

# INFLUÊNCIA DOS CICLOS DE CONDUÇÃO E DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CARROS E MOTOS EM SEU CONSUMO DE COMBUSTÍVEL

## RESUMO

O deslocamento de um veículo depende da quantidade de veículos no tráfego e das restrições associadas às suas características físicas. Ciclos de condução e vetores de velocidades obtidos por simulação computacional são as formas normalmente utilizadas para modelar o movimento de veículos em condições reais. Neste trabalho, essas duas abordagens são utilizadas para caracterizar o consumo energético de diferentes carros e motos. Primeiramente foi observado que veículos mais leves resultaram em melhor performance energética em relação a veículos pesados, tanto para carros como para motos. Os diversos vetores de velocidade não resultaram em diferença significativa na economia de combustível, embora os ciclos sejam diferentes cinematicamente. Uma redução de 300 kg resultou em um aumento de até 2,0 km/l para os carros e motos 30 kg mais leves apresentaram um ganho de até 1,4 km/l.

## ABSTRACT

The distance travelled by a vehicle depends on the number of vehicles in the traffic and on the restrictions related to their physical characteristics. Driving cycles and speed vectors obtained by computer simulation are the usual approach to model the movement of vehicles in real life. In this work, these two approaches are used to characterize the energy consumption of different cars and motorcycles. First, it was observed the lighter vehicles resulted in better energy performance when compared to the heavier vehicles, both for cars and motorcycles. The different speed vectors did not result in a significant difference in fuel economy, although the cycles are kinematically different. The reduction of 300 kg resulted in an increase up to 2.0 km/l for the cars and motorcycles 30 kg lighter presented an increase up to 1.4 km/l.

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil existe um número elevado de carros e motos que coexistem no tráfego, os quais estão associados a problemas sociais, econômicos e ambientais. O comportamento de um veículo depende das leis de tráfego, da vontade do condutor e de outras restrições ao movimento, como quantidade de veículos na pista e características do veículo (e.g., massa, aerodinâmica, potência disponível no motor). Nesse contexto, modelos que representem o movimento de veículos no tráfego são comumente utilizados para estudar esses problemas. Há duas abordagens frequentemente utilizadas na literatura: 1) ciclos de condução e 2) simulação computacional.

Um ciclo de condução é um vetor de velocidade utilizado para representar o comportamento típico de um veículo no tráfego de uma determinada localidade. Os ciclos padrão de condução são utilizados por governos, empresas e pesquisadores para estimar o consumo de combustível e emissão de poluentes em laboratório, possibilitando de uma forma padronizada a comparação da performance de diferentes veículos. No entanto, podem existir diferenças significativas entre resultados obtidos em laboratório utilizando um ciclo padrão de condução e resultados obtidos em teste reais em rua (FONTARAS, 2017). É importante, também, destacar que em um mesmo país e em uma mesma cidade podem existir diferentes comportamentos de tráfego. Por exemplo, os ciclos de condução desenvolvidos para grandes cidades, como Fortaleza (AZEVEDO et al., 2017) e Recife (ANDRADE et al., 2021) apresentam valores de velocidade média próximos, porém em comparação com Santa Maria (ROSO et al., 2016), cidade de porte médio, essa diferença é considerável.

Outra forma de avaliar o comportamento dos veículos é a partir da simulação computacional. Os modelos de tráfego microscópicos são uma das formas mais empregadas na literatura. Esse tipo de modelo é caracterizado por modelar o movimento de cada veículo, sendo o tráfego o produto das interações na pista. Essa abordagem permite conhecer como a velocidade dos veículos variam no tempo em diferentes condições de tráfego e com isso estimar o consumo de combustível a partir das características do veículo.

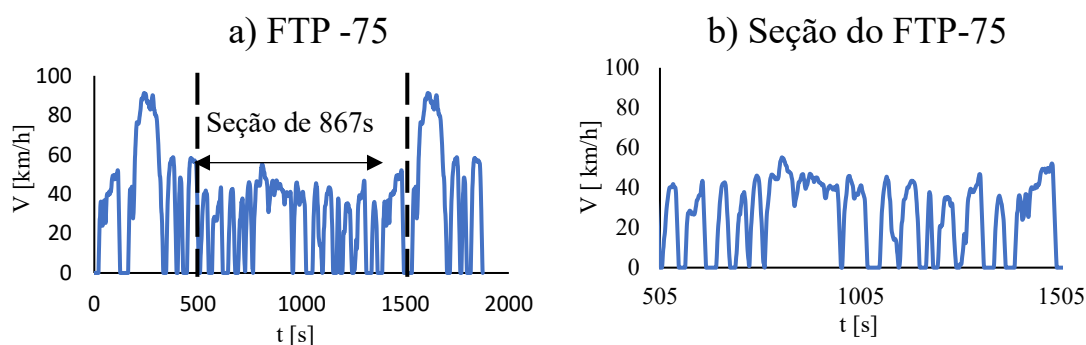
O objetivo deste trabalho é caracterizar o consumo de combustível em diferentes vetores de velocidades utilizando carros e motos diferentes. Através de simulação computacional esse estudo permitirá avaliar o impacto das condições de tráfego e características físicas dos veículos na demanda energética. Também serão avaliados o impacto do consumo de combustível nos gastos mensais de um veículo e energia requerida pelo motor para realizar o movimento em cada uma das condições simuladas.

