

**UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS**  
**ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA**  
**CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

**CAIK GABRIEL CAVALCANTE SOARES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TRANSMISSÕES AUTOMOTIVAS**  
**AUTOMÁTICAS E MANUAIS**

**MANAUS**

**2021**

**CAIK GABRIEL CAVALCANTE SOARES**

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TRANSMISSÕES AUTOMOTIVAS  
AUTOMÁTICAS E MANUAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso 1 apresentado como requisito para à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

**ORIENTADOR: PROF. DR. GILBERTO GARCIA DEL PINO**

**MANAUS**

**2021**

## FICHA CATALOGRÁFICA

C133 SOARES, Caik Gabriel Cavalcante  
Estudo comparativo entre transmissões automotivas  
automáticas e manuais / Caik Gabriel Cavalcante  
SOARES. Manaus : [s.n], 2021.  
70 f.: il.; 7 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -  
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.  
Inclui bibliografia  
Orientador: Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Pino

1. Transmissões Automotivas. 2. Automobilismo . 3.  
Desempenho Veicular. I. Prof. Dr. Gilberto Garcia Del  
Pino (Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas.  
III. Estudo comparativo entre transmissões automotivas  
automáticas e manuais

CAIK GABRIEL CAVALCANTE SOARES

**ESTUDO COMPARATIVO ENTRE TRANSMISSÕES AUTOMOTIVAS  
AUTOMÁTICAS E MANUAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso 1 apresentado como requisito para à obtenção do título de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas (UEA).

Manaus, 15 de julho de 2021.

Banca examinadora:



---

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Pino  
UEA – Universidade do Estado do Amazonas



---

Avaliador: Prof. Dr. Antônio Claudio Kieling  
UEA – Universidade do Estado do Amazonas



---

Avaliador: Prof. Arlindo Pires Lopes, Ph.D.  
UEA – Universidade do Estado do Amazonas

*Dedico este trabalho de conclusão de curso a Deus, merecedor de toda honra e glória. Á minha família e amigos que me apoiaram nessa jornada.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, autor da vida, criador dos céus e da terra, dono de todo o conhecimento e sabedoria.

Á minha família, meu pai Ângelo Soares, minha mãe Verônica de Souza e meu irmão Caio César Soares. Pelo o apoio e orações pela minha vida

Ao meu orientador Prof. Dr. Gilberto Garcia Pino. Que aceitou o desafio de me orientar, por todo auxilio e conhecimentos transmitido durante a graduação por meio de todas as disciplinas ministradas.

Á Universidade do Estado do Amazonas pela a oportunidade de curso de graduação.

Aos todos os amigos que conheci na faculdade.

Aos meus irmãos em Cristo e ao grupo Familiar Perseverança.

*“Ora, ao Rei dos séculos, imortal, invisível, ao único Deus, seja honra e glória para todo o sempre. Amém”.*

*(1 Timóteo 1:17)*

## RESUMO

O mercado automobilístico vem intensificando a criação e a aplicação de novas tecnologias veiculares. Nesse sentido, entre os elementos que sofreram notável evolução, destacam-se as transmissões automotivas, que são objetos fundamentais na dinâmica veicular, pois contribuem para o deslocamento do automóvel e, além disso, são ofertadas no mercado nas mais diversas variações. Diante disso, o objetivo deste trabalho é elaborar uma análise técnica e comparativa entre os principais modelos de transmissões presentes no mercado: automática e manual. Primeiramente, será realizada uma comparação em relação à parte mecânica, estudando, dessa forma, os principais cálculos associados ao desempenho de modelos equipados com esses mecanismos. Para isso, será selecionado um veículo de mercado que possui oferta em versões com ambas as transmissões. Além disso, será realizada uma análise econômica que objetiva relacionar aspectos que englobam durabilidade, manutenção e consumo entre esses componentes.

**Palavras-chave:** Transmissão Veicular, Indústria Automobilística, Desempenho Automotivo.

## **ABSTRACT**

The automobile market has been intensifying the creation and application of new vehicle technologies. In this sense, among the elements that have undergone notable evolution, automotive transmissions stand out, which are fundamental objects in vehicular dynamics, as they contribute to the displacement of the automobile and, in addition, are offered in the market in the most diverse variations. Therefore, the objective of this work is to elaborate a technical and comparative analysis between the main transmission models present in the market: automatic and manual. First, a comparison will be made in relation to the mechanical part, studying, the main calculations associated with the performance of models equipped with these mechanisms. For this, a market vehicle will be selected that has an offer in versions with both transmissions. In addition, an economic analysis will be carried out that aims to relate aspects that include durability, maintenance and consumption among these components.

**Keywords:** Veicular Transmission, Auto Industry, Automotive Performance.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1. Sistema de Transmissão Logitudinal .....                   | 22 |
| Figura 2. Esquema de uma transmissão transversal .....               | 23 |
| Figura 3. Esquema de um sistema de transmissão automotivo .....      | 24 |
| Figura 4. Câmbio Manual .....  | 25 |
| Figura 5. Esquema de um conjunto embreagem .....                     | 26 |
| Figura 6. Esquema de uma caixa de velocidades manual .....           | 27 |
| Figura 7. Caixa de velocidades automática.....                       | 28 |
| Figura 8. Gráfico multiplicação por relação .....                    | 29 |
| Figura 9. Esquema de um conversor de torque .....                    | 30 |
| Figura 10. Composição de um sistema planetário.....                  | 30 |
| Figura 11. Conjunto polia-correia .....                              | 32 |
| Figura 12. Eixo articulado de transmissão .....                      | 33 |
| Figura 13. Diferencial veicular.....                                 | 34 |
| Figura 14. Configuração de um semieixo .....                         | 35 |
| Figura 15. Gráfico de Pressão Média Efetiva .....                    | 44 |
| Figura 16. Trocas de marcha para melhor consumo de combustível ..... | 45 |
| Figura 17. Gráfico de desempenho para o melhor torque.....           | 48 |
| Figura 18. Gráfico de desempenho para o melhor consumo .....         | 50 |
| Figura 19. Gráfico comparativo entre as razões de transmissão .....  | 56 |
| Figura 20. Gráfico de comparação de consumo entre os modelos.....    | 57 |
| Figura 21. Evolução do consumo de combustível.....                   | 58 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1. Especificações Técnicas do Veículo .....                                | 38 |
| Tabela 2. Relação de Transmissão de Marchas .....                                 | 39 |
| Tabela 3. Velocidade (em Km/H) por rotação do Modelo Manual.....                  | 40 |
| Tabela 4. Velocidade (em Km/H) por rotação do Modelo Automático .....             | 40 |
| Tabela 5. Dados de desempenho do modelo .....                                     | 41 |
| Tabela 6. Velocidade do veículo manual para o melhor desempenho .....             | 42 |
| Tabela 7. Velocidade do veículo manual para o melhor desempenho .....             | 42 |
| Tabela 8. Velocidade do modelo manual para melhor consumo .....                   | 46 |
| Tabela 9. Velocidade do modelo automático para melhor consumo .....               | 47 |
| Tabela 10. Pontos positivos e negativos de desempenho do veículo automático ..... | 52 |
| Tabela 11. Pontos positivos e negativos de desempenho veículo manual.....         | 52 |
| Tabela 12. Relação de ratio´s spreads para o modelo.....                          | 55 |
| Tabela 13. Preço de compra e venda dos modelos automáticos e manuais .....        | 59 |
| Tabela 14. Períodos de troca para veículos automáticos .....                      | 62 |
| Tabela 15. Períodos de troca para veículos manuais .....                          | 63 |
| Tabela 16. Números de manutenção do modelo automático por cenário .....           | 63 |
| Tabela 17. Números de manutenção do modelo manual por cenário.....                | 63 |
| Tabela 18. Estimativas de custos de manutenção para modelo automático .....       | 64 |
| Tabela 19. Estimativas de custos de manutenção para modelo manual .....           | 64 |

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

|                |   |
|----------------|---|
| <b>ANP</b>     | Agência Nacional de Petróleo                                |
| <b>API</b>     | Instituto Americano de Petróleo                             |
| <b>APTTA</b>   | Associação Brasileira de Técnicos em Transmissão Automática |
| <b>DNIT</b>    | Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes      |
| <b>DOE</b>     | Departamento de Energia dos Estados Unidos                  |
| <b>FIPE</b>    | Fundação Instituto de Pesquisa Econômica                    |
| <b>INMETRO</b> | Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia    |
| <b>SAE</b>     | Sociedade Automotiva dos Engenheiros                        |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                    | <b>15</b> |
| 1.1. DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS E HIPÓTESES.....                 | 16        |
| <b>1.1.1. Hipóteses .....</b>                                 | <b>16</b> |
| 1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA.....                                 | 16        |
| 1.3. OBJETIVOS .....  | 16        |
| <b>1.1.2. Objetivo Geral .....</b>                            | <b>16</b> |
| <b>1.1.3. Objetivos Específicos .....</b>                     | <b>16</b> |
| 1.4. JUSTIFICATIVA.....                                       | 17        |
| <b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                         | <b>19</b> |
| 2.1. GRANDEZAS FÍSICAS .....                                  | 19        |
| <b>2.1.1. Torque.....</b>                                     | <b>19</b> |
| <b>2.1.2. Relação de Transmissão .....</b>                    | <b>19</b> |
| <b>2.1.3. Potência e Rendimento .....</b>                     | <b>21</b> |
| 2.2. TRANSMISSÕES AUTOMOTIVAS.....                            | 21        |
| <b>2.2.1. Histórico das Transmissões Automotivas. ....</b>    | <b>21</b> |
| <b>2.2.2. Tipos de Transmissão. ....</b>                      | <b>22</b> |
| 2.2.2.1. <i>Configuração Longitudinal e Transversal .....</i> | <i>22</i> |
| <b>2.2.3. Componentes de Uma Transmissão. ....</b>            | <b>23</b> |
| <b>2.2.4. Caixa de Velocidades Manual .....</b>               | <b>24</b> |
| 2.2.4.1. <i>Embreagem.....</i>                                | <i>25</i> |
| 2.2.4.2. <i>Eixos e engrenagens .....</i>                     | <i>26</i> |
| <b>2.2.5. Caixa de velocidades automática.....</b>            | <b>27</b> |
| 2.2.5.1. <i>Conversor de torque .....</i>                     | <i>28</i> |
| 2.2.5.2. <i>Sistemas planetários .....</i>                    | <i>30</i> |
| 2.2.5.3. <i>Transmissão continuamente variável .....</i>      | <i>31</i> |
| 2.2.5.4. <i>Comando do câmbio .....</i>                       | <i>32</i> |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 2.2.6.    | Eixo de transmissão articulado .....          | 33        |
| 2.2.7.    | Diferencial e Semieixo.....                   | 34        |
| <b>3.</b> | <b>METODOLOGIA.....</b>                       | <b>36</b> |
| 3.1.      | MÉTODO .....                                  | 36        |
| 3.2.      | TÉCNICA.....                                  | 36        |
| 3.3.      | PROCEDIMENTOS .....                           | 36        |
| <b>4.</b> | <b>DESENVOLVIMENTO .....</b>                  | <b>38</b> |
| 4.1.      | DESEMPENHO.....                               | 38        |
| 4.1.1.    | Desempenho para o Melhor Torque .....         | 41        |
| 4.1.2.    | Desempenho para o Melhor Consumo .....        | 43        |
| 4.1.2.1.  | <i>Pressão Média Efetiva .....</i>            | <i>43</i> |
| 4.1.2.2.  | <i>Cálculo para melhor desempenho .....</i>   | <i>45</i> |
| 4.1.3.    | Análise de Resultados .....                   | 47        |
| 4.1.3.1.  | <i>Resultados com torque ótimo .....</i>      | <i>48</i> |
| 4.1.3.2.  | <i>Resultados para o melhor consumo .....</i> | <i>50</i> |
| 4.1.4.    | Conclusões para o desempenho .....            | 51        |
| 4.2.      | CONSUMO .....                                 | 53        |
| 4.2.1.    | Ratio Spread e Consumo Específico.....        | 53        |
| 4.2.2.    | Análise dos Resultados para Consumo .....     | 56        |
| 4.2.3.    | Comparação Geral.....                         | 58        |
| 4.3.      | MANUTENÇÃO E PREÇOS.....                      | 59        |
| 4.3.1.    | Preços de Compra.....                         | 59        |
| 4.3.2.    | Manutenção.....                               | 60        |
| 4.3.2.1.  | <i>Cálculo do preço de manutenção. ....</i>   | <i>62</i> |
| <b>5.</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>              | <b>66</b> |
| <b>6.</b> | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                       | <b>68</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

A competição dentro da indústria automotiva tem se intensificado. A busca pelo desenvolvimento de melhores tecnologias veiculares e capacidade de ofertar uma ampla variedade de modelos, com o objetivo de atingir o maior número de clientes, são aspirações das principais montadoras atualmente. Os consumidores exigem ainda cada vez mais conforto, segurança e tecnologia para veículos das mais variadas categorias.

Segundo Consoni (2004), o mercado automotivo, nos últimos 30 anos, passou por significativas mudanças, principalmente devido ao estabelecimento das indústrias nipônicas. O desenvolvimento de componentes mecânicos e eletrônicos tem tido um crescimento notável. Entre esses elementos, a transmissão surge como um dos componentes veiculares com maior evolução e complexidade desde o início da indústria automobilística, que ocorreu há mais de um século, pois é a responsável por transformar o torque produzido pelo motor em movimento para as rodas motrizes do automóvel, sendo, portanto, fundamental na dinâmica veicular.

Com o passar dos anos, uma variedade de transmissões tem sido desenvolvida e aplicada no mercado; existem modelos de câmbios que trabalham com conceitos estritamente mecânicos até elegantes peças eletroeletrônicas, que não exigem mais do condutor a operação com alavancas. Cada um desses tipos gerará diferentes desempenhos em relação ao consumo de combustível, tempo de resposta da rodas e vida útil. (SENAI, 2001 e 2002).

Atualmente existem múltiplas ofertas de veículos no mercado, e, além disso, os modelos com câmbios automáticos caminham para uma posição majoritária em alguns anos. (GOIÉS, 2020). Há, portanto, cada vez mais necessidade de elucidação e esclarecimento acerca destes mecanismos ao condutor, principalmente, antes do momento da escolha do cambio que irá equipar seu veículo.

Nesse contexto, o trabalho proposto objetivo comparar as principais transmissões presentes no mercado, a saber: automáticas e manuais. Uma análise mecânica será realizada com o intuito de esclarecer os princípios de funcionamento destes mecanismos. Em seguida, será elaborada uma comparação de desempenho que observará: torque, potência e desempenho. Para isso, será escolhido um veículo presente no mercado que é ofertado em versão automática e manual. Por fim, será estabelecida uma análise econômica em relação as vantagens e desvantagens entre os câmbios, como: facilidade de manutenção, emissões, eficiência, peso e dimensões. Serão utilizados como base os resultados obtidos nas etapas anteriores do trabalho.

## 1.1. DEFINIÇÃO DOS PROBLEMAS E HIPÓTESES

Há vantagens mecânicas que indiquem uma superioridade do câmbio automático em relação ao manual? Há benefícios que justifiquem os custos para se obter um veículo com câmbio automático?

### 1.1.1. Hipóteses

H0: O câmbio automático possui um desempenho mais robusto em relação ao câmbio manual.

H1: Os benefícios trazidos pelos câmbios automáticos justificam o seu maior custo em relação ao câmbio manual

## 1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

O objetivo deste trabalho é elaborar uma análise técnica e comparativa entre os principais modelos de câmbios presentes no mercado: automáticos e manuais. Será realizada uma investigação mecânica, que visa esclarecer os princípios de funcionamento destes mecanismos, e escolhido um veículo ofertado em versões automáticas e manuais com o objetivo de ser comparado. Por fim será realizada uma análise econômica que objetiva relacionar aspectos que englobam durabilidade, manutenção e consumo entre esses componentes.

## 1.3. OBJETIVOS

### 1.1.2. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é realizar uma comparação entre as transmissões automáticas e manuais de veículos automotores através de uma investigação mecânica e econômica.

### 1.1.3. Objetivos Específicos

- Esclarecer os princípios de funcionamento das transmissões automáticas e manuais;

- Realizar um estudo comparativo entre um modelo automotor ofertado em versão automática e manual;
- Estudar os principais cálculos associados às caixas de velocidades automotivas;
- Elaborar, com os dados obtidos, uma análise comparativa entre os modelos de transmissão;

#### 1.4. JUSTIFICATIVA

A indústria automotiva vem intensificando o desenvolvimento de tecnologias que trazem conforto e qualidade para seus consumidores. Dentro desse contexto, nascem alternativas diversas para os condutores. Entre essas, podemos destacar as transmissões automotivas.

A transmissão é um componente que fundamentalmente se vale do torque produzido pelo motor para gerar a rotação dos eixos do automóvel. Atualmente existem 4 principais tipos de transmissões: Manual, Automática, Automatizada e Automática Continuously Variable Transmission (CVT). Cada uma dessas opções possui uma dinâmica diferente, porém atuam com o mesmo objetivo.

Entre os principais tipos de transmissões presentes, podemos destacar o câmbio manual e o automático. No câmbio manual, as marchas são alteradas por uma alavanca controlada manualmente pelo condutor. O câmbio automático possui componentes mecânicos e eletrônicos responsáveis pelo encaminhamento da seleção de marchas.

