

## **Análise da demanda energética de veículos compactos na cidade de Aracaju - SE**

### **Assessment of energetic demand from compact vehicles in Aracaju – SE city**

DOI:10.34117/bjdv8n11-052

Recebimento dos originais: 04/10/2022

Aceitação para publicação: 04/11/2022

#### **Alcides Luiz dos Anjos Hora**

Mestre em Engenharia Mecânica

Instituição: Instituto Federal do Espírito Santo (IFES)

Endereço: Rodovia BR Norte Km 58, São Mateus, 101, Litorâneo - ES,

CEP: 29932-540

E-mail: alcides.hora@ifes.edu.br

#### **Amanda Silva do Nascimento**

Graduada em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Sergipe (UFS)

Instituição: Vale S.A.

Endereço: Estrada da Ilha da Madeira, S/N, Ilha da Madeira, Itaguaí - RJ,

CEP: 23825-410

E-mail: amanda.silva.nascimento@vale.com

#### **RESUMO**

Aproveitar ao máximo os recursos energéticos tornou-se mandatório para qualquer atividade. Como possuir um carro próprio ainda é o sonho de muitos, em uma cidade com milhares de veículos nas ruas, levanta a questão quanto ao uso racional. O objetivo deste trabalho é analisar a demanda energética em um nível teórico da atividade do transporte particular na região metropolitana de Aracaju-SE buscando compreender se há subutilização dos veículos, quando uma simples observação do trânsito revela que boa parte dos mesmos possui apenas um ocupante. Para tal, um balanço de forças foi elaborado para identificar as resistências que o veículo deve superar. Foram consultados catálogos de fabricantes de carros para a coleta de especificações técnicas e posteriores estimativa do desempenho do automóvel em algumas situações cotidianas. Dados que caracterizem as condições específicas de trânsito e de relevo da cidade de Aracaju-SE também foram levantados. Como resultado, foi verificado que os carros, em certas condições, quando usados para transporte privado, com uma ou duas pessoas têm sua capacidade e potência útil subutilizada.

**Palavras-chave:** análise energética, modelagem simplificada, tráfego urbano, carros compactos.

#### **ABSTRACT**

Utilize the most of the energy resources has become mandatory for any activity. To own a vehicle is a dream of many, in a city with thousands of vehicles on the streets, the question of its rational use arises. The aim of this study is based in the energy demand at a theoretical level of the particular activity in the metropolitan region of Aracaju-SE where there is an attempt to understand if there is underutilization of vehicles, when a

simple view of traffic reveals that most of them have only one occupant. For this purpose, an effort was made to identify resistances that the vehicle must overcome. Catalogs of cars manufacturers were consulted to collect technical specifications and later assess vehicles performance in some specific situations. Data that characterize the specific conditions of traffic and relief of the city of Aracaju-SE were also collected. As result, it was found that cars, in the specific conditions, when used for private transport, with one or two occupants, have their capacity and power underutilized.

**Keywords:** energy analysis, simplified modeling, urban traffic, compact vehicles.

## 1 INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento e expansão do setor de transportes adotado nas metrópoles brasileiras tem privilegiado a utilização dos meios rodoviários, sobretudo o transporte individual, visto que os grandes centros urbanos têm se desenvolvido visando atender um número cada vez maior de veículos particulares.

O automóvel possui grande potencial para melhorias em eficiência energética. Entretanto, é de difícil execução, pois há inúmeros fatores associados, como o trânsito nas cidades, as condições das vias, a forma que o motorista conduz o veículo. Outro fator pertinente são as características do veículo. Assim, este trabalho propõe-se também a responder ao seguinte problema: Como esses elementos externos impactam na eficiência e desempenho de um veículo?

O presente trabalho teve como base dois trabalhos: i) Magnani (2016) em que foram apresentadas as equações necessárias para a elaboração de modelos do veículo (i.e, forças inerciais, gravidade, rolagem e aerodinâmica) e modelagem do consumo energético (i.e, potências, consumo, e relação ar-combustível); e ii) Neto (2018), que apresentou uma dissertação na qual foi discutida a eficiência energética dos diversos modos de transporte urbano, através da medida de “peso morto” que é necessário mover ao transportar uma pessoa em cada modal, levando em consideração a taxa de ocupação e o peso dos veículos e a divisão modal encontrada no transporte urbano em cidades brasileiras.

Estudos similares anteriores de vários outros autores foram encontrados na literatura, como por exemplo, Meng et. al (2007), em que apresentaram a mesma modelagem energética do veículo construída neste trabalho. Os autores visavam construir uma modelagem macroscópica de veículos a combustão interna, híbridos e elétricos. As

resistências externas: rolagem, aerodinâmica e gravidade foram usadas para modelar a influência externa do ambiente na demanda energética do veículo.

Smith (2010) propôs políticas públicas para induzir a inovação tecnológica na indústria automobilística brasileira. A autora apresentou várias tabelas de dados coletados com informações técnicas de veículos leves usados no Brasil além de questionário enviado à montadora. O trabalho indicou que o Programa Brasileiro de Etiquetagem Veicular é insuficiente para acelerar o ritmo de difusão de novas tecnologias automotivas, ou conter a tendência de aumento do consumo de combustível na frota de novos veículos leves, além de que muitas empresas se recusavam a divulgar informações técnicas sobre seus veículos.

Sassa (2014) buscou estudar a eficiência energética de um veículo comercial, utilizando um sistema híbrido hidráulico em uma aplicação de coleta de lixo, cuja principal característica é percorrer distâncias curtas, saindo do repouso e chegando a baixas velocidades em torno de 30 km/h com posterior desaceleração do veículo retornando ao repouso. O trabalho tinha como principal objetivo analisar o impacto da aplicação de uma nova tecnologia nos veículos analisados na redução do consumo de combustível e emissões de poluentes.

Abousleiman e Rawashdeh (2015) formularam um modelo representativo para estimativa de taxa de consumo de energia aplicado a um veículo elétrico, FIAT 500e 2013. Para adicionar maior validade aos resultados, 20 ensaios de campo foram realizados e, como resultado, os valores obtidos a partir do modelo diferiam, em média, menos do que 1,5% dos valores medido. Os autores aceleraram o veículo de 0 a 26,8284m/s em 15s, o que fornecia uma aceleração de 1,78m/s<sup>2</sup>.

Cauwer, Van Mierlo e Coosemans (2015) incluem em sua modelagem do veículo condições externas como topografia do terreno, tráfego, estilo de pilotagem e temperatura para modelar a demanda energética de veículos. O objetivo do trabalho era correlacionar parâmetros do veículo obtidos a partir de considerações de projeto com a demanda energética final. Os autores usaram de análise estatística para elaborar modelos e que apesar das metodologias propostas necessitarem de melhorias com a aquisição de mais dados reais, elas já apresentaram grande potencial de representatividade do consumo energético dos veículos.

