

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

EDUARDO SPINDOLA FACINA

SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ENTRE UM VEÍCULO DE PASSEIO
COM TRANSMISSÃO MANUAL E DUPLA EMBREAGEM (DCT)

Joinville
2022

EDUARDO SPINDOLA FACINA

SIMULAÇÃO DO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ENTRE UM VEÍCULO DE PASSEIO
COM TRANSMISSÃO MANUAL E DUPLA EMBREAGEM (DCT)

Trabalho apresentado como requisito para
obtenção do título de bacharel em Engenharia
Automotiva do Centro Tecnológico de Joinville
da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Prof. Dr. Marcos Alves Rabelo

Joinville
2022

"Não há fatos eternos, como não há verdades absolutas."
(Friedrich Nietzsche.)

RESUMO

Vê-se no mercado mundial e nacional uma tendência à produção de veículos de transmissão automática, colocando o terceiro pedal de automóveis de câmbio manual em desuso, o que leva à escolha de um modo de condução visando conforto por evitar as trocas de marchas, como em vias de grande fluxo de veículos e engarrafamentos. Assim sendo, é coerente a comparação da eficiência de combustível entre modelos como critério de compra de um veículo, sendo que o mesmo encontra-se disponível com diversas configurações de motor, câmbio, modelos similares e categoria do veículo. Diante de modos de condução simulados que sugerem um ambiente urbano e rodoviário, traçando formas de consumos diferentes nesses ambientes, e, não menos importante, a emissão CO_2 durante as simulações, medida que pode ser analisada com normas de emissões de poluentes como ponto de referência sobre valores limite. A metodologia para comparação foi baseada em estudos de referência acadêmica sobre os modelos de transmissão manual e transmissão dupla embreagem. Assim concluídos, dispostos por análise de blocos de um conjunto automotor e quando executado com câmbio manual e dupla embreagem dentro do Simulink, descritos quantitativamente no estudo, informam um conjunto de motor mais econômico e menos poluente quando configurado na transmissão manual.

Palavras-chave: Transmissão dupla embreagem. Transmissão Manual. Consumo de combustível. Simulink. Matlab.

ABSTRACT

A trend towards the production of vehicles of automatic transmission, putting the third pedal of manual transmission automobiles in disuse, which leads to the choice of a driving mode aimed at comfort by avoiding gear changes, such as on roads with a large flow of vehicles and traffic jams. Therefore, it is coherent to compare the fuel efficiency between models as a criterion for purchasing a vehicle, provided that it is available with several configurations of engine, exchange, similar models and category of the vehicle. Faced with simulated driving modes that suggest an urban environment and road, tracing different forms of consumption in these environments, and, not least importantly, the CO_2 emission during the simulations, a measure that can be analyzed with pollutant emission standards as a reference point on limit values. THE methodology for comparison was based on academic reference studies on manual transmission and dual-clutch transmission models. thus completed, arranged by block analysis of a self-propelled assembly and when executed with manual transmission and dual clutch within Simulink, quantitatively described in the study, inform a more economical and less polluting engine assembly when configured in manual transmission.

Keywords: Dual clutch transmission. Gearbox. Fuel Consumption. Simulink. Matlab

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transmissão manual de um veículo.	13
Figura 2 – Transmissão manual de 5 marchas.	14
Figura 3 – Sistema de transmissão completo.	15
Figura 4 – Eixo genérico	15
Figura 5 – Engrenagem Helicoidal.	16
Figura 6 – Tipos de Embreagens	17
Figura 7 – Detalhamento componentes da embreagem.	18
Figura 8 – Disposições do diferencial.	19
Figura 9 – Fluxo de potência.	20
Figura 10 – Transmissão DCT.	21
Figura 11 – Mecanismo de troca de pares engrenados.	22
Figura 12 – Mecatrônica DSG, 1-Módulo Hidráulico, 2- Módulos da embreagem, 3 - Módulo eletrônico, 4-Conector.	23
Figura 13 – Ciclo de direção	25
Figura 14 – Mapa de consumo genérico	27
Figura 15 – Fluxo metodológico	30
Figura 16 – FTP 75 - Ciclo Urbano	31
Figura 17 – HWFET - Ciclo Rodoviário (mph)	31
Figura 18 – Modelo Simulink.	32
Figura 19 – Lógica de troca de marchas manual e DCT.	33
Figura 20 – Curva característica.	34
Figura 21 – Curva de potência.	35
Figura 22 – Consumo de combustível e emissão de CO_2 ciclo FTP-75.	36
Figura 23 – Consumo no ciclo HWFET (DCT).	37
Figura 24 – Consumo FTP-75 (Manual).	38
Figura 25 – Consumo de combustível HWFET (Manual).	39
Figura 26 – Curva de torque adaptada com apenas valores crescentes.	46
Figura 27 – Blocos utilizados para o câmbio manual.	47
Figura 28 – Blocos utilizados para o câmbio DCT.	48
Figura 29 – Consumo específico de combustível (BSFC).	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados do Proconve para emissões de <i>CO</i> no Brasil	26
Tabela 2 – Dados Jetta Comfortline 2.0 e 1.4 TSI	28
Tabela 3 – Dados obtidos no ciclo FTP-75 (DCT)	36
Tabela 4 – Dados obtidos no ciclo HWFET (DCT)	37
Tabela 5 – Dados obtidos no ciclo FTP-75 (Manual).	38
Tabela 6 – Dados obtidos no ciclo HWFET (Manual)	39
Tabela 7 – Dados gerais obtidos em simulação.	40
Tabela 8 – Dados de veículos.	40
Tabela 9 – Dados em ciclo misto calculado.	41
Tabela 10 – Relações de transmissão DCT	45
Tabela 11 – Relações de transmissão Manual	45
Tabela 12 – Dados utilizados na simulação - Chassi.	46
Tabela 13 – Dados utilizados na simulação - Motor.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DCT	Dual Clutch Transmission - Transmissão dupla embreagem
FTP	Federal Test Procedure
PROCONVE	Programa de Controle de Emissões Veiculares

LISTA DE SÍMBOLOS

Nm	Newton Metro
kg	Quilograma
km	Quilometros
rpm	Rotações por minuto
cv	Cavalo-vapor
$kgf.m$	Quilograma força metro
P_{me}	Pressão média efetiva
$Consumo_{misto}$	Consumo misto de ciclos de condução
n_M	Velocidade do motor
$T_{Z,B}(n_M)$	Torque do motor
$F_{Z,B}(n_M)$	Forças resistivas ao movimento
r_{din}	Raio dinâmico da Roda
i_a	Relação de transmissão da marcha selecionada
η_{tot}	Rendimento da transmissão
b_s	Consumo de combustível por unidade de distância
b_e	Consumo de combustível específico
ρ_{comb}	Densidade do combustível
v	Velocidade do veículo
$BSFC$	Consumo específico de combustível

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Objetivo	10
1.1.1	Objetivo Geral	10
1.1.2	Objetivos Específicos	10
2	REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1	Transmissão Manual	12
2.1.1	Componentes da Transmissão Manual	14
2.1.1.1	Eixos	15
2.1.1.2	Engrenagens	16
2.1.1.3	Embreagem	17
2.1.1.4	Diferencial	18
2.2	Transmissão DCT	19
2.2.1	Tipos de DCT	21
2.2.1.1	Transmissão dupla embreagem seca	21
2.2.1.2	Transmissão dupla embreagem molhada	22
2.2.2	Componentes da transmissão dupla embreagem	22
2.3	Consumo de combustível e Emissão de CO_2	23
2.3.1	Consumo por cálculos teóricos	23
2.3.2	Consumo por análise de dados	24
2.3.2.1	Emissões de poluentes	25
2.3.3	Mapa de consumo	26
2.3.4	Análise sobre consumo	27
2.3.5	Cálculo de emissão de CO_2	28
3	MÉTODO	29
4	ANÁLISE DE DADOS	32
4.1	Modelamento em Simulink	32
4.1.1	Dados utilizados	33
4.1.2	Resultados	35
4.1.2.1	Resultados DCT (FTP-75)	35
4.1.2.2	Resultados DCT (HWFET)	36
4.1.2.3	Resultados Manual (FTP-75)	37
4.1.2.4	Resultados Manual (HWFET)	38
4.2	Resultados Finais	39

5	CONCLUSÕES	42
	REFERÊNCIAS	43
	APÊNDICE A	45
	APÊNDICE B	46
	APÊNDICE C	47
	APÊNDICE D	48
	APÊNDICE E	49

1 INTRODUÇÃO

Conforme a evolução do mercado automotivo, comercialmente e tecnologicamente, assim como a necessidade do consumidor por um produto ou projeto com continuidade, visando conforto a um custo justo, veículos que não sejam de câmbios mecânicos surgem para atender as expectativas, aliados à economia de combustível através de avanços em aumento de eficiência energética em conjuntos de trem de potência e menor custo de manutenção.

Nos Estados Unidos da América, cerca de 70% dos veículos vendidos possuem transmissão automática com conversor de torque, sendo um dos modelos mais utilizados atualmente em veículos comerciais (ZHANG; MI, 2018).

Quanto a tendência de motores veiculares, Brunetti (2012a) presume que o *downsizing* é uma alternativa para motores mais econômicos que motores aspirados 1.6 ou 2.0 litros, por exemplo, de forma à contribuírem para um melhor e mais econômico ciclo de uso, além de gerar mais potência em categorias de litragens próximas e gerar menos poluentes, dessa forma se adequando às normas de emissões de poluentes.

Considerando tal problemática, propõe-se um estudo de caso que utilizará um modelo genérico e dados de veículos do Brasil e internacionais, que se adéquem ao parâmetro de estudo, como motorização, relações de transmissão das caixas utilizadas, curvas características do motor.

Considera-se duas opções de transmissão: Manual e Dual Clutch Transmission (DCT), considerada como dupla embreagem. A comparação visa demonstrar dados de consumo em quilômetro por litro nos cenários urbanos, rodoviários, consumo misto e a emissão de CO_2 durante os respectivos ciclos.

1.1 OBJETIVO

Para gerar dados de transmissão dupla embreagem e transmissão manual, propõe-se neste trabalho os objetivos a seguir:

1.1.1 Objetivo Geral

Verificar o consumo de combustível e emissão de CO_2 de veículos com sistemas de transmissão manual e transmissão dupla embreagem.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Analisar o consumo do veículo modelo com transmissão DCT comparada com a transmissão manual em cenário urbano, rodoviário e gerar o percentual de

diferença baseado no ciclo misto;

- Executar um comparativo percentual entre os dois tipos de câmbio em consumo de combustível e emissões de CO_2 com base no ciclo misto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O conceito de transmissões surgiram há mais de 1000 anos no Egito com pares engrenados em moinhos de água, sendo os pares engrenados feitos de madeira (NAUNHEIMER et al., 2011).

Há histórico de documentos patenteados que indicam que James Watt em 1777, foi o primeiro a utilizar transmissões manuais em máquinas a vapor para aprimorar o seu desempenho (GENTA; MORELLO, 2009).

Benz e Daimler em 1885 e 1886, promoveram transmissões manuais de duas velocidades, dessa forma, tornaram-se pioneiros no projeto de transmissões manuais comercialmente (GENTA; MORELLO, 2009).

A transmissão é primordial para que sejam movimentadas as rodas do veículo e dessa forma gerar a aceleração e ganho de velocidade, por intermédio na energia mecânica gerada pelo motor (GENTA; MORELLO, 2009).

O conjunto de transmissão deve garantir que o veículo esteja apto para entrar em movimento enquanto o motor está em funcionamento (CROLLA, 2009).

Outra função da transmissão é fazer o desacoplamento da transmissão com o motor, como por exemplo com o auxílio da embreagem (CROLLA, 2009).

Dessa forma, como a transmissão é a principal responsável por colocar o veículo em movimento, cabe ao consumidor definir qual tipo de transmissão é pertinente para a utilização no dia a dia, considerando que a troca de marchas pode ou não ser automática.

Caso o motorista tenha preferência por conforto não atuar nas trocas de marchas, a transmissão DCT é a escolha mais pertinente visto que a transmissão manual exige habilidade e coordenação motora do usuário. É a escolha menos custosa em valor agregado ao produto, sendo a principal vantagem econômica em relação ao DCT.

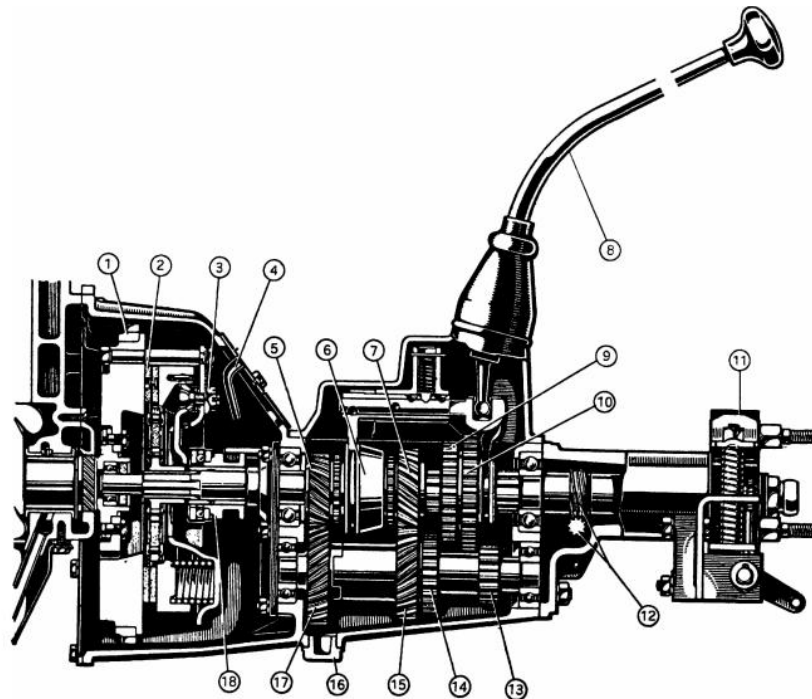
2.1 TRANSMISSÃO MANUAL

Um motor a combustão interna fornece potência e, por intermédio da transmissão, embreagem e diferencial, promove a velocidade de rotação das rodas (GENTA; MORELLO, 2009).