A transmissão manual é a mais popular no Brasil. Estima-se que, há 10 anos, 90% dos carros novos produzidos no Brasil eram de câmbio manual (GOIÉS, 2020). Além disso, por se tratar de uma mecânica mais simples, os veículos portadores de câmbios manuais são mais acessíveis financeiramente. O câmbio automático, portanto, surge como uma alternativa para uma direção mais confortável, porém mais custosa e passou a englobar veículos de categorias mais elevadas.

Entretanto, na atual conjuntura, parece existir uma nova tendência no mercado: segundo pesquisa realizada por uma montadoras nipônicas, houve um aumento de 40% pela procura de carros automáticos de pequeno porte (conhecidos como carros “populares”) e cerca de 95% dos proprietários de veículos automáticos não voltariam para o câmbio manual, indicando uma nova preferência do consumidor brasileiro. Além disso, Pablo Di Si, presidente da Volkswagen Brasil e América do Sul, constatou: "Acreditamos que (as vendas de veículos automáticos) cheguem a 60% em 2020".

Cada tipo de transmissão escolhida pelo condutor influenciará em aspectos essenciais no desempenho de seu veículo como: consumo de combustível, durabilidade, periodicidade de manutenções, tempo de respostas das rodas entre outros (SILVA, 2018). Portanto, surge uma necessidade de elucidação quanto ao desempenho de cada modelo de transmissão e também um esclarecimento da proposta deste mecanismo para o condutor, uma vez que as diversas opções de câmbio podem gerar incertezas no momento da escolha de um veículo.

A partir desse cenário, o estudo propõe-se a esclarecer os princípios de funcionamento mecânicos dos câmbios automáticos e manuais e, além disso, fazer uma análise comparativa, fundamentada em suas vantagens e desvantagens, analisando aspectos: econômicos, como custo de manutenção e sua rotatividade, e mecânicos, como desempenho e tecnologia.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A seguir, serão abordados os principais conceitos que serviram de base para fundamentar este trabalho. Em primeiro lugar, estudaremos as grandezas físicas associadas ao funcionamento de caixas de velocidades automotivas. Por fim, investigaremos os principais componentes e princípios de funcionamento das transmissões veiculares.

### 2.1. GRANDEZAS FÍSICAS

Os princípios de funcionamento das transmissões automotivas são fundamentados em princípios físicos cinemáticos. A seguir, serão abordadas grandezas associados à dinâmica circular.

#### 2.1.1. Torque

Segundo Melconian (2018), “Para as transmissões mecânicas, o torque é definido por meio do produto entre a força tangencial ( $F_t$ ) e raio ( $r$ ) da peça”. (pg 28). Portanto, o torque ( $T$ ) pode ser definido pela equação 1:

$$\text{Torque} = \text{Força} \times \text{Raio} \quad (1)$$

O torque (ou momento) é uma grande física associada ao movimento circular. Se um elemento em dinâmica circular sofrer variações em sua velocidade angular, então, possuirá torque. Portanto, o momento, que está associado com a força atuante na rotação dos eixos, terá papel fundamental na dinâmica veicular, uma vez que o objetivo principal da transmissão é levar o movimento variável do eixo do motor para as rodas motrizes do veículo. Para entendermos esse conceito, abordaremos a relação de transmissão que marca o princípio de funcionamento das caixas de velocidades abordadas posteriormente

#### 2.1.2. Relação de Transmissão

A transmissão é um mecanismo de transferência de movimento. As relações de transmissão, portanto, consistem em promover a continuidade do movimento com a multiplicação, diminuição ou permanência do torque de um determinado sistema. Segundo

Calabrez (2015), as relações de transmissão são utilizadas com os seguintes propósitos: “inverter a direção de rotação, aumentar ou diminuir a velocidade de uma rotação, transferir o movimento rotatório para um eixo diferente, manter sincronizada a rotação de dois eixos”. (p.28).

Existem várias formas de se transferir movimento, as mais convencionais são por engrenagens e polias. Quando o objetivo de uma transmissão for a diminuição de torque, ela será chamada de redutora. Se o objetivo for a ampliação do torque, será um mecanismo ampliador. E o elemento responsável pela transmissão é chamado de elemento motor enquanto o elemento receptor é chamado de movido

Sarkis (1999) define a relação de transmissão ( $i$ ) através da razão entre diâmetro do elemento motor e o diâmetro do elemento movido. Com isso, podemos definir a relação de transmissão genericamente pela equação 2 como:

$$i = \frac{\text{diâmetro do elemento movido}}{\text{diâmetro do elemento motor}} \quad (2)$$

As relações de transmissão com valores superiores ou iguais a um são do tipo redutora de velocidade e as relações que variam entre zero e um são do tipo ampliadora de velocidade. Além disso, por dedução da fórmula, temos que: quanto maior for o torque transmitido ao eixo de saída, menor será a velocidade angular do próprio. Por isso, quando se quer obter ampliação de momento, utiliza-se como elemento motor, um componente que possui diâmetro menor em relação ao componente movido.

É importante destacar que as caixas de velocidades automotivas funcionam através de marchas, que são ordenadas por relações de transmissão. As caixas automotivas trabalham inicialmente com a multiplicação do torque e, após um certo momento, com a multiplicação da velocidade. Existem modelos de caixas que se valem de engrenagens. Nesse caso, a relação de transmissão será obtida pela razão entre os diâmetros de cada engrenagem ou, até mesmo, com as razões entre o número de dentes dos pares motores e movidos (MELCONIAN, 2018). Já os veículos que não utilizam engrenagens, como os automóveis equipados com as transmissões continuamente variáveis, possuem relações de transmissão equivalente a razão do diâmetro de suas polias. De qualquer forma, os princípios de relação de transmissão poderão ser aplicados intuitivamente. Eles estão diretamente associados as próximas grandezas que serão abordadas: potência e rendimento.

### **2.1.3. Potência e Rendimento**

A potência é uma grandeza física associada a quantidade de trabalho realizado por segundo. Ou seja, a potência pode ser calculada como a taxa de variação entre o trabalho pelo tempo, onde trabalho é a energia transferida a um objeto ou através de um objeto. (HALLIDAY, 2012). Outra forma de calcular a potência é através do produto entre torque pela velocidade angular.

O rendimento consiste na razão existente entre a potência produzida por determinado objeto e a potência transferida. É fundamental para o estudo de sistemas não-conservativos, que são sistemas onde existem perdas de energia. Ou seja, o rendimento objetiva medir o aproveitamento dentro de um sistema, Trata-se de uma grandeza adimensional e seu valor costumeiramente é dado em porcentagem. (HELERBROCK, 2020).

## **2.2. TRANSMISSÕES AUTOMOTIVAS**

### **2.2.1. Histórico das Transmissões Automotivas.**

Segundo Lechner (1999), as primeiras ideias referentes a transmissão existem há mais de um milênio. O período medieval registra uma era marcada pela necessidade de potencializar os esforços humanos. As modernas técnicas de geração de energia mecânica ainda não haviam sido desenvolvidas plenamente. Para solucionar as demandas, passou-se a existir a criação de mecanismos diversos como rodas de madeira com o intuito de multiplicar o torque. (LECHNER, 1999)

A revolução industrial é marcada por um avanço em relação as técnicas de aprimoramento de multiplicação de força. As máquinas a vapor substituíram as forças animais e humanas. Segundo Padilha (2018, p.11), “o desenvolvimento de caixas de mudança de marchas estava diretamente ligado ao aprimoramento de máquinas a vapor, uma vez que as transmissões das forças geradas por esses equipamentos a vapor não eram suficientes. ”

As primeiras aplicações de transmissões com engrenagens começam na década de 20 do século 19 com Griffith que apresentou as modelos das engrenagens deslizantes. (LECHNER; NAUNHEIMER, 1999) Em seguida, Pecqueur em 1827 contribui para uma das mais importantes criações da indústria automobilística: o diferencial, que é um elemento capaz de distribuir o torque entre semieixos em velocidades diferentes- o que confere a possibilidade da realização segura de curvas. (CALABREZ, 2015).

Em 1834, Bodmer cria os sistemas de engrenagens planetárias, que foi o responsável pela criação da transmissão automática mais tarde. Finalmente, em 1915 temos a criação de um sistema de transmissão com seletor de marchas semelhante os moldes que temos atualmente. A ZF Soden foi a empresa responsável por essa criação.

Segundo Valverde (2017), a transmissão automática chega ao Brasil equipando o Ford LTD 1969, que possuía uma caixa de transmissão com 3 velocidades. Em 1979 temos o lançamento do Dodge Polara, que foi o primeiro modelo com 4 marchas nacional. Atualmente segundo levantamento da Anfavea (Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores). 49% dos veículos vendidos em 2019 possuem câmbio automático no Brasil e 51% possuem câmbio manual ou automatizado.

### 2.2.2. Tipos de Transmissão.

Existem duas principais configurações de transmissão. Cada uma diz respeito a quem será o eixo motriz e onde estará localizado o motor, que é o responsável por determinar a “tração” veicular. As principais estruturas são: “com motor e transmissão longitudinal em linha posicionado a frente do veículo tracionando as rodas traseiras ou com motor transversal a frente do veículo tracionando as rodas dianteiras”. (PADILHA, 2018, p.14). Existem ainda configurações com o motor traseiro, mas são menos comuns atualmente.

#### 2.2.2.1. Configuração Longitudinal e Transversal

A transmissão longitudinal é o setup mais comum em veículo com tração traseira. Aqui o motor e a transmissão estão em uma linha longitudinal, como podemos visualizar na Figura.

**Figura 1. Sistema de Transmissão Logintudinal**



Fonte: (Padilha, 2018, p.15)

Neste modelo, as rodas motrizes são traseiras, uma vez que o motor está conectado no eixo de transmissão articulado. É um modelo que usualmente é utilizado em veículos de maior porte, uma vez que há uma melhor distribuição mecânica de peso. A maioria dos carros norte-americanos e europeus possuíam essa configuração até o final dos anos 90. Acabou sendo substituído pela transmissão transversal em veículos de pequeno porte, porque trata-se de uma configuração mais cara e que exigia bastante espaço, embora contribuía para um melhor equilíbrio na direção. (MEDONÇA, 2019).

Em segundo lugar, temos os modelos com configuração transversal. Nesta configuração, possui uma construção simples e libera maior espaço, embora dificulte o equilíbrio devido a má distribuição de peso- por isso não é utilizada em carros de médio, grande porte e em carros de alto desempenho. Não temos o eixo de transmissão articulado e, além disso, o motor pode ser instalado de forma longitudinal ou transversal: atualmente, há o predomínio da forma transversal, uma vez que há uma compactação dianteira. Na figura 2, podemos ver a montagem dessa configuração.

**Figura 2. Esquema de uma transmissão transversal**



Fonte: Fonte: (Padilha, 2018, p.15)

Existem ainda configurações especiais de transmissão, como a tração integral, que é um modelo sofisticado, porém caro. Geralmente é aplicado em veículos de alto desempenho e é marcado pela geração de tração nas 4 rodas motrizes. Existe ainda a possibilidade de variações entre os dois primeiros modelos apresentado em relação a montagem do motor.

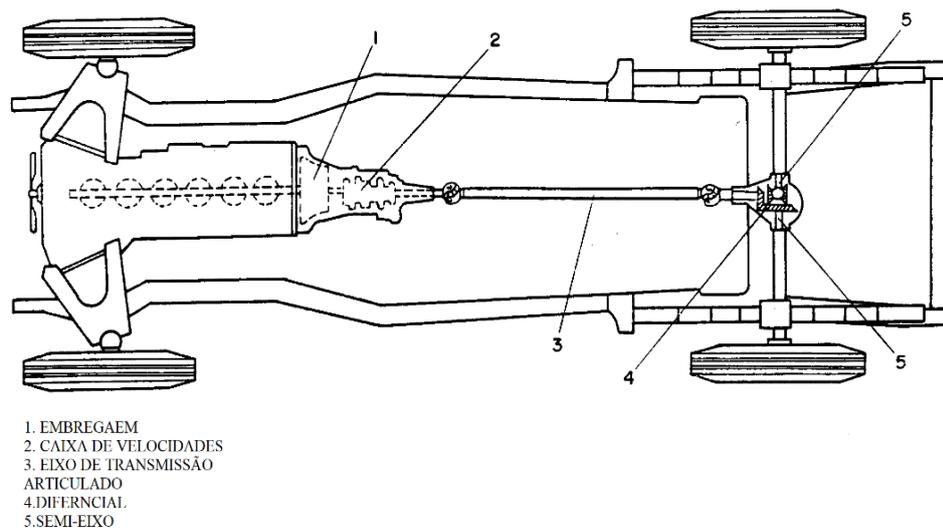
### **2.2.3. Componentes de Uma Transmissão.**

Segundo Silva (2018), “Um sistema de transmissão é composto, basicamente, pelos seguintes componentes: caixa de mudanças, semi-árvores com juntas homo cinéticas,

transmissão articulada, transmissão angular e eixo diferencial'. (p.17). Estes componentes trabalham conjuntamente para a dinâmica veicular.

Na figura 3, podemos ver um esquema dos principais componentes de um sistema de transmissão. Na imagem, podemos ver um mecanismo disposto em uma configuração longitudinal, ou seja, trata-se de um modelo de tração traseira. No ponto de número 1, podemos observar a embreagem, que é exclusiva de veículos que possuem câmbios manuais ( nos câmbios automáticos, há conversor de torque). No ponto 2, temos a caixa de velocidades onde existem as relações de engrenagens responsáveis pela multiplicação do torque. No ponto 3, é ilustrado o eixo articulado presente exclusivamente em veículos com tração traseira. Por fim, nos pontos 4 e 5 temos a figura do diferencial, elemento fundamental na elaboração de curvas e os semieixos que são ligados finalmente as rodas motrizes do veículo. Cada um desses componentes serão abordados a seguir.

**Figura 3. Esquema de um sistema de transmissão automotivo**



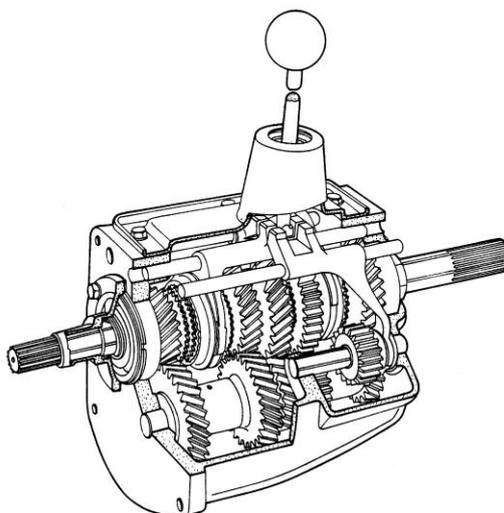
**Fonte: (EEEP, 2014, p.8)**

#### **2.2.4. Caixa de Velocidades Manual**

O câmbio é o principal componente que possibilita a multiplicação de torque. Atualmente, existe uma vasta oferta no mercado, há modelos com opções manuais, automáticas e automatizadas. As transmissões automatizadas são modelos que utilizam caixa de velocidades manuais, porém não necessitam do pedal de embreagem e alavanca, porque efetuam as trocas de marcha com o auxílio de um robô. Essas Não serão abordados no estudo.

Portanto, será realizada uma abordagem das duas mais importantes e comuns caixas de velocidade do mercado: automática e manual. Em primeiro lugar, será abordado o câmbio manual. Por fim, a caixa de velocidades automática será explorada.

**Figura 4. Câmbio Manual**



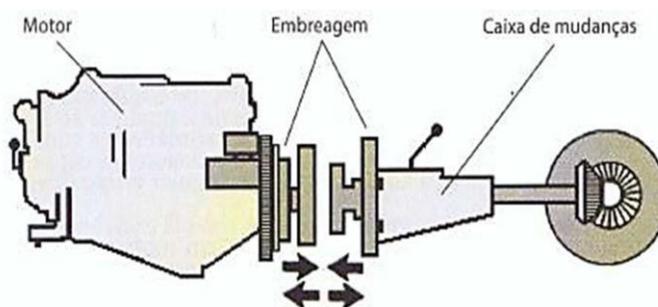
**Fonte: (EEEP, 2014, p.17)**

O câmbio manual é a principal e mais simples forma de transmissão automotiva. Seu funcionamento está associado as relações de engrenagens da caixa de velocidades, que serão as responsáveis pela multiplicação do torque. Além disso, sua principal característica é a troca de marcha manual em conjunto com o acionamento do pedal de embreagem. (WEIHERMANN 2015).

#### *2.2.4.1. Embreagem*

A embreagem é um conjunto de discos que ligam o eixo virabrequim do motor ao eixo primário de transmissão da caixa de velocidades. As suas principais funções são transmitir o torque gerado pelo motor com alta eficiência e apartar a transmissão do motor nos momentos de trocas de marchas. Além disso, o componente deve executar sua função de forma suave, uma vez que não deve haver um alto desgaste na peça. O seu acionamento se dá através do pedal de embreagem. A embreagem é um elemento de ligação de eixos. Seu trabalho deve acontecer de forma suave. (SANTANA, 2018). Na figura 5, podemos visualizar um esquema de um mecanismo com embreagem.