Thiele (2017) analisou a eficiência energética de quatro diferentes sistemas de propulsão atualmente utilizados em veículos: veículo com motor à combustão adaptado

(que contém as adaptações implementadas); veículo híbrido; veículo híbrido adaptado; e veículo elétrico a baterias. O autor usou um balanço de potências para determinar o consumo energético requerido pela transmissão. Além disso, os ciclos FTP-75 e EPA New York City Cycle (NYCC) foram selecionados para simular situações de condução em ambiente urbano. Estes ciclos possuem menor velocidade média e mais paradas. Como esperado, os casos analisados se mostraram mais eficientes no ciclo de direção de rodovias e alcançaram maior autonomia com o consumo de 1 litro de gasolina equivalente.

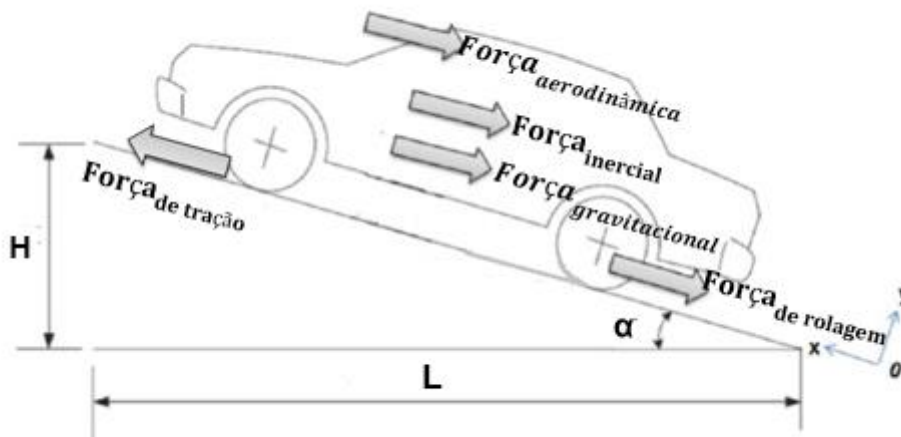
Apesar de algumas similaridades com trabalhos anteriores, um dos objetivos deste atual trabalho é modelar, de modo simplificado, veículos selecionados e comparar os resultados obtidos com os fornecidos pelos fabricantes. Neste caso, procurou-se entender a demanda energética de veículos compactos sob uma condição específica de tráfego urbano. Por que se precisa de tanta potência? Qual é a contribuição de forças de resistência como a inercial e aerodinâmica?

A escolha deste tema é baseada na percepção de que o transporte individual possui grande impacto na matriz energética nacional ao mesmo tempo em que apresenta grande potencial para aperfeiçoar sua eficiência. Desta forma, este trabalho pretende contribuir, ainda que de modo simplificado, para a identificação de fatores que impactam no consumo energético de automóveis presentes na cidade de Aracaju-SE sob condições de tráfego específico.

## 2 MODELAGENS

As modelagens do veículo e do motor estabelecem a base da metodologia apresentada neste trabalho. No caso do deslocamento com velocidade constante, em uma pista com inclinação  $\alpha$  e sem julgar os efeitos das curvas, segundo Magnani (2016), há uma força necessária, a força de tração ( $F_{trac}$ ), na qual permite a propulsão do veículo. Ela é balanceada por quatro forças (vide Figura 1), são elas: a força aerodinâmica ( $F_{aero}$ ), a força de rolagem ( $F_{rol}$ ), a força da gravidade ( $F_{grav}$ ) e a força inercial ( $F_{ine}$ ).

Figura 1 - Forças agindo sobre um veículo na direção do movimento.



Fonte: Autoria própria (2022)

O modelo utilizado resulta de um balanço de forças realizado a partir do diagrama de corpo livre visto na Figura 1. Assim, pela Equação 1:

$$F_{trac} = F_{res} = F_{aero} + F_{grav} + F_{ine} + F_{rol} \quad \text{Eq. (1)}$$

Subtende-se que essas forças representam as componentes na direção do movimento. Ao multiplicá-la pela velocidade na mesma direção, obtém-se a potência necessária a ser despendida pelo veículo. Dessa forma, através da Equação 2:

$$P_{trac} = V \cdot F_{trac} = V \cdot F_{res} = V \cdot (F_{aero} + F_{grav} + F_{ine} + F_{rol}) \quad \text{Eq. (2)}$$

A partir destes resultados é possível determinar a potência do motor necessária para superar as resistências ao movimento, Equação 3:

$$P_{motor} = \frac{P_{trac}}{\eta_{transm}} = \frac{V}{\eta_{transm}} \cdot (F_{aero} + F_{grav} + F_{ine} + F_{rol}) \quad \text{Eq. (3)}$$

Onde,

$\eta_{transm}$  – Eficiência mecânica da transmissão [adimensional]

A Equação 3 fornece a potência em  $W$ , convertendo-a para  $cv$ , mais comumente usada, tem-se a Equação 4 a seguir:

$$P_{motor}[cv] = \frac{P_{motor}}{735,5} \quad \text{Eq. (4)}$$

Sendo ainda que esta potência depende de outras variáveis, vide Equação 5:

$$P_{motor} = \eta_{térmica} \cdot P_{combustão} \quad \text{Eq. (5)}$$

Onde,

$\eta_{térmica}$  - Eficiência térmica do motor, por simplicidade será assumido constante [adimensional]

$P_{combustão}$  - Potência obtida, teoricamente, a partir da combustão interna [W]

O termo da potência de combustão pode ainda pode ser desenvolvida na Equação 6 e Equação 7:

$$P_{combustão} = \dot{m}_{comb} \cdot PCI \quad \text{Eq. (6)}$$

$$P_{motor} = \eta_{térmica} \cdot \dot{m}_{comb} \cdot PCI \quad \text{Eq. (7)}$$

Onde,

$\dot{m}_{comb}$  - Vazão de combustível [kg/s]

$PCI$  - Poder calorífico inferior [J/kg]

Com um pouco de manipulação algébrica da Equação 7 e das unidades envolvidas pode-se obter uma estimativa para a vazão mássica (Eq. 8) o consumo de combustível do veículo, Equação 9:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{P_{motor}}{\eta_{térmica} \cdot PCI} \quad \text{Eq. (8)}$$

$$consumo = \frac{V}{\dot{m}_{comb}} \quad \text{Eq. (9)}$$

Onde,

*consumo* - Autonomia de combustível [km/L];

*PCI* – Poder calorífico inferior [kJ/kg]

Para efeito de análise, neste trabalho foi realizada uma modelagem simplificada para a combustão completa da gasolina, considerando os seguintes aspectos:

- A gasolina será modelada para simplificar os cálculos como octano ( $C_8H_{18}$ );
- Considera-se que cada mol de oxigênio do ar de combustão acompanha 3,76 mols de nitrogênio, pois o ar possui, aproximadamente, 21% de oxigênio e 78% de nitrogênio;
- Considera-se o nitrogênio como sendo inerte;
- Admite-se que a combustão é completa;
- O octano é completamente queimado;
- Não há excesso de ar,  $\lambda = 1$ .

