



GENARIO LOPES PEREIRA BARROS

**ESTUDO DA AÇÃO E DO FUNCIONAMENTO DA CVT
(TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL)**

São Luís
2018

GENARIO LOPES PEREIRA BARROS

**ESTUDO DA AÇÃO E DO FUNCIONAMENTO DA CVT
(TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Ana Oliveira

São Luís
2018

ESTUDO DA AÇÃO E DO FUNCIONAMENTO DA CVT (TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Pitágoras, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof.Esp. José Wilson Coelho de Sousa

Prof (ª). Titulação Nome do Professor (a)

Prof.Esp. Isaque Silva dos Santos

Prof (ª). Titulação Nome do Professor (a)

Prof.Me. Eduardo Mendonça Pinheiro

Prof (ª). Titulação Nome do Professor (a)

São Luís, 02 de Dezembro de 2018.

Dedico este trabalho à minha família e em especial aos meus pais, por todo apoio e amor incondicional ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por ter me proporcionado chegar até aqui. À minha família por toda dedicação e paciência, contribuindo diretamente para que eu pudesse ter um caminho mais fácil e prazeroso durante esses anos e a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da conclusão desta etapa, muito obrigada.

BARROS, Genario Lopes Pereira. **Estudo da ação e do funcionamento da CTV (Transmissão Continuamente Variável)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, São Luís, MA, 2018.

RESUMO

A Transmissão Continuamente Variável é uma alternativa tecnológica que se destaca no mercado automobilístico em função das vantagens que oferece. Ela corresponde a um dispositivo veicular que transmite a potência do motor de forma contínua. O principal objetivo deste trabalho de pesquisa foi conhecer os princípios de ação e funcionamento da CVT (Transmissão Continuamente Variável). O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma Revisão de Literatura, no qual foi realizada consulta dados secundários nos principais bancos de dados. Como resultados, pôde-se observar que a Transmissão Continuamente Variável constitui um dispositivo que atua na conversão do torque e velocidade sem interromper o fluxo de energia do motor, possibilitando que ele atue com a máxima eficiência possível. As Transmissões Continuamente Variáveis baseadas em polias possuem como componentes básicos duas correias e uma polia. O sistema CVT Toroidal é formado por dois discos e um rolete. Ambos os sistemas possuem o mesmo princípio de funcionamento. Como vantagens, o sistema CVT proporciona ao veículo um bom desempenho e ótima eficiência, sem alterações bruscas na mudança de marcha, além do menor consumo de combustível. Como desvantagem, observa-se o alto grau de desconfiança dos usuários de veículos com câmbios manuais e os elevados preços desses automóveis.

Palavras-chave: Transmissão Continuamente Variável; Funcionamento; Tecnologia.

BARROS, Genario Lopes Pereira. **Study of the action and operation of the CTV (Continuously Variable Transmission)**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Pitágoras, São Luís, MA, 2018.

ABSTRACT

Continuously Variable Transmission is a technological alternative that stands out in the automotive market due to the advantages it offers. It corresponds to a vehicular device that transmits the power of the motor continuously. The main objective of this research was to know the principles of action and operation of CVT (Continuously Variable Transmission). The type of research carried out in this work was a Literature Review, in which secondary data were queried in the main databases. As a result, it can be observed that the Continuously Variable Transmission constitutes a device that acts in the conversion of torque and speed without interrupting the flow of energy of the motor, allowing it to act with the maximum possible efficiency. Continuously Variable Drives based on pulleys have as basic components two belts and a pulley. The Toroidal CVT system consists of two discs and a roller. Both systems have the same operating principle. As an advantage, the CVT system provides the vehicle with good performance and optimum efficiency, with no gross changes in gearshifting as well as lower fuel consumption. As a disadvantage, there is a high degree of mistrust of users of vehicles with manual changes and the high prices of these cars.

Key-words: Continuously Variable Transmission; Operation; Technology.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema de suspensão traseira com o CTV do DAF 600.....	12
Figura 2 - CVT de polias expansivas.....	13
Figura 3 - Esquema de Sistema Toroidal	15
Figura 4 - Princípio de funcionamento da Transmissão CVT.	18
Figura 5 - Funcionamento de uma CVT toroidal.....	20
Figura 6 - Módulo de controle eletrônico.	21

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	9
2. TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL: CONCEITOS E DEFINIÇÕES	11
2.1 TIPOS DE CVT UTILIZADO NOS AUTOMÓVEIS.....	13
2.1.1 CVT's de polias	13
2.1.2 CVT toroidal.....	15
3. FUNCIONAMENTO DA TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL	17
3.1 CVT COM VARIADOR DE POLIAS EXPANSÍVEIS	17
3.2 CVT COM VARIADOR TOROIDAL.....	19
3.3 DESEMPENHO DA TRANSMISSÃO.....	21
4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA TRANSMISSÃO AUTOMATICAMENTE VARIÁVEL.....	23
4.1 DESVANTAGENS DO CÂMBIO CTV	26
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	28
REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

As exigências por parte dos consumidores de automóveis quanto ao conforto dos veículos, bem como as legislações governamentais que estabelecem requisitos de segurança para veículos automotores, vem se tornando cada vez mais frequentes. Em função disso, torna-se de grande importância a inserção no mercado de automóveis mais confortáveis e seguros. Neste contexto, a Transmissão Continuamente Variável (CVT) representa uma transmissão mais confortável, capaz de proporcionar as soluções para os principais problemas enfrentados pelos condutores dos veículos neste quesito.

A Transmissão Continuamente Variável é um dispositivo que transmite a potência, de forma que a relação de velocidade do veículo seja mudada de forma contínua. Assim, a transmissão de potência ocorre sem mudanças bruscas no torque e na velocidade de saída, permitindo ao motor a capacidade de operar sempre com a performance e com a eficiência ideais.

O sistema CTV, além de destacar-se dos demais câmbios por ser econômico, utiliza polias e correntes para transmitir a força do motor para as rodas. Além disso, o seu desempenho sem o uso de óleo para a transmissão de potência, bem como o menor desgaste dos câmbios manuais, o diferencia dos demais, o tornando mais eficiente e com maior durabilidade. Dessa forma, o presente trabalho de pesquisa justifica-se na importância de se abordar o uso de novas tecnologias que viabilizem a adequação dos veículos às normas estabelecidas quanto ao consumo de combustível, bem como proporcionem maior conforto e segurança na direção e eficiência do sistema.