**Figura 5. Esquema de um conjunto embreagem**



Fonte: (SANTANA, 2018, p.24)

#### 2.2.4.2. Eixos e engrenagens

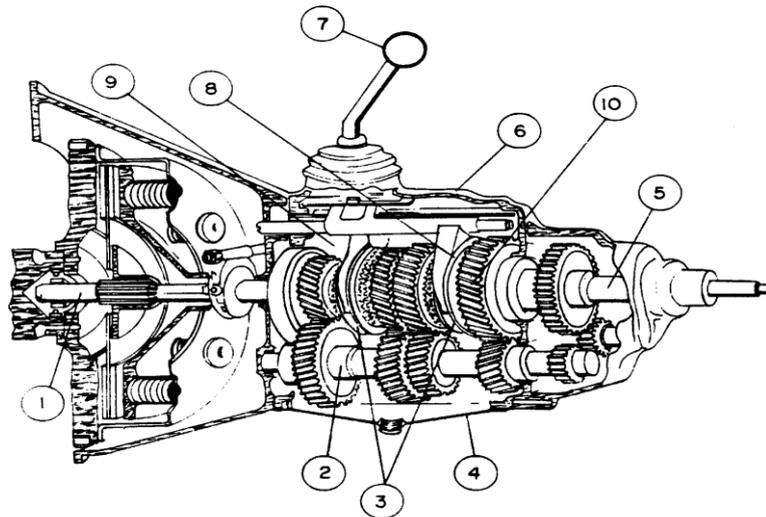
Os eixos e engrenagens encontram-se dentro da caixa de velocidade. Dentro deste elemento, existem dois ou mais eixos onde os pares de engrenagens se acoplam. A caixa de velocidade de uma transmissão manual é comandada pelo condutor do veículo. Ele se valerá da alavanca de câmbio e do pedal de embreagem para a condução.

As engrenagens são as responsáveis pela correta multiplicação do torque, como foi visto anteriormente, elas são os elementos da relação de transmissão existente no sistema. Cada marcha é representada por um par de engrenagens, que será selecionada com o auxílio do garfo sincronizador. O garfo irá garantir a seleção do par de engrenagem com a assistência da alavanca de câmbio. De acordo com o raio das engrenagens motora e movida, serão obtidos diferentes ampliações ou reduções no torque. Em geral, as caixas de velocidade possuem 6 pares de engrenagens: 5 pares referentes a marchas frente e 1 par referente à marcha ré. (SILVA, 2018)

Os eixos são os elementos que irão transmitir a rotação proveniente do motor com o auxílio dos pares de engrenagens. Existem três eixos que fazem parte do processo de multiplicação de torque: eixo primário, secundário e intermediário. O eixo primário é proveniente da conexão da embreagem, o eixo intermediário e secundário possuem os pares de engrenagem responsáveis pelas ampliações de torque, sendo que, o eixo secundário é o eixo de saída ao diferencial (ou ao eixo de transmissão em veículos com configurações longitudinais).

A figura de número 6 nos permite o vislumbre de uma perspectiva geral de uma caixa de velocidades com todos os seus componentes numerados. Esta configuração é a mais comum e é a candidata preferida para equipar os sistemas de transmissão dos carros de passeio, também conhecidos como “populares”).

**Figura 6. Esquema de uma caixa de velocidades manual**



- |                           |                         |
|---------------------------|-------------------------|
| 1. Árvore primária        | 6. Tampa da caixa       |
| 2. Árvore intermediária   | 7. Alavanca de mudanças |
| 3. Conjunto sincronizador | 8. Anel sincronizador   |
| 4. Carcaça da caixa       | 9. Garfo seletor        |
| 5. Árvore secundária      | 10. Engrenagens         |

**Fonte: (EEEP, 2014, p.21)**

Há ainda modelos que apresentam um maior número de eixos dentro da caixa de velocidades. O padrão de dois eixos mostrados anteriormente são aplicados em carros de passeio, enquanto existem versões com três eixos ou mais que são comuns em veículos de maior desempenho, uma vez proporciona uma maior instalação de pares de engrenagens. (WEIHERMANN 2015). Além disso, os modelos de dois eixos são marcados pelo seu custo baixo e não apresentam grande compactação em relação aos modelos de três arvores.

### **2.2.5. Caixa de velocidades automática**

O sistema de transmissão automática é um dos modelos que possuem crescimento mais notável nos últimos trinta anos. Seu funcionamento dispensa a utilização de pedais de embreagem e comando de alavanca seletora de marchas. Além disso, existem dois modelos popularizados em nosso contexto: câmbios automáticos de transmissão continuamente variável (CVT) e câmbios de transmissão por sistemas planetários.

Atualmente, segundo Masturbara (2020), estimativas feitas por consultoras especializadas afirmam que o câmbio automático é responsável por mais de cinquenta por cento das vendas de veículos em 2019. A chegada dos câmbios automáticos em veículos denominados como “populares” contribuem para esse avanço em vendas, uma vez que os veículos com

mecanismos automáticos eram reconhecidos pelo seu alto valor, embora oferecessem conforto a seus consumidores. A seguir, serão apresentados os seus principais componentes.

**Figura 7. Caixa de velocidades automática**



**Fonte: (WEIHERMANN, 2015, p. 21).**

#### *2.2.5.1. Conversor de torque*

O conversor de torque é o elemento da transmissão que substitui a embreagem nos veículos automáticos. Ele é responsável por fazer a conexão do volante do motor com o eixo de transmissão, ou seja, ele é um elemento que conecta árvores. (CALABREZ, 2015). O conversor de torque utiliza princípios hidrodinâmicos para possibilitar a retirada do veículo do estado de inércia.

O mecanismo do conversor de torque é composto por: impulsor, estator, turbina, conjunto embreagem e capa. Inicialmente, o conversor de torque é preenchido com fluido de transmissão automática. Cerca de quarenta a cinquenta por cento do fluido de toda a transmissão está presente neste elemento.

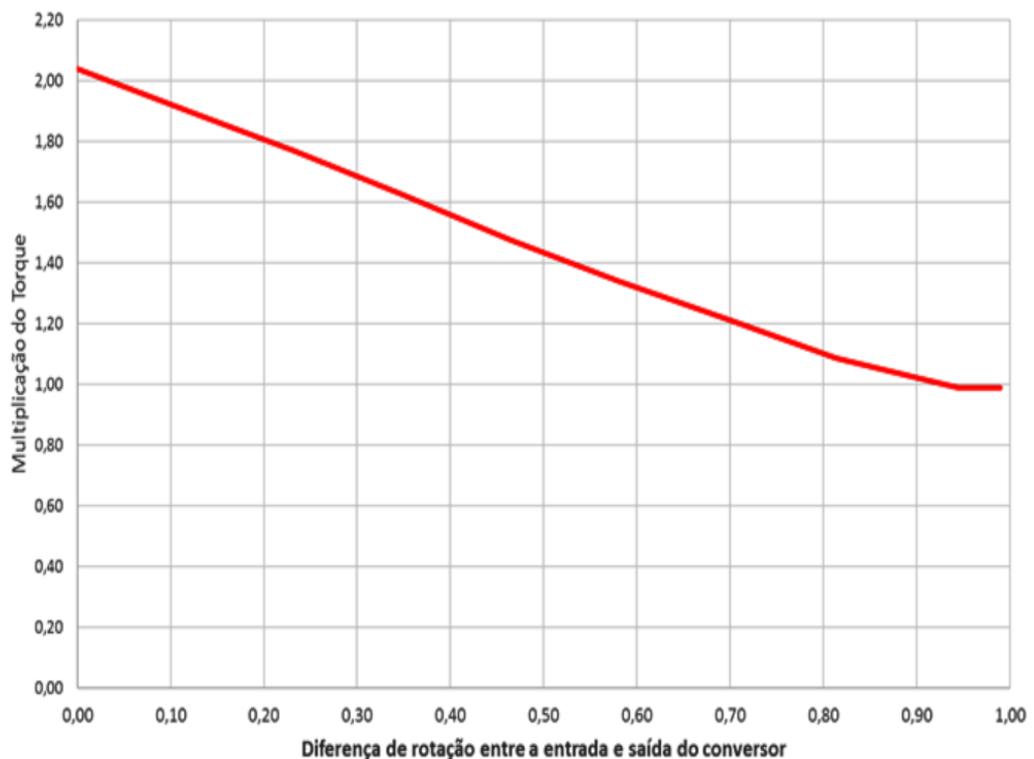
Segunda Silva (2018), o seu funcionamento é da seguinte forma: a bomba, elemento conectado ao volante do motor, recebe rotação, que acaba por retirar o fluido, presente dentro do conversor de torque, da inércia. Quando o pedal de aceleração é acionado, ocorre um aumento considerável na rotação gerada pelo motor, pois há maior entrada de ar no sistema, e, então, ocorre a aparição de forças hidrodinâmicas responsáveis conduzir o movimento do óleo.

A turbina é acionada com o movimento da bomba. Suas pás são ativadas e o rotor é movimentado na mesma direção. A dinâmica presente no conversor até então permite que o rotor receba o movimento através do fluido e então redirecione esse movimento a bomba, que é possível devido curvaturas das pás da turbina. Com isso, um ciclo é mantido. (SILVA, 2018).

O estator, elemento localizado no centro do esquema do conversor, é responsável por somar os fluxos de fluido provenientes da bomba e turbina do mecanismo; pois estes elementos até então estariam fluindo em direção contrária. O somatório do fluxo entre esses dois componentes permite a multiplicação do torque necessária para o veículo se deslocar.

Hoffmann (2017) elaborou um gráfico que relaciona o processo de multiplicação de torque com os eixos de entrada e saída do conversor. Com o aumento da rotação proveniente do motor, a turbina gradualmente alcança a mesma rotação o eixo que aciona a bomba.

**Figura 8. Gráfico multiplicação por relação**



**Fonte: (HOFFMANN, 2017)**

Quando os torques entre bomba e turbina alcançam a mesma unidade de torque gerado, ocorre a ativação do mecanismo de embreagem, que é responsável por estabilizar o processo de ampliação de torque. A partir de então, não há mais a necessidade de multiplicação, porque a retirada do veículo da inércia foi alcançada e ocorre o “Lock-Up” (acoplamento do sistema), que permite que ele todos elementos girem com a mesma velocidade.

Na figura de número 9, podemos visualizar o esquema de um conversor de torque. A imagem possibilita identificar cada um dos principais componentes citados anteriormente em uma visão explodida.

**Figura 9. Esquema de um conversor de torque**



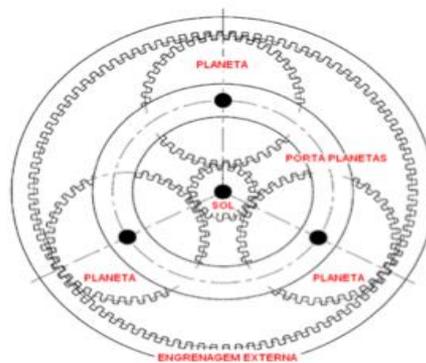
Fonte: (CALABREZ, 2015, p. 52)

#### 2.2.5.2. *Sistemas planetários*

Os veículos com câmbios automáticos possuem configurações com modelos planetários de engrenagens. Essas serão responsáveis pelas relações de transmissão presentes no câmbio e transmitir a rotação ao eixo de saída da transmissão. Segundo Silva (2018), a composição básica de um sistema de engrenagens automático é: engrenagens planetárias, embreagens, cintas, eixos para transmitir potência e finalmente mancais de suporte para eixos.

O sistema planetário é composto por engrenagens: planetárias (juntamente com o conjunto portador), solar e anelar (ou externa). Além disso, para se obter melhores relações de transmissão, ocorre a fusão de dois sistemas planetários, que acabam funcionando como um único elemento, gerando assim os sistemas planetários compostos. Ou seja, teremos duas engrenagens solares, uma maior e uma menor, dois conjuntos de engrenagens planetárias e uma engrenagem externa.

**Figura 10. Composição de um sistema planetário**



Fonte: (ZAMMAR, 2015, p.13)

Durante a dinâmica veicular, cada componente é acionado individualmente cooperando para transmitir movimento para o eixo. Em regra, os três elementos agem da seguinte maneira: o primeiro elemento recebe o torque de entrada, o segundo transmite esse torque multiplicado ou diminuído (dependendo do número de dentes da engrenagem) para o eixo de saída e o terceiro elemento permanece estático. Assim é possível obter diversas relações de transmissão com essas combinações. (CALABREZ,2015). Na figura 10, podemos visualizar um esquema planetário.

As cintas e embreagens são componentes acionados hidráulicamente. O seu acionamento se dá através de seus pistões. A força hidráulica é direcionada através de válvulas que conduzem o fluxo de lubrificante. As cintas e embreagens são responsáveis por travar determinados elementos do trem de engrenagens, para garantir as corretas relações de transmissão.

Por exemplo, na primeira marcha, que se exige a necessidade da maior multiplicação de torque, a engrenagem solar é movimentada através do eixo da turbina do conversor de torque, em seguida o sistema planetário é travado, para não participar do processo de transmissão, e finalmente a engrenagem externa transmite o torque de saída gerando a multiplicação. A multiplicação será máxima, pois, no conjunto, o corpo solar, que está trabalhando como sistema motor, tem o menor número de dentes enquanto o corpo externo tem o maior número.

#### 2.2.5.3. *Transmissão continuamente variável*

O sistema de transmissão continuamente variável (CVT) é um modelo que não necessita de sistemas planetários para efetuar todas suas relações de transmissão, exceto para o engate de marchas frente e ré através da alavanca seletora. Nesse modelo, as multiplicações e reduções de transmissão se dão por um conjunto em geral de polia-correia. (WEIHERMANN 2015).

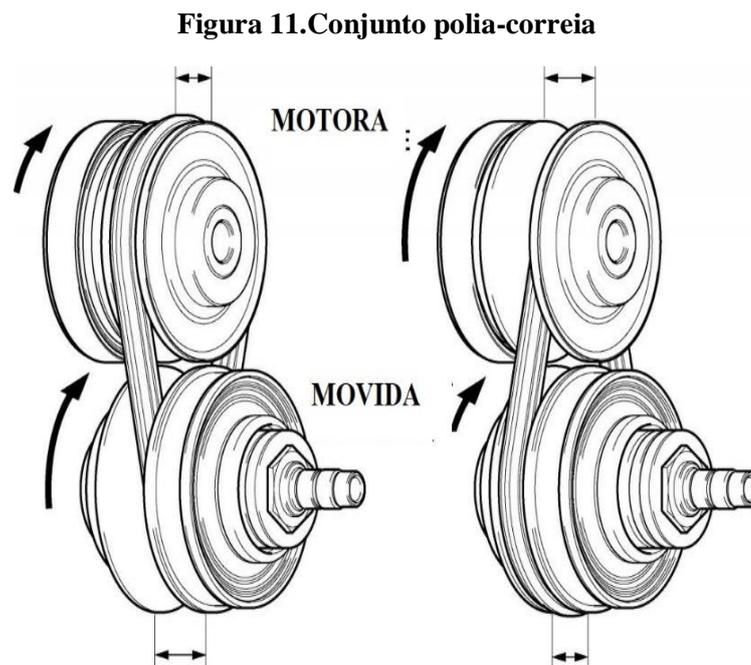
A transmissão é composta por duas polias que possuem diâmetro variável, por conta de sua geometria cônica, e uma correia metálica de tamanho fixo. Existem ainda variações nesse modelo, uma vez que a transmissão pode ser feita com discos ou mecanismos cônicos ao invés da polia, mas essas configurações são menos usuais e não serão exploradas neste projeto.

O mecanismo funciona da seguinte forma: uma polia é acoplada no eixo primário de transmissão enquanto a outra é acoplada no eixo de saída, que leva a rotação ao diferencial. Após o acionamento do conversor de torque, os cones da polia são ajustados axialmente através do variador, com o auxílio de válvulas comandadas pela central eletrônica; então, o diâmetro

das polias é alterado, uma vez que a relação dos diâmetros entre polia movida e motora determina a multiplicação do torque. (VALVERDE, 2017).

No início do movimento, os cones da polia motora estão separados, produzindo menor diâmetro, enquanto os da polia movida estão juntos. Com o acionamento do acelerador, a situação é invertida: há um estreitamento dos cones da polia motora (aumentando assim seu diâmetro) e um afastamento dos cones da polia movida. Assim, esse sistema é capaz de gerar tanto a multiplicação de torque, como a multiplicação de velocidade (Overdrive).

É importante notar que as relações de transmissão não seguem um padrão de uma variável discreta. Ou seja, há infinitas relações de transmissão dentro de um intervalo estipulado pelos diâmetros máximos e mínimos das polias. Isso não ocorre em sistemas planetários que possuem uns números fixos de relações de transmissão em conformidade com o número de dentes de suas engrenagens. (CALABREZ,2015).



**Fonte: (PEPPER, 2014)**

#### 2.2.5.4. Comando do câmbio

Para que a caixa de velocidades realize as trocas de marchas automaticamente, é necessário saber o esforço realizado pelo motor. Para isso, válvulas, reguladores e componentes eletrônicos (nas caixas mais recentes) são utilizados.

As válvulas prioritariamente recebem pressão proporcional ao esforço exercido pelo condutor no pedal do acelerador. Os reguladores são acionados de acordo com a admissão de

ar no motor e auxiliam a pressão nas válvulas de aceleração. Por fim, os componentes eletrônicos utilizam sensores que apoiam a leitura de desempenho solicitado pelo motor.

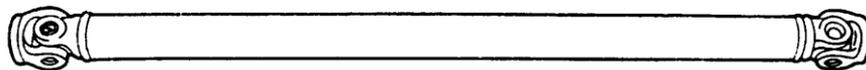
Por exemplo, quando um veículo é acelerado, a válvula de aceleração aciona as válvulas de mudança, que são responsáveis por garantir a seleção de uma marcha. Esse acionamento se dá através de pressão hidráulica, que é proporcional à intensidade do esforço no acelerador. De acordo com a pressão aplicado pela bomba de óleo, a válvula de mudança acionará um circuito hidráulico que realizará a seleção da marcha e, ao mesmo tempo, ativará cintas e embreagens para impedir o funcionamento de outros trens de engrenagens. Dessa forma, as trocas podem ocorrer de forma segura e proporcional, porque cada válvula de mudança respondera a uma faixa de pressão padrão.