Em relação à modelagem do tráfego foram utilizados o ciclo de condução FTP-75 e algumas características de relevo da cidade de Aracaju, capital Sergipana, cuja topografia é plana, com exceção de algumas regiões situadas ao norte e oeste, com grandes elevações (ARAÚJO; VILAR, 2004).

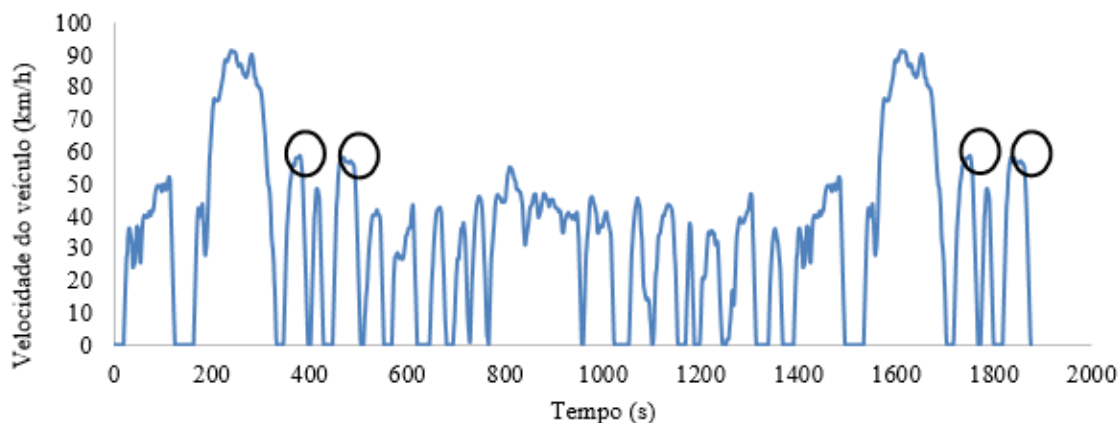
Na Figura 2, é mostrado o ciclo de condução FTP-75, adotado como referência para este trabalho. O ciclo FTP (Procedimento Federal de teste) foi criado pela EPA (Agência de Proteção Ambiental) dos EUA, para representar um ciclo de condução com uma etapa de condução urbana, incluindo paradas frequentes e uma etapa de condução

em auto-estrada (CICLO DE CONDUÇÃO FTP-75, 2022). Devido à velocidade e aceleração serem conhecidas para cada intervalo de tempo, a energia mecânica requerida em função do tempo pode ser determinada.

Para efeito de análise e, devido às limitações de recursos, não foram realizados testes de campo. O trabalho limitou-se a modelar o trânsito através de uma máxima aceleração possível, com valor de  $1,48 \text{ m/s}^2$  com base no ciclo de condução FTP – 75, o veículo é então acelerado até atingir  $60 \text{ km/h}$  velocidade máxima permitível no perímetro urbano de Aracaju-SE (SMTT, 2022).

A partir da Figura 2 é possível justificar o valor da aceleração adotado anteriormente. Sendo a velocidade máxima permitida no trânsito de Aracaju-SE de  $60 \text{ km/h}$ , é possível ver que na curva do ciclo FTP-75, o veículo acelera, em quatro instantes distintos de 0 a  $60 \text{ km/h}$ .

Figura 2 – Ciclo FTP-75



Fonte: Ciclo de condução FTP-75, (2022). Modificada

A Tabela 1 auxilia na determinação da aceleração. Sendo esta grandeza a relação média entre a variação de velocidade observada no intervalo de tempo considerado.

Tabela 1 - Estimativa da aceleração máxima a ser usada.

| Intervalo de tempo (s) | Velocidade máxima (km/h) | Aceleração máxima ( $\text{m/s}^2$ ) |
|------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| 378 - 400              | 59,54                    | 1,474                                |
| 477 - 500              | 61,15                    | 1,486                                |
| 1772 - 1790            | 62,76                    | 1,497                                |
| 1853 - 1874            | 59,54                    | 1,482                                |

Fonte: Autoria própria (2022)

É uma tarefa complicada explicar para um motorista comum qual aceleração ele deveria adotar. No entanto, O Artigo 61 do CTB (Código de Trânsito Brasileiro)

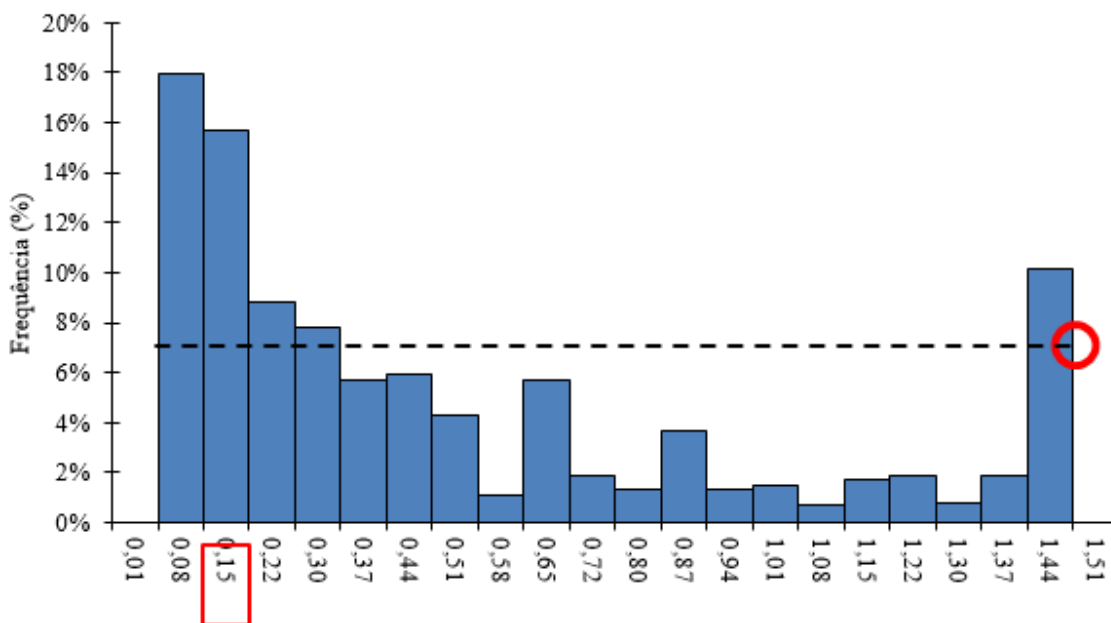


estabelece a velocidade máxima permitida para cada via de acordo com o tipo da mesma. Os critérios levados em consideração são: o fluxo, o tipo de veículo que circula no local, as características da pista e o movimento de pedestres. Dentre as vias apresentadas neste artigo, há as vias arteriais – avenidas com semáforos, cruzamentos e grande fluxo de trânsito, que ligam regiões de uma cidade, cuja velocidade máxima é de 60 km/h (LIONS, 2022).