Dentre as maiores dificuldades encontradas em grande parte dos veículos estão a perda de potência, baixa eficiência e a aceleração do motor com grande variação, o que acaba gerando maior consumo de combustível. Diante desses aspectos, questiona-se: como o uso do sistema CVT pode ser considerado uma solução para os problemas associados à otimização da potência e eficiência do motor, bem como para o consumo excessivo de combustível e conforto na direção dos veículos?

O principal objetivo deste trabalho de pesquisa é conhecer, por meio da revisão bibliográfica, os princípios de ação e funcionamento da CVT

(Transmissão Continuamente Variável). Os objetivos específicos são: entender o conceito de CVT (Transmissão Continuamente Variável), bem como os principais tipos de transmissão CVT nos automóveis; conhecer os princípios de funcionamento dos principais tipos de CVT e identificar as vantagens e desvantagens da utilização do Câmbio CVT nos automóveis.

O tipo de pesquisa realizado neste trabalho foi uma Revisão de Literatura, no qual foi realizada consulta a livros, dissertações e em artigos científicos selecionados através de busca nas bases de dados Google Acadêmico e Scielo. O período dos artigos pesquisados foram os trabalhos publicados nos últimos dezesseis anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: “Transmissão Continuamente Variável”; “funcionamento” e “tecnologia”.

2. TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL: CONCEITOS E DEFINIÇÕES

A Transmissão Continuamente Variável é um dispositivo que transmite a potência, de forma que a relação de velocidade do veículo seja alterada de maneira contínua. A transmissão de potência ocorre sem mudanças brutas no torque e na velocidade de saída, permitindo ao motor a capacidade de operar sempre com a performance e com a eficiência ideais (AMBROSINI, 2014).

Do inglês *Continuously Variable Transmission* (CVT), a Transmissão Continuamente Variável é um sistema de transmissão de potência cujo objetivo principal é a variação de velocidade sem interrupções e solavancos, ou seja, sem descontinuidade (MECCIA, 2014).

A potência máxima de um motor de combustão dificilmente será atingida com um número finito de engrenagens. Entretanto, a Transmissão Continuamente Variável fornece ao motor a capacidade de operar sempre no ponto ideal de eficiência e desempenho, sem comprometer o torque quando as marchas forem trocadas (DANTAS, 2011).

As Transmissões Continuamente Variáveis atuam na conversão do torque e velocidade sem interromper o fluxo de energia do motor. A combinação deste sistema com o controle inteligente do motor possibilita que a eficiência e do desempenho do mesmo sejam explorados plenamente (DIAS, 2011).

Pode-se afirmar que o sistema CVT caracteriza-se também por apresentar infinitas relações dentro de um intervalo de tempo determinado, sem posições fixas. Observa-se, portanto, que esse sistema foi criado com o intuito de atingir a máxima transmissão de torque durante seu uso, apresentando a vantagem de ser mais econômico que os câmbios tradicionais de engrenagens (BUDYNAS, 2011).

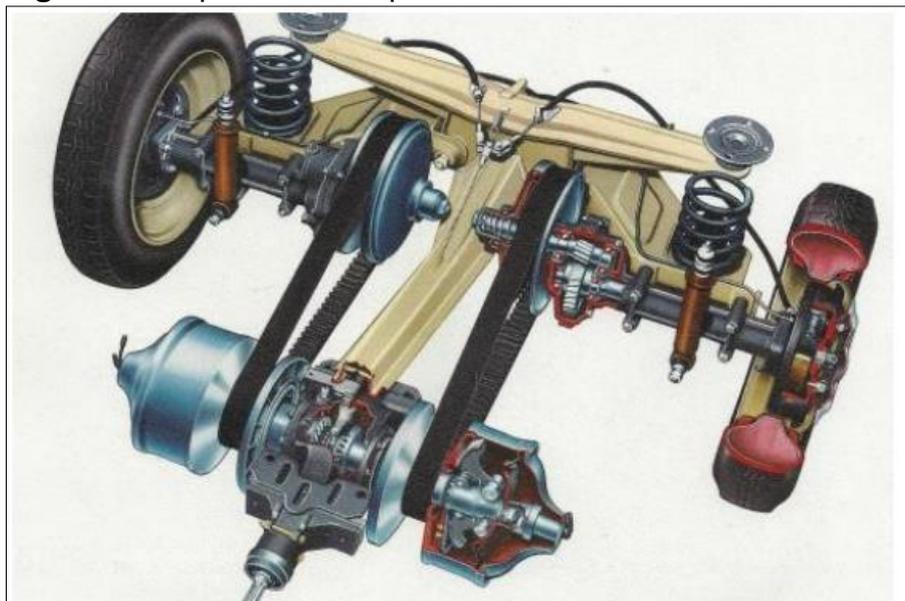
Melconian (2009) destaca que a Transmissão Continuamente Variável simula um quantitativo infinito de relações entre as marchas, baseando-se no funcionamento de um sistema composto por duas polias de diferentes tamanhos e interligado entre si por uma correia de grande resistência. Esse sistema é utilizado principalmente em veículos de pequeno porte e carros de

passeio. O sistema CVT foi idealizado pela primeira vez por Leonardo da Vinci em 1490 e a sua primeira patente foi apresentada ao mercado em 1886.

A primeira patente da Transmissão Automaticamente Variável foi apresentada em 1886 por Gotlieb Daimler, mas sem sucesso pela falta de materiais necessários bem como a lubrificação adequada dos seus componentes. O primeiro automóvel a utilizar uma Transmissão Automaticamente Variável foi o DAF 600, modelo holandês cujo câmbio chamava-se VARIOMATC e o motor possuía apenas 600 cm³ de volume. Essa transmissão apresentava algumas limitações, como por exemplo, não podia ser utilizada por motores com volume superior a 1000 cm³, em função das altas tensões que atuavam sobre ele (NORTON, 2013).

A Figura 01 mostra o esquema da suspensão traseira com o CVT do veículo DAF 600:

Figura 1- Esquema de suspensão traseira com o CTV do DAF 600.