Em conjuntos acoplados de engrenagens, é possível obter a relação de transmissão. Essa relação tem como propósito aumentar ou reduzir a velocidade do eixo de entrada (motor) e no eixo de saída (transmissão), por exemplo, em relações 1:3, a velocidade de entrada é multiplicada em três vezes no eixo de saída (NORTON, 2013).

Na Figura 1 têm-se o exemplo de uma caixa de transmissão manual utilizada em 1934 pelo Fiat Balilla. Nos itens 7 e 15 vê-se um exemplo de par engrenado que são pertinentes durante as seleções de marchas.

Figura 1 – Transmissão manual de um veículo.



Fonte: Genta e Morello (2009, p. 406).

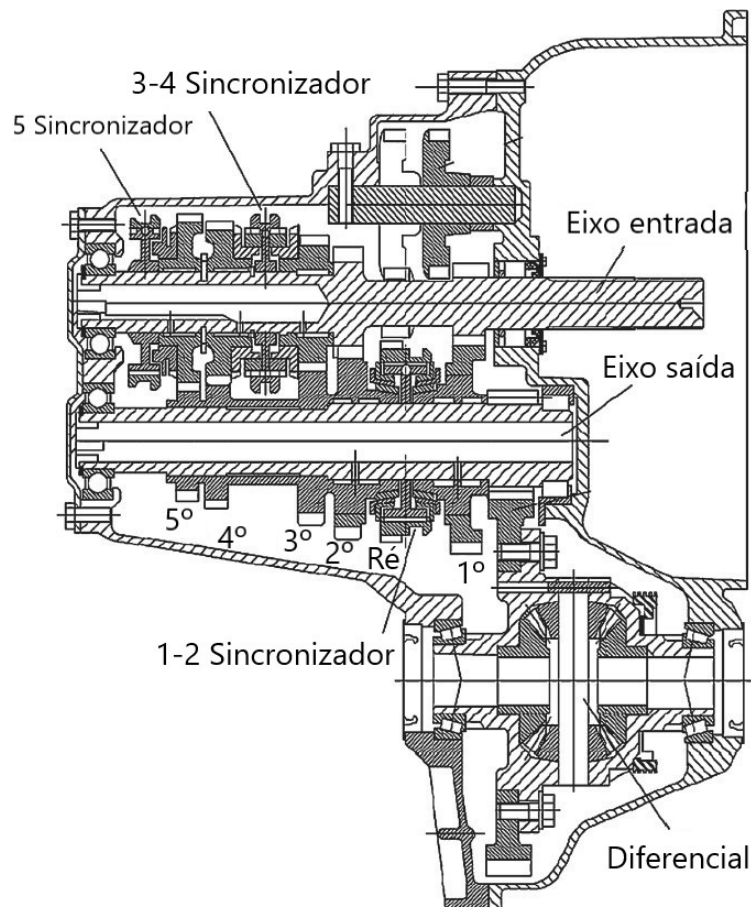
Na história automotiva, o modelo de caixa de transmissão da Fiat da Figura 1 foi um marco por ser o primeiro modelo de automóvel configurado para 4 marchas, visto que a caixa de transmissão era de 3 marchas no ano anterior de produção do veículo (GENTA; MORELLO, 2009).

Atualmente, de acordo com Zhang e Mi (2018), as transmissões manuais em carros de passeio e vans possuem entre cinco e seis marchas e uma reversa. Alguns modelos esportivos possuem seis ou mais marchas visando economia de combustível e performance.

As engrenagens que compõem o sistema são helicoidais, exceto pela reversa que é feita com engrenagem de dentes retos. Os sincronizadores tem a função de igualar as velocidades das engrenagens com os eixos (ZHANG; MI, 2018).

Conforme Figura 2, há 3 sincronizadores no eixo de entrada e 2 sincronizadores no eixo de saída, caracterizando uma caixa comum, de 5 marchas (ZHANG; MI, 2018).

Figura 2 – Transmissão manual de 5 marchas.



Fonte: Zhang e Mi (2018, p. 34).

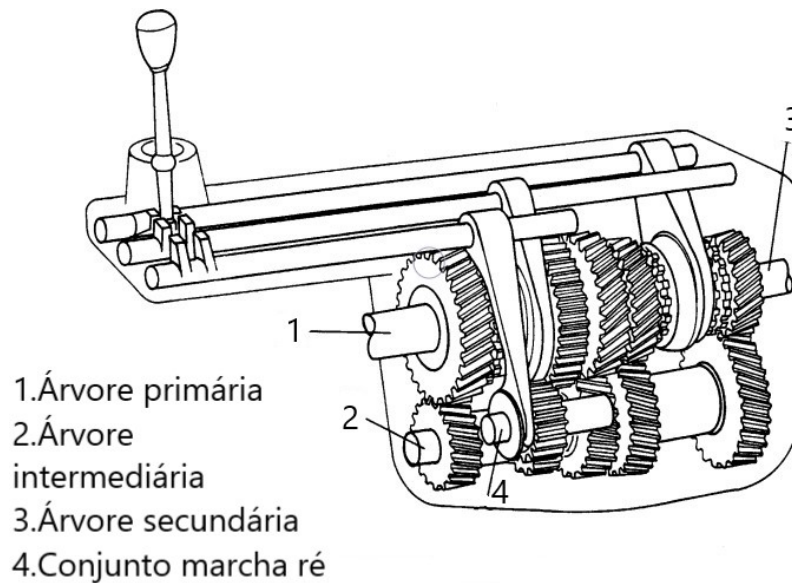
Assim sendo, o número de marchas do câmbio reflete na economia e performance para o projeto de um veículo, levando em consideração que as transmissões comuns de 5 marchas são as mais empregadas em veículos comerciais populares.

2.1.1 Componentes da Transmissão Manual

Os componentes da transmissão são constituídos de sendo de conjuntos de engrenagens, eixos, embreagem que é responsável pelo acoplamento motor-transmissão e uma forma de transmissão de potência como um diferencial (GENTA; MORELLO, 2009).

Na Figura 3 é possível observar um sistema completo de transmissão manual

Figura 3 – Sistema de transmissão completo.



Fonte: ESCOLA ESTADUAL DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL (2017, p. 37).

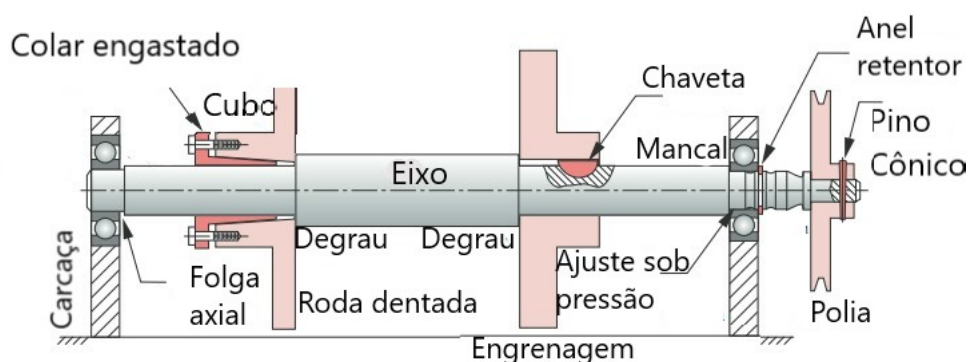
Diante da Figura 3, a árvore primária que recebe a rotação do volante do motor, a árvore intermediária que recebe a rotação da árvore primária.

A árvore secundária é a saída da transmissão, para o diferencial por exemplo. O conjunto de marcha-à-ré consiste na engrenagem intermediária que faz a engrenagem girar o sentido inverso à árvore primária, possibilitando o movimento para trás do veículo.

2.1.1.1 Eixos

Eixos são elementos que promovem a transmissão de rotação e torque em máquinas, normalmente, os eixos possuem engrenagens, polias que transmitem estas forças para designar determinada atividade de transmissão de potência, além de, estarem suportadas por mancais de deslizamento ou rolamento, visando menor atrito e desgaste do eixo (NORTON, 2013).

Figura 4 – Eixo genérico



Fonte: Adaptado de Norton (2013, p. 552).

Com base na Figura 3, o eixo árvore primário ou eixo piloto, é o eixo acoplado a embreagem e que recebe o torque do motor, enquanto os demais eixos suportam os trem de engrenagens e a saída da transmissão para o diferencial que transmite movimento às rodas (Escola Estadual de Educação Profissional, 2017).

Na Figura 4, é possível observar um eixo genérico de um sistema mecânico, eixo esse que varia seu diâmetro ao longo do eixo (escalonado). Normalmente, os eixos possuem degraus ou ressaltos, possuindo variações de diâmetros para acoplar engrenagens, mancais ou catracas (NORTON, 2013).

2.1.1.2 Engrenagens

As engrenagens são usadas para transmitir torque e velocidade angular. Por estarem sob tensão variável, como o torque que varia de acordo com a rotação do motor, são dimensionadas para o estresse que serão submetidas (NORTON, 2013).

Em projetos de transmissões normalmente são utilizadas engrenagens helicoidais como a da Figura 5, que apresenta um par engrenado (NORTON, 2013).

Figura 5 – Engrenagem Helicoidal.



Fonte: Norton (2013, p. 552).

A razão do uso desse tipo de engrenagem é por serem silenciosas e sofrerem menos com vibrações do que as engrenagens de dentes retos, que são utilizadas normalmente em marcha de reversão, por facilitar a entrada e saída do engrenamento (NORTON, 2013).

Quanto às helicoidais, pela origem do nome sugerem como as engrenagem se assimilarem a uma hélice. O contato entre os dentes se dá de forma gradual e em razão disso gera ruído menor o engrenamento e capazes de transmitir potência elevada (NORTON, 2013).

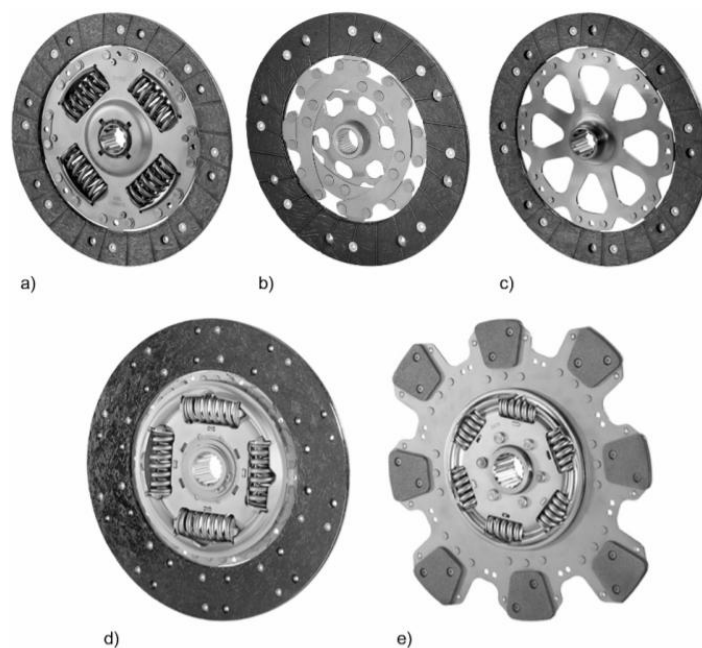
2.1.1.3 Embreagem

A embreagem é um componente presente em veículos de transmissão manual e de transmissão com dupla embreagem, sendo um componente de assistência à troca de marchas, dessa forma, auxilia o veículo para o ganho de velocidade.

De acordo com Crolla (2009), a embreagem é o componente responsável pelo acoplamento do eixo de entrada, proveniente do volante do motor até o eixo de saída da transmissão, onde serão trabalhadas as relações de transmissão e conseqüentemente transpostas em movimento para o veículo.

Na Figura 6 pode-se visualizar exemplos de modelos de embreagem existentes. Para o modelo de referência do estudo, para o veículo comercial adotado a embreagem de referência o modelo a), onde, têm-se o disco de embreagem com molas de compressão.

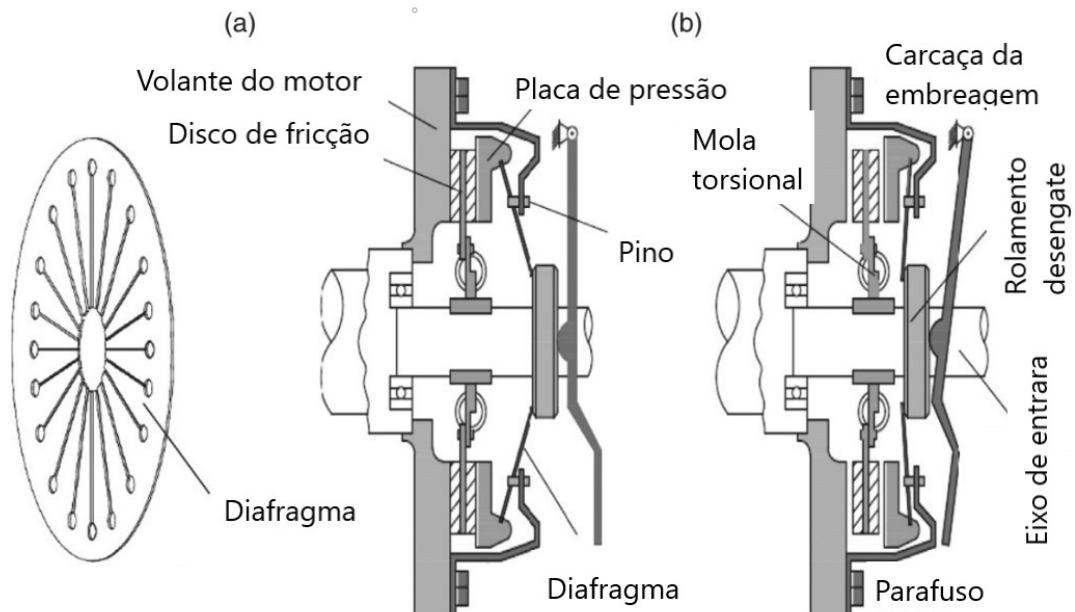
Figura 6 – Tipos de Embreagens



Fonte: Naunheimer et al. (2011, p. 376).