Para um dos estudos, buscou-se realizar uma nova análise para uma aceleração diferente do ciclo FTP 75, visto que o valor  $1.48 \text{ m/s}^2$  corresponde a apenas 10% do tempo total de aceleração desse ciclo. A Figura 3 mostra o resultado de uma análise estatística realizada com os pontos da curva do ciclo FTP 75, Figura 2, no qual valores nulos e negativos foram retirados, pois apenas o desempenho e aceleração interessava.

O valor da aceleração mais representativo correspondeu a  $0,15 \text{ m/s}^2$ . Esse valor foi utilizado no balanço energético de cada veículo para um dos estudos.

Figura 3 - Histograma de aceleração a partir do ciclo FTP-75.



Fonte: Autoria própria (2022)

### 3 METODOLOGIA

Inicialmente, foi realizada uma coleta de dados sobre os veículos mais vendidos em Sergipe e as condições de tráfego aplicadas à cidade de Aracaju. Dados como topografia local foram levantados. Para cada um dos veículos, apresentados no Quadro 1 o fabricante foi contatado para que informassem valores como desempenho do motor, pois são difíceis de serem encontrados em sites de divulgação de modelos. No entanto,

tais valores não foram informados, pois se tratava de dados restritos. Dessa forma, utilizaram-se dados com informações gerais sobre os vários modelos presentes no mercado nacional, encontrados em sites de consulta, compra e venda.

Os valores relativos às propriedades dos componentes envolvidos na reação de combustão podem ser obtidos após consulta à referência Moran *et al.* (2013), utilizados na modelagem da combustão.

Quadro 2 - Descrição dos veículos.

| Marca     | Modelo           | Versão                           | Motor      | Nome simplificado |
|-----------|------------------|----------------------------------|------------|-------------------|
| Nissan    | New March        | 10 Conforto/10S/10 SV            | 1.0 – 12V  | Nissan New March  |
| Citroen   | C3               | Origine / Attraction / Tendance  | 1.0 – 12V  | Citroen C3        |
| Peugeot   | 208              | Active MT / Act Pack MT / Allure | 1.2 – 12 V | Peugeot 208       |
| Chevrolet | Onix Joy (MY 19) | 10 MT JOYE                       | 1.0 L – 8V | Onix Joy          |
| Ford      | Ka Hatch         | S/SE                             | 1.0 – 12V  | Ford Ka           |
| VW        | Gol              | Rodas aro 14                     | 1.0 – 12V  | VW Gol            |
| Fiat      | Argo             | Drive (com Stop & Start)         | 1.0 – 6V   | Fiat Argo         |
| Renault   | Sandero          | Authentique/Expression           | 1.0 – 12V  | Renault Sandero   |

Fonte: Inmetro (2019), modificada

O Quadro 2 apresenta os 8 modelos analisados com informações gerais quanto ao fabricante, versão e tipo de motor, e os parâmetros coletados para cada veículo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Parâmetros individuais para os veículos

| Parâmetros                   | Citröen C3 | Peugeot 208 | Onix Joy | Fiat Argo | Renault Sandero | Ford Ka | VW Gol | Nissan New March |
|------------------------------|------------|-------------|----------|-----------|-----------------|---------|--------|------------------|
| Área frontal, m <sup>2</sup> | 2,225      | 2,11        | 2,14     | 2,2       | 2,26            | 2,2     | 2,04   | 2,18             |
| Cilindrada, cm <sup>3</sup>  | 1199       | 1199        | 999      | 999       | 999             | 997     | 999    | 999              |
| Coefficiente aerodinâmico    | 0,31       | 0,33        | 0,35     | 0,34      | 0,341           | 0,33    | 0,373  | 0,33             |
| Consumo urbano, km/L         | 13,2       | 13,9        | 12,8     | 14,2      | 14,2            | 13,4    | 13,3   | 12,9             |
| Massa, kg                    | 1070       | 1073        | 1011     | 1105      | 1011            | 1033    | 1001   | 964              |

Fonte: Autoria própria (2022)

A Tabela 3 apresenta os valores para propriedades termodinâmicas necessárias para a elaboração da reação de combustão modelada. Ao mesmo tempo, atribui dados sobre coeficientes adimensionais e simplificações que foram feitas.

Tabela 3 - Parâmetros para a modelagem.

| Parâmetros                                  | Valores                   |
|---|---------------------------|
| Aceleração da gravidade                     | 9,81 [m/s <sup>2</sup> ]  |
| Aceleração máxima                           | 1,48 [m/s <sup>2</sup> ]  |
| Coefficiente de resistência ao rolamento, f | 0,011                     |
| Cosseno da inclinação, $\cos \alpha$        | 1                         |
| Eficiência de transmissão, $\eta_t$         | 0,85                      |
| Eficiência do motor, $\eta_m$               | 0,25                      |
| Eficiência volumétrica, $\eta_{vol}$        | 0,8                       |
| Fator de excesso de ar, $\lambda$           | 1                         |
| Inclinação (L/h)                            | 0 [graus]                 |
| Massa específica do ar                      | 1,21 [kg/m <sup>3</sup> ] |
| Massa específica do combustível             | 750 [kg/m <sup>3</sup> ]  |
| Massa média de dois passageiros             | 140 [kg]                  |
| Número de carbono, x                        | 8                         |
| Número de hidrogênio, y                     | 18                        |
| Número de nitrogênio, z                     | 0                         |
| Poder calorífico inferior                   | 44430 [kJ/kg]             |
| Razão ar-combustível em base mássica        | 14,91:1 [kg]              |
| Razão ar-combustível em base molar          | 59,5:1 [kmol]             |
| Velocidade                                  | 16,7 [m/s]                |

Fonte: Autoria própria (2022)

Alguns coeficientes merecem destaque quanto à sua determinação. É sabido que os fabricantes guardam certos valores em segredo, para proteção contra a concorrência. Por isso, certos parâmetros foram determinados após vasta consulta à literatura relacionada. Para citar, a eficiência volumétrica e do motor, considerados 0,8 e 0,25 respectivamente, foram determinadas com referência a Brunetti (2012).

A eficiência do sistema de transmissão, igual a 0.85, foi obtida após multiplicação das eficiências dos diversos componentes envolvidos com a transmissão do torque, desde o eixo do motor até as rodas: o atrito presente em rolamentos e engrenagens ocasiona a perda de potência no sistema (STARK, 2022). Desconsiderando defeitos de fabricação e montagem que possam ocorrer.