## 2. METODOLOGIA

Nesta seção serão apresentados os vetores de velocidade selecionados, o modelo do veículo utilizado para estimativa de economia de combustível e o método utilizado para análise financeira.

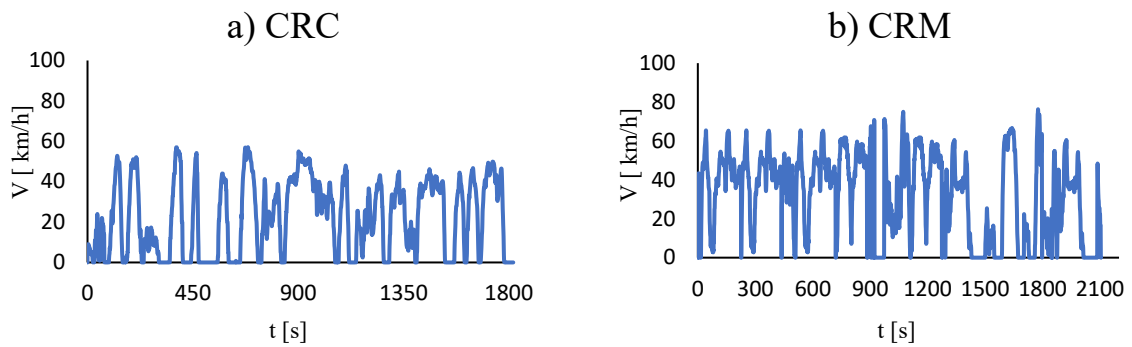
### 2.1 Vetores de Velocidade

O vetor de velocidade será o meio utilizado para representar o tráfego em ambiente urbano no Brasil. Para capturar diferentes condições de tráfego, foram selecionados cinco vetores de velocidade para carro e cinco vetores de velocidade para as motos, dos quais dois se repetem para os dois tipos de veículos. O vetor utilizado para carros e motos é o ciclo padrão de condução previsto na norma brasileira NBR 7024 (ABNT, 2017), o ciclo FTP -75, Figura 1. Além do ciclo completo, também foi utilizada uma seção do ciclo FTP-75, que representa a fase estabilizada de 867 s. Essa seção foi escolhida por apenas considerar velocidades até 60 km/h, refletindo o limite de velocidade mais adequado dentro de uma cidade.



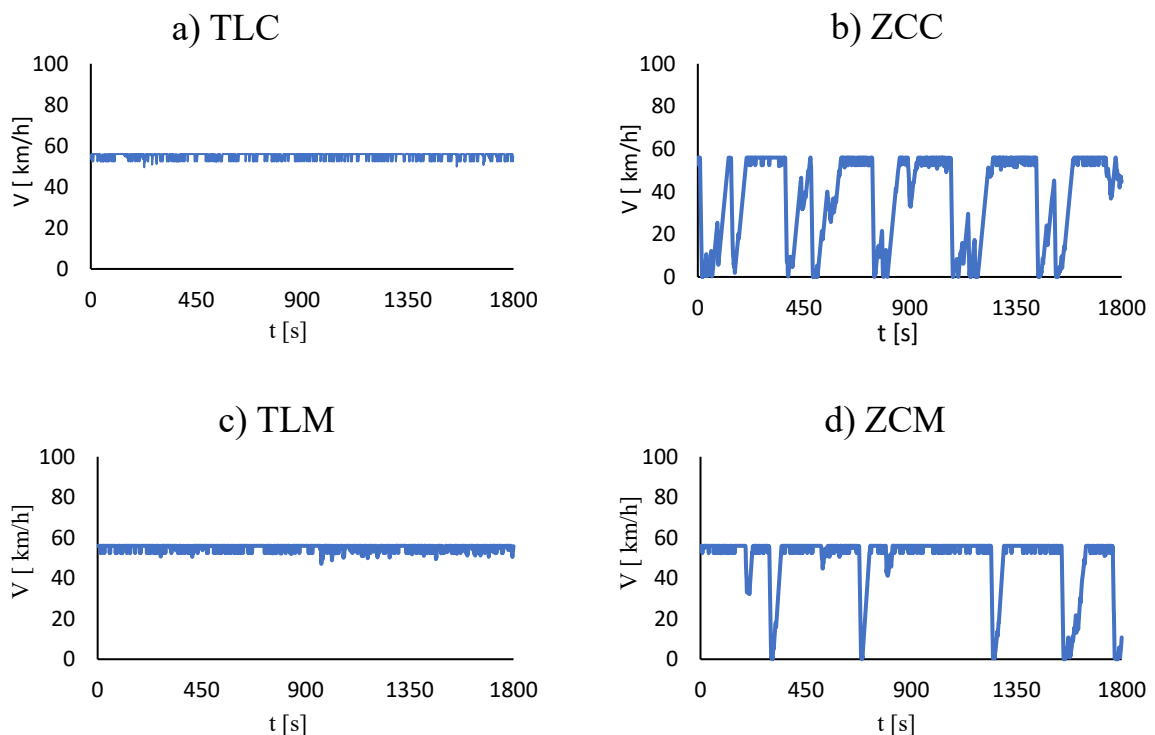
**Figura 1:** Ciclo padrão de condução a) FTP-75; b) Fase estabilizada do FTP-75