Fonte: Paula (2013, p. 14)

O câmbio CVT trabalhava com infinitas marchas, selecionando a opção mais adequada ao momento. Essa variação ocorria de forma contínua, sem bruscas quebras de continuidade e sem os famosos “degraus” existentes nos sistemas manuais convencionais. Apesar de este modelo de transmissão ser

bem conhecido na Europa desde 1980, no Brasil ele só passou a ser conhecido com o Honda Fit (ROSA, 2010).

Outro marco importante para a história do sistema CVT foi o lançamento de um carro com um sistema de CVT toroidal, criado pela Nissan em parceria com uma empresa de rolamentos chamada KSK Ltda. O veículo chamou a atenção por superar os problemas de atrito por meio de um óleo lubrificante desenvolvido por uma famosa distribuidora japonesa, o DM2H (PELLIZZARI JÚNIOR, 2002).

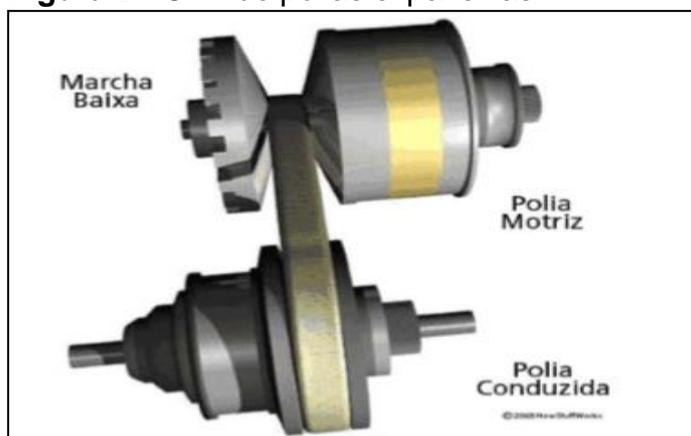
2.1 TIPOS DE CVT UTILIZADO NOS AUTOMÓVEIS

Diferentes conceitos de CVT's para automóveis são encontrados, o que possibilita a sua classificação em categorias, destacando-se os CVT's de polias e os CVT's Toroidais (SOUZA, 2010).

2.1.1 CVT's de polias

De acordo com Silva (2012), os CVT's baseados em polias expansivas é o modelo mais utilizado em automóveis e possui somente três componentes básicos: uma correia de metal, uma polia de entrada e uma correia de saída, ambas condutoras variáveis. Esses componentes são os elementos fundamentais para que o sistema funcione. A Figura 02 apresenta o esquema de uma CVT de polias expansivas:

Figura 2 - CVT de polias expansivas



Fonte: Souza (2010, p.31)

As polias com diâmetro variável são a parte mais importante da Transmissão Continuamente Variável. Cada polia é formada por cones que se aproximam ou se afastam, por onde passa uma correia. O ajuste das correias da Transmissão Continuamente Variável pode ser feita por meio da pressão hidráulica, tensão ou força centrífuga (SOUZA, 10).

As polias de diâmetro variável sempre vêm em pares. A polia condutora liga-se ao virabrequim do motor e por ela passa a força do motor que entra no câmbio. Esta aciona a polia conduzida, que é a polia de saída que transfere a potência p para a árvore de transmissão da tração traseira de um veículo (DANTAS, 2011).

No momento em que uma polia muda o seu raio, a outra diminui para manter a correia tensionada. Quando as duas mudam os seus raios paralelamente, são criadas infinitas relações de marchas entre essas correias. Por exemplo, quando o raio é menor na polia condutora e maior na correia conduzida, a rotação desta última diminui, resultando em uma marcha curta. Quando o raio é menor na polia conduzida e maior na condutora, a velocidade de rotação da polia conduzida aumenta, resultando em uma marcha maior, mais longa. Devido à mudança de raio entre as polias, pode-se dizer que isso proporciona a mudança infinita de marchas uma CVT, podendo ser utilizadas a qualquer momento, em qualquer velocidade e em qualquer motor (DIAS, 2011).

A simplicidade do funcionamento do sistema CVT de polias acaba tornando dele o sistema ideal para carros, além de dispositivos e máquinas. A introdução de novas tecnologias e materiais, como as correias metálicas, faz com que as Transmissões Continuamente Variáveis venham se tornando cada vez mais eficientes e de alta confiança (MELCONIAN, 2009).

As correias metálicas utilizadas em CVT's de polia não platinam e possuem alta durabilidade, proporcionando aos sistemas maior adequação e adaptabilidade aos motores de maior torque. Além disso, possuem a vantagem de serem silenciosas que as de borracha. Um exemplo disso é o CVT MULTITRONIC da Audi (NORTON, 2013).

2.1.2 CVT Toroidal

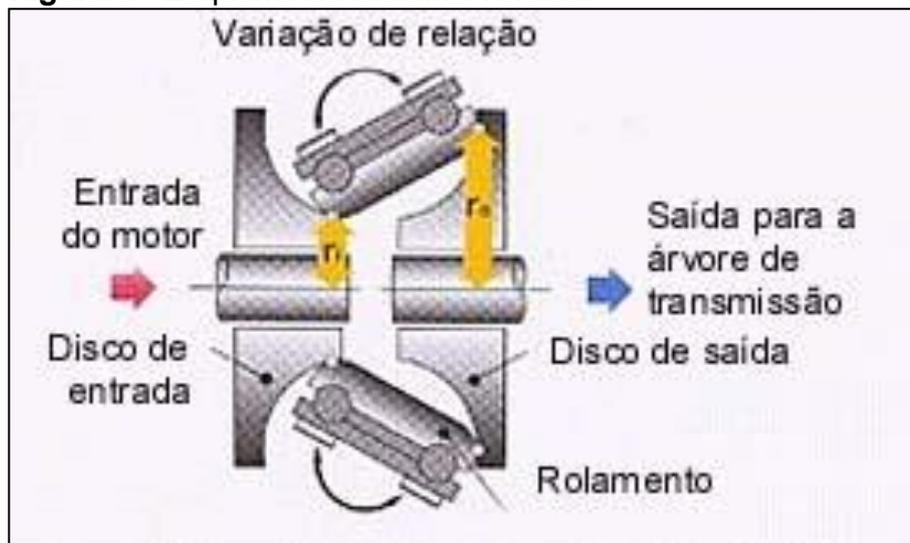
Nesta versão, o sistema CVT Toroidal substitui as polias e correias por discos e roletes de potência. Apesar da diferença, os componentes possuem a mesma função do sistema de polias (MELCONIAN, 2009).