O parâmetro potência útil será que será analisado diz respeito à relação presente na Equação 10:

$$P_{\text{útil}} = \frac{\text{Potência requerida}}{\text{Potência total do veículo}} \quad \text{Eq. (10)}$$

Onde,

*Potência requerida* - Potência resultado da soma das resistências [W]

*Potência total do veículo* - Potência obtida a partir de informações do fabricante, corresponde à máxima potência que pode ser obtida no motor [W]

$P_{\text{útil}}$  - Relação entre as duas grandezas anteriores, adimensional, refere-se ao quanto da potência total instalada é realmente utilizada pelo veículo [adimensional]

Desta forma, o presente trabalho realizou os seguintes estudos:

- Estudo de Caso 1: Aceleração de  $1,48 \text{ m/s}^2$ , baseada no diagrama do ciclo FTP-75;
- Estudo de Caso 2: Aceleração de  $0,15 \text{ m/s}^2$ , baseada no diagrama do ciclo FTP-75, na aceleração com frequência significativa no mesmo;
- Estudo de Caso 3: Aceleração de  $2,34 \text{ m/s}^2$ , baseada na escolha de modelos elétricos com velocidade máxima próxima de 80 km/h.

## 4 RESULTADOS

Foram organizados três estudos de casos, de modo a comparar o desempenho dos 8 veículos, inicialmente escolhidos, sob condições deduzidas a partir da modelagem simplificada. Sendo assim, discutem-se os resultados apresentados na Metodologia com a modelagem matemática, utilizando-se de figuras e tabelas, analisando os valores encontrados.

### 4.1 ESTUDO DE CASO 1

Nesta modelagem os veículos acelerariam de 0 a 60 km/h a uma taxa constante, segundo cada estudo de caso. O coeficiente de resistência à rolagem é assumido constante, a resistência aerodinâmica varia com o quadrado da velocidade e a resistência inercial é função da aceleração adotada. Os veículos foram comparados quanto à potência requerida para superar as resistências ao movimento e, ao fim de cada caso, a relação entre a maior potência resistiva e a potência requerida foi apresentada. Dessa forma, foi possível qualificar sua “eficiência”.

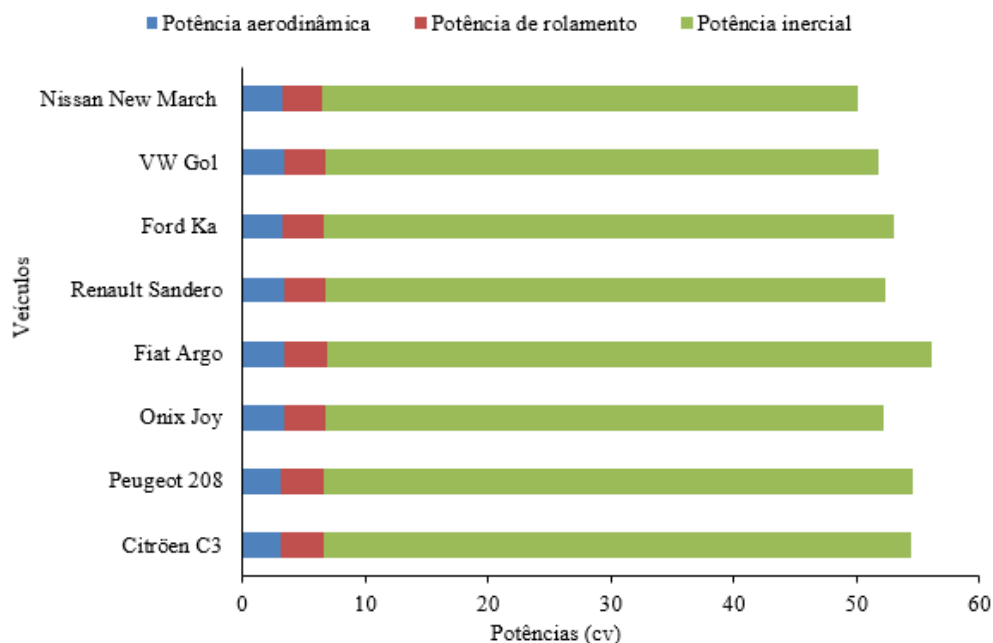
Nesta e em todas as análises seguintes, a potência gravitacional é nula, visto que a inclinação foi considerada desprezível para Aracaju-SE, desta forma não será ilustrada nos gráficos seguintes. A Figura 4 faz um comparativo entre os 8 modelos destacados neste trabalho para o Caso 1. Nela, pode-se perceber que a maior parte da energia gasta está na movimentação de inércia. Quando se nota que apenas cerca de 25% da energia disponível da combustão é aproveitada, ou seja, a eficiência térmica dos motores de combustão por centelha (ÇENGEL, 2013), deve-se adotar o hábito de aproveitar a máxima capacidade de carga de qualquer automóvel, aumentando-se assim a relação

peso/potência, o que indicaria um melhor aproveitamento da energia disponível no veículo.

Estes resultados indicam a vantagem, quando se trata de transporte individual (i.e, carro), de adotar práticas mais sustentáveis como adquirir veículos menores, dois lugares, compartilhar o veículo com mais pessoas, por exemplo, para o deslocamento dentro do perímetro urbano. A Figura 3 permite observar que nestas condições a resistência inercial ainda é a grande responsável pelo consumo da energia disponível no veículo. Utilizar veículos menores, com menor inércia a ser movimentada é uma alternativa para diminuir a potência inercial demandada.

Com base nos resultados da modelagem aplicada ao veículo Citroën C3 pode-se identificar que a potência requerida pelo veículo, nas condições adotadas é de 54,44 cv. Ao mesmo tempo, o fabricante informa que o modelo Citroën C3 é capaz de desenvolver uma potência máxima de 84 cv quando à gasolina. Assim, a relação dada pela Equação 10 fornece que apenas 64,80% da energia é efetivamente usada. Percebe-se que grande parte da demanda energética é consumida para movimentar a inércia, aproximadamente 87,73% (potência inercial/potência requerida).

Figura 3 - Distribuição de potências para os veículos rodando sem inclinação e aceleração máxima de 1,48 m/s<sup>2</sup> e velocidade de 60 km/h.



Fonte: Autoria própria (2022)

Ao analisar os resultados energéticos de todos os 8 veículos, obtêm-se resultados apresentados na Tabela 4. É importante ressaltar que os valores de potência total do veículo foram considerados quando o mesmo é movido à gasolina.