Além disso, foram utilizados os ciclos de condução locais desenvolvidos para carros e motos na cidade do Recife em horário fora de pico, Figura 2. Esses ciclos são capazes de representar as diferenças de comportamento entre os dois tipos de veículos, com as motos com maiores acelerações e velocidades, o que reflete a possibilidade de trafegar entre faixas (ANDRADE et al., 2021).



**Figura 2:** Ciclo local de condução em Recife em horário fora de pico a) para carros (CRC); b) para motos (CRM)

Os outros vetores de velocidade utilizados foram obtidos por meio de simulação computacional em modelo implementado por Santos (2019), Figura 3. Os parâmetros de entrada para simulação foram calibrados para os dados de fluxo de veículos (veículos/h) e densidade (veículos/km) obtidos a partir de imagens de vídeos cedidas pela Companhia de Trânsito e Transporte Urbano do Recife (CTTU) (Araújo, 2021). Foram selecionados vetores que representam uma condição em que os veículos tem liberdade para trafegar (tráfego livre) e vetor de velocidade obtido em densidades próximo ao fluxo máximo (zona crítica), de maneira a capturar o movimento restringido pela presença de outros veículos.



**Figura 3:** Vetores de velocidade para a) tráfego livre de carros (TLC); b) tráfego de carros em zona crítica (ZCC); c) tráfego livre de motos (TLM); d) tráfego de motos em zona crítica para motos (ZCM)

## 2.2 Modelo do Veículo

Os vetores de velocidades selecionados serão utilizados para calcular a potência (P) desejada para vencer as resistências e realizar o movimento, Equação 1.

$$P = \frac{1}{\eta_{transm}} \left\{ \left[ mV \frac{dV}{dt} \right] + \left[ K_A V^3 + C_r mgV \right] + \left[ \beta \mu mgV \right] \right\} \quad (1)$$

Onde:

$\eta_{transm}$  = eficiência de transmissão;

$m$  = massa do veículo mais massa do condutor [kg];

$V$  = velocidade do veículo [m/s];

$K_A$  = Fator aerodinâmica [N/ (m/s)<sup>2</sup>];

$C_r$  = coeficiente de rolagem;

$\beta$  = proporção de uso do pedal de freio;

$\mu$  = fator de atrito;

$g$  = aceleração da gravidade [m/s<sup>2</sup>];

Este trabalho utiliza a abordagem de Andrade et. al. (2020), onde é considerada a curva de potência do motor a partir de um modelo empírico. A razão entre a potência desejada e a potência máxima disponível no motor ( $P_{max}$ ) em dada rotação é dada por  $\alpha$ . Além disso, a eficiência térmica do motor deve ser considerada para contabilizar o consumo de combustível do veículo. Para isso será utilizado o modelo empírico de Ben-Chaim et al. (2013), o qual estima a eficiência térmica ( $\eta$ ) a partir da rotação do motor e do uso do acelerador (representado por  $\alpha$ ).

A economia de combustível, na unidade km/l, é contabilizada pela Equação 2. Onde D representa a distância percorrida em km durante o ciclo de condução de duração t (s). O valor dentro do colchete representa o consumo de energia durante todo o ciclo por quilômetro percorrido, já PC é o poder calorífico do combustível, em MJ/l.

$$E = PC \left[ \frac{1}{D} \int_0^t \frac{P}{\eta} dt \right]^{-1} \quad (2)$$

### 2.2.1 Parâmetros do veículo

Neste trabalho foram avaliados dois carros (compacto 1.0 e sedan 2.0) e duas motos (150cc e 300cc). Os parâmetros foram extraídos dos manuais do proprietário dos veículos representativos de cada categoria (Chevrolet Onix 1.0, Renault Fluence 2.0, Honda CG 150cc e Honda CB 300cc), conforme descrito na Tabela 1.