O motor a combustão interna não é capaz de promover torque de forma constante à uma velocidade de rotação que promova movimento ao veículo (ZHANG; MI, 2018).

Figura 7 – Detalhamento componentes da embreagem.



Fonte: Adaptado de Zhang e Mi (2018, p. 42).

Na Figura 7, é possível observar em a) em que o sistema de embreagem está acoplada. O volante do motor que rotaciona em virtude do virabrequim. O disco de fricção da embreagem gera o atrito e rotação da embreagem quando acoplada. A placa de pressão auxilia no contato entre o volante do motor e o disco de fricção. O diafragma consiste na estrutura que gera a pressão de contato entre o eixo de entrada e o disco de fricção, logo, auxilia no acoplamento do eixo com a embreagem Zhang e Mi (2018).

Em b), é possível observar o sistema desacoplado, dessa forma, têm-se a mola torsional que suporta no desacoplamento ao pisar no pedal da embreagem, a carcaça da embreagem que protege o conjunto e é dimensionado para ser fixado no volante do motor com o auxílio dos parafusos, o rolamento de desengate que move o disco de pressão conforme é acionado o pedal da embreagem, o eixo de entrada promove a conexão com a transmissão Zhang e Mi (2018).

2.1.1.4 Diferencial

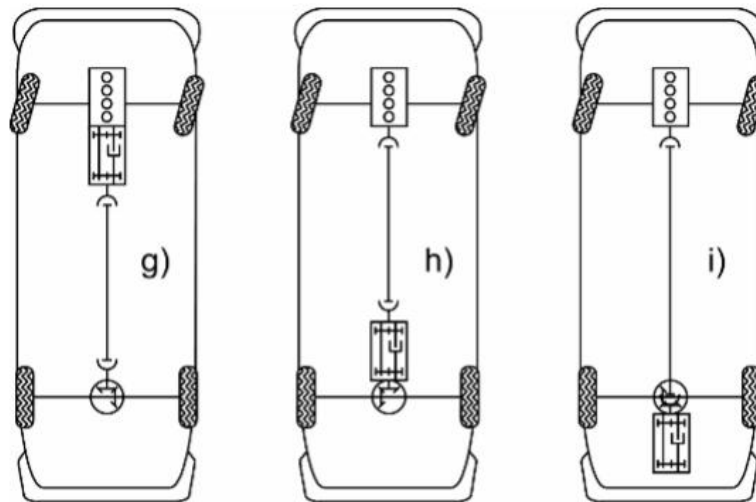
O diferencial é utilizado em veículos manuais e automáticos. Quando a transmissão é interligada do eixo cardã ao diferencial, a transmissão da potência acontece nas rodas traseiras. Para veículos de tração dianteira a potência é transmitida diretamente para o diferencial (GENTA; MORELLO, 2009).

Dessa forma, na Figura 8, como exemplo têm-se:

- g) Motor longitudinal e transmissão frontal com diferencial traseiro (GENTA; MORELLO, 2009);

- h) Motor longitudinal com transmissão e diferencial traseiro (GENTA; MORELLO, 2009);
- i) Motor longitudinal frontal com transmissão atrás do eixo de transmissão e diferencial traseiro (GENTA; MORELLO, 2009).

Figura 8 – Disposições do diferencial.



Fonte: Genta e Morello (2009, p. 142).

Conforme visualizado, existem diversos modelos de construção viáveis para um projeto veicular, como foi observado, para a pesquisa, torna-se visível que não será utilizado um modelo com essa configuração, sendo o modelo de motor frontal com tração dianteira, logo, potência motora sendo transferida por flanges até as rodas.

2.2 TRANSMISSÃO DCT

As primeiras transmissões DCT foram projetadas na década de 1940, com o propósito de equipar veículos pesados proporcionando uma forma de transmissão de torque sem que houvesse interrupção de potência durante a troca de marchas, porém sem implementação em série (NAUNHEIMER et al., 2011).

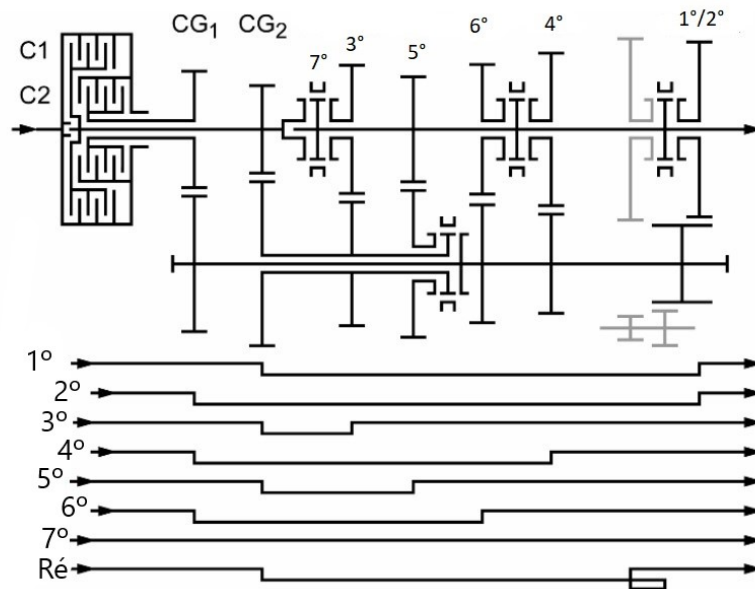
De acordo com Zhang e Mi (2018), a DCT une a praticidade de um câmbio automático com a eficiência de uma caixa manual, tendo um custo menor de industrialização comparado ao automático convencional com conversor de torque, além de compartilhar componentes da transmissão manual.

Na década de 1980, Audi e Porsche implementaram a transmissão dupla embreagem para carros de corrida, ainda assim, o projeto não foi implementado para veículos em série por falta de recursos em controle de qualidade que atendessem ao produto (NAUNHEIMER et al., 2011).

Em 2003, o projeto de transmissão de dupla embreagem foi designado para produção em série pela Volkswagen, sendo um Golf R32. A vantagem do modelo foi unir um câmbio automático com um sistema de transmissão manual, abrangendo sua eficiência (NAUNHEIMER et al., 2011).

Na Figura 9 pode-se observar como é o fluxo de potência da transmissão em cada par engrenado na marcha pertinente para o movimento.

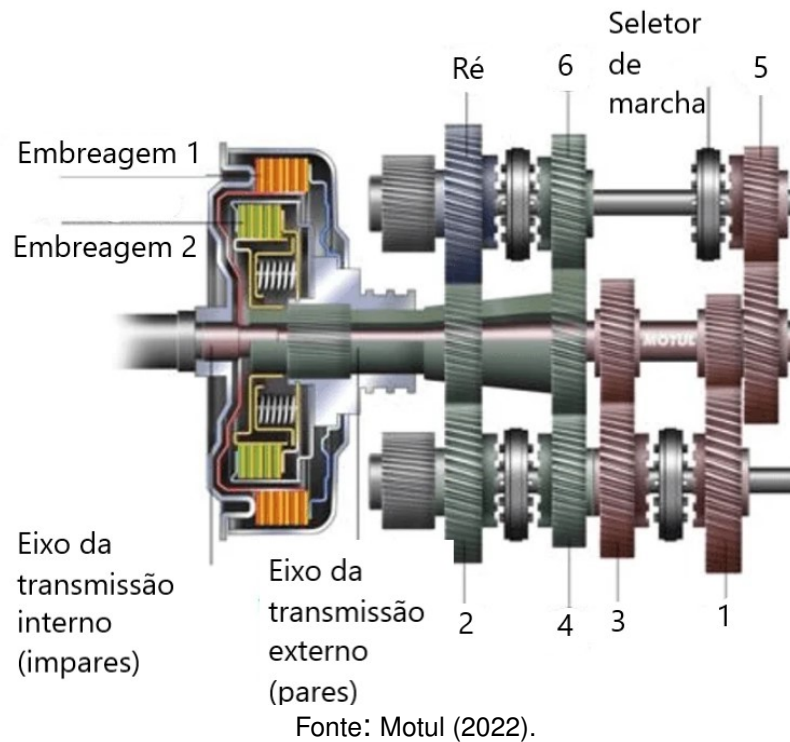
Figura 9 – Fluxo de potência.



Fonte: Adaptado de Naunheimer et al. (2011, p. 173).

Para observar como o trem de potência é acoplado ao motor, a Figura 10 representa o modelo de como é disposto o sistema de transmissão.

Figura 10 – Transmissão DCT.



2.2.1 Tipos de DCT

O sistema de transmissão de dupla embreagem consiste em dois modelos disponíveis no mercado, sendo que as engrenagens são lubrificadas e as embreagens podem ser secas (sem lubrificação) ou molhadas (lubrificadas).

2.2.1.1 Transmissão dupla embreagem seca

Transmissões DCT, com embreagem seca, funcionam da forma convencional como explorado na Figura 6, garantindo tempo de manutenção maior sem comprometer conforto e vibrações do sistema (NAUNHEIMER et al., 2011).

Pelo atrito da embreagem, o projeto deve considerar para o tempo de serviço e durabilidade, um bom monitoramento de temperatura, considerando o tempo de acoplamento e o torque que será necessário. Para o sistema, a escolha dos materiais é primordial para boa dissipação de calor (NAUNHEIMER et al., 2011).

As embreagens secas possuem menos capacidade de torque e são utilizadas em carros compactos enquanto embreagens lubrificadas são utilizadas em veículos com torques maiores. Normalmente, embreagens secas são utilizadas em torques até 250Nm (NAUNHEIMER et al., 2011).

2.2.1.2 Transmissão dupla embreagem molhada

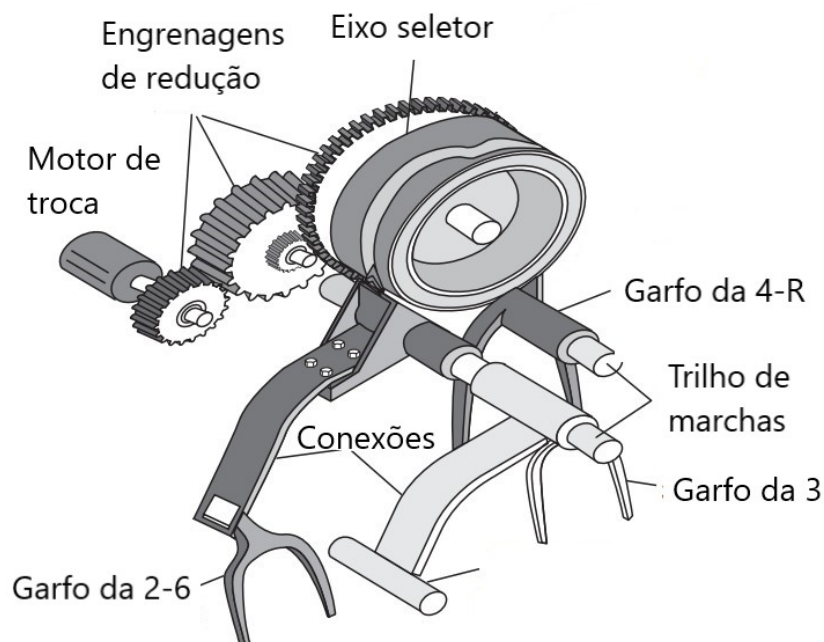
Com a necessidade de mais complexidade no projeto da caixa e embreagem, necessita de uma bomba e reservatório de óleo para bombear e lubrificar a embreagem, normalmente utilizados em veículos com torque superior a 250 Nm (NAUNHEIMER et al., 2011).

De acordo com Naunheimer et al. (2011), o modo de lubrificação garante melhor controle da temperatura e refrigeração do sistema, auxílio na fricção durante engrenamento além de possibilitar aumento da capacidade de torque suportado e maior durabilidade que a embreagem seca.

2.2.2 Componentes da transmissão dupla embreagem

A transmissão dupla embreagem consiste em dois sistemas independentes de transmissão/pares engrenados e de acordo com Zhang e Mi (2018), contendo por exemplo em um sistema as marchas 1, 3, 5 e um segundo sistema com as marchas 2, 4, 6.

Figura 11 – Mecanismo de troca de pares engrenados.

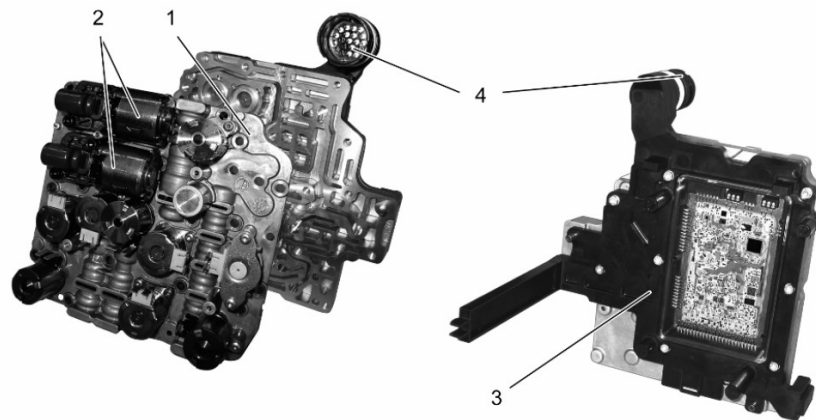


Fonte: Adaptado de Zhang e Mi (2018, p. 303).

O mecanismo da Figura 11, promove a troca de marchas (como a alavanca seletora do câmbio manual), é o que garante a eficiência do sistema visto que a velocidade de troca dos módulos da embreagens (NAUNHEIMER et al., 2011).

Na Figura 12 têm-se um exemplo de um sistema mecatrônico fornecido pela Volkswagen, câmbio DSG (NAUNHEIMER et al., 2011).