Tabela 4 - Potências demandas para os modelos analisados considerando a aceleração máxima de  $1,48\text{m/s}^2$

| Modelo                      | Potência requerida (cv) | Potência máxima (cv) | Pútil (%) |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------|
| Citroën C3                  | 54,43                   | 84                   | 64,80     |
| Peugeot 208                 | 54,60                   | 84                   | 65        |
| Onix Joy                    | 52,20                   | 78                   | 66,92     |
| Fiat Argo Drive             | 56,18                   | 72                   | 78,03     |
| Renault Sandero Authentique | 52,29                   | 79                   | 66,20     |
| Ford Ka Hatch S SE          | 53,02                   | 80                   | 66,28     |
| VW Gol                      | 51,83                   | 75                   | 69,02     |
| Nissan New March            | 50,07                   | 77                   | 65,03     |

Fonte: Autoria própria (2022)

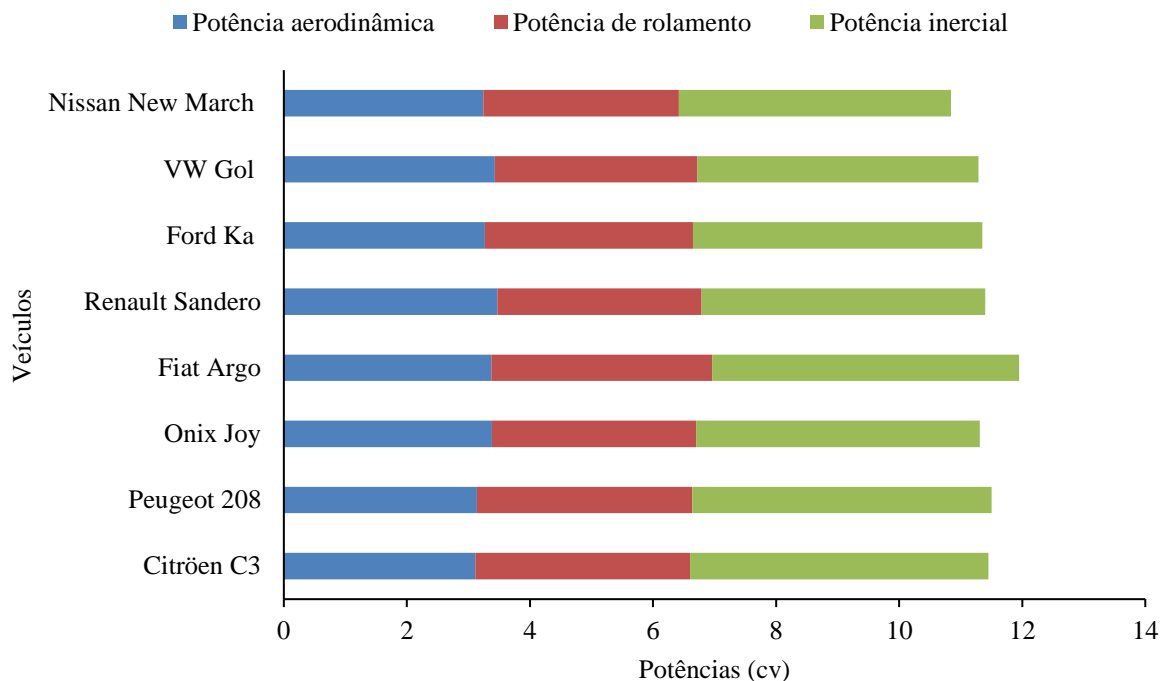
Uma forma de interpretar os resultados da Tabela 4 é exemplificando o modelo Peugeot 208 1.2, para o qual a potência requerida pelo veículo, nas condições adotadas é de  $54,60\text{ cv}$ . Ao mesmo tempo, o fabricante informa que versão Peugeot 208 1.2 é capaz de desenvolver uma potência máxima de  $84\text{ cv}$  quando à gasolina. Assim, a relação dada pela Equação 15 fornece que apenas 65% da energia é efetivamente utilizada. Percebe-se ainda que grande parte da demanda energética é consumida para movimentar a inércia, aproximadamente 87,84% da potência requerida.

Para os estudos propostos, será considerado veículo subdimensionado se ele utilizar mais do que 100% da potência útil e caso contrário, se ele utilizar menos que 100% será considerado superdimensionado.

## 4.2 ESTUDO DE CASO 2

Para o estudo de caso 2, foi considerada a aceleração de  $0,15\text{ m/s}^2$ , corresponde a apenas 15% do tempo total de aceleração desse ciclo. A Figura 4 mostra os resultados da modelagem, para este caso, aplicada a todos os modelos analisados.

Figura 4 - Distribuição de potências para os veículos rodando sem inclinação e aceleração de  $0,15\text{m/s}^2$  e velocidade de 60 km/h.



Fonte: Própria Autora (2020)

Percebe-se que, para o veículo Citroën C3, a potência requerida, nas condições adotadas, é de 11,45 cv. Assim, o cálculo da potência útil relaciona que apenas 13,63% da energia disponibilizada pelo motor é efetivamente usada. A maior parte da demanda energética é consumida para movimentar a inércia, aproximadamente 42,36% da potência requerida.

Para este cenário, temos uma potência requerida média de 11,4 cv, comparada a uma potência máxima média de 78,63 cv. Essa diferença mostra certa folga, o que se traduz em disponibilidade de energia não utilizada.

Considerando a aceleração de  $0,15\text{m/s}^2$ , obtêm-se os resultados, para todos os veículos, apresentados na Tabela 5. Pode-se notar que a  $P_{util}$  é baixa, ou seja, os veículos estariam superdimensionados para as condições estudadas.

Neste cenário, apesar das potências requeridas serem bastante próximas, o Nissan New March apresentou o menor valor e o Fiat Argo o maior. Contudo, o Fiat Argo mostrou a melhor relação com a potência máxima (potência útil maior) de 16,6%.

Tabela 5 - Potências demandadas para os modelos analisados considerando a aceleração de  $0,15\text{m/s}^2$ .

| Modelo                      | Potência requerida (cv) | Potência máxima (cv) | Pútil (%) |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------|
| Citroën C3                  | 11,45                   | 84                   | 13,36     |
| Peugeot 208                 | 11,50                   | 84                   | 13,69     |
| Onix Joy                    | 11,31                   | 78                   | 14,50     |
| Fiat Argo Drive             | 11,95                   | 72                   | 16,60     |
| Renault Sandero Authentique | 11,4                    | 79                   | 14,43     |
| Ford Ka Hatch S SE          | 11,35                   | 80                   | 14,20     |
| VW Gol                      | 11,29                   | 75                   | 15,10     |
| Nissan New March            | 10,84                   | 77                   | 14,10     |

Fonte: Própria autora (2020)

### 4.3 ESTUDO DE CASO 3

Os veículos apresentados nos estudos de casos anteriores apresentam velocidades máximas muito acima da estudada neste trabalho. Para corrigir este viés, resolveu-se pesquisar outros modelos de veículos, nacionais e estrangeiros, que apresentassem velocidade máxima de até 80 km/h, muito mais próxima que a de estudo proposta anteriormente, ou seja, de 60 km/h. A Tabela 6 dispõe destes novos modelos pesquisados para o presente estudo de caso.