No sistema CVT Toroidal, um disco equivalente à polia condutora conecta-se ao motor e outro disco equivalente à polia conduzida conecta-se à árvore de transmissão. Os roletes e as rodas que se localizam entre os discos possuem a mesma função que a correia, transmitindo energia entre os discos (DIAS, 2011).

As rodas giram em dois eixos, inclinando-se para dentro ou fora do eixo vertical, fazendo assim com que as rodas toquem os discos em diferentes áreas. O posicionamento das rodas em relação ao disco resultará em sua rotação e conseqüentemente, no tipo de marcha (marcha curta e marcha longa). A inclinação destas rodas pode mudar a relação das marchas, proporcionando mudanças suaves e instantâneas (DANTAS, 2011).

Pode-se observar na Figura 03 um esquema de Sistema Toroidal:

Figura 3 - Esquema de Sistema Toroidal



Fonte: Norton (2013, p.1028)

Segundo Souza (2010) a CVT Toroidal destaca-se por inovar a transmissão com o uso de pares de rolamentos hidráulicos ou elétricos que têm

a função de variar as infinitas relações de marchas, ao invés das correias, como no sistema de polias. Estes rolamentos tem o objetivo de estabelecer uma ligação entre o disco de entrada e o disco de saída.

Nestes sistemas, a variação das marchas é atingida por meio da variação angular dos rolamentos. Estes rolamentos não tocam os discos devido ao fluido lubrificante que possibilita a tração sem nenhum tipo de atrito. Os sistemas toroidais possuem a capacidade de trabalhar com um torque elevado, o que sempre foi considerada uma limitação para as Transmissões Continuamente Variáveis (SILVA, 2012).

3. FUNCIONAMENTO DA TRANSMISSÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL

A Transmissão Continuamente Variável é um sistema que transmite a potência, de forma que a relação de velocidade do veículo seja alterada de forma contínua. Assim, a transmissão de potência ocorre sem mudanças brutas no torque e na velocidade de saída, permitindo ao motor a capacidade de operar sempre com o desempenho e com as eficiências ideais (JÚNIOR, 2004).

Esse tipo de transmissão atua na conversão do torque e da velocidade, de forma a manter contínuo o fluxo de energia do motor, possibilitando desta forma a exploração máxima da sua eficiência e do seu desempenho.

Lourenço (2012) destaca que a principal característica da transmissão CVT é oferecer uma variação contínua, livre de escalonamento e com um número infinito de marchas entre os valores típicos de 2,5:1 (redução) a 0,5:1 (sobre-marcha). Em função desses fatores, a transmissão CVT possibilita um maior ganho econômico e melhor eficiência do motor e pode ser utilizada tanto em veículos híbridos como não híbridos.

Segundo Ambrosini (2010), os tipos de transmissão automaticamente variáveis mais utilizadas são as transmissões de polia expansíveis ou toroidal. Em ambas, o componente principal é o variador mecânico contínuo e a potência gerada pelo motor de combustão se transmite às rodas sem interrupção de torque e sem alterações escalonadas da relação de transmissão.

3.1 CVT COM VARIADOR DE POLIAS EXPANSÍVEIS

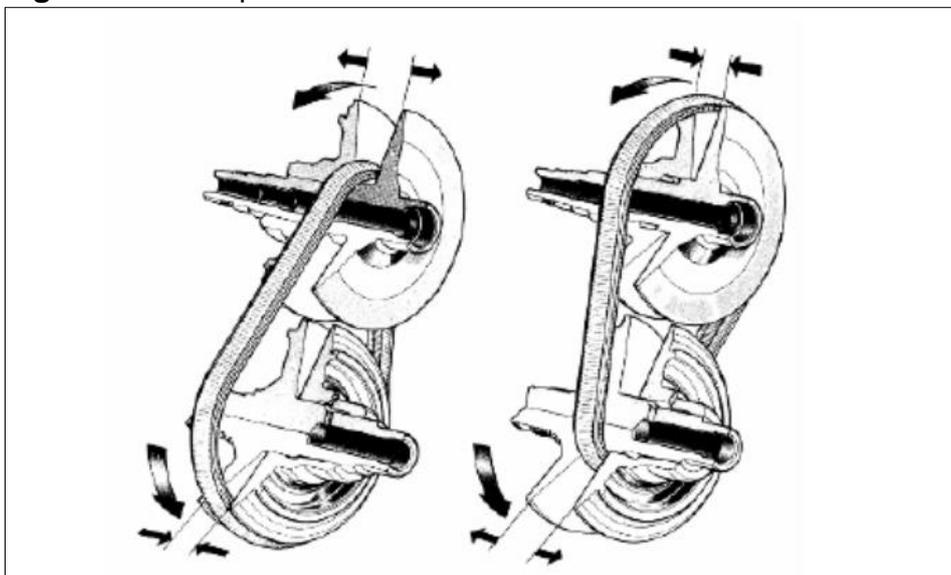
Segundo Budynas (2011), o tipo de transmissão continuamente variável mais utilizada em carros de passageiro é do tipo polia, cujo componente principal da polia é o variador. A potência é transmitida por meio de correias que correm entre dois discos cônicos ajustáveis. O ajuste dos discos cônicos é o que possibilita a variação infinita de marchas.

O tipo de transmissão CVT baseado em polias possui apenas três componentes básicos: uma correia de metal ou borracha e duas polias, uma na entrada e a outra na saída (condutora e conduzida). Pode-se mencionar também sensores e microprocessadores que auxiliam no funcionamento desta tecnologia (DANTAS, 2011).

De acordo com Dias (2011), o variador de polia é de fácil manuseio, em função do volante utilizado para comandar a variação da velocidade de forma contínua. O controle do comando de velocidade apenas poderá ser utilizado com o variador em pelo estado de funcionamento. A simplicidade desse sistema facilita a sua manutenção, não exigindo tanta lubrificação. Além disso, o mesmo sistema apresenta grande facilidade de ajuste durante a instalação, em função da variedade de ângulos em que ele pode ser montado.

