h.

## Capítulo 5 - Considerações finais

De tudo dito, olhando na análise mais abrangente do autor, este trabalho revelou ser um grande desafio e simultaneamente, um trabalho bastante enriquecedor na medida em que proporcionou um contacto aprofundado com várias áreas técnicas relativas a sistemas de órgãos mecânicos.

No entanto, como entidade autônoma, o novo diferencial tem menor rigidez comparação com um diferencial de engrenagem cônica, porque permitiu que a Schaeffler para redesenhar o sistema completo de transmissão, incluindo os rolamentos e o alojamento diferencial. A rigidez geral do sistema completo é, na verdade, maior, com o resultado de que a montagem completa produz menos ruído. A Schaeffler está construindo protótipos de simetria diferenciais assimétricos para vários fabricantes de automóveis.

Como  $\sigma_{máx} < \sigma_{adm}$  conclui-se que a engrenagem resiste a tração dos esforços implementados. Logo a condição é fiável as nossas condições de trabalho. Nos rolamentos, a escolha estava limitada pelo diferencial, pois apenas quatro dos rolamentos fabricados pelo fabricante *SKF*, apresentam o requisito do projeto, que era um dos diâmetros externos do diferencial onde o rolamento vai encaixar. Foi feito um estudo da vida nominal ajustada para os rolamentos e segundo o fabricante e o software disponível na página deste. Os nossos rolamentos têm uma vida nominal ajustada de 240 milhões de revoluções para uma fiabilidade de 90%.

Para minimizar o consumo de combustível, a estratégia em prova passou por utilizar essencialmente a inércia do veículo para o manter em movimento com uma velocidade constante, efetuando-se ligações do motor com a duração de quatro a seis segundos para que se possa energia sob a forma de energia cinética aumentar a velocidade do veículo.

Este fator de segurança utilizado de 1,4 é em função do tipo de máquinas motora e movidas segundo as condições de serviço e de carga, uma vez que este fator fez redimensionar muitas vezes as peças até obter uma solução válida. No entanto, é um fator utilizado em normas de segurança de projeto.

## 5.1 - Trabalhos futuros

O estudo apresentado teve como objetivo apresentar um diferencial de transmissão a fim de demonstrar a efetividade do mesmo para que o mercado consumidor seja melhor atendido no segmento popular de veículos da Shell.

Nenhum trabalho científico de cariz como este esgota por aqui. com isso, considera-se esgotado o estudo científico e técnico que sobre ela se possa fazer. Assim sendo, para os futuros investigadores deixamos algumas linhas de investigação a serem exploradas com os seguintes tópicos:

- Construção do protótipo com material mais frágil.
- Melhorar o consumo específico do combustível.
- Fabricação deste mesmo diferencial no laboratório.
- Determinação do sistema de controlo e dos parâmetros dos mesmos.

## Referências bibliográficas

- [1] Shigley, J.R., *Mechanical Engineering Design*, McGraw-Hill, Seventh Edition
- [2] Hamrock, B.J. Jacobson, B. Schmid, S.R. *Fundamentals of Machine Elements*. McGraw-Hill. 1999.
- [3] Juvinall, Robert C. and Marshek, Kurt M., *Fundamentals of Mechine Component Design*,5th Edition Wiley, 2012.
- [4] Niemann, G., *Elementos de Máquinas*, Editora Efgard Blucher Lda., São Paulo, 1986
- [5] Moura Branco, C. Martins, J. Domingos da Costa, J. Silva Ribeiro, A. *Projeto de Órgão de Máquinas*. Fundação Calousto Gulbenkian,2005.
- [6] Faria, L. *Folhas de Órgão de Máquinas*. Instituto Superior Tecnico.1959.
- [7] Beer Johnston, Dewolf Mazurek, *Mecânica dos Matérias*, McGraw-Hill, Seventh Edition
- [8] Melconian, Sarkis, *Elementos de Máquinas*, Editora Érica Ltda, 2004
- [9] Richard g. Budynas, J. Keith Nisbertt, *Elementos de Máquinas de Shigley*, McGraw-Hill, 8th Edição.