Nos câmbios com unidades de controle eletrônico, as cintas e embreagens ainda serão acionadas por comandos hidráulicos. Porém, haverá a existência de solenoides. Solenoides são válvulas que acionam seus êmbolos através de comandos elétricos. Ou seja, para que as mudanças de marcha ocorram será necessário o comando prévio da central eletrônica. O câmbio ativará uma válvula de acordo com as leituras feitas pelos seus sensores de leitura espalhados pela transmissão.

#### 2.2.6. Eixo de transmissão articulado

O eixo de transmissão (ou eixo articulado), também conhecido como eixo “Cardan”, é utilizado nos veículos que possuem modelo de transmissão longitudinal, onde as rodas motrizes encontram-se nos eixos traseiros. Há ainda esse eixo em veículos que possuem tração nas quatro rodas ou tração integral.

**Figura 12. Eixo articulado de transmissão**



**Fonte: (EEEP, 2014, pg.9)**

A função do eixo de transmissão segundo Weihermann (2015) é: “transmitir a energia gerada pelo motor para o eixo diferencial, e, por sua vez, o eixo diferencial irá transferir esta energia recebida do eixo cardan para as rodas”. (p.17). Ou seja, ele transmite o movimento da caixa de velocidades para o eixo motriz, que é localizado na região traseira do veículo.

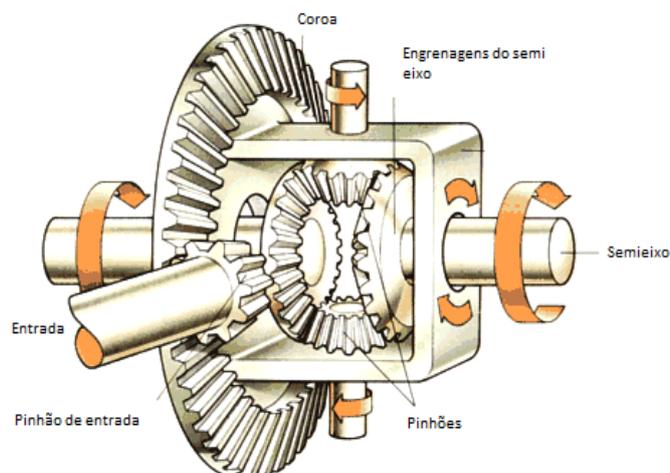
Seu princípio de funcionamento é complexo, uma vez que é submetido em terrenos que não são planos, ou seja, trabalha muitas vezes em variações verticais na pista e, ainda assim, necessita transmitir com qualidade o movimento. Para isso, o eixo possui duas juntas que permitem o trabalho com diferentes angulações. Na figura a seguir, podemos ver a composição desse elemento.

### 2.2.7. Diferencial e Semieixo

O diferencial é composto por um conjunto de engrenagens que tem como objetivo a possibilidade de gerar velocidades diferentes nas rodas motrizes no momento de realizar curvas (EEEP,2014). Segundo Costa (2002), o diferencial é o componente responsável por diminuir a velocidade das rodas dos eixos motrizes.

O diferencial é necessário, pois, ao realizar uma trajetória sinuosa, as rodas internas do automóvel percorrem uma distância menor que as rodas externas; pois, o comprimento a ser percorrido numa curva é proporcional ao raio, que gerará por consequência a necessidade do aumento da velocidade- já que a velocidade é taxa de variação do espaço pelo tempo. A ausência do diferencial provocaria uma maior dificuldade, pois os eixos motrizes na curva, devido a mesma velocidade, submeteriam a transmissão a um maior esforço e trazem a possibilidade de derrapagens em curvas. Além disso, o diferencial é o local onde ocorre a última multiplicação de torque (NICE, 2014). A figura demonstrará o esquema a seguir.

**Figura 13. Diferencial veicular**



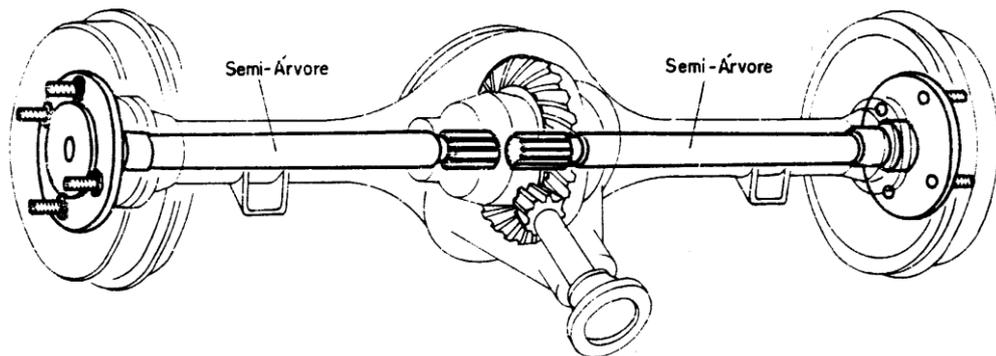
**Fonte: (WEIHERMANN, 2015, pg.21)**

Quando o carro está em movimento, todas as engrenagens do conjunto trabalham com as mesmas velocidades. Porém, no momento em que há as rodas motrizes passam a girar em velocidades diferentes, há o trabalho primordial do diferencial.

Nesta configuração, quando um semieixo diminui sua velocidade, a engrenagem planetária aciona os pinhões, que até então estavam travados acompanhando o movimento da coroa. Os pinhões trabalham em conjunto com as planetárias com o intuito de manter diferentes velocidades entre os semieixos e finalmente transferir as rotações adequadas as rodas.

Segundo Padilha (2018), “A semiárvore e uma barra de aço cilíndrica cujas extremidades são preparadas para fazer acoplamentos com outras peças, por meio de entalhes ou conicidades com rasgos para chavetas e roscas de fixação” (p. 24). Ou seja, os semieixos são responsáveis por transmitir o movimento do diferencial para as rodas motrizes.

**Figura 14. Configuração de um semieixo**



**Fonte: (EEEP, 2014, pg.6)**

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. MÉTODO

Conforme Prodanov (2013, p.27), O método dedutivo, de acordo com o entendimento clássico, é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. A partir de princípios, leis ou teorias consideradas verdadeiras e indiscutíveis, prediz a ocorrência de casos particulares com base na lógica.

Em outras palavras, “Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.” (GIL, 2008, p. 9). Portanto, será adotado o método dedutivo para a elaboração da pesquisa. Princípio elementar para o trabalho com as hipóteses previstas e compatível com a área da Engenharia.

#### 3.2. TÉCNICA

“o planejamento de uma pesquisa depende tanto do problema a ser estudado, da sua natureza e situação espaço-temporal em que se encontra, quanto da natureza e nível de conhecimento do pesquisador.” (KÖCHE, 2007, p.122). Segundo Prodanov (2013, p.27), pesquisa bibliográfica quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa.

Portanto, para este estudo, adotou-se a pesquisa bibliográfica como técnica, como base para se chegar à dedução.

#### 3.3. PROCEDIMENTOS

Conforme Lakatos e Marconi, (2007, p.223) “Procedimentos constituem etapas mais concretas da investigação, com finalidade mais restrita em termos de explicação geral dos fenômenos menos abstrato. ”

O método comparativo ocupa-se da explicação dos fenômenos e permite analisar o dado concreto, deduzindo desse “os elementos constantes, abstratos e gerais. ” (LAKATOS;

MARCONI, 2007, p. 107). Segundo Gil (2008), o método comparativo procede pela investigação de indivíduos, classes, fenômenos ou fatos, com vistas a ressaltar as diferenças e as similaridades entre eles. Portanto, adotou-se o método comparativa para a elaboração deste estudo.

“ O método estatístico passa a se caracterizar por razoável grau de precisão, o que o torna bastante aceito por parte dos pesquisadores com preocupações de ordem quantitativa. ” (GIL, 2008, p. 17). Nesse sentido, os procedimentos estatísticos fornecem considerável reforço às conclusões obtidas, sobretudo, mediante a experimentação e a observação, segundo Prodanov (2013, p.38 ).

#### 4. DESENVOLVIMENTO

Para a análise comparativa, optou-se por escolher um veículo de mercado que esteja disponível em ambas as versões. Assim, foi escolhido o modelo Chevrolet Onix 1.4 L, ano de 2018. A partir disso, foram retiradas informações do manual do veículo, fornecidas pelo fabricante, para as comparações.

**Tabela 1. Especificações Técnicas do Veículo**

| <b>Transmissão</b>       | <b>Automática</b> | <b>Manual</b> |
|--------------------------|-------------------|---------------|
| Peso (Kg)                | 1467              | 1417          |
| Potência (Cv)            | 98                | 98            |
| Torque Máximo (Kgfm)     | 13,9              | 13,9          |
| Velocidade Máxima (Km/h) | 171               | 180           |

**Fonte: Chevrolet Brasil (2021)**

O estudo será abordado de três perspectivas diferentes. Cada uma delas levando em consideração aspectos pontuais na avaliação desses modelos.

Primeiramente, será realizada uma análise de desempenho veicular. Para isso, utilizar-se-á os valores de torque máximo fornecidos pelo fabricante e os valores que envolvem o melhor consumo, com base na pressão média efetiva, e, em seguida, será elaborado o diagrama dente de serra dos modelos. Com isso, será possível analisar com maior precisão o desempenho do modelo

Posteriormente, será elaborada uma análise baseada em consumo de combustível, desconsiderando o desempenho, abordado na etapa anterior. Nesse momento, uma visão mais geral será adotada. Ou seja, além da avaliação do modelo (Chevrolet Onix) proposto para a comparação, serão avaliados outros veículos que possuem versões automáticas e manuais.

Por fim, os custos de manutenção e a vida útil dos mecanismos automáticos e manuais serão balanceados

##### 4.1.DESEMPENHO

O estudo do desempenho consiste na análise de diagramas que abordem em geral potência e torque. Para se realizar o desenvolvimento dos diagramas, utilizar-se-á equações mecânicas.

O diagrama que será abordado no projeto é do tipo Dente de Serra e é formado prioritariamente pelas rotações por minuto do motor, que é escolhida de acordo com os critérios

a serem analisados, e pelas velocidades em função dessa rotação. Nesse contexto, segundo Silva (2018), a velocidade veicular pode ser obtida pela Equação (3):

$$Velocidade = \frac{2 \cdot \pi \cdot N \cdot R_{dinamico}}{60 \cdot i_m \cdot i_{dif}} \quad (3)$$

Onde,  $N$ , é a rotação do motor em rpm,  $R_{dinamico}$  é o raio dinâmico do pneu. De acordo com os modelos de pneus fornecidos pelo manual, utilizaremos o raio dinâmico de **0,27 m**. Além disso,  $i_m$  representa a relação de transmissão da marcha em questão e  $i_{dif}$  representa a relação entre os conjuntos de engrenagens do diferencial, que é constante para cada caixa de marcha.

As relações de transmissão das marchas e do diferencial foram fornecidas pelo fabricante do veículo no manual do proprietário do veículo. Esses valores serão utilizados para a obtenção das velocidades e rotações e, além disso, são fundamentais para a explicação dos resultados do desempenho que será avaliado.

**Tabela 2. Relação de Transmissão de Marchas**

| <b>Marchas</b> | <b>MT</b> | <b>AT</b> |
|----------------|-----------|-----------|
| 1 <sup>a</sup> | 3,73      | 4,44      |
| 2 <sup>a</sup> | 1,96      | 2,90      |
| 3 <sup>a</sup> | 1,32      | 1,89      |
| 4 <sup>a</sup> | 0,95      | 1,44      |
| 5 <sup>a</sup> | 0,76      | 1         |
| 6 <sup>a</sup> | 0,61      | 0,74      |
| Ré             | 3,63      | 4,63      |
| Diferencial    | 4,63      | 4,11      |

**Fonte: Chevrolet Brasil (2021)**

Com a tabela acima, é possível notar como as relações de transmissão do veículo modelo automático apresenta maiores multiplicações de torque em todas as suas relações, quando comparado com o modelo manual.

Com os dados em questão e utilizando a equação 3, foi possível calcular as velocidades do veículo Chevrolet Onix, 1.4L, com base nas informações fornecidas pelo fabricante. Essas estão ilustradas na tabela abaixo tanto para a versão automática de seis marchas, quanto para a versão manual, que leva o mesmo número de relações.

**Tabela 3. Velocidade (em Km/H) por rotação do Modelo Manual**

| rpm         | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> | 5 <sup>a</sup> | 6 <sup>a</sup> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>1500</b> | 8,8            | 16,8           | 25,0           | 34,7           | 43,4           | 54,0           |
| <b>2000</b> | 11,8           | 22,4           | 33,3           | 46,3           | 57,8           | 72,0           |
| <b>2500</b> | 14,7           | 28,0           | 41,6           | 57,8           | 72,3           | 90,1           |
| <b>3000</b> | 17,7           | 33,6           | 49,9           | 69,4           | 86,7           | 108,1          |
| <b>3500</b> | 20,6           | 39,2           | 58,3           | 81,0           | 101,2          | 126,1          |
| <b>4000</b> | 23,6           | 44,8           | 66,6           | 92,5           | 115,6          | 144,1          |
| <b>4500</b> | 26,5           | 50,4           | 74,9           | 104,1          | 130,1          | 162,1          |
| <b>5000</b> | 29,5           | 56,1           | 83,2           | 115,6          | 144,6          | 180,1          |
| <b>5500</b> | 32,4           | 61,7           | 91,6           | 127,2          | 159,0          | 198,1          |
| <b>6000</b> | 35,3           | 67,3           | 99,9           | 138,8          | 173,5          | 216,1          |

Fonte: Autor (2021)

**Tabela 4. Velocidade (em Km/H) por rotação do Modelo Automático**

| rpm         | 1 <sup>a</sup> | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> | 5 <sup>a</sup> | 6 <sup>a</sup> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>1500</b> | 8,3            | 12,8           | 19,6           | 25,7           | 37,1           | 50,2           |
| <b>2000</b> | 11,1           | 17,0           | 26,2           | 34,2           | 49,5           | 66,9           |
| <b>2500</b> | 13,9           | 21,3           | 32,7           | 42,8           | 61,9           | 83,6           |
| <b>3000</b> | 16,7           | 25,5           | 39,2           | 51,4           | 74,3           | 100,4          |
| <b>3500</b> | 19,5           | 29,8           | 45,8           | 59,9           | 86,6           | 117,1          |
| <b>4000</b> | 22,3           | 34,0           | 52,3           | 68,5           | 99,0           | 133,8          |
| <b>4500</b> | 25,0           | 38,3           | 58,8           | 77,0           | 111,4          | 150,5          |
| <b>5000</b> | 27,8           | 42,6           | 65,4           | 85,6           | 123,8          | 167,3          |
| <b>5500</b> | 30,6           | 46,8           | 71,9           | 94,2           | 136,1          | 184,0          |
| <b>6000</b> | 33,4           | 51,1           | 78,5           | 102,7          | 148,5          | 200,7          |

Fonte: Autor (2021)

É importante ressaltar que os valores em questão são escolhidos em função basicamente da marcha e da rotação. São números teóricos e não representam possíveis perdas de potência que certamente ocorrem no motor, como perdas por calor, por exemplo. Além disso, é possível observar logo de início maiores taxas de velocidades alcançadas pelo veículo equipado com transmissão manual.

No prosseguimento do estudo, serão elaborados os diagramas. No total, serão avaliados dois gráficos dente de serra. Para isso, calcular-se-á as rotações e velocidades para os melhores torques e para as rotações que envolvem o melhor consumo.

#### 4.1.1. Desempenho para o Melhor Torque

Em relação ao torque ótimo, o manual do proprietário veicular nos informa as suas características. Abaixo, segue a tabela com os dados fornecidos pelo fabricante

**Tabela 5. Dados de desempenho do modelo**

| Modelo               | Automático | Manual |
|----------------------|------------|--------|
| Potência(cv)         | 98         | 98     |
| Torque máximo (kgfm) | 13,9       | 13,9   |
| rpm                  | 4800       | 4800   |

Fonte: Chevrolet Brasil (2021)

**Tabela 6. Relações de transmissão por modelo**

| Marchas     | Manual | Automático |
|-------------|--------|------------|
| 1           | 3,7    | 4,4        |
| 2           | 2,0    | 2,9        |
| 3           | 1,3    | 1,9        |
| 4           | 1,0    | 1,4        |
| 5           | 0,8    | 1,0        |
| 6           | 0,6    | 0,7        |
| Ré          | 3,6    | 4,6        |
| Diferencial | 4,6    | 4,1        |

Fonte: Chevrolet Brasil (2021)

A partir desses dados, é possível determinar o diagrama dente de serra utilizando como referência rotações por minuto. Para a análise de desempenho, ou seja, levando em consideração o melhor torque a ser entregue pelo motor, utilizaremos a rotação de referência de 4800 rpm, pois o fabricante nos informa que o torque ótimo (13,9 kgfm) ocorre nesse momento.

As velocidades e cálculos de referência serão apresentados a partir de sua obtenção utilizando-se a Equação (3). Serão calculados valores de acordo com as tabelas de marchas para a versão do Onix ,1.4L, em câmbio automático e câmbio manual.

Além disso, as marchas subsequentes, em que ocorre a queda de rotação e manutenção de velocidade, tem seus giros calculados isolando-se a rotação da equação (3). Dessa forma, através de manipulação algébrica, obtém-se a equação (4).

$$N = \frac{60 \cdot i_m \cdot i_{dif} \cdot Velocidade}{R_{dinamico} \cdot 2 \cdot \pi} \quad (4)$$

Onde todas as variáveis presentes também estão dispostas na equação (3). Portanto, Com os dados obtidos anteriormente, obtém-se a tabela de desempenho abaixo para ambas as versões.