**Tabela 1:** Parâmetros dos veículos e do motor

Parâmetros do veículo	Carro compacto 1.0	Carro sedan 2.0	Moto 150cc	Moto 300cc
$P_{pico}^*$ [kW]	57,4	103,0	10,95	19,50
$\omega_p^{**}$ [rpm]	6400	6000	8000	7500
$\omega_t^{***}$ [rpm]	5200	3750	6000	6000
$m$ [kg]	1086	1444	186	227
$K_A$ [ N/ (m/s) <sup>2</sup> ]	0,54	0,55	0,41	0,41
$C_r$	0,01	0,01	0,02	0,02

\*Potência de pico do motor (maior potência na curva do motor). \*\* Rotação em que ocorre a potência de pico.  
\*\*\* Rotação em que ocorre o maior torque na curva do motor

O fator de aerodinâmica e o coeficiente de rolagem foram obtidos por meio dos dados técnicos de teste de resistência ao deslocamento (Coast Down) para carros homologados no Brasil, disponibilizados pelo INMETRO. Porém os dados fornecidos são sigilosos e apenas informam a categoria e o volume do motor. Dessa forma, os valores utilizados para os carros correspondem ao valor médio de todos os veículos homologados da categoria. Para as motos, o valor utilizado foi obtido por Andrade et al. (2021) em teste adaptado de Coas Down para um Honda CB 300cc.

A eficiência térmica do motor foi calibrada para resultar em uma economia de combustível similar ao valor obtido em um trajeto conhecido. Para os carros, foram utilizados os resultados de economia no ciclo FTP-75 disponibilizados pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular (PBEV) (INMETRO, 2021). Entretanto, o PBEV disponibiliza os dados apenas para carros. Assim, a eficiência da moto 300cc foi calibrada conforme resultado obtido por Andrade et al. (2021). Já a eficiência da moto 150cc foi calibrada pelos dados disponibilizados pelo Instituto Mauá de Tecnologia (GAZETA, 2021), considerando o ciclo FTP-75.

### 2.3 Análise Financeira

No estudo financeiro foram considerados os custos envolvidos na aquisição e operação do veículo, bem como o valor de venda após cinco anos de uso. Esses valores foram distribuídos em uma escala mensal, aqui chamado de Custo Mensal do Veículo ( $C_{MV}$ ). O  $C_{MV}$  foi dividido em três parcelas, são elas: o custo de aquisição do veículo ( $C_A$ ) que leva em consideração o valor de compra, seguro e IPVA; o custo operacional ( $C_O$ ) que leva em consideração o gasto com combustível ( $G_C$ ), manutenção e estacionamento e o custo de venda ( $C_V$ ). Cada uma dessas parcelas foi posta no início do período de análise, utilizando a fórmula de juros composto, para que assim fossem distribuídas mensalmente, como mostra a equação 3, que representa o valor mensal (VM).

$$VM = \frac{VPL}{\mu} \quad (3)$$

Em que  $VPL$ : valor presente líquido [R\$];  
 $\mu$ : números de meses corrigido;

O número de meses corrigido, é dado pela equação 4 e tem como entrada a taxa de juros utilizada ( $j$ ) e o número de meses da análise ( $n$ ).

$$\mu = \frac{(1+j)^n - 1}{j(1+j)^n} \quad (4)$$

O valor despendido para compra do veículo novo em 2016 foi determinado a partir da tabela da Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (FIPE), assim como o valor de venda para o ano de 2021. O imposto sobre propriedade de veículos automotores (IPVA) foi calculado com base na alíquota determinada pelo governo do estado de Pernambuco (SEFAZ, 2021) e o preço de compra do veículo (FIPE, 2021). Já os valores de seguro e manutenção foram definidos com base em preços do mercado (CARROSWEB, 2021). O custo de estacionamento foi contabilizado apenas para os carros, utilizando o valor cobrado na cidade do Recife em suas vagas da zona azul, R\$ 3,00 (CTTU, 2021).

O gasto com combustível mensal foi calculado em função do número de dias de uso do veículo ( $n_{dia}$ ), preço do combustível ( $k_{comb}$ ), distância percorrida diariamente ( $d$ ) e economia ( $E$ ), através da equação 5.

$$G_C = n_{dia} k_{comb} \frac{d}{E} \quad (5)$$

Na tabela 2, encontram-se os parâmetros utilizados nas equações descritas nessa seção.

**Tabela 2:** Parâmetros utilizados nos cálculos

$k_{comb}$ (RS/l)	$d$ (km/dia)	$n_{dia}$ (dia)	$n$ (meses)	$j$
5,90	50	21	60	0,005

Nessa tabela, a taxa de juros utilizada foi a da poupança (CAIXA, 2021) e a distância percorrida diariamente calculada em função da quilometragem média anual dos carros no Brasil (AUTOPAPO, 2021).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção, é avaliada a influência das características físicas de carros e motos no consumo de combustível quando expostos a diferentes vetores de velocidade.