Complementando essas informações, Melconian (2009) ressalta que em um sistema de CVT de polias, as trocas de marchas são realizadas por meio de um variador que se reposiciona axialmente e o torque é transferido por uma correia entre dois discos cônicos, que é capaz de transmitir até 350 Nm.

Figura 4 - Princípio de funcionamento da Transmissão CVT.



Fonte: Silva (2012, p.78)

Pode-se afirmar que as Transmissões Continuamente Variáveis baseadas em polias oferecem vantagens para as transmissões longitudinais dianteiras, conforme ressalta Silva (2012):

As CVT oferecem vantagens para configurações de linhas de transmissões longitudinais dianteiras. O espaço necessário entre a árvore de manivelas e a unidade transaxial é ocupado pelo variador. Isto resulta em um desenho relativamente direto com um elemento de partida (conversor de torque), conjunto planetário reverso e estágio de marchas para adaptação da transmissão, variador e eixo transaxial integrado. A maior desvantagem deste tipo de transmissão ainda é a sua limitada capacidade de torque (SILVA, 2012, p.32).

Souza (2010) ressalta que a física envolvida no funcionamento de transmissões continuamente variáveis baseada em polias é bem simples:

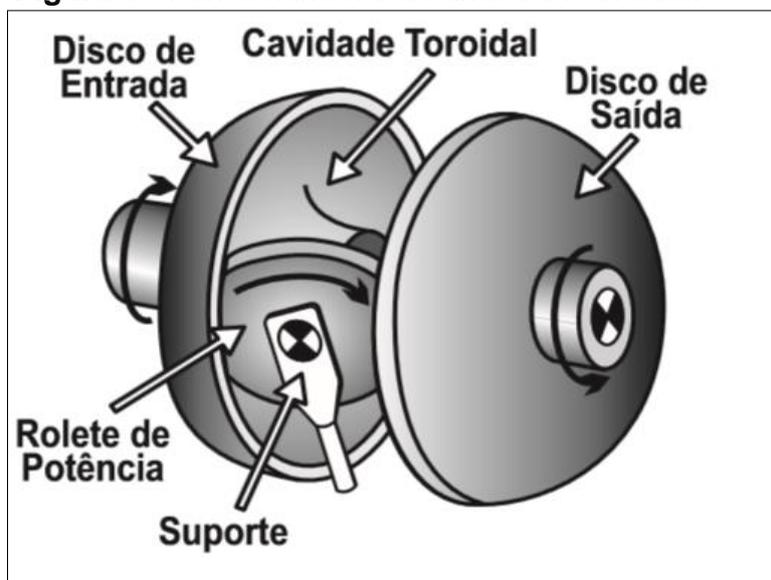
A física envolvida no funcionamento é bem simples, como velocidade angular (ω), que é a velocidade linear (v) dividida pelo raio (r), tem-se que uma aproximação da roda ao centro do disco leva a um aumento da velocidade angular do disco, aumentando a velocidade do veículo, porém diminuindo o seu torque. Caso a roda ultrapasse o centro do disco, ocorre a inversão no sentido de giro do disco (marcha ré). A potência é perdida de duas maneiras: deformação dos componentes; e deslizamento diferencial. A deformação dos componentes é o maior fator dos dois, é causada por forças normais elevadas, e pode ser minimizada usando os materiais muito duros que não deformam muito, e os materiais com um coeficiente muito elevado da fricção. O deslizamento diferencial é causado por uma área de contato grande entre os componentes girantes (SOUZA, 2010, p. 35).

3.2 CVT COM VARIADOR TOROIDAL

O sistema CVT toroidal, outra versão da transmissão continuamente variável possui uma composição diferente do sistema baseado em polias. Nele, os discos e roletes de potência substituem as correias e polias. Entretanto, apesar de componentes diferentes, esse sistema leva aos mesmos resultados do sistema de polias (DIAS, 2011).

No sistema Toroidal, um disco conecta-se ao motor e o outro à árvore de transmissão. Os roletes possuem a mesma função da correia, transmitindo energia para os discos (NORTON, 2013). A Figura 05 apresenta o funcionamento de um sistema CVT toroidal:

Figura 5 - Funcionamento de uma CVT toroidal.



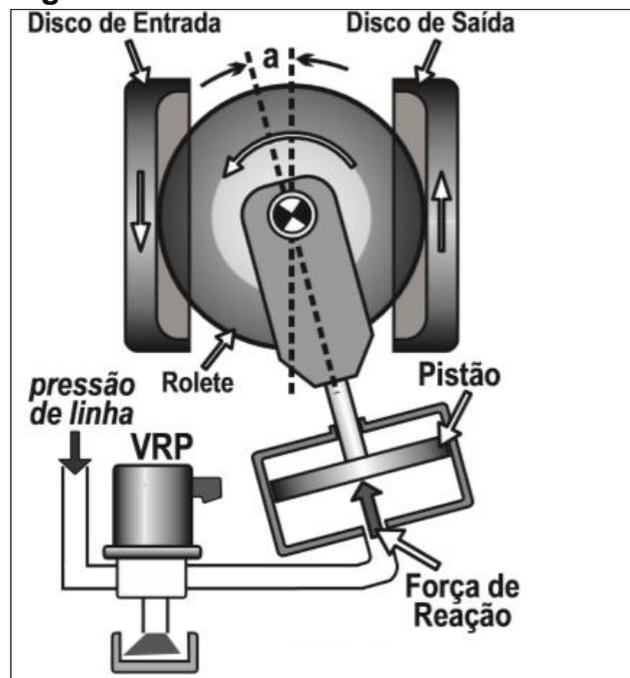
Fonte: Silva (2012, p. 46)

As rodas da transmissão toroidal podem girar em dois eixos: horizontal e vertical. Quando giram em torno do eixo horizontal acabam tocando os discos em áreas diferentes. Quando esse contato ocorre próximo ao centro ocorre o aumento do torque (marcha curta). Quando o contato das rodas ocorre distante do centro e próximo das bordas ocorre a diminuição do torque e conseqüentemente a marcha longa. Observa-se, portanto, que a inclinação das rodas no sistema toroidal acaba proporcionando infinitas variações das relações de marchas (SILVA, 2012).