**Tabela 7. Velocidade do veículo manual para o melhor desempenho**

| <b>Marcha</b>  | <b><math>i_m</math></b> | <b>Velocidade<br/>(km/h)</b> | <b><math>N</math></b> | <b><math>i_{dif}</math></b> |
|----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 <sup>a</sup> | 3,7                     | 0,0                          | 0,0                   | 4,6                         |
| 1 <sup>a</sup> | 3,7                     | 28,3                         | 4800,0                | 4,6                         |
| 2 <sup>a</sup> | 2,0                     | 28,3                         | 2524,3                | 4,6                         |
| 2 <sup>a</sup> | 2,0                     | 53,8                         | 4800,0                | 4,6                         |
| 3 <sup>a</sup> | 1,3                     | 53,8                         | 3231,9                | 4,6                         |
| 3 <sup>a</sup> | 1,3                     | 79,9                         | 4800,0                | 4,6                         |
| 4 <sup>a</sup> | 1,0                     | 79,9                         | 3454,4                | 4,6                         |
| 4 <sup>a</sup> | 1,0                     | 111,0                        | 4800,0                | 4,6                         |
| 5 <sup>a</sup> | 0,8                     | 111,0                        | 3839,2                | 4,6                         |
| 5 <sup>a</sup> | 0,8                     | 138,8                        | 4800,0                | 4,6                         |
| 6 <sup>a</sup> | 0,6                     | 138,8                        | 3853,2                | 4,6                         |
| 6 <sup>a</sup> | 0,6                     | 172,9                        | 4800,0                | 4,6                         |

Fonte: Autor (2021)

**Tabela 8. Velocidade do veículo manual para o melhor desempenho**

| <b>Marcha</b>  | <b><math>i_m</math></b> | <b>Velocidade<br/>(km/h)</b> | <b><math>N</math></b> | <b><math>i_{dif}</math></b> |
|----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 <sup>a</sup> | 4,4                     | 0,0                          | 0,0                   | 4,1                         |
| 1 <sup>a</sup> | 4,4                     | 26,7                         | 4800,0                | 4,1                         |
| 2 <sup>a</sup> | 2,9                     | 26,7                         | 3136,7                | 4,1                         |
| 2 <sup>a</sup> | 2,9                     | 40,9                         | 4800,0                | 4,1                         |
| 3 <sup>a</sup> | 1,9                     | 40,9                         | 3127,8                | 4,1                         |
| 3 <sup>a</sup> | 1,9                     | 62,8                         | 4800,0                | 4,1                         |
| 4 <sup>a</sup> | 1,4                     | 62,8                         | 3668,6                | 4,1                         |
| 4 <sup>a</sup> | 1,4                     | 82,2                         | 4800,0                | 4,1                         |
| 5 <sup>a</sup> | 1,0                     | 82,2                         | 3320,8                | 4,1                         |
| 5 <sup>a</sup> | 1,0                     | 118,8                        | 4800,0                | 4,1                         |
| 6 <sup>a</sup> | 0,7                     | 118,8                        | 3551,5                | 4,1                         |
| 6 <sup>a</sup> | 0,7                     | 160,6                        | 4800,0                | 4,1                         |

Fonte: Autor (2021)

Para a elaboração das tabelas relacionadas ao desempenho, foi necessário a utilização da seguinte metodologia: em primeiro lugar, calcula-se as velocidades para cada ponto de rotação de referência, ou seja, 4800 rotações por minuto. Nesse momento, ocorre a troca de

marcha, e, por conseguinte, a queda de rotação. Dessa forma, utiliza-se a equação (4) para se estipular qual seria a nova rotação a partir da fixação da velocidade obtida anteriormente.

Com os resultados acima, consegue-se formar o diagrama dente de serra para o modelo na versão automático e manual. E, a partir disso, tornar-se-á possível a análise para o melhor desempenho

#### **4.1.2. Desempenho para o Melhor Consumo**

Para o cálculo envolvendo o melhor consumo, também será necessário encontrar as rotações por minuto associadas a esse fenômeno. Diante disso, será necessário a compreensão da pressão média efetiva do motor. Com isso, será possível realizar a construção tabela para ambas as versões.

##### *4.1.2.1. Pressão Média Efetiva*

Segundo Dantas (2011), para a melhor compreensão do consumo e potência do motor, é fundamental entender o conceito de pressão média efetiva. Nesse sentido, é necessário a compreensão do processo de combustão do motor e o conhecimento técnico para a leitura dos diagramas de pressão média efetiva genéricos, estimativa confiável para o projeto em questão.

Conforme o autor (Dantas), no momento da combustão, ocorre a explosão da mistura, e, em seguida, um pico de pressão é gerado. Essa pressão é capaz de deslocar os pistões do veículo e os gases provenientes da mistura se expandem para isso. Energia térmica é transformada em Mecânica. A quantidade de Energia Mecânica aproveitada seria a potência efetiva fornecida pelo motor. Nesse momento, após a explosão e deslocamento do pistão, há perda de pressão e temperatura gasosa.

Como as variações de pressão e temperatura ocorrem de maneira altamente variável em um dado intervalo, é extremamente complexo levantar-se estimativas pontuais para a análise termodinâmica. Por isso, faz-se necessário um cálculo que representa toda a dinâmica recorrente na explosão do combustível. Assim, surge a pressão média efetiva (CARDOSO, 2012).

A pressão média efetiva pode ser associada ao Trabalho ( $W$ ). Conforme Halliday (2012), O Trabalho realizado pelo gás no pistão, gerando seu movimento, pode ser relacionado pelo produto da força gasosa e seu deslocamento. Além disso, a força pode ser mensurada pelo produto da pressão média efetiva pela área (NEBRA, 2020). Desse modo, têm-se a Equação (5):

$$W = P_{ME} \cdot A_{ci} \cdot d \quad (5)$$

Em que  $W$  representa o trabalho realizado pelo gás,  $A_{ci}$  é a área do cilindro na qual incide o trabalho e  $d$  representa o deslocamento.

Além disso, A potência e a pressão média efetiva também podem associar-se (LODETTI, 2021). Obtendo, assim, as seguintes a Equação (6):

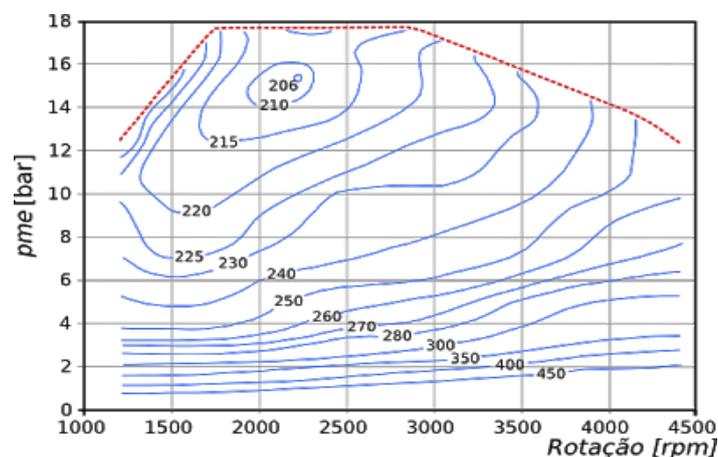
$$P_E = \frac{P_{ME} \cdot A_{ci} \cdot d \cdot N}{1200} \quad (6)$$

Em que  $P_E$  representa a potência (em Kw/h),  $A_{ci} \cdot d$  representa o volume deslocado pelo gás (em  $\text{dm}^3$ ) realizado pelo gás, e  $N$  representam as rotações por minuta geradas no eixo do motor com o trabalho obtido.

Desse modo, é possível observar como a pressão média efetiva associa-se diretamente com o Trabalho e, conseqüentemente, com a Potência gerada pelo motor. Foi possível visualizar como a pressão média efetiva relaciona-se com a rotação. Ademais, ela, quando combinada com a rotação, é base para o gráfico de consumo de combustível em g/kW.h.

Em síntese, o intuito ,neste momento, é compreender quais seriam as rotações ideais para gerar a troca de marcha e se ter o melhor consumo. essa grandeza é fundamental para realizar comparações e análises entre motores. Segundo Cardoso (2012), a relação da pressão média efetiva e da rotação, gera o gráfico da figura abaixo.

**Figura 15. Gráfico de Pressão Média Efetiva**



Fonte: (Cardoso, 2012)

Primeiramente, observamos o gráfico de consumo específico. Nele temos as linhas azuis ,que são as curvas de consumo de combustível, semelhante a curvas de nível, e a linha em vermelho tracejada, que é a curva de potência oferecida pelo fabricante do motor

De maneira geral, é possível chegar a uma média de consumo de combustível a partir da análise geral de vários veículos. Num todo, as rotações que proporcionam o melhor consumo giram em torno de 2000 e 3000 rpm (SILVA, 2018). É possível fazer essa observação, por exemplo, fixando retas verticais no gráfico de consumo, em que o menor consumo (206 e 210 g/kW.h) orbitam em torno dessa faixa.

Assim, é possível concluir que um condutor que deseje dirigir seu veículo em faixas de consumo ideais, deve trocar as marchas nestes intervalos. Em geral, os fabricantes dos veículos indicam velocidades de troca. A partir disso, é possível se obter as rotações, com a equação (4).

#### 4.1.2.2. Cálculo para melhor consumo

Para escolher-se um parâmetro mais objetivo, opta-se por obter as rotações em torno da faixa ideia de consumo (baseado no gráfico abordado anteriormente), a partir das velocidades indicadas de troca disponibilizadas no manual de proprietário do veículo, que certamente estarão em faixas compatíveis. Dessa forma, utilizando as equações (3) e (4) e as informações de trocas por velocidade recomendadas pela fabricante, obtém-se as rotações de maior eficiência para troca de marchas .

**Figura 16. Trocas de marcha para melhor consumo de combustível**

| VELOCIDADE DE TROCA DE MARCHA RECOMENDADA (MT) | 1.4L SPE/4 ECO       |                         |                      |                         |                     |
|--|----------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------|
|  | Condução na cidade   |                         |                      |                         | Condução na estrada |
|  | Motor frio           |                         | Motor quente         |                         |                     |
|  | Leve ou moderada (1) | Aceleração alta (2) (3) | Leve ou moderada (1) | Aceleração alta (2) (3) |                     |
| 1a > 2a  | 15 km/h              | 15 km/h                 | 14 km/h              | 14 km/h                 | 14 km/h             |
| 2a > 3a  | 33 km/h              | 33 km/h                 | 24 km/h              | 24 km/h                 | 24 km/h             |
| 3a > 4a  | 40 km/h              | 53 km/h                 | 37 km/h              | 53 km/h                 | 37 km/h             |
| 4a > 5a  | 55 km/h              | 70 km/h                 | 49 km/h              | 70 km/h                 | 49 km/h             |
| 5a > 6a  | 66 km/h              | 76 km/h                 | 56 km/h              | 76 km/h                 | 66 km/h             |

**Fonte: (Chevrolet Brasil, 2021)**

**Tabela 9. Velocidade do modelo manual para melhor consumo**

| <b>Marcha</b>  | <b><math>i_m</math></b> | <b>Velocidade<br/>(km/h)</b> | <b><math>N</math></b> | <b><math>i_{dif}</math></b> |
|----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| 1 <sup>a</sup> | 3,7                     | 0,0                          | 0,0                   | 4,6                         |
| 1 <sup>a</sup> | 3,7                     | 15,0                         | 2547,9                | 4,6                         |
| 2 <sup>a</sup> | 2,0                     | 15,0                         | 1338,0                | 4,6                         |
| 2 <sup>a</sup> | 2,0                     | 24,0                         | 2140,8                | 4,6                         |
| 3 <sup>a</sup> | 1,3                     | 24,0                         | 1441,8                | 4,6                         |
| 3 <sup>a</sup> | 1,3                     | 37,0                         | 2222,7                | 4,6                         |
| 4 <sup>a</sup> | 1,0                     | 37,0                         | 1599,7                | 4,6                         |
| 4 <sup>a</sup> | 1,0                     | 49,0                         | 2118,5                | 4,6                         |
| 5 <sup>a</sup> | 0,8                     | 49,0                         | 1694,8                | 4,6                         |
| 5 <sup>a</sup> | 0,8                     | 56,0                         | 1936,9                | 4,6                         |
| 6 <sup>a</sup> | 0,6                     | 56,0                         | 1554,6                | 4,6                         |
| 6 <sup>a</sup> | 0,6                     | 79,0                         | 2193,4                | 4,6                         |

**Fonte: Autor (2021)**

Para a elaboração da tabela, foi utilizada a mesma metodologia de formação da tabela de velocidade para o desempenho com torque ótimo. Ou seja, com as velocidades fornecidas pelo fabricante, através da equação (4) achou-se as rotações equivalentes.

É fundamental observar que todas as rotações referentes ao consumo de combustível, geram trocas de marchas em torno de 2100 até 2600 rotações por minuto. Essa era exatamente a faixa abordada no gráfico de diagrama de pressão média efetiva por rotação, que gerava as curvas de consumo.

Em relação ao câmbio automático, para fins didáticos, obter-se-á de igual modo a tabela para economia com fins comparativos. Ou seja, serão utilizadas como parâmetro as mesmas rotações de trocas do câmbio manual, uma vez que não há indicação de troca no manual do proprietário para o veículo automático.

Isso ocorre, pois, no veículo equipado com câmbio automático, não há como se fixar rotações por troca, pois as trocas são estabelecidas a partir de rotação predeterminadas, além de outras configurações, embora, haja alguns modelos que permitam, mesmo com câmbio automático, um processo de troca manual, geralmente com mecanismo borboleta ou com configurações especiais no próprio câmbio.

De modo geral, será utilizada as mesmas rotações encontradas na tabela acima, com o fim de obtermos as velocidades para posterior elaboração do diagrama. Com isso, obtém-se o seguinte diagrama.

**Tabela 10. Velocidade do modelo automático para melhor consumo**

| <b>Marcha</b>        | <b><math>i_m</math></b> | <b>Velocidade<br/>(km/h)</b> | <b><math>N</math></b> | <b><math>i_{dif}</math></b> |
|----------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| <b>1<sup>a</sup></b> | 4,4                     | 0,0                          | 0,0                   | 4,1                         |
| <b>1<sup>a</sup></b> | 4,4                     | 14,2                         | 2547,9                | 4,1                         |
| <b>2<sup>a</sup></b> | 2,9                     | 14,2                         | 1664,1                | 4,1                         |
| <b>2<sup>a</sup></b> | 2,9                     | 18,2                         | 2140,8                | 4,1                         |
| <b>3<sup>a</sup></b> | 1,9                     | 18,2                         | 1391,8                | 4,1                         |
| <b>3<sup>a</sup></b> | 1,9                     | 29,1                         | 2222,7                | 4,1                         |
| <b>4<sup>a</sup></b> | 1,4                     | 29,1                         | 1699,9                | 4,1                         |
| <b>4<sup>a</sup></b> | 1,4                     | 36,3                         | 2118,5                | 4,1                         |
| <b>5<sup>a</sup></b> | 1,0                     | 36,3                         | 1466,5                | 4,1                         |
| <b>5<sup>a</sup></b> | 1,0                     | 47,9                         | 1936,9                | 4,1                         |
| <b>6<sup>a</sup></b> | 0,7                     | 47,9                         | 1432,0                | 4,1                         |
| <b>6<sup>a</sup></b> | 0,7                     | 73,4                         | 2193,4                | 4,1                         |

Fonte: Autor (2021)

#### 4.1.3. Análise de Resultados

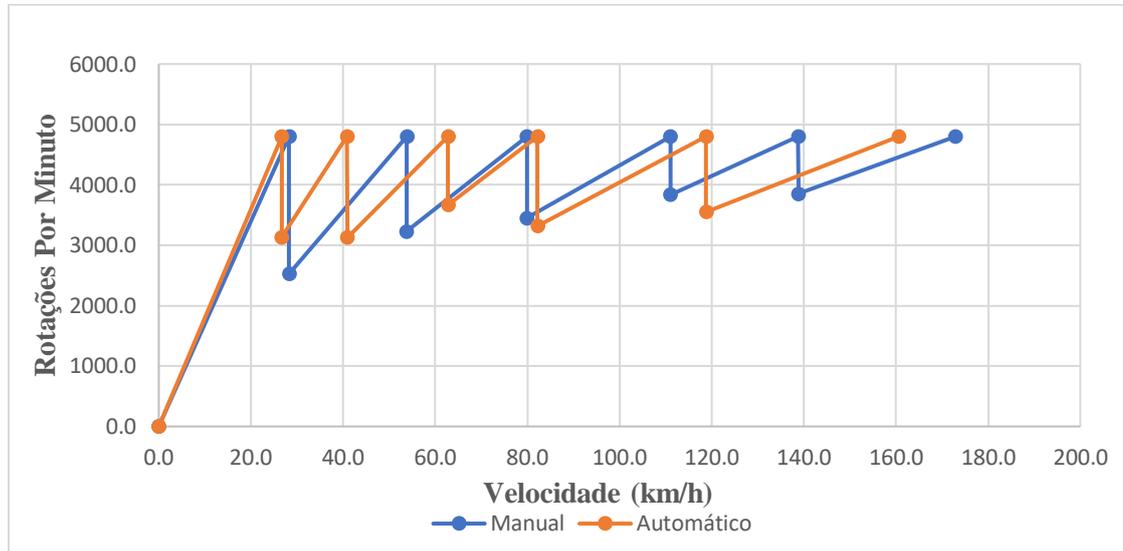
Primeiramente, é importante destacar que a avaliação dos diagramas abaixo deve ter como pressuposto a adoção de uma modelo ideal e sem as devidas perdas. Na secção relacionada ao consumo de combustível, será discutido com maiores detalhes esse fenômeno. Os diagramas apresentam a relação de rotações por minutos e velocidade em Km/h.