## Lista de websites consultados

[10] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Diferencial>

On-line em 15/02/2018

[11] [http://honda.webcindario.com/varios-diferencial\\_schaeffler.htm](http://honda.webcindario.com/varios-diferencial_schaeffler.htm)

On-line em 16/03/200

[12] [http://en.wikipedia.org/wiki/Differential\\_schaeffler\\_%28mechanics%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Differential_schaeffler_%28mechanics%29)

On-line a 25/03/2018

[13] <https://pt.scribd.com/document/257527007/Cap-6-Engrenagens>

On-line a 25/03/2018

[14] <http://eng-cleitonchaves.blogspot.pt/2015/03/engrenagem-cilindrica-de-dentes-retos.html>

On-line a 25/03/2018

[15] <https://Engrenagens+cilíndricas+de+dentes+helicoidais&oq=Engrenagens+cilíndricas>.

On-line a 25/03/2018

[16] <https://www.google.com.br/search?biw=Engrenagens+cónicas+de+dentes+retos>.

On-line a 25/03/2018

[17] <https://www.google.com.br/search?q=Engrenagem+Parafuso+Sem-Fim>

On-line a 25/03/2018

[18] <https://www.google.com.br/search?biw=1366&bih=Transmissão+por+correia+%28plana>.

On-line a 25/03/2018

[19] <https://www.google.com.br/search?q=Corte+transversal+de+uma+correia+trapezoidal>.

On-line a 25/03/2018

[20] <https://www.google.com.br/Exemplo+de+uma+aplicação+de+uma+correia+dentada>.

On-line a 25/03/2018

- [21] <https://www.google.com.br/search?q=Desenhos+de+uma+corrente+de+dentes&source>.  
On-line a 25/03/2018
- [22] <https://www.google.com.br/search?=Comportamento+do+diferencial+com+boa+ader%C3>  
On-line a 25/03/2018
- [23] <https://www.google.com.br/search?q=Diferencial+de+tra%C3%A7%C3%A3o+dianteira>.  
On-line a 25/03/2018
- [24] [https://www.google.com.br/Engrenagens de dentes retos do diferencial \(FZG\)&source](https://www.google.com.br/Engrenagens+de+dentes+retos+do+diferencial+(FZG)&source)  
On-line a 25/03/2018
- [25] <https://www.google.com.br/search?q=Diferencial+Blocante&source=lnms&tbm>  
On-line a 25/03/2018
- [26] [https://www.google.com.br/Engrenagens de dentes retos apresentado em corte](https://www.google.com.br/Engrenagens+de+dentes+retos+apresentado+em+corte).  
On-line a 25/03/2018
- [27] <https://www.google.com.br/search?q=Corte+no+diferencial+Torsen&tbm>  
On-line a 25/03/2018
- [28] [https://www.google.com.br. Diferencial Schaeffler Symposium](https://www.google.com.br/Diferencial+Schaeffler+Symposium)  
On-line a 25/03/2018
- [29] [http:// http://www.who-sells-it.com/images/catalogs/720/pdf\\_454.pdf](http://http://www.who-sells-it.com/images/catalogs/720/pdf_454.pdf)  
On-line em 24/07/2018
- [30] [https://www.astbearings.com/catalog.html?cid=ball\\_bearings](https://www.astbearings.com/catalog.html?cid=ball_bearings)  
On-line a 25/07/2018
- [31] [http://www.SHELL.com/global/environment-society/ecomarathon/for participants/rule](http://www.SHELL.com/global/environment-society/ecomarathon/for+participants/rule).  
On-line a 02/05/2018
- [32] <https://www.google.com.br/search?motor+honda+gx+160&oq=motor+honda>  
On-line a 027/05/2018

## Anexo A.1

O anexo A1 ilustra o motor Honda GX-160.

### Honda GX-160



Figura: Honda Gx160

### Ficha técnica do motor Honda GX-160

#### **Motor:**

Arrefecimento: Ventilador.

Combustível: gasolina.

Diâmetro x Curso 67 x 42,5 mm.

Cilindrada: 162 cm<sup>3</sup>.

Taxa de compressão 5:1.

Alimentação: Injeção eletrónica de combustível.

Potência máxima: 3 Kw/ 3600 r.p.m.

#### **Sistema de Transmissão:**

Embraiagem: Automático - disco com molas.

Funcionamento da embraiagem: Acionamento centrífugo.

Tipo de transmissão: 1 velocidades com redutor 2:1