Segundo Ambrosini (2010), o principal componente desse tipo de transmissão é o variador toroidal. Ele consiste em um disco de entrada e um disco de saída. Entre esses dois discos há uma cavidade toroidal onde estão dispostos dois ou três roletes de potência. Esses roletes transferem o torque gerado pelo disco ligado ao motor ao disco ligado as rodas. O ângulo destes roletes é o fator determinante para a variação da relação de transmissão do sistema.

Dias (2011) destaca que cada rolete está posicionado de forma a formar um ângulo que irá determinar a relação de transmissão do conjunto. Este ângulo é formado através da força de reação aplicada pelo pistão por meio do suporte onde irá girar o rolete. O pistão está montado com um ângulo de castor “a” com relação ao eixo do variador. A aplicação da força de reação neste formato de angulação permite ao rolete se posicionar de forma automática, criando um novo ângulo. Tal fato permite ao variador a adotar uma nova relação de transmissão, que posteriormente é ajustada pelo módulo de controle eletrônico, conforme Figura 06.

Figura 6 - Módulo de controle eletrônico.



Fonte: Paula (2013, p.41).

Assim, observa-se que os componentes do câmbio Toroidal estão posicionados de forma a estabelecer um ângulo que irá determinar a relação de transmissão do motor. Assim, a relação de transmissão do veículo será estabelecida pelo módulo de controle eletrônico (PAULA, 2013).

3.3 DESEMPENHO DA TRANSMISSÃO

Segundo Souza (2010), o desempenho de um determinado veículo pode ser definido pela sua capacidade de aceleração e pela sua velocidade máxima. O desempenho da transmissão automaticamente variável de um veículo também pode ser definido através da comparação entre a tração disponível e a tração necessária para superar um determinado obstáculo.

De acordo com Norton (2013), para que as caixas de câmbio de um veículo forneçam o máximo de desempenho possível, deve-se levar em consideração o correto dimensionamento da CVT, bem como das engrenagens do sistema. O autor ainda destaca que as engrenagens são altamente carregadas para o tamanho que são projetadas, porém, o esforço que realizam são de curta duração. Isso possibilita o dimensionamento de uma engrenagem com o tempo de vida limitada para o máximo de torque do motor, sabendo-se que essa embreagem irá durar muitos anos sob um torque médio utilizado pelo veículo.

Morais (2005) ressalta que as CTV dos veículos devem ser dimensionadas de maneira a proporcionar o melhor desempenho possível, possibilitando a conversão de torque de maneira adequada para as diversas condições de operação, com um preço competitivo no mercado e com o menor consumo de combustível possível. Em outras palavras, pode-se dizer que o desempenho do motor deve proporcionar resistência à fadiga operacional, facilidade de operação e manuseio, baixo peso, baixo nível de ruído e alta eficiência.

Em contrapartida, conforme destaca Rosa (2010), em qualquer tipo de transmissão é praticamente inevitável a perda de potência. A CVT inclui diversos equipamentos como eixos, correias de transmissão, engrenagens e outros que devem ser devidamente instalados e monitorados, de forma a garantir o máximo de desempenho do sistema. A perda de potência é geralmente ocasionada pelo atrito entre as superfícies sólidas, agitação do lubrificante, desgaste das polias e correias, dentre outras situações.

4. VANTAGENS E DESVANTAGENS DA UTILIZAÇÃO DA TRANSMISSÃO AUTOMATICAMENTE VARIÁVEL

O sistema CVT passou a ser conhecido no Brasil como uma alternativa cara e associado a modelos de alta qualidade. Na prática, esse tipo de transmissão pode ser considerado um tipo de transmissão que possibilita ao motor o máximo de potência disponível, além de um menor consumo de combustível e melhor dirigibilidade ao automóvel (AMBROSINI, 2010).

Lourenço (2012) ressalta que curiosamente, o primeiro protótipo de uma transmissão continuamente variável foi desenvolvido no século XV por Leonardo da Vinci. Entretanto, a sua aplicação só veio a ser realizada quase cinco séculos depois, na década de 1950.

Segundo Júnior (2015), o câmbio CVT oferece ao motorista o mesmo que um câmbio automático tradicional: dois pedais, uma alavanca de câmbio com ré, neutro e outras configurações. Entretanto, a diferença entre ambos está na experiência e na sensação no momento da direção, pois o motorista de um veículo com o câmbio CVT não sente os “engasgos” da troca de marcha. O autor ressalta ainda que a transmissão ocorre de forma simples, aumentando e diminuindo conforme a demanda do motor.

De acordo com Kurihara e Dedini (2008), a grande vantagem da Transmissão Automaticamente Variável é a constante busca pelo máximo de eficiência possível. Sempre que o veículo exigir, o sistema de transmissão irá gerar o máximo de eficiência que puder. Comparando o CVT à uma transmissão comum, ele é considerado mais econômico e irá gerar mais força durante o seu desempenho.

Outra vantagem da transmissão automaticamente variável é a economia de combustível. Na maioria das vezes, as caixas CVT são cerca de 10% mais econômicas que as manuais tradicionais no mercado. Essa vantagem pode ser justificada pelo fato de que esse tipo de câmbio produz variações infinitas nas

relações de marcha, o que acaba otimizando o desempenho do motor independentemente da velocidade que o acelerador exige. Ainda segundo este autor, por meio de um sistema de polias com diâmetros variáveis, a transmissão automaticamente variável possibilita ao motor o melhor desempenho num ponto de funcionamento ideal ao motor, minimizando assim o consumo de combustível (SHIGLEY; MISCHKE; BUDYNAS, 2005).

Observa-se também que os veículos com câmbios CVT “morrem” com menor frequência, se comparados aos demais câmbios. Isso ocorre porque nos câmbios normais pode ocorrer certo descompasso entre a faixa de rotação do motor e a marcha adequada ao momento e à necessidade. Como a embreagem é o componente que estabelece uma relação entre esses dois sistemas e acaba sendo regida pelo pé do condutor nos veículos de câmbio manual, esse sistema está mais sujeito à ocorrência de falhas. Nos veículos com o câmbio automaticamente variável, as caixas automáticas dispensam o câmbio manual e a relação entre o motor e o torque é estabelecida por sensores eletrônicos e pelo sensor de torque, evitando erros que levem o motor parar de funcionar (BUDYNAS; NISBETT, 2016).