Figura 12 – Mecatrônica DSG, 1-Módulo Hidráulico, 2- Módulos da embreagem, 3 - Módulo eletrônico, 4-Conector.



Fonte: Naunheimer et al. (2011, p. 500).

O sistema é o controle do sistema de trocas, garantindo que as trocas de marchas e acionamento de embreagens funcionem da forma que o sistema é programado para executar.

2.3 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL E EMISSÃO DE CO_2

De acordo com Naunheimer et al. (2011), existem curvas características que designam a funcionalidade de cada motor, como potência, torque e consumo específico comparado à progressão de rotações do motor.

O consumo visto nas ruas é diferente do simulado, por inúmeros fatores, como: veículo carregado e descarregado, a quantidade de equipamentos presentes no veículo, o estado da via a ser percorrida e o tráfego, porém, o que mais impacta o consumo é a forma de condução de motorista que, em caso de um veículo manual, a seleção de marchas e trocas das mesmas, bem como a forma de utilizar o pedal do acelerador que impactam diretamente no aumento de consumo de combustível (NAUNHEIMER et al., 2011).

2.3.1 Consumo por cálculos teóricos

O consumo de um veículo é definido de duas formas, uma sendo o consumo por distância percorrida, litros por quilômetros e por unidade de tempo, como gramas por segundo. Esses dados são obtidos por experimentos e por métodos de teste. Naunheimer et al. (2011).

Diante de Naunheimer et al. (2011), para o cálculo de consumo, deve-se considerar o consumo de combustível específico (b_e), no momento de operação, obtido pelas curvas de performance do motor. Logo, é necessário considerar a velocidade do motor (n_M) e o torque do motor ($T(n_M)$).

A Equação 1, refere-se à velocidade do motor:

$$n_M = \frac{v i_a}{2 \pi r_{din}}. \quad (1)$$

Sendo v a velocidade do veículo, i_a a relação de transmissão e r_{din} o raio dinâmico da roda.

O torque requerido do motor $T_{Z,B}(n_M)$ é calculado pela necessidade de tração das rodas e da eficiência do motor, descrito pela Equação 2 (NAUNHEIMER et al., 2011).

$$T_{Z,B}(n_M) = \frac{F_{Z,B} r_{din}}{i_a} \frac{1}{\eta_{tot}}. \quad (2)$$

Sendo $F_{Z,B}$ a força requerida pelo veículo para se manter em movimento, i_a a relação de transmissão e r_{din} o raio dinâmico da roda, e η_{tot} a eficiência da transmissão.

Com a extração de dados do mapa de potência de um veículo e caso seja possível extrair a pressão média efetiva (p_{me}) no cilindro ao invés do torque no motor, logo, a potência requerida pelo motor $P_{Z,B}(n_M)$ é dado como:

$$P_{Z,B}(n_M) = F_{Z,B} v \frac{1}{\eta_{tot}}. \quad (3)$$

Logo, o consumo de combustível por unidade de distância pode ser calculado utilizando a equação 2 e 3, unificado na Equação 4:

$$b_s = \frac{b_e P(n_M)}{\rho_{comb} v} = \frac{b_e F_{Z,B}}{\rho_{comb} \eta_{tot}}. \quad (4)$$

Sendo b_e o consumo de combustível específico, ρ_{comb} a densidade do combustível.

2.3.2 Consumo por análise de dados

Na análise de consumo por análise de dados, consiste em iniciar um teste de rua com o veículo e submetê-lo às condições das vias em determinadas situações amparadas por normas.

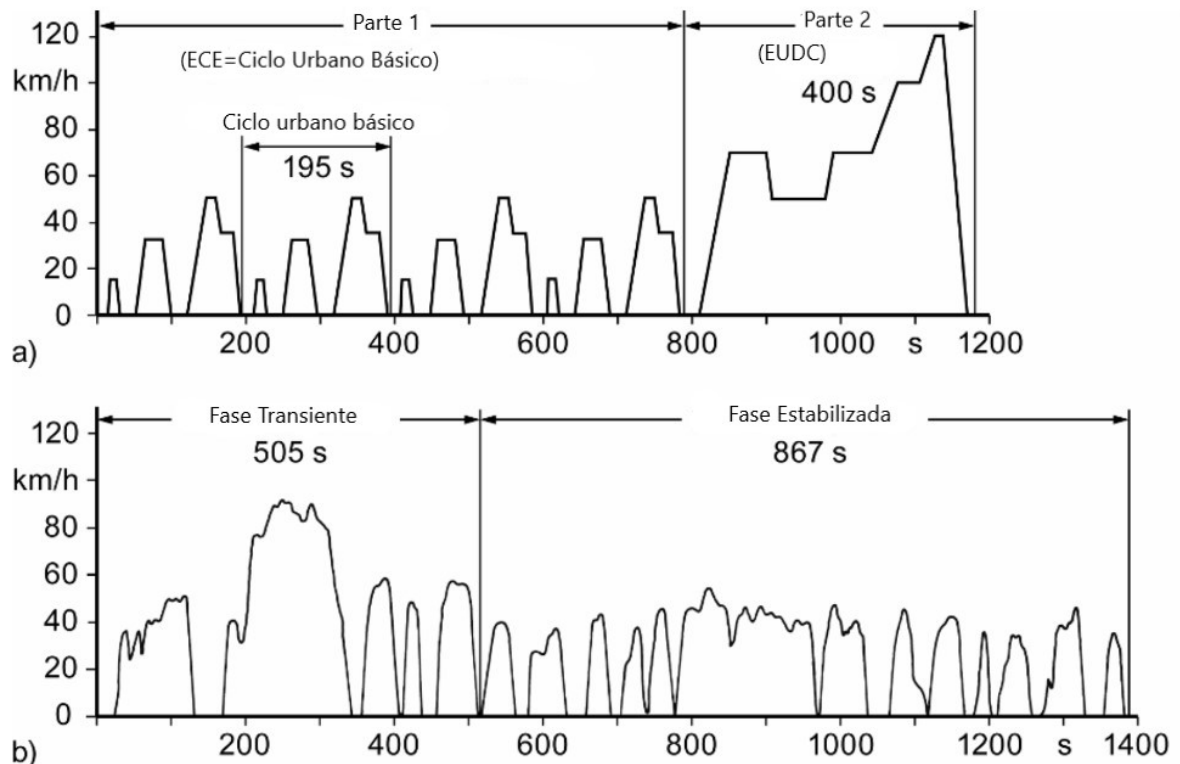
Assim sendo, Naunheimer et al. (2011) informa que ciclos normalizados, ou, padrões, são normalmente usados para mensurar consumo e emissões de motores e nestes ciclos a variável mais importante é o padrão de velocidade, sem períodos estacionários, ou seja, em que o veículo não fica estável na maior parte do tempo, sendo um modelo que é executado em função do tempo.

A Figura 13a informa o modelo NEDCS2000 (New European Driving Cycle), do ano 2000, informando quatro ciclos, cada ciclo de direção possui 195 segundos, enquanto a parte EUDC (Extra Urban Driving Cycle), ou seja, onde o motorista está em ciclo fora do ambiente urbano para os testes e com duração de 400 segundos no

total, como o nome sugere, o ciclo é utilizado em modelos Europeus (NAUNHEIMER et al., 2011).

Na Figura 13b, consiste no modelo americano FTP-75 (Federal Test Procedure), demonstrando duas fases de teste, sendo urbano na primeira fase, de 505 segundos e na segunda fase, ciclos repetidos de voltas em forma estacionária por 10 minutos. O ciclo chega a ser padrão na América Latina para testes de homologação.

Figura 13 – Ciclo de direção



Fonte: Adaptado de Naunheimer et al. (2011, p. 131).

2.3.2.1 Emissões de poluentes

Nos EUA, o estudo de consumo e emissão de poluentes é regulado pelo governo e todas as montadoras devem informar os valores ao comprador do veículo (NAUNHEIMER et al., 2011).

Na Europa, como exemplo, no ano de 2008 o limite de CO_2 para veículos leves é de 140g/km (NAUNHEIMER et al., 2011).

Na Tabela 1 pode ser evidenciado as normas atuais do Proconve, de dados atualizados para 2022 com a informação dos valores de CO permitido no Brasil, visto que CO_2 ainda não é limitado pela norma.

Tabela 1 – Dados do Proconve para emissões de CO no Brasil

Norma	Emissões (Veículos leves)	Vigência
Início do Proconve	54 g/km	1986
Proconve L6	1,50 g/km	2014
Proconve L7	0,5 g/km	2022

Fonte: Montadoras (2022).

Os dados de CO_2 não são limitados pelo Proconve, que, de acordo com Brunetti (2012b), é um poluente gerado naturalmente por qualquer combustão de hidrocarbonetos e não são nocivos para a saúde humana, porém, contribuí para o aquecimento global e a diminuição de sua emissão se dá pelo aumento de eficiência dos veículos ou alternativas de combustíveis fósseis.

De acordo com Brunetti (2012b), a combustão completa de gasolina gera CO_2, N_2 e H_2O . Porém, o CO é formado na combustão incompleta, no corpo humano afeta na capacidade do sangue transportar oxigênio, reagindo com a hemoglobina.

O NO_x , óxido de nitrogênio, quando vaporizado entra em contato com o vapor de água forma o ácido nítrico e em combustíveis com enxofre, geram o ácido sulfúrico. Dessa forma, o NO_2 quando gerado, sofre reações quando em contato com raios ultravioleta e geram ozônio (O_3), que próximo ao solo geram problemas pulmonares (BRUNETTI, 2012b).

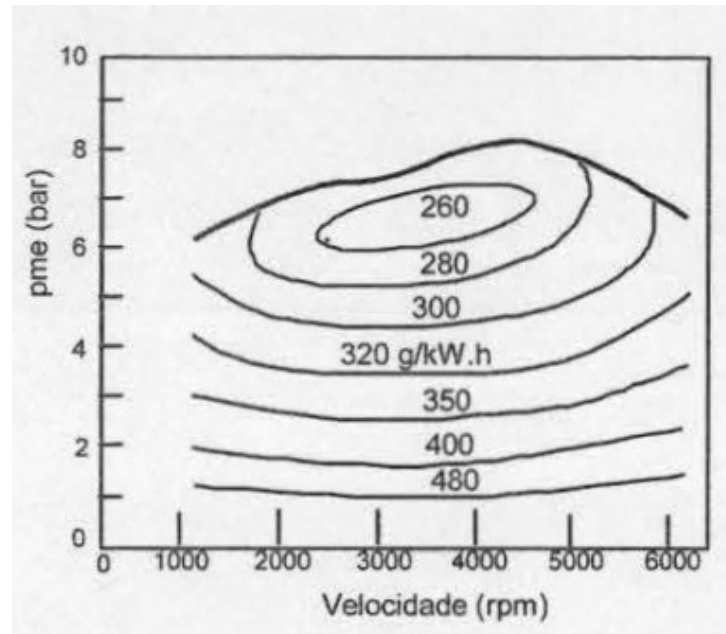
Outro poluente gerado, são os hidrocarbonetos restantes da combustão, que não foram queimados por falta de temperatura ou em locais da câmara de combustão onde a mistura ar/combustível é excessivamente rica ou pobre. O poluente gerado possui efeito cancerígeno nos seres humanos (BRUNETTI, 2012b).

2.3.3 Mapa de consumo

O mapa de consumo informa, com o auxílio de gráficos, os valores que servem como dados de rendimento de combustível do veículo.

Um diagrama de desempenho informa os dados em um intervalo de velocidade, sendo normalmente para carga máxima, isto é, com o motor funcionando ao seu máximo desempenho, podendo ser observada na Figura 14, um mapa genérico de desempenho (MARTINS, 2006).

Figura 14 – Mapa de consumo genérico



Fonte: Martins (2006, p. 79).

2.3.4 Análise sobre consumo

A transmissão afeta o consumo de combustível de duas formas, uma delas é com as suas próprias perdas de rendimento e a outra forma é projetando relações de transmissão coerentes com melhor aproveitamento de potência, porém, a peça chave para economia de combustível é o usuário do veículo (NAUNHEIMER et al., 2011).

De acordo com Naunheimer et al. (2011), em condições de diminuir o consumo, sugere-se:

- Otimizar consumo em cargas parciais, que de acordo com Brunetti (2012a), consiste condução menos severa, sem pressionar em excesso o pedal do acelerador.;
- Promover projetos bem otimizados, no proposta de melhor utilização de potência para determinado uso, como por exemplo: aplicações urbanas;
- Prover melhoras aerodinâmicas para reduzir arrasto e resistência ao movimento;
- Melhorar a eficiência de sistemas de transmissão, principalmente em conversores de torque;
- Reduzir acessórios que geram maior necessidade de energia elétrica, ou melhor dimensioná-los, por exemplo, bombas servo-hidráulicas e ar condicionado;
- Gerenciamento de tráfego em cidades para reduzir ciclos de direção que promovem muitas paradas;
- A capacidade de direção dos motoristas deve ser aprimorada, bem como utilização de sistemas eletrônicos que auxiliem o motorista a não errar tempo de trocas de marchas, por exemplo.

Para Brunetti (2012a), a diminuição de tamanho litragem de motores é uma nova estratégia, pois essa redução promove a redução de consumo e emissão de poluentes.

Os motores incluídos nessa condição possuem potência similares ou maiores comparados a motores de maior litragem, como exemplificado na Tabela 2 a redução da litragem do motor utilizado em um veículo comercial Brasileiro, ambos com câmbio dupla embreagem.

Tabela 2 – Dados Jetta Comfortline 2.0 e 1.4 TSI

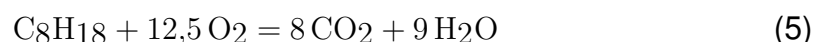
Características dos Veículos		
Modelos	Jetta 2.0 Comfortline 2014	Jetta Comfortline 1.4 TSI tiptronic 2016
Potência	116cv	150 cv
Torque	17,7 kgfm	25,5 kgfm
Litragem	2.0	1.4
Cilindros	4 em linha	4 em linha

Fonte: Notícias Automotivas (2022).