#### 3.1 Análise cinemática e energética dos vetores de velocidade

Os vetores de velocidade selecionados são diferentes entre si, o que permite considerar condições distintas de tráfego. A Tabela 3 apresenta um resumo dos parâmetros cinemáticos de cada vetor de velocidades utilizado. Nota-se que os ciclos resultantes da simulação (Tráfego Livre para Carro (TLC), Zona Crítica para Carros (ZCC), Tráfego Livre para Motos (TLM) e Zona Crítica para Motos (ZCM)) têm aceleração média mais baixa, menor proporção de tempo parado e maior percentual de tempo em velocidade de cruzeiro em relação aos ciclos de condução. Porém, isso já era esperado já que não correspondem as condições de fluxo congestionado. Além disso, os ciclos utilizados apenas para as motos (Ciclo de Condução para Recife para Motos (CRM), TLC e ZCM) capturam o comportamento mais ágil das motos no tráfego, visto pelos maiores valores médios de velocidades, desacelerações e acelerações.

**Tabela 3:** Parâmetros cinemáticos dos vetores de velocidade

Parâmetros cinemáticos	FTP-75	Seção do FTP-75	CRC	CRM	TLC	ZCC	TLM	ZCM
Tempo parado[%]	17,88	17,30	23,79	15,24	0	0,33	0	0,28
Tempo acelerando [%]	39,43	40,25	37,97	42,55	38,02	59,76	33,07	34,69
Tempo desacelerando[%]	34,95	34,03	32,80	40,65	11,95	19,07	15,06	14,67
Tempo cruzeiro[%]	7,74	8,42	5,44	1,57	50,03	20,84	51,86	50,36
Aceleração média	0,51	0,49	0,48	0,76	0,26	0,28	0,32	0,36
Desaceleração média	-0,58	-0,58	-0,56	-0,80	-0,82	-0,9	-0,7	-0,91
Velocidade máxima	91,25	55,20	57,00	76,30	56,00	56,00	56,00	56,00
Velocidade média	34,14	25,79	22,58	32,50	55,14	38,11	55,2	49,16

As características cinemáticas estão diretamente relacionadas a com a performance energética de um veículo. Espera-se que o carro consiga percorrer uma maior distância por litro de combustível consumido no TLC e menos no ZCC, pois no primeiro o carro passa mais tempo em velocidade de cruzeiro e um menor tempo acelerando. O mesmo pode ser esperado para as motos ao comparar o vetor TLM e ZCM. O ciclo FTP-75 e os ciclos locais CRM (Ciclo de

Condução para Recife para carros) e CRM (Ciclo de Condução para Recife para Motos) apresentam similaridades, sendo a velocidade máxima e a velocidade média a maior diferença entre eles. No entanto para esses vetores de velocidade é mais difícil concluir algo, pois as proporções de tempo acelerando são bastantes próximas e o consumo está diretamente relacionado com o modo como o veículo acelera em dada velocidade.

As Tabelas 4 e 5 apresentam as estimativas de economia de combustível para carros e motos em todos os vetores de velocidade. Nota-se que os veículos com maior volume de motor consomem mais combustível por quilômetro percorrido. Isso era esperado, pois analisando a Equação 1 é observado que a massa está diretamente relacionada a inércia. Neste trabalho, o carro 2.0 sedan é 25% mais pesado do que o carro 1.0 compacto. Já a moto 300cc é 22% mais pesada em comparação com a moto 150cc.

Para os carros os vetores do ciclo FTP-75 e da seção do FTP-75, resultam em valores parecidos, o que indica que o maior consumo de combustível que ocorre pelas velocidades mais elevadas é equilibrado pela maior distância percorrida. Embora os vetores de velocidade do CRC e do ZCC sejam diferentes cinematicamente eles são os mais próximos em termo de performance energética. Os valores tabelados permitem observar que em ZCC os veículos passam mais tempo em velocidade constante e aceleram com velocidade mais elevada, enquanto em CRC os carros passam mais tempo acelerando, porém com valores mais baixos. Uma análise semelhante pode ser feita em relação ao vetor de velocidade TLC e ao FTP-75. Nesses ciclos, os consumos energéticos são semelhantes por razões distintas. No ciclo FTP-75 a inércia é responsável por 41% do consumo energético enquanto a aerodinâmica e rolagem representam 54%. Já para o TLC esses valores são 27 e 73%.