Inicialmente, para a leitura do diagrama, observar-se-á uma taxa máxima de rotações por minuto. Essa amplitude é selecionada sempre com base no que se deseja avaliar. Como se propõe a realizar uma comparação de desempenho e de consumo, a referência será a do torque máximo (ótimo) do motor (4800 rotações por minuto) e da rotação máxima encontrada no melhor consumo. No caso deste último, se estipulou uma rotação de 2600 rotações, pois, dessa forma, foi possível trazer uma análise mais objetiva de desempenho.

Posteriormente, para cada ponto que relaciona o torque de referência e a velocidade máxima, há um declínio brusco vertical de rotação. Esse fenômeno está relacionado com troca de marcha do motor, que é conduzida pelo condutor do veículo. Ou seja, troca-se a marcha, a velocidade mantém-se e reduz-se a rotação, uma vez que a queda de rotações é diretamente proporcionou às relações de transmissão.

#### 4.1.3.1. Resultados com torque ótimo

**Figura 17. Gráfico de desempenho para o melhor torque**



Fonte: Autor (2021)

Ao se analisar o diagrama, é possível observar primeiramente que para cada troca de marcha efetuada, o veículo que porta câmbio manual atinge velocidades maiores.

**Tabela 11. Velocidades do modelo para o melhor torque**

| Marcha         | Automático (Km/h) | Manual (Km/h) | Diferença |
|----------------|-------------------|---------------|-----------|
| 1 <sup>a</sup> | 0                 | 0             | 0%        |
| 2 <sup>a</sup> | 26,7              | 28,3          | 6%        |
| 3 <sup>a</sup> | 41                | 53,8          | 31%       |
| 4 <sup>a</sup> | 62,8              | 80            | 27%       |
| 5 <sup>a</sup> | 82,2              | 111           | 35%       |
| 6 <sup>a</sup> | 118,8             | 138,8         | 17%       |

Fonte: Autor (2021)

A tabela relacionada acima demonstra as velocidades na perspectiva da análise de desempenho. Pode-se observar como as velocidades, principalmente nas marchas 3, 4, 5 (maiores que 25%), são superiores. Ou seja, para todas as relações de transmissões observa-se que o modelo equipado com versão manual possui melhor desempenho.

Além disso, a velocidade máxima, conforme o diagrama dente de serra, calculada a rotações em torno de 4800 giros estaria em torno de 173 km/h no veículo com câmbio manual e 161 km/h no veículo automático.

É fundamental destacar também que as velocidades são inversamente proporcionais às relações de transmissão, conforme a equação (3). Portanto, como o modelo automático possui em suas relações de transmissão, maiores índices de multiplicação de torque, é esperado que se tenha uma aceleração inicial semelhante à do câmbio manual, porém com menores velocidades intermediárias e finais. Ademais, a divergência também acontece devido ao fato do modelo automático possuir maior peso e menor eficiência (pelas perdas internas na transmissão). Além disso, faz-se necessário, também, pontuar a proximidade de giros nas trocas de marcha relacionadas a ambas as transmissões.

Em se tratando do veículo manual, observamos que há uma tendência de aumento progressivo nas rotações a cada troca. O veículo automático por outro lado, apresenta uma variação de rotação em faixas semelhantes. Todos os valores de rotação são obtidos a partir da equação (4), que relaciona como diretamente proporcional a rotação pelas relações de transmissão.

A tabela abaixo descreve a rotação conforme a marcha selecionada.

**Tabela 12. Rotações por minuto do modelo para o melhor torque**

| <b>Marcha</b>  | <b>Manual</b> | <b>Automático</b> | <b>Diferença</b> |
|----------------|---------------|-------------------|------------------|
| 1 <sup>a</sup> | 0             | 0                 | 0                |
| 2 <sup>a</sup> | 2524,3        | 3136,7            | 24,4%            |
| 3 <sup>a</sup> | 3231,9        | 3127,8            | 3,3%             |
| 4 <sup>a</sup> | 3454,4        | 3668,6            | 5,2%             |
| 5 <sup>a</sup> | 3839,2        | 3320,8            | 15,6%            |
| 6 <sup>a</sup> | 3853,2        | 3551,5            | 9,4%             |

**Fonte: Autor (2021)**

Se for observada a primeira troca de marcha do veículo manual, que envolve a passagem da primeira para a segunda relação, percebe-se que ocorre uma queda de 4800 rotações, ponto de referência do melhor torque, para aproximadamente 2500 rotações (esse valor é perceptível avaliando o gráfico de desempenho e a tabela acima), ou seja, ocorre aproximadamente uma variação na faixa de 2300 rotações.

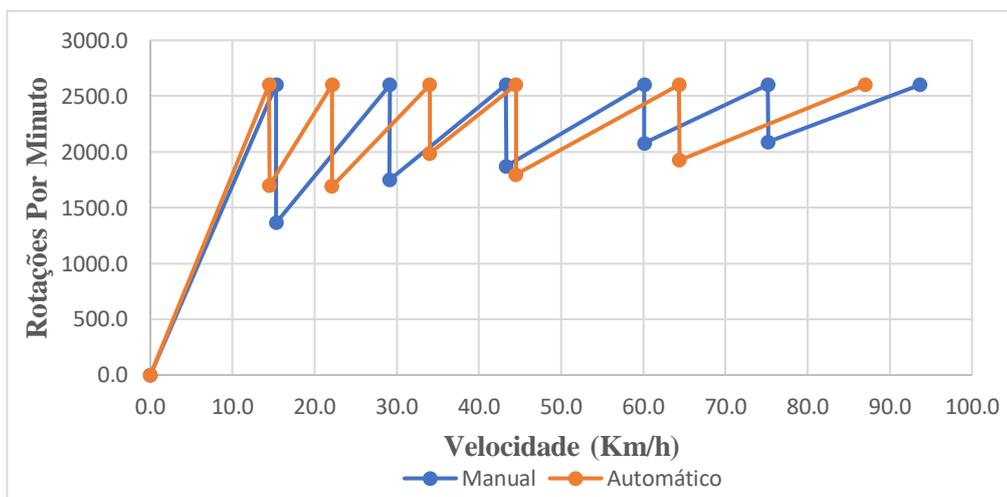
Entretanto, quando se avalia a troca da marcha mais alta, da quinta para sexta, observamos um declínio de 4800 rotações para 3800 rotações aproximadamente, uma variação na faixa de 1000 giros. Portanto, observa-se um aumento progressivo nos giros, o que acaba em cada marcha gerando maior trabalho para o motor e conseqüentemente, maiores perdas na eficiência de desempenho.

Em relação ao modelo equipado com câmbio automático, é possível visualizar a proximidade das rotações nas trocas de marcha. Todavia, destaca-se que todas as mudanças no câmbio ocorrem em rotações elevadas, por conta das suas superiores relações de transmissão, tópico que já foi pontuado. Ademais, embora esteja-se avaliando o desempenho, em velocidades mais estáveis de meio urbano, essa característica influenciará fortemente no consumo, pois o mesmo associa-se com as rotações, conforme os diagramas de pressão média efetiva.

Ainda se destaca que esses valores de rotação são importantes, pois representam, primeiramente, a influência das relações de transmissão. Em se tratando de altas defasagens de relação de marchas, ocorrem quedas bruscas de rotação. Além disso, outro ponto fundamental de análise consiste no comprimento das trocas de marcha, aspecto que será avaliado na conclusão.

#### 4.1.3.2. Resultados para o melhor consumo

**Figura 18. Gráfico de desempenho para o melhor consumo**



**Fonte: Autor (2021)**

Da mesma forma, podemos observar variações semelhantes, em relação à comparação com o torque ótimo. Essas são observada em todos os parâmetros: nas velocidades, nas rotações e nos comprimentos das marchas. Entretanto com taxas de variação menores.

Assim, observa-se na comparação relativa ao consumo uma divergência menor e mais interessante, uma vez que, em geral, esse modelo de veículo, por se tratar de um carro popular, será submetido à regimes de rotações semelhantes.

#### 4.1.4. Conclusões para o desempenho

Nas análises acima, os principais parâmetros envolvendo diferença de desempenho na velocidade e rotação são explicados pela tendência de marchas longas no modelo equipado com câmbio manual e, no caso do veículo automático, pela tendência de marchas mais curtas.

Segundo Guerra (2015), essa distinção de comprimento de marchas, é dada conforme a dimensão das rodas dentadas que compõe a transmissão. Ou seja, a divisão das medidas da Coroa e do Pinhão, também conhecido como relação de transmissão (ilustrada na tabela 2), uma vez que estamos tratando de transmissões por engrenagens.

Nesse sentido, quando se têm relações de marchas muito próximas, fica caracterizado um veículo com comprimento menor, ou seja, as diferenças de razão entre suas engrenagens (diferença das relações de transmissão para todas as marchas) não são tão acentuadas. Por conseguinte, quando se têm relações mais longas, é possível observar maior defasagem.

Geralmente, esse fenômeno é responsável pela influência no comportamento do desempenho do carro: tempo de trocas de marchas, taxas de velocidade, índices de aceleração, quedas de rotação nas trocas etc.

Além disso, é fundamental compreender que a distinção em câmbios curtos e longos depende, prioritariamente, da referência a ser selecionada. O balanço geral dessa diferença vai caracterizar um veículo como de comprimento longo ou curto. Nesse sentido, os câmbios curtos e longos são classificados levando-se em consideração todas as suas relações.

Por exemplo, as primeiras marchas nos veículos sempre serão mais próximas, pois se objetiva tirar o carro da inércia, ficando caracterizada a multiplicação de torque. Por isso, não é possível caracteriza-lo como curto ainda. Ademais, quando o veículo já se encontra em movimento, as relações de transmissão para marchas mais altas são mais distantes, pois se tem relações multiplicadores de velocidade, variando da nas faixas de 0 e 1; por conseguinte, também não é possível caracterizá-lo como longo.

Dessa forma, o todo tem de ser avaliado a partir de uma referência. Como o trabalho se propõe a comparar duas versões para o mesmo modelo, é possível realizar essa comparação com mais objetividade.

É importante destacar que as marchas longas e curtas possuem vantagens e desvantagens. Nesse contexto, é imprescindível partir para um aspecto subjetivo, que será dado pelo condutor: ou seja, qual será a finalidade de uso do veículo.

Em relação à versão automática do Onix, 1.4 L, observou-se, em comparação com o câmbio manual, uma tendência a marchas mais curtas, que gerou, para os fins de exploração do trabalho, a tabela abaixo discriminando as vantagens e desvantagens desse tipo de configuração.

**Tabela 13. Pontos positivos e negativos de desempenho do veículo automático**

| <b>Prós</b>                | <b>Contras</b>                |
|----------------------------|-------------------------------|
| Aceleração inicial alta    | Maior consumo                 |
| Boa arrancada              | Trocas de marchas constantes  |
| Para veículos mais pesados | Menor velocidade limite       |
| -                          | Altas rotações em meio urbano |

**Fonte: Autor (2021)**

Em geral, o câmbio curto é reconhecido pela constância de troca de marcha, como visto no diagrama dente de serra. Ainda é indicado para veículos de baixa cilindrada, como veículos 1.0, por exemplo, ou para veículos pesados, por causa da dificuldade de se tirar da inércia. No caso do modelo avaliado, é necessário esse tipo de configuração pelo peso da transmissão e pela maior perda de eficiência que ocorre na mesma.

Já o câmbio mais longo, característica do câmbio manual, a tabela abaixo discriminará seus benefícios e desvantagens

**Tabela 14. Pontos positivos e negativos de desempenho veículo manual**

| <b>Prós</b>                     | <b>Contras</b>              |
|---------------------------------|-----------------------------|
| Economia de combustível         | Aceleração menores          |
| Altas velocidades               | Baixo desempenho em aclives |
| Elevada elasticidade de marchas | -                           |

**Fonte: Autor (2021)**

As configurações de câmbio longo costumam ser aplicadas em automóveis com um número de marchas mais elevado. Rodam em alta velocidade e baixa rotação.

Portanto, ao se avaliar as características acima, observou-se um melhor desempenho em relação ao modelo Ônix, 1.4 L, de câmbio manual, em relação à sua versão automática.

Além disso, de forma geral, percebe-se uma tendência de veículos de câmbios automáticos equipados com transmissões com elevado número de marchas e, além disso, valendo-se no chamado escalonamento misto: deixando-se, portanto, as primeiras marchas com as relações mais curtas e estendendo, assim, as marchas posteriores para maior velocidade.

Por fim, percebe-se que o veículo equipado com câmbio manual, proporciona para o condutor um melhor consumo e baixa rotação e maior velocidade. Em se tratando da versão automática do veículo destaca-se uma boa aceleração, quando comparada com seu peso.

## 4.2. CONSUMO

Conforme Lechner (1999), o consumo de combustível é um dos fatores mais determinantes para a mensuração da eficiência de um motor. Entretanto, é preciso ter em mente que várias outras variáveis, como a emissão de poluentes, devem ser levadas em consideração na medição dessa eficiência.

Em geral, as mensurações de consumo são extremamente difíceis de serem calculadas, uma vez que só o motorista, por exemplo, influencia excessivamente no gasto de combustível. Diante disso, vários métodos são utilizados para tratar da média geral de consumo de um veículo.

Os principais métodos de medição estão associados ao consumo por distância percorrida, fator que estamos acostumados no Brasil, como quilômetros por litro, e ao consumo por tempo. (CARDOSO, 2012).

Caso se deseja saber o consumo de combustível em um dado momento, existem equações que evidenciam essa característica. Contudo, geralmente, utilizam-se ciclos de medição padrão, onde se põe o veículo em uma rodovia e faz-se a medição de combustível por ciclos.

Todavia, existem outras variáveis fundamentais quem tem sido trabalhada para regular esse gasto.

### 4.2.1. Ratio Spread e Consumo Específico

A tendência de crescente das transmissões automáticas é justificada hoje não só pelo conforto, mas também por sua eficiência. Assim, peças como as centrais eletrônicas que comandam a transmissão e principalmente, o Ratio Spread, que será abordado nesta seção, evoluíram e contribuem para a diminuição de consumo e perdas de eficiência na caixa.

Conforme Cardoso (2012), um dos parâmetros mais utilizados nos últimos anos para se reduzir o consumo é o dimensionamento dessa variável. O Ratio Spread é a relação que há entre duas marchas adjacentes ( 2ª e 3ª ; 3ª e 4ª como exemplo) - calculada pela razão entre as relações de transmissão. Esse valor pode ser obtido pela Equação (7):

$$Ratio_{spread} = \frac{i_a}{i_b} \quad (7)$$

Onde  $i_a$  é a relação de transmissão com razão superior, representante da marcha “a”, e  $i_b$  a relação com razão inferior, representando a marcha “b”.

O “Overall Ratio Spread” é uma variável pertencente à mesma família, todavia representa um termo global, e é calculado utilizando também a equação (7). Esse parâmetro consiste na razão entre a relação de transmissão da primeira marcha pela última, como 1ª e 5ª – para um veículo equipado com cinco relações.

Para o modelo adotado neste projeto, Chevrolet Onix 2018, 1.4 L, seria a relação entre a primeira marcha e a sexta marcha. Nesse caso, para o modelo equipado com câmbio automático, como a primeira relação de transmissão é 4,4: 1 e a última é 0,7:1, o Overall Ratio Spread seria, conforme a equação (7): relação de 1ª (4,4) / relação de 6ª (0,7) = 6,29.

Para um melhor consumo e desempenho, faz-se necessário um “Overall Ratio Spread” elevado, pois teríamos uma alta aceleração inicial e altas velocidades nas últimas marchas (CRAIG’S, 2014). Ou seja, quanto maior for o numerador, se tem elevada aceleração (alto torque) e, quanto menor o denominador, tem-se maior multiplicação de velocidade. É possível associar esse fenômeno com a características de câmbios de marchas longas e curtas, visto na conclusão da secção anterior.

Por esse motivo, a maioria dos veículos com câmbios automáticos e manuais adotam o chamado escalonamento misto. Ou seja, possuem marchas curtas para a retirada da inércia e marchas longas para o alcance de significantes taxas de velocidades a rotações não muito elevadas (GUERRA, 2015).

Todavia, conforme Cardoso(2012), é ideal que se tenha não só uma cautela com a definição do Overall Ratio Spread na modelagem na caixa, mas também com as definições dos Ratio’s Spreads de todas as marchas adjacentes. Uma vez que essas rotações adjacentes influenciam nas rotações específicas do motor ao ocorrer as trocas de marcha, alterando a relação de consumo, por exemplo.

Desse modo, é possível perceber pela equação como o Ratio Spread influencia a rotação específica. Conforme Craig( 2014), a equação (8) evidência essa característica ao associar a rotação com o valor de Ratio spread específico, ou seja, aos valores dessa variável associados com marchas adjacentes.

$$N_a = \frac{N_b}{Ratio_{spread}} \quad (8)$$

Onde  $a$  e  $b$  representam respectivamente a marcha atual e marcha antecessora. Ou seja, a rotação em determinada marcha será estipulada pela relação entre a rotação da marcha atual por seu Ratio Spread.