2.3.5 Cálculo de emissão de CO_2

O sistema de cálculo de CO_2 para veículos leva em consideração a estequiometria do combustível utilizado. Para o trabalho em questão foi considerado apenas a emissão de CO_2 de veículos à gasolina.

De acordo com Carvalho (2011), as Equações (5),(6),(7), contendo as reações químicas que demonstram uma combustão completa, como comburente o oxigênio e combustível a gasolina.



$$(12 \times 8 + 1 \times 18) + 12,5 (16 \times 2) = 8 (12 + 16 \times 2) + 9 (2 \times 1 + 16) \quad (6)$$

$$(114 \text{ g } C_8H_{18}) + (400 \text{ g } O_2) = (352 \text{ g } CO_2) + (162 \text{ g } H_2O) \quad (7)$$

Assim sendo, 1g de Gasolina produz 3,08g de CO_2 (considerando a massa de $(\frac{352g CO_2}{114g C_8H_{18}})$). Ao considerar a densidade do combustível de 0,740 kg/l, têm-se que são emitidos 2,28 kg de CO_2/l de combustível. O autor considera a adição de 0,5 kg do poluente pela produção e distribuição dos combustíveis, denominando então: 2,8 kg de CO_2/l (CARVALHO, 2011).

Para agregar o cálculo, se considerar um veículo que possua média de consumo de 10 km/l na Gasolina, obtém-se 0,28 kg de CO_2 (CARVALHO, 2011).

3 MÉTODO

A pesquisa é um estudo de caso, aplicando uma simulação baseada em um veículo comercializado em âmbito nacional. O estudo de caso refere-se a uma pesquisa de cunho minucioso de um ou dois objetos, estudando aspectos variados de acordo com o assunto da pesquisa, tendo respaldo quantitativo e/ou qualitativo, também entendida como investigativa, exigindo do pesquisador capacidade de observação (PRODANOV; FREITAS, 2013).

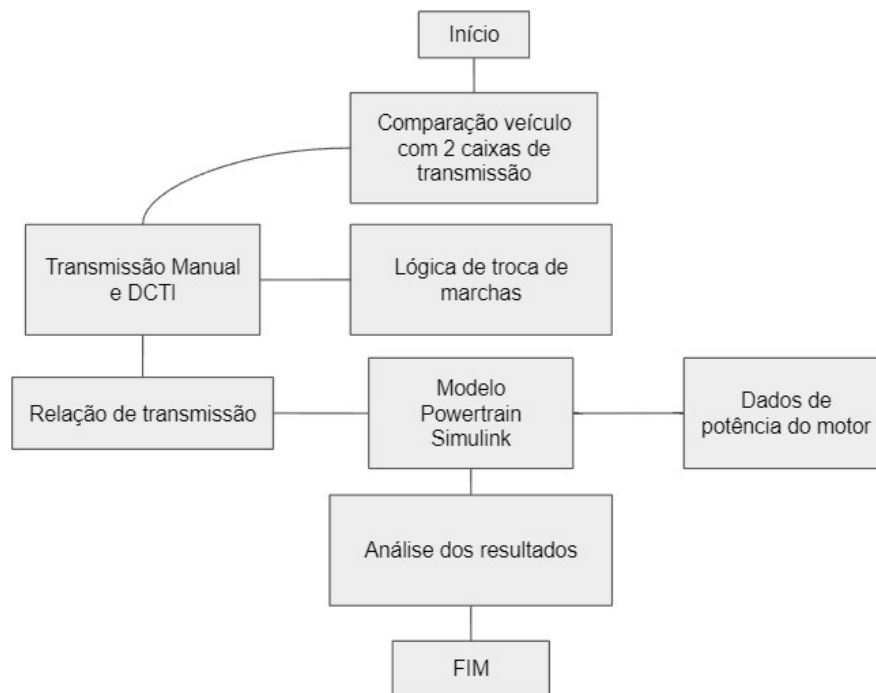
O objeto do estudo de caso foi um veículo com motor 4 cilindros, 1.5 litros (1497 cilindradas), que, dispondo dos dois tipos de transmissão, simulados, possibilitou a comparação de eficiência energética dos dois modelos em caráter rodoviário e urbano.

Os dados utilizados para a simulação foram obtidos a partir de dados do próprio fabricante que estão disponíveis publicamente, além de estimação de alguns dados que não são dispostos publicamente.

É importante frisar que apenas os dados expostos, como potência, torque, relações de transmissão, tipo de marcha e o peso do veículo foi alterado dentro do Simulink.

A Figura 15, apresenta o modo seguido para elaboração do problema. Os valores calculados por intermédio de Tabelas *Excel*® estão disponibilizados no Apêndice A e a seção de simulação de *Simulink*® e *Matlab*®, disponibilizados no Apêndice B, C, D e E.

Figura 15 – Fluxo metodológico



Fonte: Autor (2022).

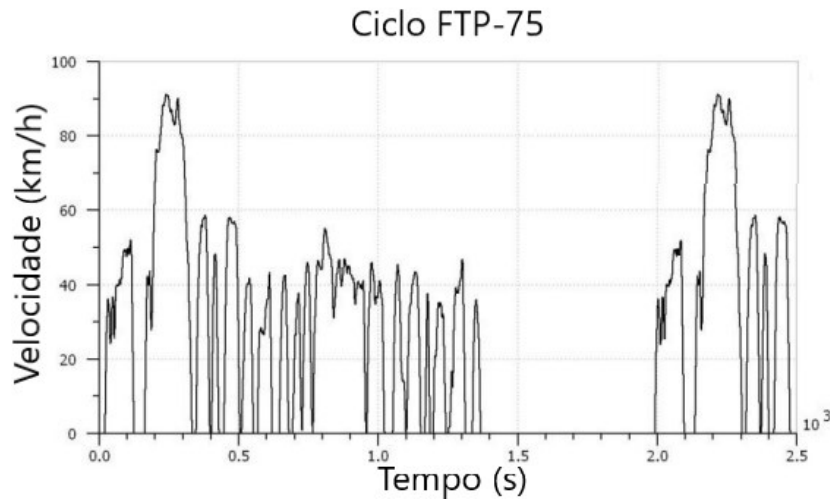
Para o estudo de caso, foi executada a comparação de dados simulados entre as transmissões, tendo como base os dados sugeridos pelo programa de exemplo, conforme Mathworks (2022). Serão apresentados os dados de:

- Consumo Rodoviário (HWFET);
- Consumo Urbano (FTP-75);
- Consumo Misto

Logo, com os dados obtidos foi efetuado a comparação dos dados e dispor da porcentagem de diferença de eficiência proposto pelo Simulink, entre os três consumos simulados e o reais publicados em referências.

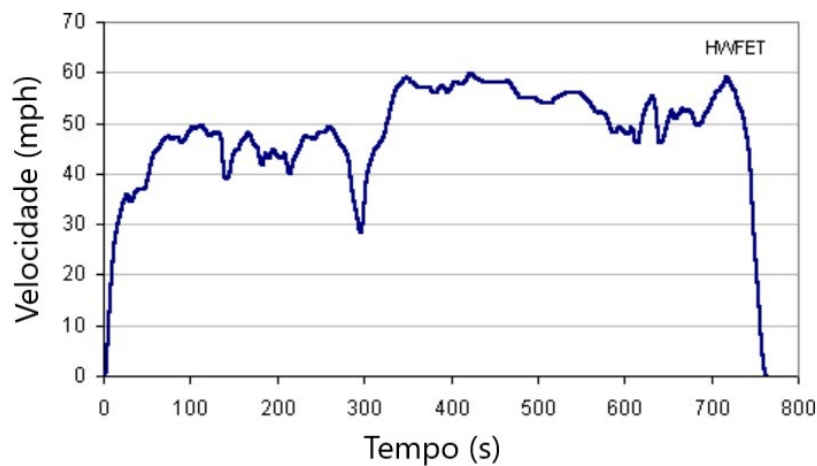
Para os ciclos de direção foram utilizados dois modelos para simulação e extrair os dados, na Figura 16 será utilizado o ciclo urbano FTP-75.

Figura 16 – FTP 75 - Ciclo Urbano



Quanto ao ciclo de direção para rodovias, em milhas por hora, pode ser observado na Figura 17, com duração de 765 segundos, 16,65km de distância e velocidade média de 77,7 km/h. Este ciclo foi baseado no FTP 75, para mensurar a economia de combustível e emissão de CO_2 (DIESELNET, 2009).

Figura 17 – HWFET - Ciclo Rodoviário (mph)



Para o consumo misto, de acordo com Kühlwein, German e Bandivadekar (2014), é possível gerar a Equação 8, que descreve valores proporcionais aos ciclos para obter a média dos valores totais dos ciclos FTP-75 e HWFET.

$$Consumo_{misto} = 0,55(FTP - 75) * 0,45(HWFET) \quad (8)$$

4 ANÁLISE DE DADOS

Os dados ora apresentados consideram o desenvolvimento de um modelo em Simulink e Matlab que se adapta com a realidade do veículo. Os dados alterados para a simulação visam adaptações que se aproximem do propósito do estudo, porém, para manter a repetibilidade do processo, os valores não referenciados serão padrões do programa fornecido pela Mathworks (2022).

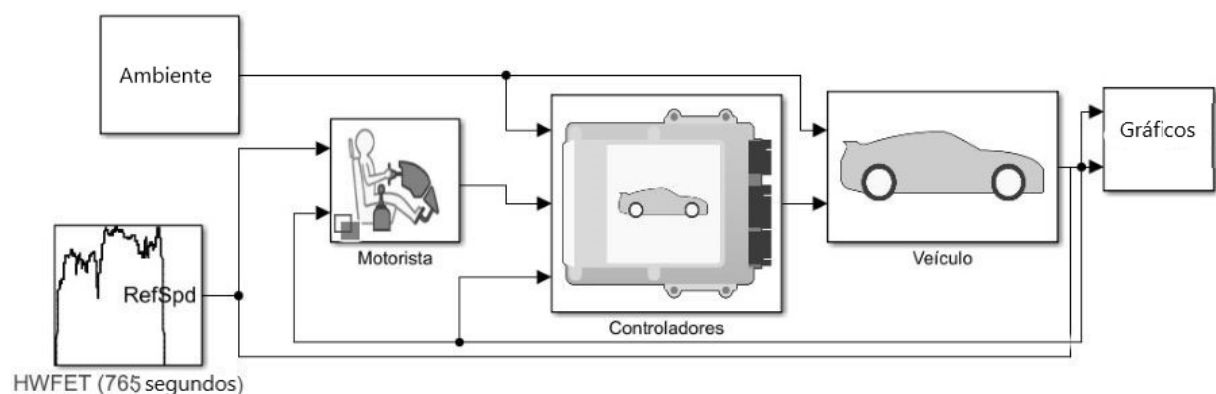
4.1 MODELAMENTO EM SIMULINK

Um modelo de base foi fornecido pela Mathworks, produtora do Matlab e Simulink, no qual foram realizadas adaptações mínimas para o projeto ser executado sem tirar a efetividade do programa e sua repetibilidade do projeto, dados alterados serão disponibilizados.

Os dados alterados estão nos Apêndice A e B e as adaptações de blocos podem ser observadas nos Apêndice C e D, além da Figura 19 que possui a lógica de troca de marchas utilizadas, que permite apenas a troca de 1 marcha sequencial.

Originalmente o modelo utilizado mantém um motor 1.5 litros com transmissão dupla embreagem (DCT), que será comparada com manual. Na Figura 29, pode-se observar o modelo base, com os principais blocos do Simulink que servem para executar os comandos e alterar suas características.

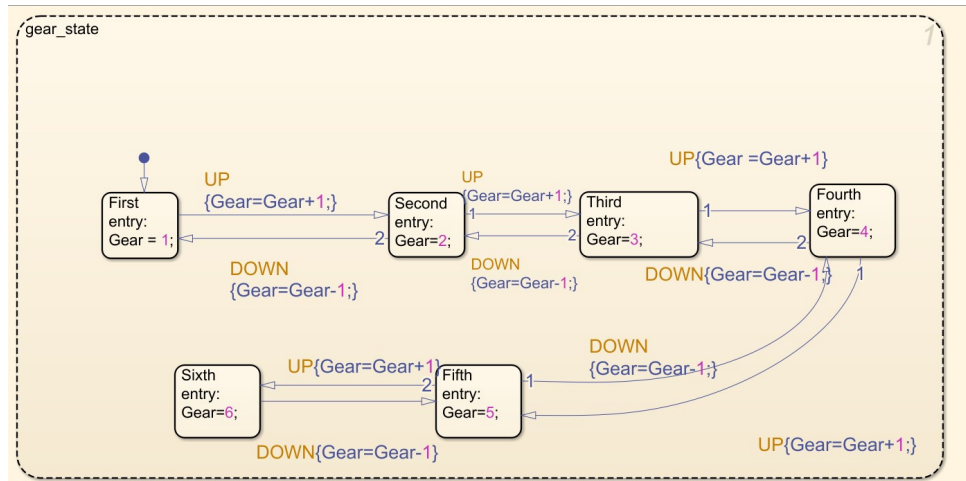
Figura 18 – Modelo Simulink.



Fonte: Adaptado de Mathworks (2022).

Para mudança de marchas entre câmbio dupla embreagem e manual, foi gerada a lógica de troca de marchas que abrange o modelo de 7 marchas no câmbio dupla embreagem, bem como 6 marchas no modelo manual, descrito na Figura 19. No Apêndice C é possível observar a conexão do câmbio manual e no Apêndice D a conexão em blocos do câmbio DCT.

Figura 19 – Lógica de troca de marchas manual e DCT.



Fonte: Autor (2022).