Tabela 6 - Dados técnicos de veículos elétricos nacionais e internacionais.

| Modelo              | Velocidade máxima(km/h) | Potência (kW) | Autonomia (km) |
|---------------------|-------------------------|---------------|----------------|
| Mobilis Comfort Li  | 60                      | 7,5           | 50             |
| Hitech e.coTech4    | 68                      | 6,33          | 150            |
| Renault TWIZY80     | 80                      | 12,5          | 100            |
| Tazzari Zero Junior | 45                      | 6             | 140            |
| Spirit CITY         | 80                      | 15            | 100            |
| Eli zero            | 40                      | 4             | 112            |
| Siticars New Me     | 78                      | 7,46          | 150            |
| Renault TWIZY45     | 45                      | 3,68          | 120            |

Fonte: Própria autora (2020)

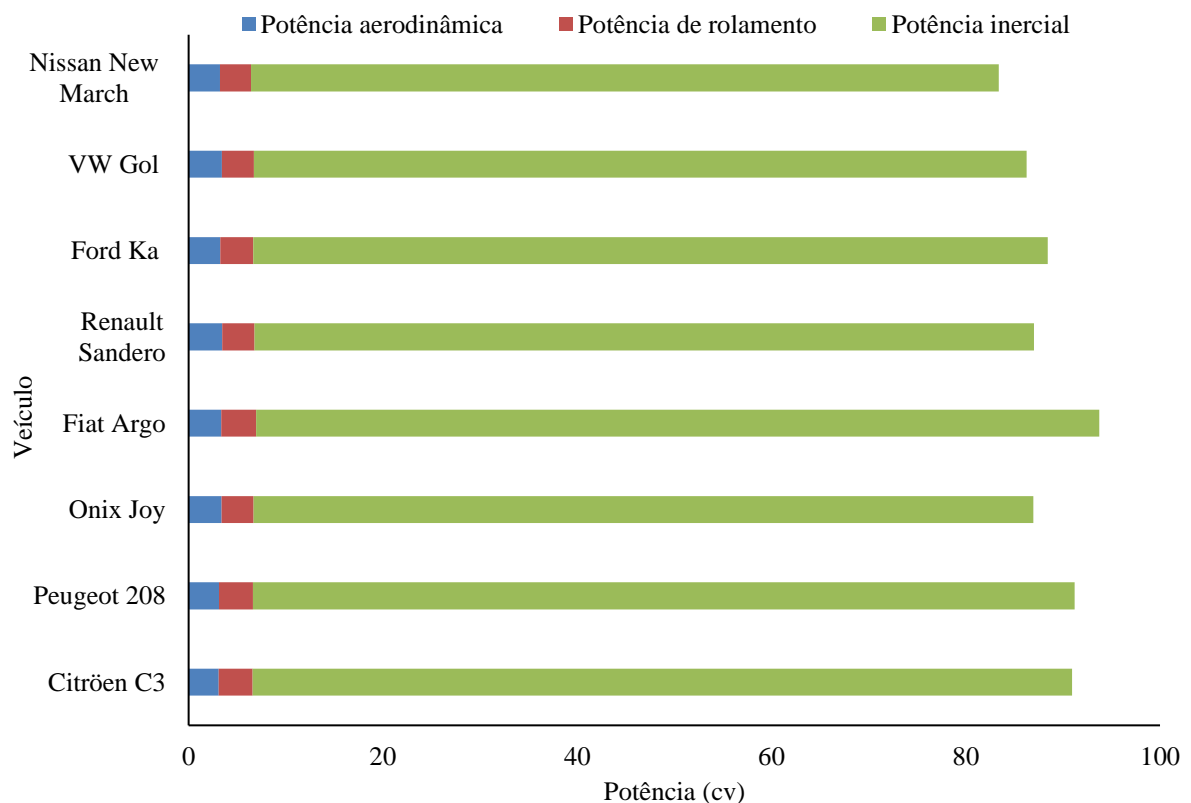
Houve dificuldade em montar uma mesma tabela, da forma das anteriores com uma coluna de aceleração, pois tal informação não foi encontrada, principalmente na forma de tempo de aceleração. Somente para o veículo Spirit CITY foi encontrado um tempo de 9,5 s para acelerar de 0 a 80 km/h. Isso fornece uma aceleração de, aproximadamente,  $2,34\text{m/s}^2$ . Esse valor será usado para elaborar um novo gráfico de potência demandada pelos 8 veículos estudados.

Como já mencionado, as potências aerodinâmica e de rolagem não variam com a mudança da aceleração longitudinal. No entanto, houve um aumento mais significativo na potência inercial, isso ocorreu porque esta demanda é diretamente proporcional à aceleração, então se esta última aumenta, aquela aumenta na mesma proporção.



A Figura 5 apresenta os resultados da modelagem, para este caso, aplicada a todos os modelos 8 veículos. Nele, pode-se ver que, para o veículo Citroën C3, a potência requerida, nas condições adotadas, é de 82,23 cv. Ao mesmo tempo, o fabricante informa que o modelo Citroën C3 1.2 é capaz de desenvolver uma potência máxima de 84 cv quando à gasolina. Assim, a relação dada pela Equação 10 fornece 98,29% da energia é efetivamente usada. Percebe-se que, novamente, a maior parte da demanda energética é consumida para movimentar a inércia, aproximadamente 95,4% da potência requerida.

Figura 5 - Distribuição de potências para os veículos sem inclinação e aceleração de 2,34m/s<sup>2</sup>.



Fonte: Própria autora (2020)

Com este valor de aceleração, tem-se um indicativo de possível limite de desempenho para o veículo analisado. Constata-se que pela Tabela 7 a  $P_{util}$  é quase de 100% para a maioria dos veículos. Para aqueles em que essa grandeza superou os 100%, a exemplo da análise anterior, o veículo não é capaz de atender às condições propostas.

Tabela 7 - Potências demandas para os modelos analisados considerando a aceleração de  $2,34\text{m/s}^2$ .

| Modelo                      | Potência requerida (cv) | Potência máxima (cv) | Pútil (%) |
|-----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------|
| Citroën C3                  | 82,23                   | 84                   | 95,4      |
| Peugeot 208                 | 82,46                   | 84                   | 98,17     |
| Onix Joy                    | 78,65                   | 78                   | 100,83    |
| Fiat Argo Drive             | 84,78                   | 72                   | 117,75    |
| Renault Sandero Authentique | 78,74                   | 79                   | 99,67     |
| Ford Ka Hatch S SE          | 79,97                   | 80                   | 99,96     |
| VW Gol                      | 78,04                   | 75                   | 104,05    |
| Nissan New March            | 75,43                   | 77                   | 97,96     |

Fonte: Própria autora (2020)

Uma forma de interpretar os valores da Tabela 7 é que modelos que apresentam  $P_{util}$  menor que 100% estão superdimensionados para a condição estabelecida, embora a quase totalidade da capacidade seja exigida. Aqueles com  $P_{util}$  maior que 100% estão subdimensionados para a condição estabelecida, não atenderiam às exigências estabelecida nesse estudo de caso.