Assim, pode-se observar que, de acordo com a modelagem do Ratio Spread, haverá influência significativa na rotação. Quanto maior esse parâmetro, menor a rotação. Por isso, um mal balanceamento nessa grandeza pode acabar gerando, por exemplo, elevadas perdas de aceleração, desconforto para o condutor e, de acordo com os diagramas de pressão média efetiva e rotações por minuto, variações no consumo de combustível.

Com isso, é possível fazer a seguinte dedução: a única forma de se ter um grande Overall Ratio Spread e Ratios Spread's menores será através da utilização de sistema de transmissão com o maior número de marchas possíveis. Uma vez que esse equilíbrio gera um equilíbrio na potência, por exemplo (foi visto como a própria é influenciada pela rotação).

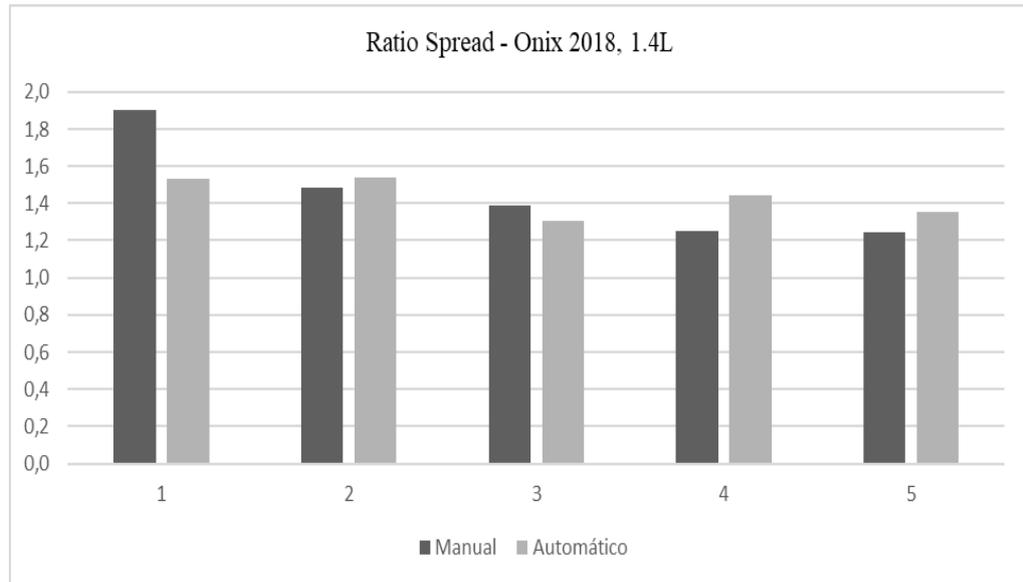
No modelo selecionado pelo projeto, Chevrolet Onix, pode-se elaborar um diagrama de Ratio Spread e verificar a comparação com o consumo. Utilizando a Equação (7) e com a Tabela de relações de transmissão elabora-se a tabela abaixo.

**Tabela 15. Relação de Ratios spreads para o modelo**

| Troca   | MT  | AT  |
|---------|-----|-----|
| 1 → 2   | 1,9 | 1,5 |
| 2 → 3   | 1,5 | 1,5 |
| 3 → 4   | 1,4 | 1,3 |
| 4 → 5   | 1,3 | 1,4 |
| 5 → 6   | 1,2 | 1,4 |
| Overall | 6,2 | 6,3 |

Fonte: Autor (2021)

Para o melhor entendimento da série, elaborar-se-á um gráfico comparativo. As razões serão enumeradas em 1,2,3,4, 5, o que representará respectivamente as trocas da 1ª para 2ª, 2ª para 3ª, 3ª para 4ª, 4ª para 5ª e finalmente, 5ª para 6ª.

**Figura 19. Gráfico comparativo entre as razões de transmissão entre os modelos**

**Fonte: Autor (2021)**

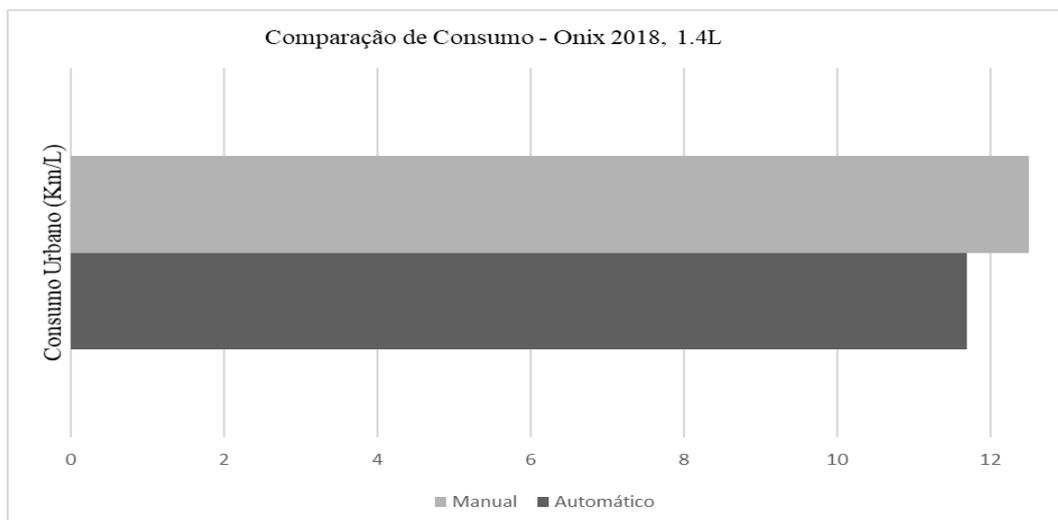
No gráfico em questão, primeiramente é possível observar a proximidade existente entre as razões das relações de transmissão. Essa característica é explicada, por exemplo, pelo número de marchas dos câmbios serem iguais e de número mais elevado (6 relações).

Além disso, observa-se que o Ratio Spread do câmbio manual decresce a partir da segunda marcha em progressão quase uniforme (o que explica o seu comportamento no gráfico de desempenho). Além disso, na primeira troca de marcha, possui-se uma relação mais elevada, o que traduz o maior decréscimo de rotações por minuto, visualizada na comparação de desempenho.

Em relação à transmissão automática, observa-se uma irregularidade nessas razões, anomalia vista no gráfico de desempenho dessa transmissão, que possui oscilações de rotação devido ao aumento da razão entre as relações 3 e 4.

#### **4.2.2. Análise dos Resultados para Consumo**

Diante do gráfico abaixo de comparação é possível concluir que, embora os veículos portadores de transmissão automática possuam maior consumo de combustível, é possível visualizar uma reduzida discrepância. O aumento do número de marchas e a proximidade de razões Spread explica a pequena divergência de consumo, que está na casa dos 7% de diferença.

**Figura 20. Gráfico de comparação de consumo entre os modelos**

**Fonte: Autor (2021)**

Em relação às transmissões automáticas, é possível afirmar que o modelo possui um consumo de combustível mais elevado do que o modelo equipado com as transmissões manuais. Esse fenômeno ocorre por diversos fatores.

Em primeiro lugar, pode-se citar as perdas de eficiência nas próprias transmissões. Essa característica é explicada devido a peças como o conversor de torque, que gera uma mediação entre o eixo do motor e o eixo de transmissão, substituindo, assim, a embreagem dos veículos manuais. Ele é responsável por transmitir o torque ao eixo de engrenagens planetárias e, por conseguinte, acaba gerando perdas mecânicas no caminho. (MAURUM, 2016).

Além disso, pode-se associar o maior consumo devido à dinâmica do câmbio estar altamente associada com o fluido de transmissão, que é operado pela bomba de óleo. Os fluidos de transmissão automática trabalham em toda a caixa, e iniciam seu esforço mecânico a partir de seu direcionamento pelo conversor de torque ao eixo planetário. Esse elemento é submetido a altas temperaturas e, além de sua função lubrificante, atua também como mecanismo de refrigeração da caixa, diferentemente do óleo do motor que tem essa função com característica mais auxiliar, uma vez que há a presença do radiador.

Por isso, muitas vezes as caixas automáticas contêm trocadores de calor dedicados exclusivamente ao óleo da transmissão. Sendo, assim, outro elemento que gera elevadas perdas. Desse modo, o veículo de câmbio manual se sobressai, uma vez que possui uma ligação do motor com eixo de transmissão sem muitas mediações, valendo-se apenas de embreagem, o que acaba reduzindo a perda de eficiência esperada.

Nesse sentido, para se manter uma aproximação no consumo, conforme a AutoTechinsight (2018), os fabricantes têm desenvolvido transmissões para incorporar mudanças na potência de entrada e fornecer maior distribuição de torque com menos queima de combustível, oferecendo mais relações de transmissão nos carros.

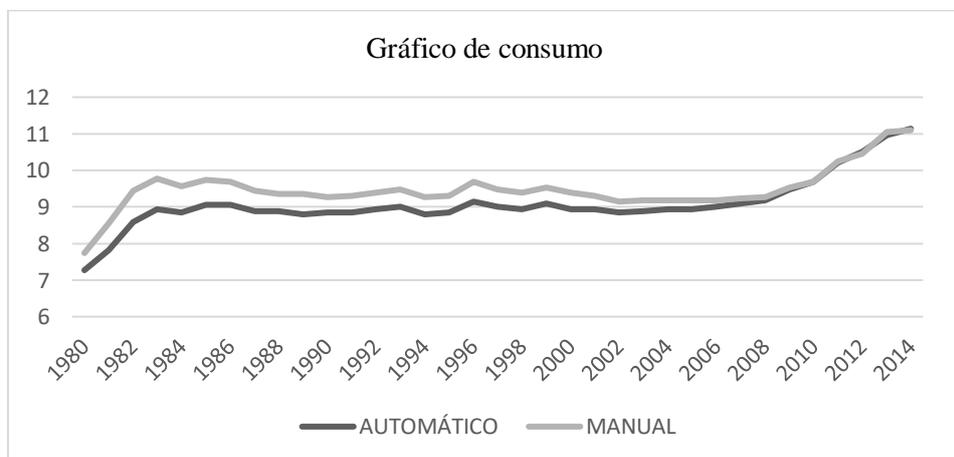
Ou seja, a modelagem das razões Spread vem sendo fundamental para evitar essa maior diferença entre o consumo. Como foi possível visualizar, os parâmetros do veículo automático e manual, quando comparados, traziam valores bem próximos, o que explica a baixa diferença de consumo médio, mesmo com todas as perdas citadas.

### 4.2.3. Comparação Geral

Como dito anterioremente, observa-se a diminuição nessa diferença de consumo entre as transmissões. Isso vem surgindo com uma tendência nos últimos anos. Conforme o Departamento de Energia dos Estados Unidos (2014), “historicamente, as transmissões manuais proporcionam melhor economia de combustível do que as transmissões automáticas.” e ainda acrescentam: “No entanto, as melhorias na eficiência das transmissões automáticas fecharam essa lacuna nos últimos anos”. De acordo com o departamento norte-americano, esse fator é explicado pelas melhorias do número de engrenagens, como visto anteriormente.

Para demonstrar essa convergência, essa insituição levantou em 2014, um comparativo de consumos de veículos automáticos e manuais que oferecem ambas as versões e os resumiu em um gráfico de linhas. Pode-se verificar os valores adaptados para parâmetros brasileiros (quilômetros por litro) para melhor vizualização.

**Figura 21. Evolução do consumo de combustível entre veículos automáticos e manuais**



**Fonte: Autor (2021)**

Nesse sentido, coletou-se uma amostra de trinta veículos do ano de 2020 de diferentes montadoras a partir de tabelas oferecidas pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO) que relacionam esses veículos com linhas de consumo de combustível por quilômetros por litro. Com os dados obtidos por essa instituição, foi possível elaborar a seguinte tabela. Para o estudo em questão, a média dos 29 veículos girou em 4,75%, ou seja, as diferenças entre o consumo está abaixo dos 10% de diferença. Descata-se que o modelo do estudo trouxe uma diferença de 7%.

### 4.3. MANUNTENÇÃO E PREÇOS

Nesta secção, serão avaliados números acerca de preços, referentes a compra e manutenção, que envolvem o modelo oferecido em ambas as transmissões. A proposta consiste em trazer um ponto de vista mais objetivo.

Logo, primeiramente, serão levantados dados relacionados à diferença de custo na compra dos veículos equipados com diferentes versões de câmbio. Posteriormente, far-se-á uma análise que envolve a manutenção e os custos para a conservação do veículo, ou seja, custos de trocas cíclicas.

#### 4.3.1. Preços de Compra

Para o modelo escolhido para o projeto, Chevrolet Onix 2018, 1.4L, a tabela a seguir explicita os valores de mercado relacionados a preço e desvalorização. Os dados de venda foram obtidos através de dados da Fundação Instituto de Pesquisa Econômica (FIPE), de acordo com abril de 2020.

**Tabela 16. Preço de compra e venda dos modelos automáticos e manuais**

|            | <b>Compra</b> | <b>Venda</b> | <b>Desvalorização</b> |
|------------|---------------|--------------|-----------------------|
| Automático | R\$ 61930,00  | R\$50050,00  | 19%                   |
| Manual     | R\$ 56690,00  | R\$47190,00  | 17%                   |

**Fonte: Autor (2021)**

Primeiramente, é possível observar a diferença no preço de compra a um pouco mais de R\$ 5000. Essa diferença vem representando variação um pouco menor de 9% no preço final do veículo.

Pode-se notar que, no geral, a diferença de perda líquida vem com ônus de quase R\$1700,00 para o proprietário do veículo com caixa automática.

Primeiramente, em relação ao preço de aquisição, é possível observar a diferença de valores em torno de R\$6.000. O que, conforme Lemos (2019), ainda é hoje, o fator determinante para a compra de veículos automáticos e manuais. Nesse sentido, o autor informa que, em geral, um mesmo veículo pode sofrer uma variação de R\$300 a mais de R\$6000.

Além disso, é necessário notar a proximidade da desvalorização veicular. Ambos, no período de 2 anos, sofreram variações significativas de preço na faixa de 18%. Além disso, é importante notar que, para determinadas categorias de veículos, como carros sedãs médios, a falta de transmissão automática, acaba dificultando a posterior venda do veículo.

Dessa forma, conclui-se que a escolha entre um veículo com câmbio automático ou manual, na maioria das vezes, vai gerar uma ponderação relacionada ao preço para adquiri-lo.

Existem fatores positivos e negativos entre os valores que devem ser ponderados na escolha. Por esse motivo, pode-se afirmar que a decisão final, dependerá de uma sinalização do próprio motorista, ou seja, de um aspecto subjetivo relacionado a sua necessidade de conforto ou a determinada característica sua, como, por exemplo, um condutor com deficiência, ou qualquer outra característica que gere uma preferência para um determinado tipo de câmbio.

#### **4.3.2. Manutenção**

As manutenções às quais os veículos se submetem variam bastante conforme diversas variáveis, inclusive com grande influência do condutor do automóvel. Dessa forma, de acordo com o regime a qual o carro é submetido, é possível observamos mudanças que vão de reparos simples até a troca completa de peças. Como o objetivo está delimitado às transmissões, observa-se-á esses parâmetros com base nos dados fornecidos pelos fabricantes.

Em geral, os veículos equipados com câmbios automáticos são submetidos a manutenção principalmente em função do fluido de transmissão. Esse fenômeno é explicado devido à grande influência dos fluidos, já citado anteriormente, também conhecido como ATF (Automatic Transmission Fluid) na dinâmica veicular (BAXTER, 2021). É possível citar diversas funções desse elemento: lubrificação dos componentes internos da transmissão; geração de pressão para aplicação das embreagens e freios; geração de movimento para as válvulas; vedação interna dos elementos da transmissão; remoção do calor gerado pelo trabalho de seus componentes, especialmente pelo conversor de torque. Portanto, em geral, quando

ocorrem falhas na transmissão, essas se associam ao fluido. Nesse sentido, o foco será dado à troca do óleo.

No modelo tratado, Chevrolet Onix 2018, 1.4L, é interessante notar que, em geral, o fabricante do veículo não recomenda a troca do lubrificante para o câmbio automático. A montadora recomenda a inspeção regular e o complemento de nível. Isso ocorre devido à característica de regime de uso do veículo, que geralmente consideram condições ideais, as quais não abarcam a realidade do meio urbano, em que o veículo é submetido a trânsito intenso, altas rotações no motor – característica denominadas de regime severo de uso.

No entanto, o fabricante recomenda a troca para condições severas, próximas à realidade urbana, com 80.000Km, gerando uma necessidade de 8,5 litros de fluido de transmissão. Porém, segundo a Associação de Profissionais Técnicos em Transmissão Automática (APTTA), este período de troca, em uma perspectiva mais preventiva, deve girar em torno de 50.000 km.

Por fim, é importante destacar que pode ser necessário um período ainda menor para a realização da troca do fluido de transmissão. Isso justifica-se pela necessidade de se realizar intervenções quando há constantes aquecimentos nas caixas. Nesse caso, o fluido de transmissão pode ser trocado, por exemplo, em quilometragens próximas de 20.000 km (COLVOSS, 2019).

Por outro lado, de acordo com Feldman (2020), o câmbio manual necessita de uma manutenção mais simples, uma vez que seu principal elemento de troca, o fluido de transmissão, tem como primordial função gerar um coeficiente de atrito agradável para a dinâmica das engrenagens da caixa. Além disso, também tem como função auxiliar, a troca de calor entre as engrenagens.

