

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

MAYSA DA SILVA MAIA

**ANÁLISE DOS FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA
VEÍCULOS DE CARGA EM UM CORREDOR URBANO DE
MANAUS**

MANAUS

2022

MAYSA DA SILVA MAIA

**ANÁLISE DOS FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA
VEÍCULOS DE CARGA EM UM CORREDOR URBANO DE
MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à coordenação do Curso de Engenharia Civil – da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

ORIENTADORA: PROF^a. DR^a ANA MARIA GUERRA SERÁFICO PINHEIRO

MANAUS

2022

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

M217a Maia, Maysa da Silva
Análise dos fatores de equivalência para veículos de carga em um corredor urbano de Manaus / Maysa da Silva Maia . 2022
63 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro
TCC de Graduação (Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Fator de equivalência. 2. Veículos pesados de carga. 3. Mobilidade urbana. 4. Tráfego. I. Pinheiro, Ana Maria Guerra Seráfico. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

MAYSA DA SILVA MAIA

**ANÁLISE DOS FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA
VEÍCULOS DE CARGA EM UM CORREDOR URBANO DE
MANAUS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à coordenação do Curso de
Engenharia Civil – da Universidade
Federal do Amazonas, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado pela Banca Examinadora em 02 de Maio de 2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr^ª. Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro- (UFAM)

Orientadora

Prof^ª. Dra. Daniela Muniz D'Antona Guimarães- (UFAM)

Membro da Banca

MSc. Ivo Almeida Costa- (UFPA)

Membro da Banca

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela força e fé que me sustentou todos esses anos.

À Nossa Senhora, que pela sua força de mulher me inspirou nessa longa caminhada.

À minha mãe Marta Gomes, meu pai Rosivaldo Maia, minha irmã Nataly Gomes, meu irmão Francisco Evandro (in memoriam), minha base, força e motivação. Eu não seria capaz sem o amor deles.

À minha tia Helena Monteiro, que muitas vezes fez seu papel de mãe na minha vida, com seu carinho e apoio.

Aos meus colegas de classe que compartilharam desta longa jornada, mas em especial aos que estiveram ao meu lado em grupos e trabalhos como a Emanuela Bernardo, Matheus Rego, Bruna Freitas, que me ajudaram a enfrentar os desafios da vida universitária e tornaram tudo mais leve.

À minha professora orientadora: Ana Maria Guerra Seráfico Pinheiro pelo auxílio na realização deste projeto e pelos conhecimentos compartilhados.

Aos professores da Universidade Federal do Amazonas que ao longo desta formação acadêmica contribuíram para o meu crescimento educacional e profissional, dando-me capacitação para exercer com maestria minha profissão.

RESUMO

A Avenida General Rodrigo Otávio é considerada uma importante rota de acesso aos principais portos da Zona Sul de Manaus (AM), que operam grande quantidade de contêineres, e por esse motivo recebe significativo fluxo de veículos pesados de carga ao longo de toda sua extensão. Essa via, em alguns trechos, apresenta um fluxo de tráfego geral intenso e, a circulação desses veículos pesados interferem na mobilidade urbana, haja vista que suas características dimensionais, de peso total combinado, bem como a própria mecânica da locomoção, aliados aos aspectos da infraestrutura viária disponível, tem contribuído para o aumento da lentidão no trânsito. Para qualquer intervenção na malha viária, com vistas à melhorar a fluidez, é necessário uniformizar o volume de tráfego, com a adoção de fatores de equivalência, que sejam mais representativos da realidade local. Esse fator realiza a conversão do tipo de veículo de carga ou semelhante, para um valor correspondente ao de um carro de passeio. Importante frisar que o uso de fatores impróprios, pode levar à inadequadas análises e projetos de tráfego, causando sub ou superdimensionamento de facilidades de transportes, comprometendo capacidade de serviço da via. Portanto, este trabalho tem como objetivo calcular fatores de equivalência através dos métodos embasados em literatura técnico-científica, para um trecho da avenida supracitada, que apresenta uma interseção semaforizada. Uma contagem volumétrica categorizada do tráfego foi realizada no trecho analisado, com vistas à padronização através dos fatores de equivalência calculados. Dois métodos foram selecionados para esse cálculo, sendo consideradas como variáveis, as velocidades operacionais, as áreas dos veículos e os tempos de manobras observados para a passagem dos veículos de carga e de passeio, na interseção em estudo. A seguir, os fatores de equivalência para veículos pesados de carga calculados, foram comparados com os valores adotados pelo manual americano (*Highway Capacity Manual - HCM*), adotado no Brasil para análise de capacidade viária. Também, foram comparados com os fatores apresentados no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) e com os fatores adotados pelo órgão gestor municipal de Manaus (AM), em estudos de tráfego realizados em 2013, pelo extinto MANAUSTRANS, atual IMMU. Os fatores calculados, também, foram utilizados para fazer uma simulação e análise de sensibilidade quanto à variação do fator de ajuste para veículos pesados no fluxo de saturação, proposto pelo HCM (TRB, 2010) para o dimensionamento de semáforos. Como principais resultados destacam-se: (a) as divergências entre os fluxos de tráfego uniformizados com os fatores de equivalência para veículos de carga recomendados DNIT e IMMU, sendo 2 e 4, respectivamente; (b) uma tabela com os fatores de equivalência calculados pelos métodos selecionados na literatura técnico-científica, considerando a tipologia de veículos de carga, com variações entre 3,2 a 18,6; e, (c) os diferentes valores calculados para o fator de ajuste no fluxo de saturação (metodologia HCM), considerando os fatores de equivalência adotados pelo DNIT, IMMU e pelos métodos propostos neste estudo. O trabalho conclui pela necessidade de maiores investigações a respeito de fatores de equivalência de carga, que sejam mais condizentes com a realidade das cidades brasileiras.

Palavras-chave: Fator de equivalência; Veículos pesados de carga, Mobilidade urbana.

ABSTRACT

Avenida General Rodrigo Otávio is considered an important access route to the ports of the significant South Zone of Manaus (AM), which handles a large number of containers, and to the main reasons for transporting cargo along its length. This road, in urban sections, has a general traffic and the circulation of these general vehicles interferes with mobility, given that its intense characteristics, of total combined flow, as well as the mechanical flow of locomotion, combined with aspects of locomotion infrastructure available, has contributed to the increase in traffic delays. For any intervention in the road network, with a view to improving fluidity, it is necessary to standardize the volume of traffic, with the adoption of equivalence factors, which are more representative of the local reality. This factor converts the type of cargo vehicle or similar to a value corresponding to that of a passenger car. It is important to emphasize the use of imp factors, it can lead to the perception that services and service projects, duly identified via sub or superdimension of transport facilities, jeopardize the service. Therefore, this work aims to calculate the equivalence factors through methods based on the technical-scientific literature, for a stretch of the aforementioned avenue, which has a traffic light intersection. A categorized volumetric count of the traffic between the two operated vehicles were not considered as selected equivalence areas, being considered as operations for operational operations, such as the maneuver times observed between the two selected vehicles, the passage of freight and passenger vehicles, at the intersection under study. Next, the equivalence factors for the calculation means of transport of loads were compared with the values of analysis of application of the American manual (Highway Manual - HCM), the capacity of adoption in Brazil for the use. In addition, they were compared with the factors presented in the DNIT Traffic Studies Manual (2006) and with the mechanisms adopted by the municipal management body of Manaus (AM), in traffic carried out in 213, by the extinct MANAUSTRANS, current IMMU. The calculated factors were also used to perform a simulation and sensitivity analysis regarding the variation of the adjustment factor for heavy vehicles in the saturation flow, proposed by the HCM (TRB, 2010) for the design of traffic lights. As main results, the following stand out: (a) the divergences between the traffic flows standardized with the equivalence factors for recommended freight vehicles DNIT and IMMU, being 2 and 4, respectively; (b) a table with the equivalence factors calculated by the methods selected in the technical-scientific literature, considering the typology of freight vehicles, with variations between 3.2 and 18.6; and, (c) the different values calculated for the adjustment factor in the saturation flow (HCM methodology), considering the equivalence factors adopted by DNIT, IMMU and by the methods proposed in this study. The work concludes by the need for further investigations regarding load equivalence factors, which are more consistent with the reality of Brazilian cities.