Neste cenário, apesar das potências requeridas serem bastante próximas, o Nissan New March apresentou o menor valor e o Fiat Argo o maior. Contudo, o Ford Ka Hatch S SE mostrou a melhor relação com a potência máxima (potência útil maior) de 99,96%. Para este cenário, ainda se observou uma potência requerida média de 80,04 cv comparada a uma potência máxima média de 78,63 cv. Essa diferença mostra certa folga, o que se traduz no fato de alguns veículos não conseguirem atender às condições impostas por este estudo de caso.

## 5 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do presente trabalho possibilitou a realização de uma análise energética de veículos sob condições específicas no tráfego da cidade de Aracaju. Além disso, permitiu identificar que alguns dos fatores que contribuem para a determinação do consumo energético no transporte de pessoas dentre elas: relevo do terreno, tipo de terreno, tipo de combustível, geometria do veículo, modo de dirigir do motorista (i.e, aceleração) e, dessa forma poder estimar qual é o maior gasto energético.

O presente trabalho buscou identificar e modelar, através de um balanço de forças e a determinação de estudos de caso, os fatores que contribuem para o consumo energético de veículos usados no transporte individual, mesmo sendo uma abordagem simplificada.

Foi possível coletar um grande número de dados para cada veículo, 8 compactos convencionais e em seguida 11 modelos elétricos. Da mesma forma que o trânsito da

cidade foi modelado através da curva FTP-75. Um diagrama de forças foi elaborado para representar as resistências ao movimento do veículo e, assim, poder estimar a demanda energética em função da condição estabelecida de velocidade e aceleração, onde cada veículo apresentou um valor  $P_{\text{útil}}$  que variava com o estudo de caso.

Usar os veículos de forma mais eficiente requer aumentar a relação  $P_{\text{consumida}}/P_{\text{total}}$ , até o mais próximo de 100%, sendo um indicativo de que toda a potência disponível na saída do motor está sendo realmente utilizada. Para tal seria preciso reduzir o coeficiente de resistência aerodinâmica, inércias ou até desenvolver novas tecnologias que aproveitem mais a energia obtida da combustão.

Em relação aos casos estudados 1 e 2, pode-se observar que os veículos escolhidos estavam superdimensionados para as condições adotadas, conforme afirmado anteriormente, todos os carros apresentavam energia útil disponível. Neste caso, os veículos poderiam ter um melhor aproveitamento de sua capacidade instalada. Enquanto que no estudo de caso 3, a alta demanda de aceleração impôs um condição de indisponibilidade por parte do motor dos veículos estudados.

## REFERÊNCIAS

- ABOUSLEIMAN, Rami; RAWASHDEH, Osamah. Energy consumption model of an electric vehicle. **2015 Ieee Transportation Electrification Conference And Expo (Itec)**, Rochester, v. 1, n. 1, p. 1-5, jun. 2015. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/itec.2015.7165773>.
- ARAÚJO, H. M.; VILAR, J. W.C. **Encostas no ambiente urbano de Aracaju/SE**. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia, 2004, Santa Maria. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/5/6/Helio%20Mario%20de%20Araujo%202.pdf>. Acesso em 15 out 2022.
- BRUNETTI, Franco. **MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA**: volume 1. São Paulo: Blucher, 2012.
- CAUWER, Cedric de; VAN MIERLO, Joeri; COOSEMANS, Thierry. Energy Consumption Prediction for Electric Vehicles Based on Real-World Data. **Energies**, [S.L.], v. 8,n. 8, p. 8573-8593, 12 ago. 2015. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/en8088573>.
- ÇENGEL, Yunus A. **TERMODINÂMICA**. São Paulo: Amgh Editora Ltda, 2013.
- CICLO DE CONDUÇÃO FTP-75. **Vehicle Energy Simulation**, s/d. Disponível em: <https://vehicleenergysimulation.weebly.com/ciclos-de-conduccedilatildeo-dos-eua.html>. Acesso em 15 out.2022.
- LIONS. **Velocidade nas vias: entenda os limites permitidos**. Disponível em: <https://lionsmutual.com.br/velocidade-nas-vias/> Acesso em: 15 out.2022.
- INMETRO. **Tabelas PBE Veicular – Veículos Leves 2019**, 2019. Disponível em: [http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos\\_leves\\_2019.pdf](http://www.inmetro.gov.br/consumidor/pbe/veiculos_leves_2019.pdf). Acesso em 15 out.2022.
- MAGNANI, F. **Visões Sobre Duas Rodas**. Vol 1:Uma Visão Técnica, 2016. Disponível em: <http://www.fabiomagnani.com/download/apostilas/FabioMagnani-VisoesSobreDuasRodas-UmaVisaoTecnica-Termodinamica.pdf>. Acesso em: 15 out. 2022.
- MENG, J. et al. **Cellular automaton model for mixed traffic flow with motorcycles**. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, v. 380, p. 470–480, 2007.
- MORAN, Michael J. *et al.* **Princípios de Termodinâmica Para Engenharia**. 7. ed. São Paulo: Ltc Editora | Grupo Gen, 2013.
- NETO, Ivo Reck. **UMA ANÁLISE DO CONSUMO DE ENERGIA NA MOBILIDADE URBANA DE CURITIBA**. CURITIBA: UFPR, 2018.
- SASSA, Ricardo Alexandre. **Análise da Eficiência Energética de um Veículo Híbrido Hidráulico**. 2014. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014.

SMITH, Cristina Bastin. ANÁLISE DA DIFUSÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS AUTO-MOTIVAS EM PROL DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA FROTA DE NOVOS VEÍ-

**CULOS LEVES NO BRASIL.** 2010. 277 f. Tese (Doutorado) - Curso de Planejamento Energético, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

SMTT. **Radares começam a operar no dia 16,** 2018. Disponível em: <http://www.smttaju.com.br/smtt/noticias/transito/2927-radares-comecam-a-operar-no-dia-16>. Acesso em: 15 out. 2022.

SOARES, J. B. ET AL. **Atlas de Eficiência Energética,** 2019.

STARK, Anthony. **Drivetrain losses (efficiency).** Disponível em: <https://x-engineer.org/drivetrain-losses-efficiency/>. Acesso em: 15 out. 2022.

THIELE, Victor Tostes Alvim. **Avaliação de Eficiência Energética de quatro sistemas de propulsão em Veículos Leves.** 2017. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.