**Tabela 4:** Economia para os carros em km/l

<b>Tipo de carro</b>	<b>TLC</b>	<b>ZCC</b>	<b>FTP-75</b>	<b>Seção do FTP-75</b>	<b>CRC</b>
1.0 compacto	13,0	12,3	12,8	12,7	12,4
2.0 sedan	9,9	8,8	9,3	9,4	9,0

Para as motocicletas a comparação entre os ciclos leva a observação da mesma tendência (Tabela 5), porém as diferenças relativas da economia entre os vetores do ciclo FTP-75, seção do FTP-75, CRM e ZCM sejam maiores. A diferença relativa da economia de combustível no FTP-75 em relação aos outros vetores indica um efeito negativo ao se trafegar com velocidades que podem chegar a 91 km/h. No vetor CRM as motos também alcançam velocidades mais altas, 76 km/h, porém é o caso que apresenta uma melhor performance energética. No caso do CRM, a combinação de velocidade e aceleração resultaram em um consumo relativamente mais baixo em comparação com a distância percorrida. É importante destacar que o rendimento térmico no motor está diretamente relacionado ao uso do acelerador e com a rotação do motor (BEN-CHAIM et al.,2013).

**Tabela 5:** Economia para as motos em km/l

<b>Tipo de moto</b>	<b>TLM</b>	<b>ZCM</b>	<b>FTP-75</b>	<b>Seção do FTP-75</b>	<b>CRM</b>
150cc	49,3	49,1	44,7	46,6	49,9
300cc	29,2	29,0	28,5	30,1	30,6

### 3.2 Fator de carga do motor

Os veículos foram analisados em contexto urbano, onde os limites impostos pelas condições de tráfego e legislação impedem que se trafegue com velocidade elevadas. De todos os vetores de velocidade utilizados, apenas no FTP-75 e no CRM os veículos ultrapassam os 60 km/h. Ao ser considerado o pico de potência disponível do motor e todos os ciclos analisados, pode se concluir que os carros utilizam no máximo aproximadamente 50% desse valor, Tabela 6. Salienta-se que o pico de potência não está sempre disponível, que corresponde ao valor máximo em uma curva de potência de um motor em uma rotação específica. Apesar do maior peso do veículo sedan 2.0, ele possui um motor com maior potência disponível. O motor do carro 2.0 sedan tem um pico de potência 80% maior que o carro 1.0 compacto, no entanto o carro é apenas 25% mais pesado.

**Tabela 6:** Relação percentual da potência máxima solicitada em um vetor de velocidade em relação a potência de pico do motor para os carros.

Tipo de carro	TLC	ZCC	FTP-75	Seção do FTP-75	CRC
1.0 compacto	20%	20%	51%	40%	54%
2.0 sedan	14%	14%	37%	20%	40%

A baixa solicitação do motor dos carros, mostrada pelos valores relativamente baixos na Tabela 6, indica que para o ambiente urbano estudado existe a possibilidade de se utilizar motores com menor potência. Por outro lado, os resultados das motocicletas, Tabela 7, mostram uma maior solicitação do motor nos ciclos utilizados, principalmente no FTP-75 e CRM. Nesses ciclos há a ocorrência de velocidade máxima de 91 km/h no FTP-75 e 76 km/h no CRM, o que explica uma maior solicitação de energia para se locomover.

**Tabela 7:** Relação percentual da potência máxima solicitada em um vetor de velocidade em relação a potência de pico do motor para as motos.

Tipo de moto	TLM	ZCM	FTP-75	Seção do FTP-75	CRM
150cc	37%	39%	99%	35%	99%
300cc	23%	24%	58%	22%	65%

### 3.3 Influência da massa do veículo

A massa é outra característica do veículo que está diretamente ligada à performance energética. Para avaliar o impacto da redução de massa na economia do combustível foram realizadas simulações com os mesmos carros, porém com redução de 100 kg e 300 kg. Essa modificação mostrou que uma redução de 100 kg representa um aumento médio de 0,4 km/l, considerando todos os casos para os carros. A redução de 300 kg resultou em um aumento de economia de combustível na faixa de 1,4 a 2,0 km/l para os carros 1.0 compacto, valores que ocorrem no vetor TLC e na seção do FTP-75. Esses dois ciclos apresentaram um aumento de 0,9 km/l e 1,3 km/l para os carros 2.0 sedan. O mesmo estudo paramétrico foi realizado para as motocicletas. As motos 150cc apresentaram um aumento médio, em relação a todos os vetores de velocidade, de 0,5 km/l para uma redução de 10 kg e 1,4 km/l para motos 30 kg mais leves. Para as motos de 300cc a mesma variação de massa resultou em um ganho médio de 0,3 km/l e 0,9 km/l.

### 3.4 Análise financeira

O consumo de combustível tem influência nos gastos mensais de um veículo. As tabelas 8 e 9,



mostram o  $C_{MV}$  em cada vetor de velocidade e em cada veículo, indicando o valor mensal, em reais, que o condutor necessita para manter o veículo. Somado a isso é posto, também, a influência da variação da massa do veículo nos custos.