Antes limitada aos modelos mais caros, outra vantagem dos câmbios CVTs é que já estão disponíveis entre os modelos de veículos nacionais compactos e com preços mais acessíveis. Apesar de ainda apresentar uma diferença de preço considerável se comparados aos outros modelos automáticos e automatizados, a eficiência e o desempenho do motor e do veículo acabam compensando o investimento realizado (TEIXEIRA, 2006).

Segundo Lourenço (2012), a sensação de dirigir um carro com transmissão automaticamente variável é bem semelhante a um veículo automático tradicional, porém, o funcionamento deste sistema é totalmente diferente. Por utilizar correias e polias comandadas por um computador de bordo, ao invés de discos, o motor mantém sua força contínua de acordo com a aceleração e a desaceleração.

Para Ambrosini (2010) a principal vantagem do câmbio CVT é o seu desempenho. Além de consumir menos combustível que os veículos automáticos normais, esse tipo de transmissão possibilita uma melhor dirigibilidade do veículo e maior conforto ao motorista.

A Transmissão Continuamente variável oferece inúmeras vantagens se comparada aos câmbios convencionais. Com o motor sempre na faixa de rotação ideal, o veículo passa a consumir menos combustível e as trocas de marchas são quase praticamente imperceptíveis e sem nenhum tranco (BUDYNAS, 2011).

Além disso, esse tipo de transmissão oferece vantagens para configurações de linhas de transmissão longitudinal dianteira. Levando em consideração o espaço ocupado pelo variador entre a unidade transaxial e a árvore de manivelas, é criado um desenho com elemento de partida e marchas para a transmissão e eixo integrado que aumenta a eficiência e o desempenho do sistema. Além disso, a CTV possibilita a economia de combustível pelo veículo, a diminuição da emissão de gases poluentes, além do conforto ao dirigir (PAULA, 2013).

Em função das exigências e das necessidades dos motoristas quanto ao conforto dos veículos, a Transmissão Continuamente Variável (CVT) representa uma transmissão mais confortável, capaz de proporcionar as soluções para os principais problemas enfrentados pelos condutores dos veículos neste quesito. Atuando de forma a manter contínuo o fluxo de energia do motor, a CVT possibilitando desta forma a exploração máxima da sua eficiência e do seu desempenho. Assim, a transmissão de potência ocorre sem mudanças brutas no torque e na velocidade de saída, permitindo ao motor a capacidade de operar sempre com a performance e com a eficiência ideais (ROSA, 2010).

Melconian (2009) ressalta que as transmissões automaticamente variáveis destacam-se pelo seu desempenho e pelos diversos benefícios. Dentre estes, pode-se mencionar a aceleração constante e sem trancos; o funcionamento na sua melhor faixa de potência; melhores respostas às mudanças de velocidade e aceleração; menores perdas de potência se comparado ao câmbio convencional e melhor controle da faixa de rotação em motores movidos à gasolina.

Observa-se também que o desempenho do câmbio CVT sem o uso de óleo para a transmissão de potência, bem como o menor desgaste dos câmbios manuais, o diferencia dos demais, o tornando mais eficiente e com

maior durabilidade. Além da redução do consumo de combustível, pode-se considerar também que as Transmissões Continuamente Variáveis reduzem a emissão de poluentes no ar (NORTON, 2013).

4.1 DESVANTAGENS DO CÂMBIO CTV

Apesar de ser considerada uma importante inovação no setor automobilístico e proporcionar diversos benefícios ao condutor, o câmbio CVT ainda apresenta algumas desvantagens e dificuldades quanto à sua utilização.

Segundo Dantas (2011), uma das principais desvantagens do câmbio CVT está associada à experiência do condutor. Como esse tipo de transmissão não simula a sensação de um câmbio tradicional, o motorista do veículo acaba sentindo-se estranho e muitas vezes desconfortável e sem confiança nesse tipo de tecnologia.

Conforme destaca Morais (2011) no passado a relação com o câmbio CVT era considerada um pouco estranha pela maioria dos condutores, pois o motor gerava sensações diferentes do que a maior parte deles estava acostumada. Por esse motivo, ainda hoje as montadoras utilizam transmissões continuamente variáveis programadas para simularem relações de troca de marchas com certa semelhança ao que considerado comum no mercado.

Como esse tipo de transmissão é mais barulhenta, muitas vezes tem-se a sensação de que ele esteja engasgando, quando da verdade esse é o funcionamento normal devido ao ajuste das polias. Outra desvantagem é que o câmbio CVT costuma ser também mais caro que as outras tecnologias, fato que acaba prejudicando a sua popularidade quando aplicado em modelos veiculares mais acessíveis (MECCIA; CARROLL, 2014).

Melconian (2009) ressalta que o uso de tecnologias defasadas em relação aos custos de implantação do CVT representa uma grande desvantagem quanto ao seu uso. Na grande maioria das vezes, os custos associados à transmissão automaticamente variável acabam apresentando-se como um problema, enquanto esta deveria ser considerada uma solução benéfica.

Outra dificuldade das transmissões continuamente variáveis é que, quando associadas a motores de alto desempenho, elas possuem dificuldade

em transmitir torques com valores superiores a 35 kgfm, em função da força gerada entre as polias e a correias. Ou seja, esse tipo de transmissão não é potente o suficiente para aguentar a força exigida sobre ela (SILVA, 2012).

Segundo Souza (2010), do ponto de vista do condutor, algumas vezes é entediante dirigir carros com câmbio CVT, pois não percebe-se a troca de marchas ou a variação do motor. Em função desse desconforto, alguns modelos de marcas como a Toyota e Renault acabam simulando um número pré-determinado de marchas. Apesar de um recurso virtual, nesses modelos cria-se uma sensação de trocas e marchas, que propõe uma relação mais física entre o veículo e o condutor.

Silva (2012) também destaca o fato de que as CVTs não agradam a todos. Em função da sensação que se tem da marcha única e das respostas lineares e progressivas, muitos motoristas não possuem segurança suficiente no volante e se reclamam por não controlarem de forma imediata o acelerador após a partida do automóvel.