Keywords: equivalence fator; heavy vehicles, urban mobility,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Esquema da estruturação do trabalho	17
Figura 2- Trecho de estudo: Avenida Rodrigo Otávio, Bairro Japiim, Zona Sul de Manaus ..	26
Figura 3- limitação da curva na via estudada	27
Figura 4 -Ponto 1: Ponto inicial de estudo- Intersecção semaforizada.....	27
Figura 5- Ponto 2- Ponto de referência, Farmácia Farmabem.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Fórmulas do PCE, por diversos autores	21
Tabela 2- Dimensões básica de projeto	23
Tabela 3- PCE IMMU	24
Tabela 4- Fatores de equivalência Manual de Tráfego do DNIT	24
Tabela 5-Resumo da caracterização da via de estudo	28
Tabela 6-Exemplos de veículos de carga retirado das gravações in loco.....	29
Tabela 7- Contagem do fluxo de tráfego categorizado-dia 10/03/2022	34
Tabela 8- Contagem do fluxo de tráfego categorizado-dia 11/03/2022	34
Tabela 9-Base de dados de veículos de carga passantes na curva.....	36
Tabela 10-Tempo de manobra dos veículos de passeio	37
Tabela 11-Tempo médio de manobra de carros de passeio.....	38
Tabela 12- Áreas e velocidades dos veículos de carga.....	39
Tabela 13- Pesquisa de dimensões de carros populares	39
Tabela 14- Cálculo da área para veículos de passeio	40
Tabela 15- Tabela resumo dos PCE's geral por categoria de veículo de carga.....	40
Tabela 16- PCE específico	40
Tabela 17- PCE geral e específico.....	41
Tabela 18- Fluxo de veículos por hora	42
Tabela 19- Cálculo do volume horário dia 10/03/2022.....	45
Tabela 20- Cálculo do volume horário dia 11/03/2022.....	46
Tabela 21 - Tempos médio de manobra para veículos de carga.....	48
Tabela 22- Resumo dos fatores de equivalência estudados x padronizados	51
Tabela 23- f_{HV} e FS para fatores de equivalência do Método Chandra e sikdar (2000).....	51
Tabela 24- f_{HV} e FS para fatores de equivalência do Método Craus et. al (1980).....	52
Tabela 25- f_{HV} e FS para fatores de equivalência padronizados.....	52
Tabela 26- Fluxo de Saturação- Método de Chandra e Sikdar (2000)	52

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- Variação do PCU para diferentes tipos de veículos	15
Gráfico 2- Fluxo de veículos específicos- dia 10/03/2022	42
Gráfico 3- Fluxo geral de veículos-10/03/2022.....	42
Gráfico 4- Porcentagem de veículos de carga categorizado-10/03/2022	43
Gráfico 5- Fluxo de veículos específicos- dia 11/03/2022	43
Gráfico 6- Fluxo geral de veículos-10/03/2022.....	44
Gráfico 7- Porcentagem de veículos de carga categorizado-10/03/2022	44
Gráfico 8- Fluxo de tráfego comparativo	45
Gráfico 9- Volume horário IMM U X DNIT.....	46
Gráfico 10- Volume horário IMM U X DNIT.....	47
Gráfico 11- Volume de tráfego DNIT X IMM U	47
Gráfico 12- Tempo médio de manobra dos veículos de carga	48
Gráfico 13- PCE GERAL	49
Gráfico 14- PCE específico por situação de tráfego.....	50
Gráfico 15- PCE's pelo método dos tempos de atraso	50
Gráfico 16- Fluxo de saturação- Método Craus et. al (1980)	52
Gráfico 17- Fluxo de saturação- IMM U X DNIT	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

DNIT: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IMMU: Instituto Municipal de Mobilidade Urbana

HMC: Highway Capacity Manual

IMTC: Indicadores de Mobilidade para Transporte de Carga

PLANMOB: Plano de Mobilidade de Urbana

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivos Gerais.....	15
1.3 Estrutura do trabalho.....	16
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Highway Capacity Manual	17
2.2 Conceito de Fator de Equivalência	18
2.3 Tipos de veículos de carga.....	18
2.4 Método de Cálculo dos fatores de equivalência	19
2.5 Volume de tráfego	23
3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS	26
3.1 Caracterização da área de estudo	26
3.2 Exemplificação dos tipos de veículos de carga	28
3.3 Fluxo de tráfego categorizado	34
3.4 Tempo de manobra dos veículos	35
3.5 Método Chandra e Sikdar (2000)	38
3.6 Método Craus et. al (1980)	41
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	41
4.1 Fluxo de tráfego	41
4.2 Volume horário	45
4.3 Método Chandra e Sikdar	49
4.4 Método Craus et al, 1980.....	50
4.5 Resumo dos PCE's estudados x padronizados	50
4.6 Fluxo de saturação	51
5 CONCLUSÃO	54

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Conforme aponta Oliveira (2012), a crescente urbanização das cidades brasileiras acrescida à falta de políticas públicas eficazes no desenvolvimento urbano sobretudo aos veículos de carga trouxe diversos problemas na mobilidade tanto dos veículos pesados quanto para os de passeio, o que acarreta em uma logística deficiente nos corredores urbanos nas grandes cidades, por isso conforme Fernandes (2014), deve-se garantir nível de serviço que sejam compatíveis com o fluxo de tráfego e deslocamento de veículos. Conforme Silva e Bracarense (2015) os veículos pesados interferem de forma mais incisiva no congestionamento da via por normalmente trafegarem em velocidades menores devido ao seu comprimento e peso que carregam, desta forma se faz necessário uma análise destes veículos na via para identificar os problemas gerados por seu tráfego em vias voltadas para veículos de passeio.

Os veículos de cargas possuem grande importância no desenvolvimento da economia em uma cidade, visto a sua grande influência no transporte de mercadorias que movimentam o ambiente urbano. Conforme Neto (2007), a indústria de veículos de carga tem realizado modificações nas características dos veículos e a tendência do mercado é o aumento dessa carga de transporte. Embora haja relevância e demanda crescente pela movimentação de mercadorias no ambiente urbano, há uma ineficácia das políticas públicas na providência de serviços que condicionem a uma melhor logística para melhor mobilidade dos veículos de carga (DABLANC, 2007).