**Tabela 8:**  $C_{MV}$  para os carros em Reais

Vetor de velocidade	1.0 compacto	1.0 compacto (-100 kg)	1.0 compacto (-300 kg)	2.0 Sedan	2.0 Sedan (-100 kg)	2.0 Sedan (-300 kg)
TLC	1018,00	1003,79	971,74	1880,60	1862,83	1822,25
ZCC	1045,07	1029,23	987,19	1958,69	1935,52	1882,50
FTP-75	1025,43	1007,26	980,88	1920,91	1906,91	1868,84
Seção do FTP-75	1029,23	1010,79	962,98	1913,83	1886,98	1836,61
CRC	1041,01	1021,68	980,88	1943,07	1929,60	1878,09

No caso dos carros, Tabela 8, é importante pontuar que o modelo 2.0 sedan tem um custo mensal médio 86% maior em comparação com o modelo 1.0 compacto. Além disso, é possível observar uma queda nos custos decorrente da redução da massa do veículo, atingindo uma diferença de 6,4% para o modelo 1.0 compacto e 4% para o modelo 2.0 sedan com uma redução de 300kg na seção do FTP-75. Isso era esperado, visto que houve um aumento na economia (valores apresentados na seção anterior). Vale a pena ressaltar que essa redução deveria impactar ainda mais nos custos mensais, já que também está associada ao valor de aquisição do veículo, porém isso não foi analisado neste trabalho. O impacto da diminuição da 30 kg nas motos é cerca de 1,6% para o modelo de 150cc e 1,7% para o modelo de 300cc no vetor de velocidade CRM. A influência da massa é menor nas motos, porém a proporção de massa removida é menor, cerca de 26,7% para o carro 1.0 compacto e 16,1% para a moto 150cc. Além disso, a moto é um veículo naturalmente leve o que dificulta a diminuição de sua massa nas proporções apresentadas para os carros, sendo, portanto, uma ótima estratégia para redução de custos desses veículos, naturalmente mais pesados.

**Tabela 9:**  $C_{MV}$  para as motos em Reais

Vetor de velocidade	150cc	Moto 150cc (-10 kg)	Moto 150 (-30 kg)	Moto 300	Moto 300 (-10 kg)	Moto 300 (-30 kg)
TLM	310,69	309,93	307,95	503,06	500,90	497,41
ZCM	311,20	310,18	308,19	504,52	502,33	498,79
FTP-75	309,18	307,95	305,56	493,37	491,40	487,59
Seção do FTP-75	323,59	322,06	319,39	508,26	506,00	502,33
CRM	317,95	316,27	313,02	496,72	494,03	488,22

Uma parte das contribuições para o custo mensal do veículo são relativos aos valores de compra, venda e taxas relativas a aquisição do veículo, chegando a ter um custo líquido mensal de aquisição ( $(CA+CV)/C_{MV_{\text{médio}}}$ ) de 60,1% para o modelo 2.0 sedan e 45,8% no 1.0 compacto. Para as motos, os valores são da mesma ordem de grandeza, 53,2% e 52,6% para as motos 150cc e 300cc, respectivamente. Esse custo pode ser reduzido para os carros, pois foram dimensionados com potência em excesso, como pode ser visto na Tabela 6, pois na situação de máximo uso dos carros 1.0 e 2.0, apenas 51% e 37% da potência do motor foi utilizada,

respectivamente. Isso torna o veículo e suas taxas maiores. Já para as motos, existem situações onde a potência do motor é usada em quase sua totalidade (Tabela 7), porém o veículo ultrapassa os 90 km/h nessa situação, velocidade que não é usual em grandes cidades (limitado pela legislação e pelo tráfego).

A outra parcela do  $C_{MV}$  é decorrente da operação do veículo ( $C_O$ ) e este por sua vez é muito influenciado pelo consumo de combustível (responsável por mais 86% do  $C_O$  em todas as situações analisadas). Nesse caso, a redução de custos passa por todos os termos da Equação 5. Desses parâmetros, o único que depende do veículo utilizado é a economia ( $e$ ) e como já visto pode ser aumentado pela redução da massa.

#### 4. Conclusão

Neste trabalho foram selecionados vetores de velocidade distintos para avaliar o consumo energético de diferentes veículos em diversas condições de tráfego. Inicialmente foi mostrado as diferenças e semelhanças dos parâmetros cinemáticos dos vetores utilizados, assim como o consumo energético varia em condições diferentes de condução utilizando quatro veículos.