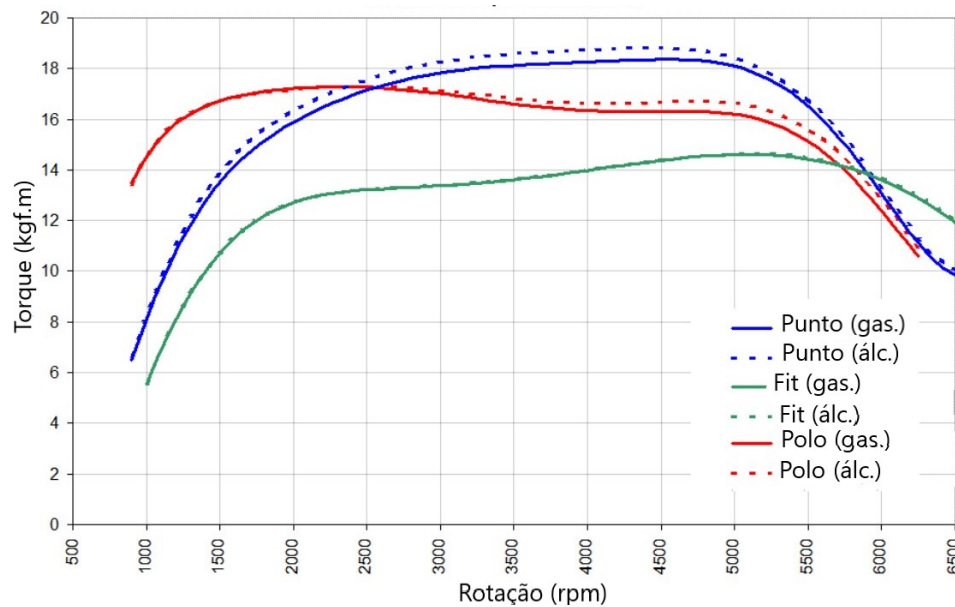
A lógica de troca de marchas da Figura 19, é monitorado pelo Simulink, durante esse processo o programa avalia as entradas do acelerador com a marcha selecionada (MATHWORKS, 2012).

Por exemplo, se o veículo está a 30 km/h em segunda marcha com 25 % de pedal do acelerador pressionado e o sistema sugere a terceira marcha, ao efetuar a troca, avalia-se o veículo continua aumentando a velocidade, caso essa condição seja atendida, o sistema não gera um comando para redução de marchas (MATHWORKS, 2012).

4.1.1 Dados utilizados

No caso de um motor 1.5 usado como base, pode-se utilizar os dados do motor do Honda Fit 2011, conforme Figura 20 e 21, separando-as dos demais veículos, de acordo com Best Cars Web Site (2011) a Honda não divulga publicamente as curvas características do motor, porém, os dados foram retirados de testes em dinamômetro.

Figura 20 – Curva característica.



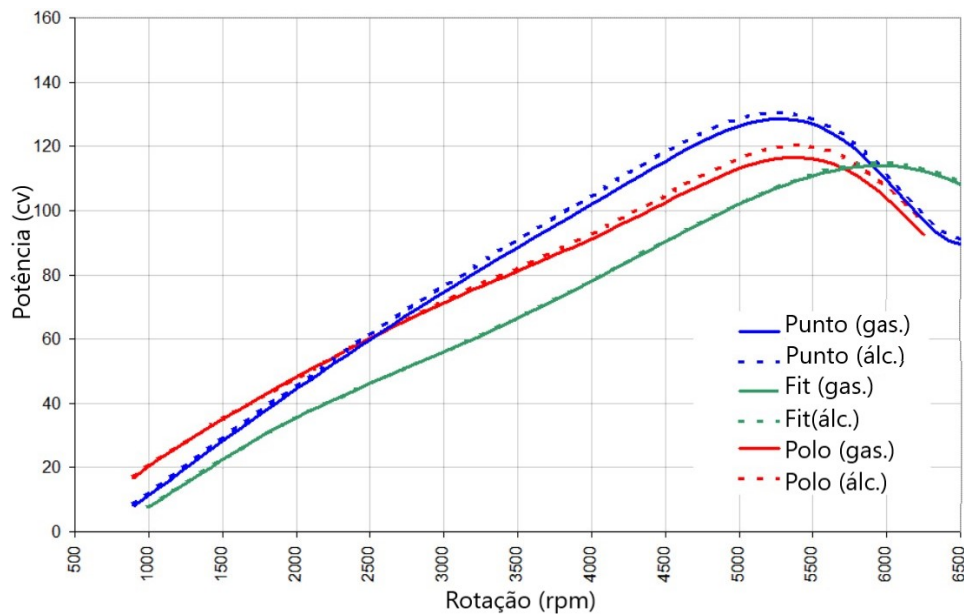
Fonte: Best Cars Web Site (2011).

A curva característica teve que ser adaptada para valores crescentes como requisição do Simulink, e apresentados no Apêndice B, para não gerar uma relação de função monótona não decrescente e assim não gerar uma relação em que o torque deva diminuir sempre que a rotação seja aumentada.

É importante frisar que na simulação, foram mantidas as configurações originais do motor, com base em Mathworks (2022), assim sendo, foram apenas inseridos os dados de torque, potência e rotação do Honda Fit e as alterações na transmissão com base em Hyundai (2021).

A Figura 20 se refere ao torque do motor em relação à rotação, enquanto a Figura 21 refere a curva de potência, ambos limitados a 6500 RPM. De acordo com Honda Auto News (2010), o veículo possui 117 cv e, convertendo, 143,72 Nm de torque. Dados extras de alterações do motor e chassi podem ser observados no Apêndice B

Figura 21 – Curva de potência.



Fonte: Best Cars Web Site (2011).

Por não haver uma referência direta de transmissão dupla embreagem, pela não utilização do câmbio DCT da Honda no Brasil, foi utilizado, de acordo com Hyundai (2021), dados de relações de transmissão adequados ao mesmo modelo de veículo, porém, com versões e anos diferentes da curva do motor 2011, lembrando que os dados não são publicados pela montadora, segundo Best Cars Web Site (2011).

Na Tabela 11, é possível observar o modelo utilizado de relações de transmissão DCT e manual, presente no Apêndice A.

Sobre o peso do veículo, ao comparar especificações, Hyundai (2021) é notório uma diferença de 29 kg entre o modelo manual e o DCT, logo, foi adotada a mesma diferença de peso para o chassi do Honda Fit 2011, que, segundo Carros Web (2022), possui cerca de 1103 kg para o manual, logo, foi adotado como hipótese 1132 kg para o DCT.

4.1.2 Resultados

O projeto considera a utilização do start stop (sistema que desliga o motor do veículo após uma parada de mais de 1 segundo), visando economia de combustível, pois no FTP-75 existem constantes paradas durante o ciclo.

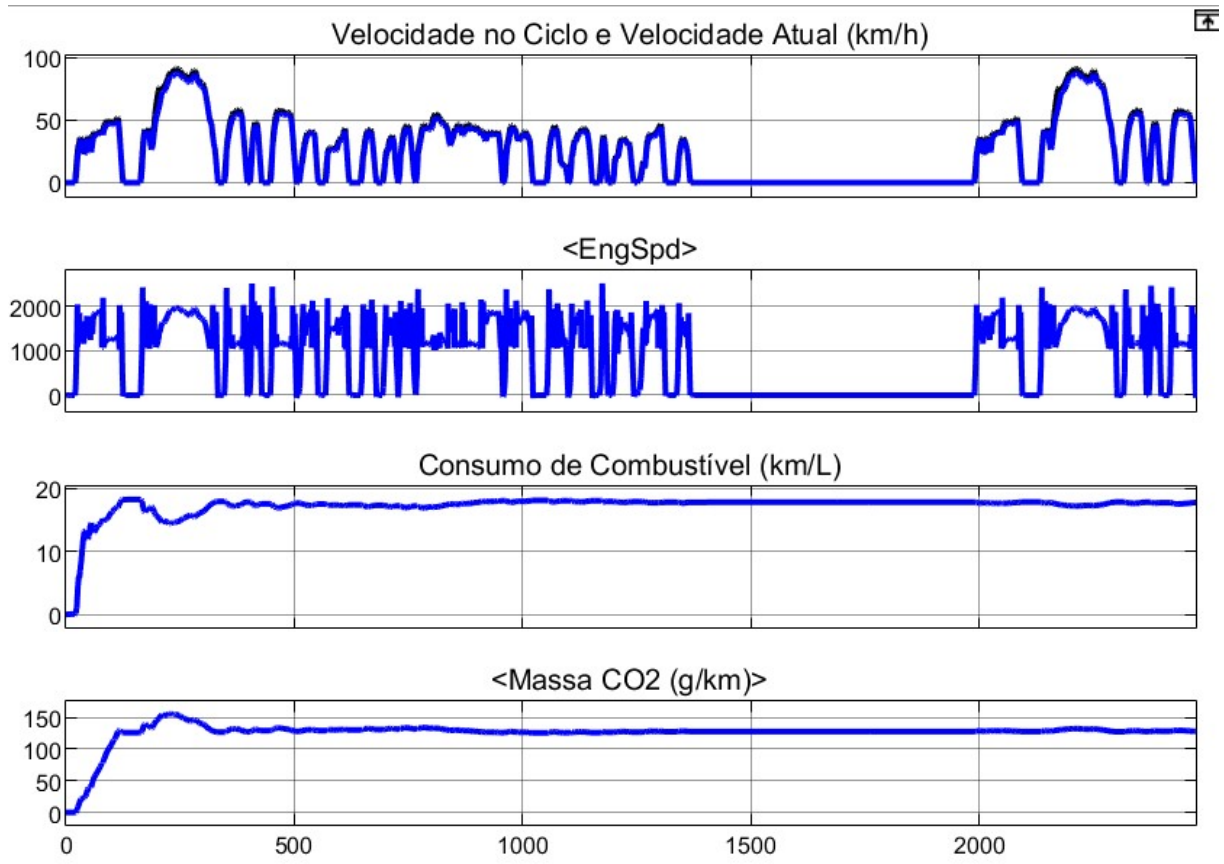
Para o consumo misto será utilizado o FTP75 e o modelo HWFET, a proporção utilizada será designada na Equação 8 .

4.1.2.1 Resultados DCT (FTP-75)

Considerando o ciclo urbano (FTP 75), os seguintes dados foram obtidos para consumo de combustível e emissão de CO_2 , conforme Figura 22 para o veículo com

câmbio dupla embreagem extraídos em relação a velocidade do carro e a velocidade de rotação do motor.

Figura 22 – Consumo de combustível e emissão de CO_2 ciclo FTP-75.



Fonte: Autor (2022).

Para compilar as informações obtidas, a Tabela 3 contém os dados extraídos dos gráficos mostrados anteriormente.

Tabela 3 – Dados obtidos no ciclo FTP-75 (DCT)

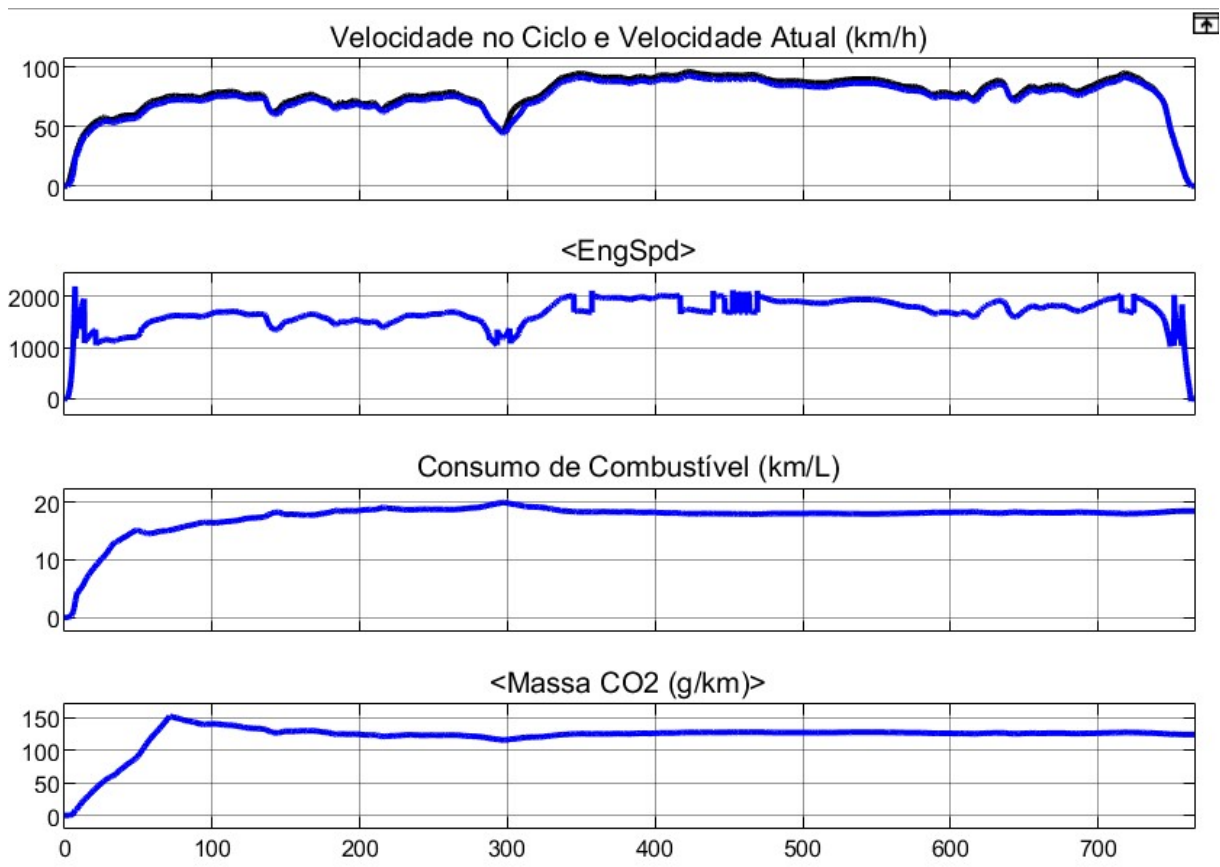
Dados	Valor
CO_2 (pico)	156,5 (g/km)
Consumo médio	17,61 (km/l)

Fonte: Autor (2022).