Cherrett et al. (2012) afirma que não houve um cuidado no desenvolvimento de políticas públicas voltadas para o transporte urbano de cargas como foi para os veículos-tipo cuja dimensão, em alguns casos, é veementemente inferior à dos veículos de carga e, portanto, dificulta sua circulação. Trazendo essa perspectiva para a Cidade de Manaus, o Plano de Mobilidade Urbana do Município de Manaus (PlanMob-Manaus), apresenta indiligência quanto a importância dos veículos de carga, comparada à atenção dada para o transporte urbano de passageiros, veículos de passeio, o que demonstra carência de dados e de indicadores que busquem dar a devida importância a esse tipo de transporte.

Conforme assegura Costa (2008), os indicadores urbanos são instrumentos importantes para o diagnóstico de mobilidade nos centros urbanos, pois permitem o acompanhamento dos fatores que regem o comportamento da mobilidade urbana. Contudo, este trabalho procurar focar no fator de equivalência, um dos indicadores de mobilidade urbana, a fim de mapear os

tempos de manobras dos veículos de carga, seu fluxo categorizado de tráfego os quais podem influenciar no desempenho da capacidade viária na Avenida General Rodrigo Otávio.

1.1 JUSTIFICATIVA

Em virtude das dificuldades que ainda permanecem na inserção dos aspectos do transporte de carga dentro do planejamento urbano, este trabalho tem o intuito de analisar o desempenho de veículos de carga nos corredores viários de Manaus e as possíveis interferências na mobilidade urbana, considerando indicadores de mobilidade para transporte urbano de carga (IMTC).

Um dos problemas no cálculo da capacidade viária para interseções, seja semaforizadas ou não semaforizadas, é o uso direto de metodologias estrangeiras, como o manual americano Highway Capacity Manual- HCM, o mais conhecido e utilizado no estudo da capacidade viária e nível de serviço do sistema viário, como afirma Dermachi (2000). A problemática do uso direto dos dados é a diferença entre as características dos veículos de carga brasileiros e americanos, visto que estes adotam tempos de conversão dos veículos, considerando, por exemplo, dimensões e relação peso/potência, que costumam diferenciar das adotadas no Brasil.

Esses tempos de conversão influenciam no fator de equivalência que se adota, para o tratamento do tráfego global de uma via. Conforme Dermachi (2000), faz-se uma conversão do fluxo de tráfego real para um hipotético e para tal, é necessário uniformizar os veículos, a qual é permeada pela equivalência de todos os tipos de veículos, com um veículo de passeio, considerado veículo padrão, a fim de haver uma padronização do veículo cuja análise para a capacidade viária e nível de serviço também o seja.

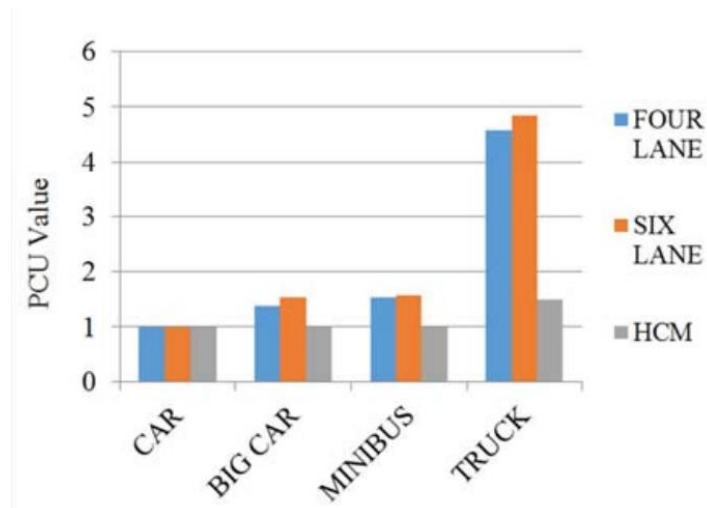
Os tempos de manobras, em segundos, adotados nas tabelas americanas, não condizem com a realidade brasileira. No caso do município de Manaus, segundo o Instituto Municipal de Mobilidade Urbana (IMMU) é adotado um fator de equivalência para veículos de carga pesada igual a 4 (quatro), porém, não há estudos confirmando esse valor. Considerando-se a diferença nas características entre os veículos brasileiros e americanos se evidencia que os fatores de equivalência do HCM devem ser adaptados para a realidade brasileira, conforme afirma Dermachi (2000), desta forma se justifica o estudo que aspire a uma melhor adaptação do

modelo americano HCM, à realidade dos veículos de carga brasileiros, e ao questionamento dos índices preconizados por órgãos referências como IMMU e DNIT.

Segundo Quezon et. Al 2021, houve uma divergência quanto ao valor encontrado no estudo de caso realizado e o valor validado pelo HCM. O fator de equivalência (PCU) encontrado para veículos de carga em quatro e seis pistas foi de 4,6 e 4,9, respectivamente, enquanto o valor do HCM apontava para o valor de 1,5. Essa divergência de valores pode ser prejudicial para futuras análises de fluxo de tráfego da via, podendo causar distorções em sua capacidade de serviço,

Por isso, se faz importante um estudo a respeito do fator de equivalência para correta análise e classificações posteriores para a rodovia.

Gráfico 1- Variação do PCU para diferentes tipos de veículos



Fonte: Quezon et. Al, 2021.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivos Gerais

Analisar os fatores de equivalência para veículos de carga na Avenida General Rodrigo Otávio conforme a sua tipologia.

Objetivos específicos

- Caracterizar a intersecção semaforizada na Avenida General Rodrigo Otávio.

- Levantar dados operacionais na Avenida General Rodrigo Otávio, como o fluxo categorizado de veículos e tempos de manobras dos veículos de carga, conforme tipologia;
- Calcular os fatores de equivalência para veículos de carga considerando os métodos levantados na literatura técnico- científica;
- Fazer uma análise comparativa dos fatores de equivalência calculados com os fatores pré-estabelecidos por órgãos referências, como IMMU e DNIT.

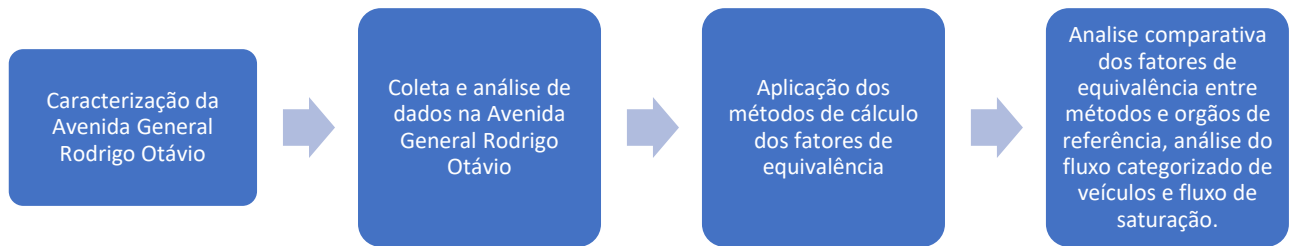
1.3 Estrutura do trabalho

Foram feitos levantamentos em literatura técnico-científica, para embasar o presente estudo, sobre parâmetros que devem ser considerados no cálculo de fatores de equivalência para transporte de carga como os tempos de manobra em curva. Esta fase auxiliou na composição do referencial teórico tendo como base periódicos nacionais e internacionais, repositórios institucionais, artigos científicos e anais de congressos.