A economia de combustível é um parâmetro que depende de diversos fatores, como demanda energética devido às forças inerciais, aerodinâmica, rolagem e à eficiência térmica do motor. Vetores de velocidade diferentes podem resultar em valor de economia semelhantes. Esse é o caso ciclo de condução de Recife para carros (CRC) e o vetor de velocidade de tráfego livre para carros (TLC). Esses ciclos possuem um gasto de combustível semelhante, porém com demanda energética distinta em relação às resistências.

Além disso, a baixa solicitação da potência de pico do motor observada na maioria dos casos permite afirmar que as limitações do motor não representam uma restrição ao movimento desejado. Essa é uma informação importante para simulação computacional, sobretudo para modelos de tráfego que apenas consideram restrições ao movimento impostas pelo motor através de um limite máximo de aceleração.

Na análise financeira é possível identificar um equilíbrio entre os custos de aquisição médio e os custos de operação  $C_{MV}$ . O custo de aquisição tem grande influência do valor do veículo e os gastos com combustível ( $G_C$ ) impactam muito no custo de operação. Uma redução de massa dos veículos se mostrou uma boa alternativa para aumentar a economia de combustível. Assim, também é visto que a diminuição da massa resulta em um  $C_{MV}$  menor, tanto para o carro quanto para as motos.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- NBR 7024. Veículos rodoviários automotores leves - Medição do consumo de combustível - Método de ensaio. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.
- ANDRADE, G. M. S. DE et al. Standardized Comparison of 40 Local Driving Cycles: Energy and Kinematics. *Energies*, v. 13, n. 20, p. 5434, 18 out. 2020.
- ANDRADE, G. M. S. DE et al. Simple Methodology for the Development and Analysis of Local Driving Cycles Applied in the Study of Cars and Motorcycles in Recife, Brazil. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, p. 036119812199185, 2021.
- ARAÚJO, F. W. C. DE. CONSTRUÇÃO DE CICLOS DE CONDUÇÃO VEICULARES ADAPTADOS ÀS VÁRIAS CONDIÇÕES DE TRÁFEGO DE UMA VIA A PARTIR DE MONITORAMENTO POR VÍDEO. UFPE, 2021.
- AUTOPAPO. Quilometragem média de carros usados. Disponível em: <<https://autopapo.uol.com.br/noticia/quilometragem-media-carro-usado/>> Acessado em: 8 ago 2021.
- AZEVEDO, J. A. H. et al. Influências dos modos de operação nas emissões de poluentes provenientes de veículos

- flex em região urbana. *Transportes*, v. 25, n. 2, p. 91, 2017.
- BEN-CHAIM, M.; SHMERLING, E.; KUPERMAN, A. Analytic modeling of vehicle fuel consumption. *Energies*, v. 6, n. 1, p. 117–127, 2013.
- Carrosweb. Catálogo - Fichas técnicas, equipamentos e fotos de carros. Disponível em: <<https://www.carrosnaweb.com.br>>> Acessado em: 9 ago 2021
- CAIXA. Taxa de Juros da Poupança. Disponível em: <<https://www.caixa.gov.br/voce/poupanca-e-investimentos/poupanca-caixa-facil/perguntas-frequentes/Paginas/default.aspx>> Acessado em: 8 ago 2021.
- CTTU. Zona Azul. Disponível em: <<https://cttu.recife.pe.gov.br/zona-azul>> Acessado em: 8 ago 2021.
- FIPE. Preço Médio de Veículos. Disponível em: <<https://veiculos.fipe.org.br/>> Acessado em: 8 ago 2021.
- FONTARAS, G.; ZACHAROF, N. G.; CIUFFO, B. Fuel consumption and CO2 emissions from passenger cars in Europe – Laboratory versus real-world emissions. *Progress in Energy and Combustion Science*, 2017.
- GAZETA. Opção para economizar, moto roda até 60 km com um litro de gasolina | A Gazeta. Disponível em: <<https://www.agazeta.com.br/motor/opcao-para-economizar-moto-roda-ate-60-km-com-um-litro-de-gasolina-0421>>. Acesso em: 7 ago. 2021.
- INMETRO. Inmetro - Tabelas de consumo/eficiência energética. Disponível em: <[http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas\\_pbe\\_veicular.asp](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/tabelas_pbe_veicular.asp)>. Acesso em: 7 ago. 2021.
- ROSO, V. R.; MARTINS, M. E. S. Evaluation of a Real-World Driving Cycle and its Impacts on Fuel Consumption and Emissions. *SAE Technical Paper Series*, v. 1, 2016.
- SANTOS, M. P. M. D. N. A importância do motor na simulação de carros e motos em situação de tráfego. UFPE, 2019.
- SEFAZ. Valores do IPVA relativos a 2021. Disponível em: <<https://www.sefaz.pe.gov.br/Servicos/IPVA/Valores%20de%20IPVA/Tabela%20IPVA%202021.pdf>> Acessado em: 8 ago 2021