4.1.2.2 Resultados DCT (HWFET)

Para o ciclo HWFET, é executado durante 765 segundos de duração a simulação de uma rodovia comum. A Figura 23 informa os dados de consumo e emissão de CO_2 com base no comportamento do veículo impostos durante o ciclo.

Figura 23 – Consumo no ciclo HWFET (DCT).



Fonte: Autor (2022).

Os valores de pico promovido pelo software no ciclo de direção HWFET para o câmbio dupla embreagem estão dispostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados obtidos no ciclo HWFET (DCT)

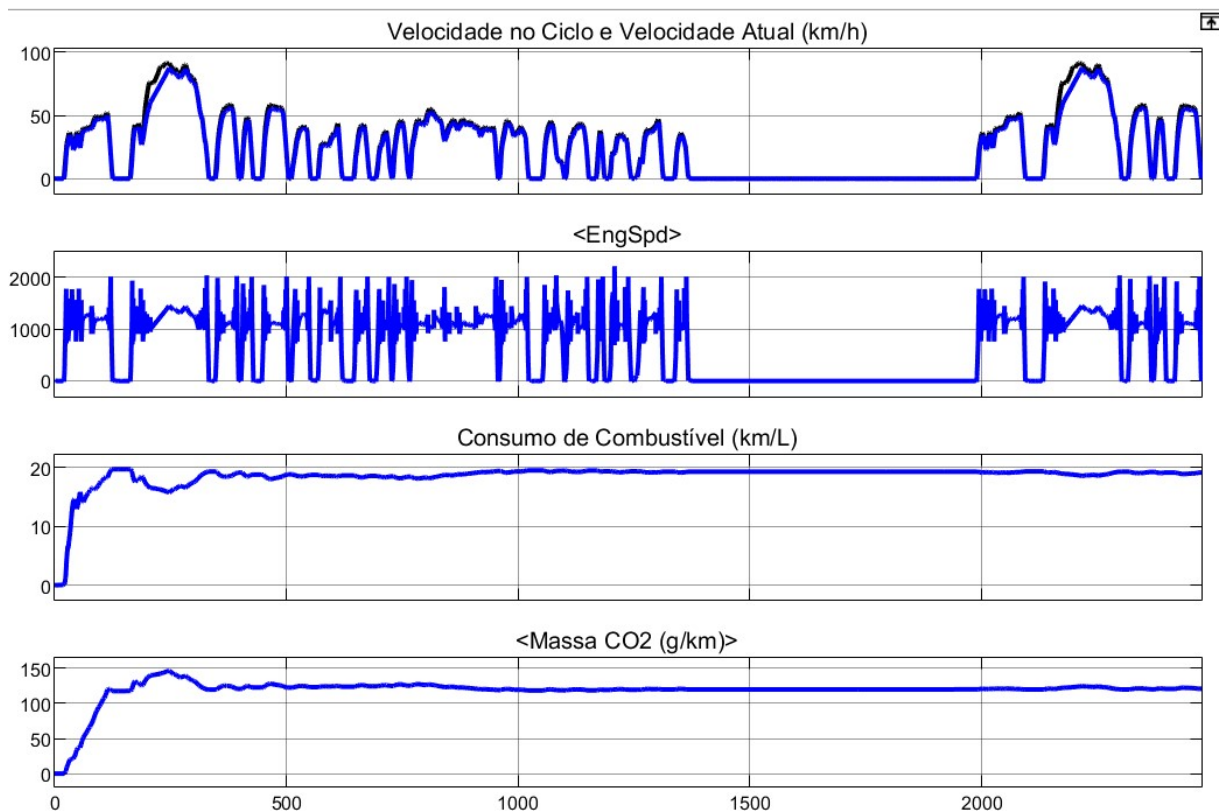
Emissão	Valor (g/km)
CO_2 (pico)	151,9 (g/km)
Consumo médio	17.82 (km/l)

Fonte: Autor (2022).

4.1.2.3 Resultados Manual (FTP-75)

Como sugerido, foi alterada a transmissão do veículo para caixa manual, simulado no ciclo FTP-75 para encontrar pontos de comparação com o câmbio dupla embreagem. Na Figura 24 é possível observar o consumo médio no ciclo FTP-75 e os níveis de CO_2 emitidos.

Figura 24 – Consumo FTP-75 (Manual).



Fonte: Autor (2022).

Para o câmbio manual no ciclo FTP-75, pode-se observar os valores obtidos e compilados na Tabela 5, expondo os dados de consumo e emissões.

Tabela 5 – Dados obtidos no ciclo FTP-75 (Manual).

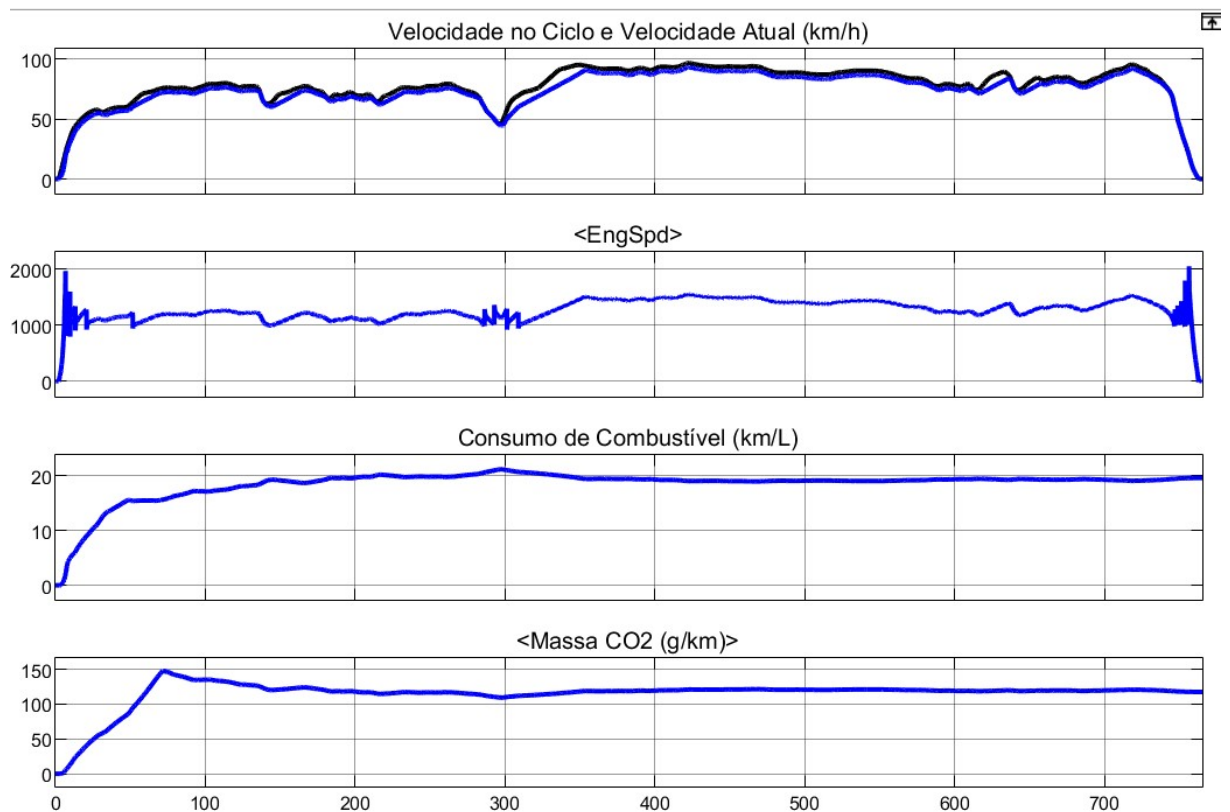
Dados	Valor
CO_2 (pico)	146,6 (g/km)
Consumo médio	18.54 (km/l)

Fonte: Autor (2022).

4.1.2.4 Resultados Manual (HWFET)

Para os dados de consumo do câmbio manual e emissão de CO_2 , foi executado o ciclo HWFET, configurando o ciclo rodoviário, que pode ser visualizado na Figura 25 durante o momento simulado.

Figura 25 – Consumo de combustível HWFET (Manual).



Fonte: Autor (2022).

Os dados finais e compilados de pico de CO_2 e média de consumo de combustível, da simulação HWFET para o câmbio manual, podem ser observados na Tabela 6.

Tabela 6 – Dados obtidos no ciclo HWFET (Manual)

Dados	Valor
CO_2 (pico)	147,8 (g/km)
Consumo médio	18.5 (km/l)

Fonte: Autor (2022).

4.2 RESULTADOS FINAIS

Diante das informações apresentadas, é possível compilar todos os dados na Tabela 7 para ter visão ampla dos dados obtidos de consumo instantâneo em pico e de máximo de emissões.

Tabela 7 – Dados gerais obtidos em simulação.

Transmissão	Ciclo	Dados	Valores
DCT	FTP-75	CO_2	156,5 g/km
		Consumo	17,61 km/l
	HWFET	CO_2	151,9 g/km
		Consumo	17,82 km/l
Manual	FTP-75	CO_2	146,6 g/km
		Consumo	18,54 km/l
	HWFET	CO_2	147,8 g/km
		Consumo	18,5 km/l

Fonte: Autor (2022).

Para fins de comparação, os dados obtidos de consumo foram extraídos dos modelos de carros usados para curva de torque e para a relação de transmissão, sendo um Honda Fit 2011. O Hyundai I30 de base para consumo manual, é do ano 2020, ambos com motor 1.5.

Os consumos promovem uma tendência de carros se tornarem menos poluentes e com maior eficiência de consumo de combustível, como citado, os veículos que serviram como razão do estudo possuem os dados de consumo informados na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados de veículos.

Veículo	Transmissão	Consumo (km/l)	Fonte
Honda Fit 2011	Manual	10,6 (urbano), 12,3 (rodovia)	Carros Web (2022).
Honda Jazz 2016 Híbrido	DCT	18,52 (urbano), 22,73 (rodovia)	Car emission (2016).
Hyundai I30 2020	Manual	13,7 (urbano), 16,94 (rodovia)	Car info (2020).
Hyundai I30 1.6T Gdi 2022	DCT	10,75 (urbano) 16,94 (rodovia)	Hyundai (2021).
Golf 1.4T 2016	Manual	11,6 (urbano), 13,6 (rodovia)	Carros Web (2022).
Golf 1.4T 2016	DCT	11,3 (urbano), 13,7 (rodovia)	Carros Web (2022).

Fonte: Autor (2022).

Independentemente do consumo visualizado em transmissões manuais serem maiores, o Simulink não foi condicionado para as variações que a habilidade do motorista causa no veículo, alterações como ao acionar a embreagem, durante do desacoplamento e engrenamento, encostar no acelerador para não perder rotação, variações de aceleração e freio, bem como tempo de troca de marcha variável.

Caso os valores sejam relativamente altos de consumo, por encargo do leitor, são justificados por ausência de fatores de relaxamento, a massa do veículo é de 1103 *kg* e o veículo possui 6 marchas no manual e 7 marchas no câmbio dupla embreagem.

Vale ressaltar que os ciclos urbanos e rodoviários influenciam no consumo do veículo, por exemplo, a homologação de um veículo exige determinados testes e cada ciclo desempenha sua função nessa aprovação. Pode-se observar nas imagens de velocidade e rotações motor, que o mesmo percorre limites previstos nas maiores situações de rodagem do Brasil, sem visar excesso de velocidade de aumento abrupto de aceleração, que aumentam consideravelmente o consumo.

A Faixa de rotação do motor abaixo de 3000 *rpm* pode promover melhor eficiência de combustível. Cada ciclo de direção visa otimizar situações reais de direção, por regiões do mundo. Nesse caso, FTP-75 e HWFET são ciclos utilizados em homologações de carros no Brasil, logo, não foram explorados ciclos que pudessem variar essa condição.

Nos momentos do ciclo de FTP-75 de maior economia, foi no momento em que ocorre uma redução na velocidade no pico de 300 segundos (vide Figura 24), pois neste momento o veículo tende a reduzir a injeção de combustível por tender ao uso de freio motor, proporcionando, pela redução de injeção de combustível uma redução de consumo, elevando o valor de economia. Assim sendo, o compilado de dados pode ser observado na Tabela 7.

Finalizando, para extrair os dados de consumo e adequá-los conforme Equação 8, a Tabela 9 consiste nos dados gerais obtidos para conclusão da seção de resultados, constatando os resultados pertinentes ao cálculo sugerido após obter os dados.

Tabela 9 – Dados em ciclo misto calculado.

Transmissão	Ciclo	Consumo (<i>km/l</i>)	<i>CO</i>₂ (<i>g/km</i>)
Manual	Misto	18.52	147.14
DCT		17.71	154.43

Fonte: Autor (2022).

Não foi gerado nenhum fator que provocasse alteração dos valores, como relaxamento do valor com a incidência de fatores externos, como o veículo em um ambiente termicamente elevado, nenhuma alteração pertinente ao modo de condução, visto que o manual sofre interferência do condutor, enquanto o DCT se mostra no seu resultado mais estável nos valores de *CO*₂

5 CONCLUSÕES

Inicialmente, é necessário informar que os dados alterados para a simulação, foram: torque e potência, peso do veículo, transmissão manual e dupla embreagem e as relações de transmissão e a lógica de mudança de marchas.

As demais configurações não foram alteradas e mantidas originais de acordo com Mathworks (2022), dessa forma é obtido os valores de consumo e emissões com base nos dados que foram alterados.

O sistema de conjuntos de motor de veículos está em constante desenvolvimento para atender normas de emissões de poluentes, sendo que cada País possui sua respectiva norma de emissões e vigência. Naturalmente, montadoras devem se adequar com carros menos poluentes e que degradem cada vez menos o meio ambiente.

Com o estudo realizado foi demonstrado que o veículo manual designado para simulação, consumiu menos em todos os fatores. O impacto em consumo quando comparado a transmissão DCT com o câmbio manual, tendo como base os dados na Tabela 9, resulta que o veículo DCT consumiu 4,4% a mais que o manual.