Foi realizada a caracterização da Avenida General Rodrigo Otávio a qual é a via em estudo e apresentados os dados coletados nas visitas in loco para a análise das condições existentes referentes à geometria local e o uso da via em estudo, bem como o tráfego observado na região. Os dados necessários foram obtidos através de filmagens e fotos para a determinação do fluxo no local, tempo de manobra dos veículos de carga nas situações do semáforo verde e em situação da via colapsada. No auxílio do levantamento de dados foram utilizadas as ferramentas disponíveis no Google Earth, Google Maps.

Após o levantamento e coleta de dados, foi realizado o tratamento dos dados coletados, e aplicados aos métodos para o cálculo do fator de equivalência em trechos com curva. Após aplicação, foi realizada análise comparativa dos fatores de equivalência encontrados através da aplicação dos métodos da literatura técnico-científica e as referências do DNIT e IMMU os quais são os órgãos gestores municipais que estabelecem fatores de equivalência padrões, além de verificar a existência de discrepâncias entre esses fatores, além da apresentação do fluxo categorizado de veículos e fluxo de saturação.

Figura 1- Esquema da estruturação do trabalho



Fonte: Autor, 2022.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Highway Capacity Manual

Conforme Setti (2009), a qualidade de serviço passou a ser um parâmetro usado pelos engenheiros para avaliar o fluxo viário das rodovias e analisar sua capacidade e nível de serviço. Para isso, o Highway Capacity Manual ou HCM, é utilizado como referência no assunto, sendo mais difundido conforme aponta Dermachi (2000), visto que o mesmo apresenta um conjunto de fatores e metodologias que definem, sistematizam e padronizam a qualidade de serviço, de tal modo que estimam a capacidade viária e determinam o nível de serviço das vias urbanas e rodovias (Setti, 2009).

Fernandes (2014), alega que o manual foi desenvolvido para atender ao sistema rodoviário americano, mas que por sua relevância e importância foi utilizado em planos rodoviários de países desenvolvidos e emergentes. Embora haja eficácia e utilização, Fernandes (2014) alerta para os cuidados que se deve ter na sua utilização do manual nos estudos para os sistemas rodoviários sem uma adaptação e verificação de aplicabilidade de país para país, cidade ou lugar, pois o Manual foi destinado para estudar estradas americanas, logo, possui grande quantidade de dados americanos, os quais divergem ou podem divergir das características viárias do país ou região de estudo.

Conforme Fernandes (2014), o HCM é o manual americano mais utilizado como referência para extração de dados como fator de equivalência e capacidade do nível de serviço da via. O mesmo chama atenção para as especificidades com as quais o Manual foi feito utilizando as características das vias americanas e orienta para certos cuidados ao aplicar em estudos feitos

em outras áreas que não se assemelhem às condições as quais foram submetidas o Manual, pois as realidades das rodovias em diferentes países tendem a ser diferentes e ter suas próprias características e especificidades, diferindo para cada região ou país.

2.2 Conceito de Fator de Equivalência

Conforme Dermachi (2000), o fator de equivalência veicular é o modo como um determinado número de veículos de passeio passando em fluxo, pode ser equiparado da mesma maneira que o veículo de carga, interferindo na sua capacidade de serviço e operação. Quezon et. al (2021) afirma que o fator de equivalência é a conversão de um fluxo de tráfego composto pela mistura de veículos em um fluxo equivalente composto por carros de passeio, uma vez que o fator ajuda na transformação de tráfego com fluxo composto em homogêneo para efeitos de comparação e estudos.

Dermachi (2000) afirma que sua função é fazer uma conversão que seja possível analisar a capacidade viária e o nível de serviço utilizando-se de um veículo padrão, logo, o fluxo real de tráfego é convertido para um fluxo fictício em função de veículos de passeio.

2.3 Tipos de veículos de carga

O Manual de Estudos de Tráfego (DNIT) dispõe de uma classificação dos veículos comerciais que circulam no país e as características específicas dos veículos. O que possibilita a classificação são as características que compõem o veículo, como a quantidade de eixos e grupos de eixos independentemente da rodagem. As classes são representadas através de códigos alfanuméricos nos quais o primeiro algarismo representa o número de eixos do veículo simples ou da unidade tratora, enquanto que o segundo algarismo, caso exista, indica a quantidade de eixos das unidades rebocadas. No manual são apresentadas diversas classificações para todos os tipos de veículos, no entanto para este trabalho serão apresentados apenas a simbologia dos tipos de veículos coletados:

C = Veículo simples (caminhão ou ônibus) ou veículo trator + reboque;

S = Veículo trator (cavalo mecânico) + semirreboque;

J = Veículo trator + semirreboque com um eixo isolado e um eixo em tandem;

D = Combinação dotada de 2 (duas) articulações;

T = Combinação dotada de 3 (três) articulações;

B= Ônibus

D = Combinação dotada de 2 (duas) articulações;

Os tipos de veículos encontrados foram:

B= Ônibus;

2C= Caminhão;

3C= Caminhão trucado;

2S1= Caminhão trator (cavalo mecânico) com 2 eixos + semirreboque com 1 eixo;

2S2= Caminhão trator (cavalo mecânico) com 2 eixos + semirreboque com 2 eixos;

2S3= Caminhão trator + semirreboque;

3S2= Caminhão trator (cavalo mecânico) com 3 eixos + semirreboque com 2 eixos;

3S3= Caminhão trucado + semirreboque;

3D4= Bitrem articulado (Caminhão trator trucado + dois semirreboques);

3T6 = Caminhão trator com 3 eixos + 2 ou 3 semirreboques com 6 eixos - rodotrem ou tritrem.

No anexo 1, estão dispostos os veículos de carga que foram utilizados na Monografia.

2.4 Método de Cálculo dos fatores de equivalência

Shalini e Kumar (2014), fazem uma revisão dos fatores de equivalência que podem ser calculados através de diferentes métodos e diferentes variáveis propostos por diversos autores.

Conforme Dermarchi e Setti (2003) propuseram, o fator de equivalência veicular chamado de PCE (Passenger car equivalent), pode ser definido pela fórmula abaixo:

$$PCE = \frac{1}{\sum_i^n P_i} \left(\frac{q_B}{q_M} - 1 \right) + 1 \quad (1)$$

No qual pode-se discriminar as variáveis:

P_i = Porcentagem total de caminhões na corrente de tráfego;

q_B = taxa de fluxo da corrente contendo apenas automóveis;

q_M = taxa de fluxo da corrente contendo automóveis e veículos pesados.

Conforme diversos autores (Chandra e Sikdar, 2000; Chandra e Ghosh, 2015; Cunha e Setti, 2009), utilizam o método através das velocidades e áreas dos veículos para estimar os valores do fator de equivalência, através da seguinte formulação:

$$PCE_i = \frac{\frac{V_c}{V_i}}{\frac{A_c}{A_i}} \quad (2)$$

Sendo:

V_c e V_i = Velocidades médias dos carros e veículos de carga, respectivamente, e conforme os tempos de manobras levantados;

A_c e A_i = Suas respectivas áreas retangulares projetadas (comprimento * largura) na rodovia.