Por esse motivo, no modelo de estudo não há recomendação para troca de óleo do câmbio do veículo Chevrolet Onix 2018,1.4L. Conforme o fabricante, o único motivo para verificação de nível seria a perda do fluido da transmissão. Além disso, caso haja a necessidade de troca, esta estaria por volta de 1,6L já levando em consideração a necessidade de se lubrificar o diferencial do veículo.

Nesse sentido, para uma estimativa otimista, não haveria necessidade de troca. Entretanto, seguindo especialistas no ramo automotivo mais conservadores, estima-se a troca a partir de 100.000 km. Ademais, num cenário pessimista, a troca estaria em torno de 50.000 km.

#### 4.3.2.1. Cálculo do preço de manutenção.

Para se calcular os custos de manutenção associados aos modelos equipados com ambos os câmbios, utilizar-se-á ferramentas de gerenciamento de projetos. O projeto em questão se valerá da técnica PERT (Program Evaluation and Review Technique). Esse método se vale de certezas e incertezas para estimar os custos de determinada manutenção. (MONTES, 2020).

Conforme o autor, devemos considerar três custos de manutenção: Custo otimista, Custo Realista e Custo Pessimista. A partir disso, utilizar-se-á a Equação (9) para se encontrar o Custo Esperado de manutenção. Aqui, vale-se do princípio contábil da prudência:

$$C_e = \frac{C_0 + 6 \cdot C_r + C_p}{4} \quad (9)$$

Onde  $C_e$  é o custo esperado,  $C_r$  representa o custo realista,  $C_p$  o custo pessimista e  $C_0$  é o custo otimista.

Estimaremos o cálculo da seguinte forma: em primeiro lugar serão estipuladas as recomendações do tempo manutenção dos veículos, conforme as orientações técnicas de troca tratadas anteriormente; posteriormente, será ponderado os valores, ou seja, o custo financeiro para a manutenção básica de um veículo com câmbio automático e manual; por fim, será feita uma tabela levando em consideração o possível gasto em períodos prolongados ( 5, 10 e 15 anos).

Para estimarmos os custos a curto, médio e longo prazo, necessita-se dos tempos mínimos de rodagem dos veículo para estimar-se de forma objetiva esses valores. Todos os dados levam em consideração o modelo Chevrolet Onix 2018, 1.4L. Em relação ao câmbio automático, estima-se os seguintes períodos de manutenção. A Partir disso, é possível o cálculo dos custos de manunteção levando em consideração períodos que variam no período de 5, 10 e 15 anos.

**Tabela 17. Períodos de troca para veículos automáticos**

| <b>Cenário</b>      | <b>Troca</b> |
|---------------------|--------------|
| Pessimista          | 20000 Km     |
| Realista            | 40000 Km     |
| Otimista            | 80000 Km     |
| Preço de Manutenção | R\$ 1.600,00 |

Fonte: Autor (2021)

Em relação ao câmbio manual, têm-se os seguintes valores:

**Tabela 18. Períodos de troca para veículos manuais**

| <b>Cenário</b>      | <b>Troca</b> |
|---------------------|--------------|
| Pessimista          | 50000 Km     |
| Realista            | 100000Km     |
| Otimista            | Não troca    |
| Preço de Manutenção | R\$ 400,00   |

**Fonte: Autor (2021)**

Para se estimar o tempo de rodagem, abordaremos um aspecto mais objetivo. Conforme a Kelly Blue Book (2019), em média, tem-se que os carros brasileiros rodam por ano uma quilômetragem por volta de 13.000Km. Dessa forma, para a geração de cálculos de estimativa, teríamos 65.000 km em 5 anos, 130.000 Km em 10 anos e 195.00Km em 15 anos.

Diante disso, elabora-se a seguinte tabela de quantidades de manutenções esperadas para o período de 5,10 e 15 anos.

**Tabela 19. Números de manutenção do modelo automático por cenário**

|                    | <b>5 anos ( 65.00km)</b> | <b>10 anos ( 130.000km)</b> | <b>15 anos ( 195.000km)</b> |
|--------------------|--------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Cenário Pessimista | 3                        | 6                           | 9                           |
| Cenário Realista   | 1                        | 2                           | 3                           |
| Cenário Otimista   | 0                        | 1                           | 2                           |

**Fonte: Autor (2021)**

**Tabela 20. Números de manutenção do modelo manual por cenário**

|                    | <b>5 anos ( 65.00km)</b> | <b>10 anos ( 13.000km)</b> | <b>15 anos ( 195.000km)</b> |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| Cenário Pessimista | 1                        | 2                          | 3                           |
| Cenário Realista   | 0                        | 1                          | 1                           |
| Cenário Otimista   | 0                        | 0                          | 0                           |

**Fonte: Autor (2021)**

Para o melhor entendimento da tabela, seguirá um exemplo. Em relação ao câmbio automático, sabe-se que em um cenário pessimista de manutenção, seriam necessárias trocas básicas no lubrificante a cada 20.000Km. Nesse contexto, para um veículo com 65.000 Km de

rodagem, o máximo de manutenções médias em cenários pessimistas estariam em torno de 3 trocagens (a última realizada com 60.000 Km). Para complementar a ideia, no caso de 15 anos, seriam necessárias, por exemplo, nove manutenções, uma vez que a partir de 180.000 Km mais uma troca deveria ser realizada. Além disso, em 200.000 Km, ainda na perspectiva pessimista, mais um manutenção iria ser necessária.

Diante disso, é possível ver, por exemplo, um número muito mais expressivo de manutenções em veículos de transmissões automáticas em relação às manuais. Por exemplo, em cenários pessimistas, no período de 15 anos, seriam necessárias no mínimo nove intervenções no automático, enquanto apenas 3 seriam necessários no manual. Esse número é financeiramente impactante como veremos logo

Na relação com os custos de manutenção, percebe-se uma diferença menos modesta. A tabela a seguir, trata da divergência entre os preços encontrados e sua proporção. É importante destacar que os cálculos médios foram elaborados com base na equação nove.

**Tabela 21. Estimativas de custos de manutenção para modelo automático**

|                      | <b>Custo Mínimo</b> | <b>Custo Máximo</b> | <b>Custo médio</b> |
|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 5 anos ( 65.00km)    | R\$ 0,00            | R\$ 4.800,00        | R\$ 1.866,67       |
| 10 anos ( 130.000km) | R\$ 1.600,00        | R\$ 9.600,00        | R\$ 4.000,00       |
| 15 anos ( 195.000km) | R\$ 3.200,00        | R\$ 16.000,00       | R\$ 8.533,33       |

**Fonte: Autor (2021)**

**Tabela 22. Estimativas de custos de manutenção para modelo manual**

|                      | <b>Custo Mínimo</b> | <b>Custo Máximo</b> | <b>Custo médio</b> |
|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 5 anos ( 65.00km)    | R\$ 0,00            | R\$ 400,00          | R\$ 66,67          |
| 10 anos ( 130.000km) | R\$ 0,00            | R\$ 800,00          | R\$ 400,00         |
| 15 anos ( 195.000km) | R\$ 0,00            | R\$ 1200,00         | R\$ 733,3          |

**Fonte: Autor (2021)**

É necessário salientear que estes valores não levam em consideração, por exemplo, reparos e outras manutenções de conserto que podem surgir em ambas as transmissões, como trocas de peças etc. Ou seja, aqui, considera-se unicamente as trocas do fluido de transmissão automática e manual, tipo de manutenção mais comum. Lembrando que os reparos em câmbios automáticos constituem custo mais elevado devido à mão de obra mais especializada e à menor oferta de peças.

Além disso, destaca-se que os valores utilizam como parâmetros valores oficiais de concessionárias autorizadas. Ou seja, são valores médios que podem sofrer variações significativas a depender da região do país.

Por fim, é interessante notar que os valores máximos e mínimos representam, respectivamente, os custos de um cenário pessimista e otimista, e, além disso, faz-se necessário pontuar ainda que o custo médio é elaborado com base na equação de número 9. Dessa forma, é possível, a partir das informações da tabela acima, tirar-se diversas conclusões.

De início, observar-se que o preço médio mínimo esperado nas manutenções dos câmbios automáticos (R\$ 1.866,67 para 5 anos) é 154% maior do que o custo médio esperado para o período de 15 anos do câmbio manual. Se for levado em consideração, percebe-se também que a longo prazo, no período de 15 anos, há uma diferença nos custos de manutenção em torno de R\$7.8000. Ou seja, as manutenções nas quais o veículo automático se submete geram um valor médio em torno de 15% do valor inicial de um carro manual.

Esses valores aumentam ainda mais quando é realizado uma avaliação com base no cenário pessimista de manutenção- que acaba gerando na tabela os valores máximos. Por exemplo, ao observar o custo máximo de uns cenários pessimistas para 65.000 KM, observa-se que ainda a uma divergência muito maior que o custo pessimista de 15 anos para o veículo manual (cerca de R\$1.200).

Na ponderação de custos máximos para 15 anos, por exemplo, observa-se que o câmbio automático pode gerar um aumento de 837% no custo de manutenção. Ou seja, é possível que o valor pago na manutenção de um carro automático para o período de 15 anos seja equivalente ao preço de venda de um veículo com câmbio manual para o mesmo período.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após os resultados obtidos na elaboração do desenvolvimento do projeto, alguns pontos devem ser levados em consideração para a melhor conclusão do trabalho. De início, uma análise técnica, utilizando o modelo Chevrolet Onix 2018, 1.4, foi realizada: os dados oficiais foram comparados e, somando-se com o a utilização de princípios e equações mecânicas, foi possível tirar diversos apontamentos.

Em primeiro lugar, ao tratar-se do aspecto que envolve o desempenho veicular, observa-se que, de fato, a primeira hipótese ( $H_0$ ) proposta pelo trabalho deve ser descartada: o veículo manual apresentou maior desempenho em todos os sentidos relacionados ao câmbio automático. Pode-se observar vários fatores: maiores velocidades finais; maior tempo de trocas entre as marchas. No caso específico do veículo automático, foi possível visualizar um veículo mais atento às acelerações, o que acaba por gerar troca de marchas mais curtas, devido à alta multiplicação de torque inicial, que é necessária devido ao maior peso do carro automático e devido às suas perdas de eficiência, justificado por sua dinâmica mais complexa quando comparada com o outro modelo.

Em segundo lugar, tratou-se do consumo de combustível. Conseguiu-se observar as proximidades das razões Spread, que estão prioritariamente associadas com o desempenho e economia e, além disso, foi visto como esse valor influencia nas variações de rotação do motor, que podem acabar gerando consumos maiores ou menores de combustível. Nesse aspecto, foi possível observar uma vantagem do veículo manual, embora se tenham analisado valores bem próximos. É importante salientar o consumo é um fator específico e que depende de diversas variáveis para sua correta avaliação. Além disso, como abordado, o modelo automático apresenta maiores perdas em sua eficiência de consumo, principalmente, devido ao conversor de torque e devido às suas trocas estarem relacionadas com rotações pré-estabelecidas.

Por fim, verificou-se os custos associados a ambas as transmissões. Como foi destacado, os veículos automáticos apresentaram acentuada divergência nos preços de manutenção, que, pelos métodos de custos médios esperados, geraram diferenças de manutenção superiores a R\$7.000. Acrescenta-se ainda o seu maior valor de compra, que girava em torno de mais de R\$ 6.000. Em relação às desvalorizações, percebeu-se dados bem próximos na Tabela, mas, da mesma forma, o veículo automático superava a valorização em 2 pontos percentuais na proporção.

De maneira geral, é possível fazer, em relação ao câmbio manual, diversos apontamentos: é um veículo que apresenta um peso menor (de 2% a 5%); é possível de alcançar maiores velocidades em períodos de trocas mais espaçados; possui um consumo de combustível menor (por volta de 7%); possui manutenção mais simples e necessita de mão de obra menos especializada; possui um custo de compra menor.

Em relação ao modelo equipado com o câmbio automático, é possível verificar: maior conforto e possibilidade de acessibilidade a condutores com condições especiais, como deficientes, por exemplo; maior consumo de combustível; relações de transmissão inicial mais elevadas; alta multiplicação de torque inicial; custos de manutenção mais elevados; superior tecnologia; e melhor ergonomia.

## 6. REFERÊNCIAS

BESSA, Ramon. **Análise da diferença de desempenho entre os câmbios automático e automatizado.** 2015

CALABREZ, Felipe; MELO, Elaine Cristine de; QUEIROZ, Caio Dimitri Vieira. **Revisão dos sistemas de transmissão automotiva.** Trabalho de Conclusão de Curso- FATEC, Santo André, 2015.

COSTA, Paulo G. **A bíblia do automóvel.** Edição eletrônica. 2001-2002

CARDOSO, Júlio Cezar Sartoreli. **Estudo para verificar a influência das Transmissões Automáticas modernas de veículos de passeio no consumo de combustível.** Monografia de Especialização- Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, São Paulo, 2012.

JATCO **.CORPORATE History,** 2020. Disponível em: <<https://www.jatco.co.jp/english/company/history.html>>. Acesso em: 18 Outubro 2020.

EEEP. **Curso Técnico em Manutenção Automotiva.** [S.l.]: Escola Estadual de Educação Profissional, 2014.

ERJAVEC, J. **Automatic Transmissions.** 1. ed. [S.l.]: Cengage Learning, v. I, 2004.

FELIX, L. **Carro automático salta de 12% para 50% do mercado brasileiro em 10 anos. Quatro Rodas,** 2020. Disponível em: <<https://quatorrodas.abril.com.br/noticias/carro-automatico-salta-de-12-para-50-do-mercado-brasileiro-em-10-anos/>>. Acesso em: 17 Agosto 2020.

GENTA, G.; MORELLO, L. **The automotive chassis: components design. Heidelberg.** Springer Holanda, 2009.

GOIÉS, M. **Carro com câmbio manual pode virar raridade no Brasil; entenda as razões.** 2020. Disponível em: <<https://www.uol.com.br/carros/noticias/redacao/2020/01/16/carro-com-cambio-manual-pode-virar-raridade-no-brasil-saiba-por-que.htm>>. Acesso em: 14 Outubro 2020.

GUERRA, P. Câmbio curto e câmbio longo: entenda a influência no desempenho do veículo automobilístico. **Educação Automotiva,** 2015. Disponível em: <<https://educacaoautomotiva.com/2015/08/05/cambio-curto-e-cambio-longo-entenda-a-influencia-no-desempenho-do-carro>>. Acesso em: 25 Maio 2021

HALLIDAY; RESNICK. **Fundamentos de Física. Mecânica.** 9. ed. [S.l.]: LTC, v. 1, 2012.

HOFF, N. Manual vs Automatic: **Wich gets the best fuel economy**. Cenex, 2019. Disponível para acesso em: <<https://www.cenex.com/about/cenex-information/cenexperts-blog-page/general-interest/automatic-vs-manual-transmissions>>. Acesso em: 25 Maio 2021.

HOFFMANN, Felipe. **Caixas de dupla embreagem saem de cena: por quê?** 2017. Disponível em: <<http://bestcars.uol.com.br/bc/mais/cons-tecnico/caixas-dupla-dupla-embreagem-saem-de-cena-por-que/>>. Acesso em: 02 outubro de 2020.

JUNIOR, Antônio Carlos da Silva Santana. **Análise técnica e comparativa das principais transmissões automotivas**. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2018.

LECHNER, G.; NAUNHEIMER, H. **Automotive transmission: fundamentals, selection, design and application**. Stuttgart: Springer, 1999.

MEDONÇA, D. 1. **Carros Garagem**, 2019. Disponível em: <<https://www.carrosegargem.com.br/as-principais-caracteristicas-das-tracoes-dianteira-traseira-e-integral/>>. Acesso em: Vinte Outubro 2020.

MELCONIAN, S. **Elementos de Máquina**. 10. ed. [S.l.]: Érica, 2018.

METODOLOGIA do Trabalho Científico. **IPED**, 2020. Disponível em: <<https://www.iped.com.br/materias/direito/metodologia-trabalho-cientifico.html>>. Acesso em: 17 Agosto 2020.

MONTES, Eduardo. **Administração do Tempo**, 1ª Ed. São Paulo; 2019.

MORAN M. J., Shapiro H. N., Boettner D. D. e Bailey M. B. (2014). **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**, LTC Editora: 7ª edição, Rio de Janeiro

MORETTI, I. **Metodologia de Pesquisa TCC: passo a passo com exemplos. Via Carreira**, 2017. Disponível em: <<https://viacarreira.com/metodologia-de-pesquisa-do-tcc/>>. Acesso em: 14 Agosto 2020.

PADILHA, J. L. **Sistemas de Transmissão Automotiva**. 1. ed. Brasília: NT, v. 1, 2018.

PADRO, J. **Como fazer referência de site na ABNT em trabalhos acadêmicos**. **TecnoBlog**, 17 Agosto 2020. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/247956/referencia-site-abnt-artigos/>>.

PRODANOV, C. C. **Metodologia do Trabalho Científico**. 1. ed. Novo Hamburgo: Feevale, v. I, 2013.

SENAI, Serviço Nacional De Aprendizagem Industrial. **Mecânica veículos leves: Sistema automática**. São Paulo: SENAI/TEC. 2002.

SHIBATA, Ronnie Mikio. **Engenharia de produtos: desenvolvimento de veículos globais em subsidiária brasileira de multinacional** / Dissertação- Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2010

VALVERDE, Fábio Bresciani .**Estudos da transmissão automática tipo CVT aplicado em um veículo com motor de baixa cilindrada equipado com turbo compressor.** Trabalho de Conclusão de Curso- FATEC, Santo André, 2017.

WEIHERMANN, Henrique Weber. **Estudo sobre aplicação de transmissão continuamente variável para veículos de pequeno porte.** Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, Joinville, 2015.