Diante das simulações, a visualização de emissões de CO_2 no veículo com o câmbio DCT gerou dados que demonstraram evaporativos com 4,95% a mais que o veículo com transmissão manual (dados da Tabela 9).

Em adendo, por questões da forma que a simulação é executada neste trabalho, veículos automáticos não estão sujeitos a interferência da habilidade do condutor (trocar de marcha, reduções de marchas e tempo de troca), dessa forma, os valores obtidos são mais controlados e estáveis, pois se considerar-se o câmbio manual ocorrerá diversas variações de condução por interferência humana, que alteram os dados encontrados.

REFERÊNCIAS

- BEST CARS WEB SITE. **Comparativo completo**: simulação completa. 2011. Disponível em: <https://www.autolivrraria.com.br/comp4/punto-sporting-fit-ex-polo-gt-6.htm>. Acesso em: 25 out. 2022.
- BRAVO, D. M.; MEIRELLES, P. S. An evaluation study on the use of an auxiliary electric powertrain in conventional vehicles: Improvements in fuel consumption and acceleration performance. In: **Proceedings of the ABCM INTERNACIONAL CONGRESS OF MECHANICAL ENGINEERING**. Rio de Janeiro, RJ: COBEM 2015, 2015. dez. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/296482875_An_evaluation_study_on_the_use_of_an_auxiliary_electric_powertrain_in_conventional_vehicles_improvements_in_fuel_consumption_and_acceleration_performance. Acesso em: 25 out. 2022.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna 1**. São Paulo: Edgard Blucher, 2012. v. 1.
- BRUNETTI, F. **Motores de combustão interna 1**. São Paulo: Edgard Blucher, 2012. v. 2.
- CAR EMISSION. **HONDA Jazz, model year 2016 MPG / fuel consumption**. 2016. Disponível em: <https://car-emissions.com/cars/view/64000>. Acesso em: 26 out. 2022.
- CAR INFO. **Specifications for Hyundai i30 1.5 manual, 6-speed**. 2020. Disponível em: <https://www.car.info/en-se/hyundai/i30/i30-5-door-15-19729598/specs>. Acesso em: 26 out. 2022.
- CARROS WEB. **Comparativo entre Honda Fit e Volkswagen Golf**. 2022. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/resultcompara.asp?modelos=4412-5286-5287>. Acesso em: 26 out. 2022.
- CARVALHO, C. H. R. **Emissões relativas de poluentes do transporte motorizado de passageiros nos grandes centros urbanos brasileiros**. 2011. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1578/1/td_1606.pdf. Acesso em: 28 out. 2022.
- CROLLA, D. A. **Automotive engineering**: powertrain, chassis system and vehicle body. Burlington: Butterworth-Heinemann, 2009.
- DIESELNET. **EPA highway fuel economy test cycle (HWFET)**. 2009. Disponível em: <https://dieselnet.com/standards/cycles/hwfet.php>. Acesso em: 26 out. 2022.
- GENTA, G.; MORELLO, L. **The automotive chassis**. 2. ed. Torino: Springer, 2009.
- HONDA AUTO NEWS. **2011 Honda fit specifications and features**. 2010. Disponível em: <https://hondanews.com/en-US/honda-automobiles/releases/release-bea06e8279bf491bb3d7f0c841db3402-2011-honda-fit-specifications-and-features>. Acesso em: 25 out. 2022.

HYUNDAI. **Hyundai i30 specifications**. 2021. Disponível em: https://www.hyundai.news/newsroom/dam/eu/models/20210528_i30_n_production_line/hyundai-i30-n-0521-technical-specifications.pdf. Acesso em: 25 out. 2022.

KÜHLWEIN, J.; GERMAN, J.; BANDIVADEKAR, A. Development of test cycle conversion factors among worldwide light-duty vehicle CO_2 emission standards. **International Council on Clean Transportation**, Set 2014. Disponível em: https://theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LDV-test-cycle-conversion-factors_sept2014.pdf. Acesso em: 26 out. 2022.

Escola Estadual de Educação Profissional. **Curso técnico em manutenção automotiva**. Ceará: Governo do Estado do Ceará, 2017.

MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Porto: Publindustria, 2006.

MATHWORKS. **Modeling an Automatic Transmission Controller**. 2012. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/simulink/slref/modeling-an-automatic-transmission-controller.html>. Acesso em: 26 out. 2022.

MATHWORKS. **Conventional vehicle reference application**. 2022. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/autoblks/ug/conventional-vehicle-reference-application.html>. Acesso em: 25 out. 2022.

MONTADORAS. **Montadoras devem reduzir emissão de poluentes de carros e ganham tempo para concluir modelos inacabados**. 2022. Disponível em: <https://www.gazetadopovo.com.br/economia/proconve-nova-fase-e-mais-prazo-para-evitar-descarte-de-carros-inacabados/>. Acesso em: 25 out. 2022.

MOTUL. **Conheça os tipos de transmissão e os lubrificantes indicados para cada um**. 2022. Disponível em: <https://motulexpert.com.br/conheca-os-tipos-de-transmissao-e-os-lubrificantes-indicados-para-cada-um/>. Acesso em: 23 out. 2022.

NAUNHEIMER, H. et al. **Automotive transmissions: fundamentals, selection, design and application**. 2. ed. New York: Springer, 2011.

NORTON, R. L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4. ed. Massachusetts: Bookman, 2013.

NOTÍCIAS AUTOMOTIVAS. **Comparativo**. 2022. Disponível em: <https://www.carrosnaweb.com.br/resultcompara.asp?modelos=2568-5373>. Acesso em: 05 jun. 2022.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

ZHANG, Y.; MI, C. **Automotive power transmission systems**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2018.

APÊNDICE A

Tabela 10 – Relações de transmissão DCT

Marcha	Relação
1	3,64:1
2	1,96:1
3	1,19:1
4	0,84:1
5	0,70:1
6	0,56:1
7	0,68:1
R	3,21:1

Fonte: Hyundai (2021).

Tabela 11 – Relações de transmissão Manual

Marcha	Relação
1	3,64:1
2	1,96:1
3	1,19:1
4	0,84:1
5	0,70:1
6	0,56:1
R	3,21:1

Fonte: Hyundai (2021).

APÊNDICE B

Tabela 12 – Dados utilizados na simulação - Chassi.

Incógnita	Valor	Unidade
Massa	1103 (MT) / 1132 (DCT) -	kg
Área Frontal	2.17	m^2
Coefficiente de Arrasto	0.32	-

Fonte: Adaptado de Carros Web (2022).

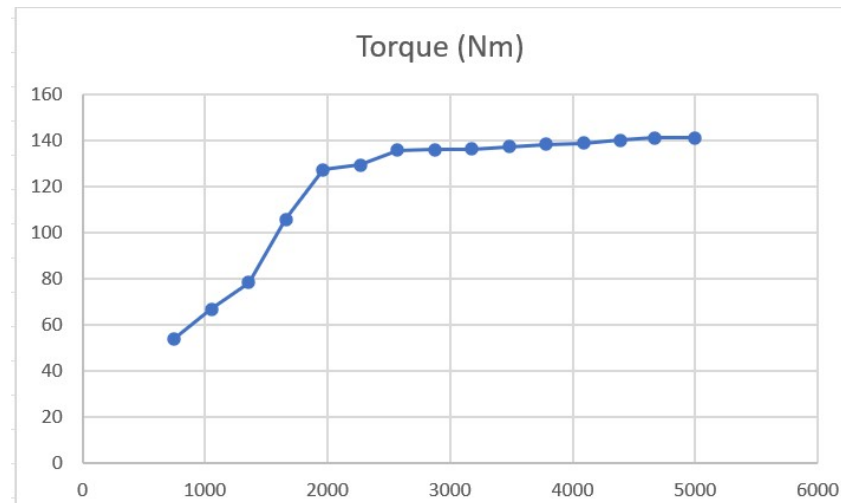
Tabela 13 – Dados utilizados na simulação - Motor.

Variável	Valor	Unidade
Maximum power	116	<i>Hp</i>
Rotação Máxima	6500	<i>rpm</i>
Torque Máximo	147,7	<i>Nm</i>

Fonte: Best Cars Web Site (2011).

Com base na Figura 20

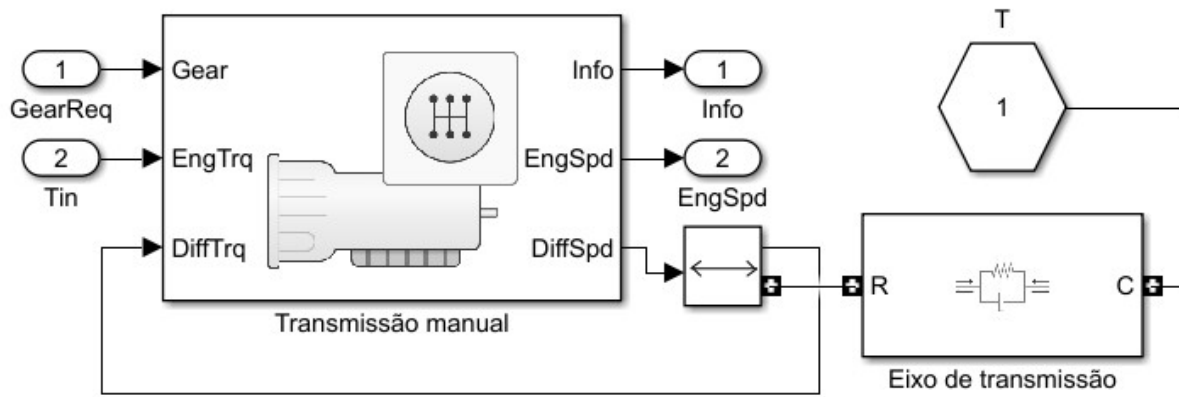
Figura 26 – Curva de torque adaptada com apenas valores crescentes.



Fonte: Adaptado de Best Cars Web Site (2011)

APÊNDICE C

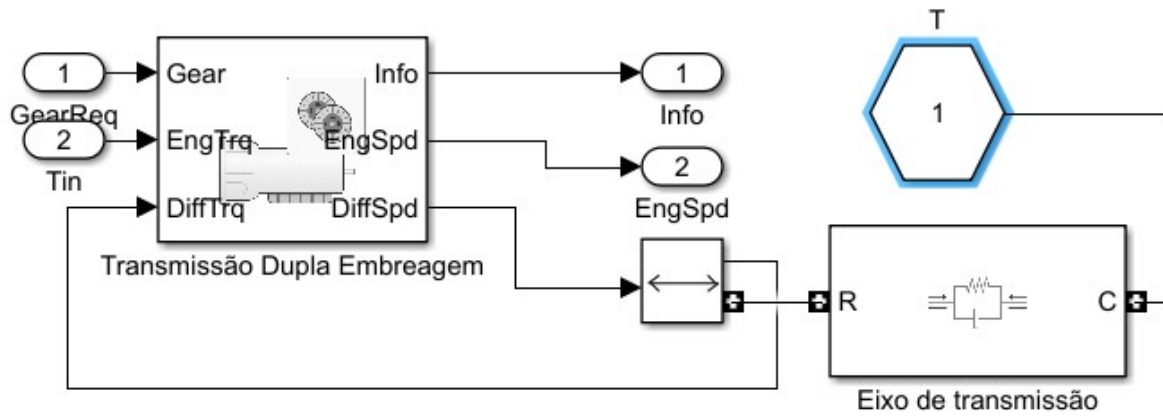
Figura 27 – Blocos utilizados para o câmbio manual.



Fonte: Adaptado de Mathworks (2022).

APÊNDICE D

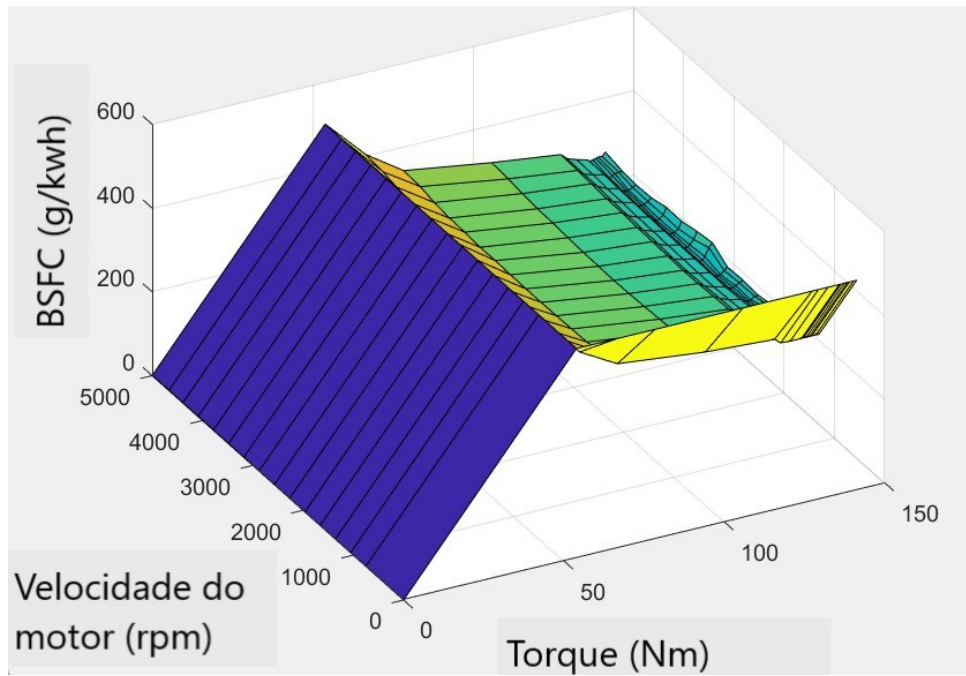
Figura 28 – Blocos utilizados para o câmbio DCT.



Fonte: Autor (2022).

APÊNDICE E

Figura 29 – Consumo específico de combustível (BSFC).



Fonte: Mathworks (2022).