Outro método utilizado para o cálculo do fator de equivalência é o de Craus et. al (1980) o qual está relacionado com o tempo de atraso que os veículos levam para passar um semáforo, seja interferido por fatores como o congestionamento ou o tempo de manobra para fazer a curva em uma rodovia. O fator de equivalência pode ser dado através da razão entre o tempo de atraso médio causado pelo caminhão, sobre o tempo de atraso que um carro levaria. Desta forma, têm-se a seguinte fórmula:

$$PCE = \frac{d_{kt}}{d_{kp}} \quad (3)$$

Sendo:

d_{kt} = Tempo de atraso do veículo de carga;

d_{kp} = Tempo de atraso do carro de passeio.

Conforme o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), a velocidade pode ser definida de várias formas, dentre elas:

“Velocidade: é a relação entre o espaço percorrido por um veículo (d) e o tempo gasto em percorrê-lo (t). Se chamamos de V a velocidade, então $V = d/t$.”

Em estudos de tráfego a velocidade é usualmente determinada em km/h, logo, a fórmula utilizada para obtenção da velocidade é:

$$V = \frac{d}{t} \quad (4)$$

Sendo:

d=espaço percorrido;

t= tempo necessário para percorrer determinado espaço.

De acordo com a revisão de Shalini e Kumar (2014), estudos foram realizados por diversos autores com o objetivo de mostrar a divergência entre os fatores de equivalência de acordo com as condições de tráfego e especificidades de cada região. Por isso, demonstram disposição em mostrar os diversos métodos estudados pelos autores para o cálculo do fator de equivalência conforme a tabela 1 abaixo:

Tabela 1-Fórmulas do PCE, por diversos autores

Autores	Fórmula para PCE	Variáveis
John e Glauz, 1976	$PCE = \frac{q_B - q_M(1 - P_T)}{q_M \times P_T}$	q_B = taxa de fluxo da corrente contendo apenas para automóveis
Huber (1982); Dermachi e Setti (2003)	$PCE = \frac{1}{P_T} \left(\frac{q_B}{q_M} - 1 \right) + 1$	q_M = taxa de fluxo da corrente contendo automóveis e veículos pesados; P_T = proporção de caminhões no fluxo de tráfego misto
Rahman e Nakamura (2005)	$PCE = \frac{1}{\nabla P} \left(\frac{q_B}{q_s} - \frac{q_B}{q_M} \right) + 1$	q_s = taxa adicional de veículos no fluxo de tráfego; ∇P =proporção de veículos de passeio.
Greenshields et. al., (1947)	$PCUi = \frac{H_i}{H_c}$	H_i = headway médio do tipo de veículo de carga; H_c =headway médio do carro de passeio.
Wener e Morrall (1976)	$PCE = \frac{\frac{H_M}{H_B} - P_c}{P_T}$	H_M =o intervalo médio para uma amostra que inclui todos os tipos de veículos; H_B == é o intervalo médio apenas para uma amostra de carros de passeio; P_c =é a proporção de carros; P_T =é a proporção de caminhões.
Chandra e Sikdar (2000)	$PCEi = \frac{Vc}{Vi} \frac{Ac}{Ai}$	V_c e V_i = velocidades médias dos carros e veículos de carga, respectivamente, e conforme os tempos de manobras levantados; A_c e A_i = suas respectivas áreas retangulares projetadas (comprimento * largura) na rodovia.

Craus et al. (1980)	$PCE = \frac{d_{kt}}{d_{kp}}$	dk _t = o tempo de atraso do veículo de carga; dk _p = o tempo de atraso do carro de passeio.
Cunagin e Chang (1982)	$PCE = \frac{H_{ij}}{H_B}$	H _{ij} = o intervalo médio de atraso do veículo tipo i nas condições j H _B =o intervalo médio de atraso dos automóveis de passageiros.

Fonte: Shalini e Kumar (2014).

Conforme o Quadro de Fabricantes de Veículos do DNIT, Manual de Procedimentos de Fiscalização em Postos de Pesagem Veicular (2018) e Resolução CONTRAN nº 210 de 13/11/2006, foram estabelecidos comprimentos máximos para comprimentos e largura dos tipos de veículos de carga e articulados. Conforme art. 1º, as dimensões autorizadas para veículos, com ou sem carga, são com largura máxima de 2,60 metros e comprimento total para veículos não-articulados máximo de 14,00 metros. Para veículos articulados com duas unidades, do tipo caminhão-trator e semirreboque: máximo de 18,60 metros e para veículos articulados com duas unidades do tipo caminhão ou ônibus e reboque: máximo de 19,80, conforme dispostos no anexo 2.

Conforme a Tabela 2 retirada do Manual de tráfego do DNIT, 2006, preconiza as principais dimensões básicas dos veículos de projeto da qual pode-se retirar as dimensões que serão utilizadas para o cálculo de área e usadas para a obtenção do fator de equivalência. Os veículos podem ser classificados em categorias e para isso classifica conforme as nomenclaturas abaixo:

VP - Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo minivans, vans, utilitários, pick-ups e similares.

CO - Representa os veículos comerciais rígidos, não articulados. Abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e quatro a seis rodas.

O - Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Entre estes incluem-se os ônibus urbanos longos, ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos, frequentemente com três eixos (truck), de maiores dimensões que o veículo CO básico. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal admissível para veículos rígidos.

SR - Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples (cavalo mecânico) e um semirreboque. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria.

RE - Representa os veículos comerciais com reboque. É composto de uma unidade tratora simples, um semirreboque e um reboque, frequentemente conhecido como bitrem. Seu comprimento é o máximo permitido pela legislação.

Abaixo podem ser encontradas as dimensões básicas recomendadas para utilização nos projetos de rodovias.

Tabela 2- Dimensões básica de projeto

Designação do veículo tipo Características	Veículos leves (VP)	Caminhões e ônibus convencionais (CO)	Caminhões e ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)	Reboques (RE)
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8	19,8
Raio min. da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7	13,7
Raio min. da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0	6,9

Fonte: Manual de tráfego do DNIT, 2006.

2.5 Volume de tráfego

Conforme o Manual do DNIT o volume de tráfego é uma das características fundamentais para determinar os aspectos do tráfego. Este tipo de dado combinado com outros dados como a velocidade e densidade da via, auxiliam na avaliação da fluidez e melhoras que a via pode ter.

O volume de tráfego pode ser definido como o número de veículos que passa em um fluxo da via em determinada hora e dia. Pode ser expresso em veículos por hora ou veículos por dia segundo o Manual de Estudo de Tráfego do DNIT (2006). O volume horário avalia as variações de tráfego durante o dia e determina o volume de veículos passantes em uma faixa de rodovia e uma determinada hora.

O IMMU (2013), preconiza fatores de equivalência para o fluxo categorizado de veículos, e estabelece fatores de equivalência padrões para cada categoria conforme mostrado abaixo:

Tabela 3- PCE IMM U

PCE (IMMU, 2013)	
Automóveis	1
Motos	0,5
Ônibus comum	2
Articulado	4
Caminhão	2
Carreta	4

Fonte: IMM U, 2013.

O Manual de tráfego do DNIT (2006), preconiza fatores de equivalência conforme o HCM (2000), no qual estabelece fatores por tipos de veículos de acordo com a tabela 4 abaixo:

Tabela 4- Fatores de equivalência Manual de Tráfego do DNIT

Tipo de Veículo	VP	CO	SR/RE	M	B	SI
Fator de equivalência	1	1,5	2	1	0,5	1,1

Fonte: Manual de Tráfego do DNIT, 2006.