Outra desvantagem a ser considerada é a perda de energia por parte dessas transmissões, em função do atrito que ocorre. Diferentemente das outras transmissões, a Transmissão Continuamente Variável não possui capacidade de lidar com uma grande carga de energia. Em razão disso, os câmbios CVT são característicos de veículos de pequeno porte e não de veículos grandes e de alto desempenho (MARCO FILHO; CANABRAVA FILHO, 2014).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As exigências por parte dos consumidores de automóveis quando ao conforto e à segurança do veículo vem se tornando cada vez mais frequentes. Em função desses aspectos, torna-se de grande importância o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem esses requisitos ao automóvel. Dessa forma, a Transmissão Continuamente Variável constitui uma alternativa que se destaca no mercado, em função das inovações e vantagens que oferece.

Este trabalho teve como objetivo conhecer os princípios de ação e funcionamento da Transmissão Continuamente Variável. Desta forma, verificou-se que a CVT é um dispositivo que transmite a potência, de forma que a relação de velocidade do veículo seja alterada continuamente. Assim, a transmissão de potência ocorre sem descontinuidades ou mudanças brutas, possibilitando ao motor a capacidade de operar com o máximo desempenho possível, alcançando assim a performance ideal. Existem dois tipos de Transmissão Continuamente Variável: A CVT baseada em polias e a CVT Toroidal.

Observou-se também que as Transmissões Continuamente Variáveis baseadas em polias possuem apenas três componentes básicos: uma correia de metal, uma polia de entrada e uma correia de saída. Quando as duas mudam seus raios paralelamente, são estabelecidas infinitas relações de marchas entre as correias. No sistema CVT Toroidal, por sua vez, um disco equivale à polia condutora e outro equivale à polia conduzida e os roletes localizados entre os discos possuem a mesma função que a correia, transmitindo assim a energia entre os discos.

Portanto, a Transmissão Automaticamente Variável proporciona diversos benefícios ao veículo e ao condutor. Ao veículo, ela possibilita o alcance da máxima eficiência possível, em um número infinito de relações. Ao condutor,

proporciona maior conforto e segurança na direção, por não apresentar trancos durante a troca de marchas, além de ser uma transmissão mais econômica que as tradicionais. Desta forma, o trabalho apresentado alcançou os seus objetivos esperados. Propõe-se então a elaboração de estudos futuros que possibilitem conhecer o mercado deste tipo de transmissão no Brasil e a viabilidade financeira do seu uso.

REFERÊNCIAS

AMBROSINI, Silvio. CVT, UM CÂMBIO FOTOGÊNICO. 2010. Disponível em: <<http://autoentusiastas.com.br/2014/09/carroll-shelby-a-apologia-do-torque/>>. Acesso em: 18 set. 2018.

BUDYNAS, R. G. **Elementos de Máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica**. 8 ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

BUDYNAS, R.G., NISBETT, J.K., Shigley's Mechanical Engineering Design, 8 ed. New York, McGraw-Hill, 2006. [3] MERRIT, H.E., Gears, 3 ed. London, Sir Isaac Pitman & Sons Ltd, 2016.

DANTAS, Andre. **PRESSÃO MÉDIA EFETIVA: ECONOMIA, POTÊNCIA E ALGUMAS COISINHAS A MAIS**. 2011. Disponível em: <<http://autoentusiastas.com.br/2011/08/pressao-media-efetiva-economia-potencia-e-algumascoisinhas-a-mais/>>. Acesso em: 18 set. 2018.

DIAS, J. Módulo: Transmissões. **Curso de Especialização em Engenharia Automotiva** – UTFPR, Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.damec.ct.utfpr.edu.br/automotiva/downloadsAutomot/c1Transmissoes.pdf>>. Acesso em 20 ago.2018.

JUNIOR, C. A. **Manutenção dos Variadores de Velocidade dos Tornos Automáticos e Multifusos** (2015).

KURIHARA R.; DEDINI F. G. **Desenvolvimento de um Programa para apoio ao Projeto e Dimensionamento de Trens Planetários**. VII Congresso e Exposição Internacionais da Tecnologia da Mobilidade. Catálogo SAE TECHNICAL 982910 PAPER SERIES P. São Paulo. Brasil, 2008.

LOURENÇO, V. S. **Variador de Velocidade**. Santa Bárbara D'Oeste. Trabalho de graduação – Universidade Metodista de Piracicaba, 2012.

MARCO FILHO, F., CANABRAVA FILHO, J.S., **“Apostila de Metrologia”**, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

MECCIA, Carlos. CARROLL Shelby. **A APOLOGIA DO TORQUE**. 2014. Disponível em: <<http://autoentusiastas.com.br/2014/09/carroll-shelby-a-apologia-do-torque/>>. Acesso em: 20 ago.2018.

- MELCONIAN, S. **Elementos de Máquinas**. 9. ed. São Paulo: Erica, 2009.
- MORAIS, R. F.. “**Simulação de Desempenho Veicular Utilizando a Metodologia Holmes**”, Unicamp, Trabalho de Graduação, Janeiro de 2001.
- NORTON, Robert L.. **Projeto de Máquinas: Uma abordagem integrada**. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.
- PAULA, A. E. **Projeto Mecânico do Sistema de Transmissão de um Veículo Baja**. 2013. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2013.
- PELLIZZARI JUNIOR, W S. **PROJETO BÁSICO DE UMA TRANSMISSÃO AUTOMÁTICA COM RELAÇÃO CONTINUAMENTE VARIÁVEL PARA AUTOMÓVEL DE PEQUENO PORTE**. 2002. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Automotiva, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.
- ROSA, E. S. **Métodos Computacionais em Engenharia Térmica e Ambiental**. UNICAMP, Campinas, 2010. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~phoenics/EM974/PROJETOS/>>. Acesso em: 18 set. 2018.
- SHIGLEY, J.E., MISCHKE, C.R., BUDYNAS, R.G., **Projeto de Engenharia Mecânica**, 7 ed. Porto Alegre, Bookman, 2005.
- SILVA, Edenilton Pereira da; COSTA, William Rodrigues. “**Conceitos Básicos Aplicados em Sistemas de Transmissão Veiculares**”. 2012. Monografia do Curso de Tecnologia de Eletrônica Automotiva da FATEC Santo André.
- SOUZA, H. E. A. **Projeto de uma caixa de redução fixa para veículo mini baja do IFPB**. 2011. Monografia (Graduação Tecnologia em Automação Industrial). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, João Pessoa, 2010.
- TEIXEIRA, M.M., “**Mecanismos de transmissão de potência e lubrificantes**”, Viçosa, MG, 2006.