2.7 Fluxo de saturação

Conforme o Manual Brasileiro de Sinalização de Tráfego (2014) o fluxo de saturação é o número máximo de veículos que podem passar por uma sinalização semaforizada no tempo de verde por uma hora inteira. Por isso, este fluxo depende das condições impostas pela via:

“O Fluxo de Saturação é afetado pelas condições da via, do tráfego e do ambiente. Em relação às condições da via, os fatores mais importantes são a topografia, geometria, o número e a largura das faixas, e o estado do pavimento. Em função dessas condições, seu valor em geral varia entre 1600 e 2000 unidades de carro de passeio por hora por faixa. Quanto às condições do tráfego, o fluxo de saturação é influenciado pela composição do tráfego veicular (tipos de veículos), pelo volume de pedestres e por eventuais interferências tais como pontos de ônibus próximos ou estacionamentos.”

De acordo com o que o Plano de Sinalização de Tráfego (2014) recomenda o fluxo de valor geral de 1600 a 2000 ucp/hora são os mais usuais, o qual em situações típicas o fluxo de saturação é igual a 1800 ucp/hora. O Manual apresenta uma estimativa do fluxo de saturação para as características das via, como o número de faixas. Na expressão abaixo, pode-se verificar que o fluxo básico por faixa é ajustado através de fatores de ajustes:

$$S = s_o \times N \times f_w \times f_{HV} \times f_g \times f_p \times f_{bb} \times f_a \times f_{LU} \times f_{LT} \times f_{RT} \times f_{Lpb} \times f_{Rpb} \quad (5)$$

sendo:

S = fluxo de saturação para o conjunto de faixas, expresso em vph;

s_o = fluxo de saturação básico por faixa, expresso em ucp/h;

N = número de faixas no conjunto de faixas;

f_w = fator de ajuste para largura da faixa;

f_{HV} = fator de ajuste para presença de veículos pesados;

f_g = fator de ajuste para o greide da aproximação;

f_p = fator de ajuste para presença/atividade de estacionamento;

f_{bb} = fator de ajuste para parada de ônibus junto à interseção;

f_a = fator de ajuste para tipo de área onde a interseção se localiza;

f_{LU} = fator de ajuste para utilização de faixa de trânsito;

f_{LT} = fator de ajuste para conversões à esquerda;

f_{RT} = fator de ajuste para conversões à direita;

f_{Lpb} = fator de ajuste para o impacto da presença de pedestres/ciclistas sobre conversões à esquerda;

f_{Rpb} = fator de ajuste para o impacto da presença de pedestres/ciclistas sobre conversões à direita.

Visto que o estudo dá ênfase para veículos pesados, o manual estipula a expressão do F_{HV} , para o cálculo do fator de ajuste considerando apenas veículos pesados;

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + HV(E_T - 1)} \quad (6)$$

Sendo:

HV = porcentagem de veículos pesados no grupo de movimentos que utiliza o conjunto de faixas;

E_T = fator de equivalência para veículos pesados ($E_T = 2,0$ ucp/veículo pesado);

3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

3.1 Caracterização da área de estudo

Para a pesquisa foram levantados dados de campo a respeito da quantidade, tipologia e tempos de manobra dos veículos de carga que passam em determinado horário em uma interseção semaforizada da Rodrigo Otávio, no bairro Japiim, Zona Sul de Manaus, em horários pré-determinados da semana do mês de setembro de 2021, às 14h00.

A finalidade do levantamento de dados na rota selecionada foi de analisar o fluxo de veículos categorizado destacando-se o veículo de carga, gravação por vídeos dos seus tempos de manobra ao passar pelo semáforo da interseção. Para as análises feitas, foram considerados tipos de veículos de carga de acordo com seus eixos conforme o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) a fim de encontrar uma padronização em seus tempos de manobra, dentro da sua categoria. Abaixo pode-se observar o caminho feito com o auxílio da ferramenta Google Maps para traçar o caminho total considerado para as análises do fator de equivalência.

Figura 2- Trecho de estudo: Avenida Rodrigo Otávio, Bairro Japiim, Zona Sul de Manaus



Fonte: Google Maps, 2022.

A via é caracterizada por ser transversal indireta conforme o Plano de Mobilidade Urbana do Município de Manaus (2015) pois é responsável pelo fluxo gerado pelo Porto e Polos Industriais de Manaus. A via é composta de duas faixas de tráfego com aproximadamente 6 metros de largura.

Figura 3- limitação da curva na via estudada



Fonte: Street View 2022.

Foi escolhida para o estudo, a intersecção semaforizada da Avenida General Rodrigo Otávio, na qual é caracterizada por possuir como ponto inicial a intersecção semaforizada na curva à direita na Avenida e com término no ponto de referência Drogaria FarmaBem.

Figura 4 -Ponto 1: Ponto inicial de estudo- Intersecção semaforizada



Fonte: Street View 2022.

Figura 5- Ponto 2- Ponto de referência, Farmácia Farmabem



Fonte: Street View, Google Earth, 2022.

Para efeito de entendimento foram dispostos na tabela o ponto inicial e final bem como os seus respectivos pontos de referências.

Tabela 5-Resumo da caracterização da via de estudo

Trecho	Ponto Inicial	Ponto de referência	Ponto Final	Ponto de referência	Característica do trecho
Trecho estudado	1	Intersecção semaforizada	2	Farmácia FarmaBem	Fluxo semaforizado, em curva

Fonte: Autor, 2022.

3.2 Exemplificação dos tipos de veículos de carga

Conforme o anexo 1, pode-se observar alguns tipos de exemplos de veículos de carga conforme o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006) e para ilustrar os veículos de carga passantes na Avenida General Rodrigo Otávio para ambas análises foi compilado na tabela 6 todos os veículos de carga encontrados. Foram elencados exemplos para cada categoria retirados da gravação feita in loco.

Tabela 6-Exemplos de veículos de carga retirado das gravações in loco

Tipo de veículo de carga	Exemplo retirado das gravações in loco
2CB	
2C	



3C



2S3





3D4



4C



2S1



2S2



3S2





Fonte: Autor, 2022.

3.3 Fluxo de tráfego categorizado

Foi realizada a contagem do fluxo categorizado de veículos na Avenida General Rodrigo Otávio na qual ocorreu no dia 10 de março de 2022, no horário das 14h às 15h e 11 de março de 2022, no horário das 15h às 16h. Foram categorizados os veículos de carga e também, as caminhonetas, motos e carros de passeio, conforme a tabela abaixo.

Tabela 7- Contagem do fluxo de tráfego categorizado-dia 10/03/2022

CONTAGEM DO FLUXO DE TRÁFEGO CATEGORIZADO-DIA 10/03/2022								
HORÁRIO	TIPO	14:00-14:15	14:15-14:30	14:30-14:45	14:45-15:00	TOTAL	% do total de veiculos	% do total de veiculos de carga
	CARRO DE PASSEIO	152	155	158	175	640	60,32%	
	CAMIONETAS	42	24	33	40	139	13,10%	
	ÔNIBUS	10	9	6	4	29	2,73%	
	MOTOS	45	38	32	37	152	14,33%	
VEÍCULOS DE CARGA	2C	0	0	6	8	14	1,32%	13,86%
	3C	3	5	11	3	22	2,07%	21,78%
	4C	1	0	1	0	2	0,19%	1,98%
	2S1	0	0	0	0	0	0,00%	0,00%
	2S2	0	1	1	1	3	0,28%	2,97%
	2S3	11	1	7	6	25	2,36%	24,75%
	3S2	1	3	1	0	5	0,47%	4,95%
	3S3	5	0	2	5	12	1,13%	11,88%
	3T6	4	4	1	9	18	1,70%	17,82%
	fHV (%)						12,25%	

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 8- Contagem do fluxo de tráfego categorizado-dia 11/03/2022

CONTAGEM DO FLUXO DE TRÁFEGO CATEGORIZADO-DIA 11/03/2022								
HORÁRIO	TIPO	15:00-15:15	15:15-15:30	15:30-15:45	15:45-16:00	TOTAL	% DO TOTAL DE VEICULOS	% DO TOTAL DE VEICULOS DE CARGA
	CARRO DE	144	152	147	249	692	54,88%	

	PASSEIO							
	CAMIONETAS	50	44	36	50	180	14,27%	
	ÔNIBUS	4	4	4	3	15	1,19%	
	MOTOS	30	38	51	113	232	18,40%	
VEÍCULOS DE CARGA	2C	17	13	16	23	69	5,47%	48,59%
	3C	2	7	9	9	27	2,14%	19,01%
	4C	0	0	0	1	1	0,08%	0,70%
	2S1	0	1	0	0	1	0,08%	0,70%
	2S2	0	1	0	0	1	0,08%	0,70%
	2S3	9	9	2	6	26	2,06%	18,31%
	3S2	0	1	0	1	2	0,16%	1,41%
	3S3	3	3	2	3	11	0,87%	7,75%
	3T6	0	0	2	2	4	0,32%	2,82%
	fHV (%)							12,45%

Fonte: Autor, 2022.

3.4 Tempo de manobra dos veículos

Foram realizadas as gravações in loco para a extração dos dados do tempo de manobra e contagem do fluxo categorizado. As filmagens para a extração do tempo de manobra foram feitas nos dias 15, 23, 24, 25 e 29 de setembro de 2021 no horário das 14h30min. Ao todo foram contabilizados 54 veículos de carga dos dias 15 a 29, das datas coletadas. Foram levantados os dados considerando a tipologia do veículo de carga, seu tempo de manobra ao atravessar o semáforo e a situação em que se encontravam ao atravessá-lo, ou seja, o seu tempo de manobra ao passar pelo semáforo e fazer a curva em tempo de verde no qual passa direto, sem interferência do congestionamento. A outra situação analisada foi a passagem dos veículos nas mesmas condições com a interferência do congestionamento, ou seja, com paradas ou estagnações no trecho em estudo. Todos esses fatores serão relevantes e influenciarão no fator de equivalência calculado posteriormente.

Estabeleceu-se um ponto para o início e fim da contabilização dos tipos de veículos a fim de extrair o tempo de manobra que os mesmos tinham em um determinado espaço com medida fixa. Por isso, foi medida a quantidade em metros do trecho em estudo. O espaçamento medido com o auxílio das ferramentas de medição do Google Earth foi de 60 metros. De posse dos dados de deslocamento em metros percorrido pelos veículos na curva e seus respectivos tempos de manobra é possível calcular suas velocidades em m/s, para o trecho em curva.

Tabela 9-Base de dados de veículos de carga passantes na curva

Item	Data	Tipo de veículo	Veloc(m/s)	Veloc(Km/h)	Congestionamento no sinal	Tempo de manobra (s)
1	15/09/2021	2S3	10,00	36,00	SIM	6
2	15/09/2021	2S3	12,00	43,20	NÃO	5
3	15/09/2021	3S3	6,67	24,00	SIM	9
4	15/09/2021	2CB	10,00	36,00	NÃO	6
5	15/09/2021	2S3	12,00	43,20	NÃO	5
6	15/09/2021	3S3	6,00	21,60	SIM	10
7	15/09/2021	3S3	7,50	27,00	NÃO	8
8	15/09/2021	3S3	20,00	72,00	NÃO	3
9	15/09/2021	2CB	20,00	72,00	NÃO	3
10	15/09/2021	2S3	8,57	30,86	NÃO	7
11	23/09/2021	2S3	12,00	43,20	NÃO	5
12	23/09/2021	2S3	20,00	72,00	NÃO	3
13	23/09/2021	2S3	15,00	54,00	NÃO	4
14	24/09/2021	3C	12,00	43,20	SIM	5
15	24/09/2021	3S3	6,00	21,60	SIM	10
16	24/09/2021	3S3	7,50	27,00	SIM	8
17	24/09/2021	3S3	1,02	3,66	SIM	59
18	24/09/2021	3S3	8,57	30,86	NÃO	7
19	25/09/2021	2S3	20,00	72,00	NÃO	3
20	25/09/2021	3S3	12,00	43,20	NÃO	5
21	25/09/2021	3C	30,00	108,00	NÃO	2
22	25/09/2021	3C	12,00	43,20	SIM	5
23	25/09/2021	3S3	12,00	43,20	NÃO	5
24	25/09/2021	3C	20,00	72,00	NÃO	3
25	25/09/2021	3C	30,00	108,00	NÃO	2
26	25/09/2021	2S3	20,00	72,00	NÃO	3
27	25/09/2021	2C	60,00	216,00	NÃO	1
28	25/09/2021	3S3	20,00	72,00	NÃO	3
29	25/09/2021	2S3	12,00	43,20	SIM	5
30	25/09/2021	2C	10,00	36,00	SIM	6
31	25/09/2021	2C	15,00	54,00	NÃO	4
32	25/09/2021	3D4	15,00	54,00	NÃO	4
33	25/09/2021	2S3	20,00	72,00	NÃO	3
34	25/09/2021	2C	30,00	108,00	NÃO	2
35	25/09/2021	2S3	15,00	54,00	SIM	4
36	25/09/2021	2S3	12,00	43,20	SIM	5
37	29/09/2021	2S3	20,00	72,00	NÃO	3

38	29/09/2021	3S3	12,00	43,20	SIM	5
39	29/09/2021	3D4	20,00	72,00	NÃO	3
40	29/09/2021	3S3	15,00	54,00	SIM	4
41	29/09/2021	2C	30,00	108,00	NÃO	2
42	29/09/2021	2C	20,00	72,00	NÃO	3
43	29/09/2021	3C	15,00	54,00	SIM	4
44	29/09/2021	2S3	1,18	4,24	SIM	51
45	29/09/2021	3S3	6,67	24,00	SIM	9
46	29/09/2021	2C	12,00	43,20	SIM	5
47	29/09/2021	2C	30,00	108,00	NÃO	2
48	29/09/2021	2S3	20,00	72,00	NÃO	3
49	29/09/2021	3C	30,00	108,00	NÃO	2
50	29/09/2021	2S3	10,00	36,00	SIM	6
51	29/09/2021	2S3	8,57	30,86	SIM	7
52	29/09/2021	2C	10,00	36,00	SIM	6
53	29/09/2021	2C	20,00	72,00	NÃO	3
54	29/09/2021	2S3	7,50	27,00	SIM	8

Fonte: Autor, 2022.

Para o cálculo do fator de equivalência considerando a curva também foi necessário a coleta de dados para o tempo de manobra dos carros de passeio. Na contagem, considerou-se carros populares, excluindo as caminhonetes da classe de veículos de passeio. Percebeu-se que a contagem em segundos não seria possível para alguns carros, pois quando o sinal estava em tempo de verde e sem congestionamento os veículos contabilizados passavam em menos de 1 segundo ou em torno desse valor. Para uma melhor precisão, para os carros de passeio, foram contabilizados com frações de segundos para obter-se tempos de manobra mais condizentes e próximos da realidade. Para cálculo do tempo de manobra, foi utilizada a diferença entre o tempo em que o veículo se encontrava no ponto inicial e no ponto final no vídeo feito para coleta. Abaixo podem ser encontrados os valores para os veículos de passeio nas mesmas situações que para veículos de carga, sendo os dados diferidos entre carros que fizeram a curva sem congestionamento e em situação colapsada.

Tabela 10-Tempo de manobra dos veículos de passeio

Carro	Tempo inicio	Tempo fim	Tempo de Manobra (s)	Status
1	36,652	40,171	3,519	parou no congestionamento
2	9,171	10,42	1,249	passou direto
3	10,901	13,152	2,251	parou no congestionamento
4	12,402	14,418	2,016	passou direto

5	13,535	15,035	1,5	passou direto
6	25,12	28,118	2,998	parou no congestionamento
7	30,118	32,393	2,275	passou direto
8	9,151	10,972	1,821	passou direto
9	20,402	25,422	5,02	parou no congestionamento
10	3,903	16,15	12,247	parou no congestionamento
11	16,653	20,903	4,25	parou no congestionamento
12	21,902	26,901	4,999	parou no congestionamento
13	52,871	55,619	2,748	passou direto
14	13,701	17,12	3,419	parou no congestionamento
15	23,117	25,619	2,502	passou direto
16	32,121	33,868	1,747	passou direto
17	36,117	38,12	2,003	passou direto
18	57,619	2,619	3,55	parou no congestionamento
19	50,619	53,117	2,498	passou direto
20	7,119	12,371	5,252	parou no congestionamento
21	29,373	32,622	3,249	passou direto
22	42,122	43,871	1,749	passou direto
23	1,452	4,492	3,04	passou direto
24	4,705	7,986	3,281	passou direto
25	38,455	42,475	4,02	parou no congestionamento
26	38,241	41,955	3,714	passou direto
27	43,477	46,68	3,203	passou direto
28	57,742		2,961	passou direto
29	32,483	37,737	5,254	parou no congestionamento
30	54,123	56,899	2,776	passou direto
31	18,742	21,993	3,251	passou direto

Fonte: Autor, 2022.

Como para carros não foi feita distinção relacionada à tipologia, foram extraídos os tempos de manobra médios para a situação congestionada, não congestionada e geral (tempo médio das duas situações juntas) conforme tabela 11 abaixo.

Tabela 11-Tempo médio de manobra de carros de passeio

Tempo médio de manobra de carros de passeio (s)	
Geral	3,37
Com congestionamento	4,73
Sem Congestionamento	2,50

Fonte: Autor, 2022.

3.5 Método Chandra e Sikdar (2000)

Para o cálculo do fator de equivalência através da fórmula proposta por Chandra e Sikdar (2000) equação 2, foram necessários os cálculos de velocidade e área para veículos de carga e carros de passeio, utilizando os tempos de manobra e deslocamento fixo na curva para ambos.

As áreas estimadas para os veículos de carga foram retiradas das dimensões máximas estipuladas pela Resolução CONTRAN nº 210 de 13/11/2006 e Manual de Procedimentos de Fiscalização em Postos de Pesagem Veicular (2018) a qual dados podem ser observados no Anexo 2. Desta forma, pode-se calcular as áreas e velocidades médias dos veículos de carga categorizadas por tipo.

Tabela 12- Áreas e velocidades dos veículos de carga

Veículo de carga	Veloc. méd (m/s)	Veloc(Km/h)	C(m)	L (m)	A (m ²)
2CB	15,00	54,00	9,1	2,6	23,66
2C	23,70	85,32	12,2	2,6	31,72
3C	21,29	76,63	12,2	2,6	31,72
2S3	13,46	48,47	16,8	2,6	43,68
3S3	10,07	36,24	16,8	2,6	43,68
3D4	17,50	63,00	19,8	2,6	51,48

Fonte: Autor, 2022.

Para o cálculo das áreas para veículos de passeio, foi feita pesquisa das dimensões de carros de passeio mais populares através de seus manuais de uso e manutenção os quais foram elencados abaixo.

Tabela 13- Pesquisa de dimensões de carros populares

Tipos de carro	Comprimento	Largura
Palio Fire Economy 1.0 8V Flex	3,827	1,906
Fiat Uno	3,77	1,899
Chevrolet Celta	3,799	1,626
Hyundai HB20 Cross	3,955	1,71
Renaut Logan	4,359	1,998
Citroen C3	3,944	1,728
Ford Focus	4,538	2,01

Fonte: Autor, 2022.

De posse dos dados referente às dimensões dos veículos, calculou-se a média dos comprimentos e larguras para obtenção da área média conforme tabela abaixo.

Tabela 14- Cálculo da área para veículos de passeio

Tipo de veículo	Situação no congestionamento	Veloc méd (m/s)	Veloc(Km/h)	Cmed(m)	Lmed (m)	A (m ²)
Veículos de passeio	geral	17,82	64,16	4,03	1,84	7,41
	passou	23,96	86,25			
	parou	12,68	45,65			

Fonte: Autor, 2022.

Com dados em mãos é possível calcular as áreas para os veículos de carga e carros de passeio, bem como as velocidades médias e seus fatores de equivalência conforme equação 2.

As velocidades para cada tipo de veículo foram obtidas através da média das velocidades para cada categoria e foi encontrado um fator de equivalência (PCE), para cada tipo de veículo, sem distinção da situação parada ou não no congestionamento, por isso foi chamado de PCE geral por categoria de veículo de carga.

Tabela 15- Tabela resumo dos PCE's geral por categoria de veículo de carga

Veículo de carga	Veloc. méd (m/s)	Veloc(Km/h)	C(m)	L (m)	A (m ²)	PCE Geral
2CB	15,00	54,00	9,1	2,6	23,66	3,8
2C	23,70	85,32	12,2	2,6	31,72	3,2
3C	21,29	76,63	12,2	2,6	31,72	3,6
2S3	13,46	48,47	16,8	2,6	43,68	7,8
3S3	10,07	36,24	16,8	2,6	43,68	10,4
3D4	17,50	63,00	19,8	2,6	51,48	7,1

Fonte: Autor, 2022.

Também foi considerado fatores de equivalência de forma análoga ao geral, para distinções de condições de tráfego em duas situações: fatores de equivalência considerando fluxo com congestionamento e sem. O procedimento foi feito fazendo a distinção para veículos de carga e passeio conforme a tabela 16. Foi feito de forma análoga, utilizando a equação 3 considerando dados com condições de tráfego iguais tanto para veículo de carga quanto de passeio para o cálculo do fator de equivalência específico, com congestionamento e sem congestionamento. Para os veículos do tipo 2CB e 3D4 não foram observados um número suficiente de caminhões para cálculo do tempo de manobra considerando a situação de congestionamento no semáforo para os dias coletados.

Tabela 16- PCE específico

Tipo de veículo	Situação no congestionamento	Veloc méd (m/s)	Veloc(Km/h)	C(m)	L (m)	A (m ²)	PCE específico
2CB	passou	15,00	54,00	9,10	2,60	23,66	5,10

2CB	parou	não se aplica					
2C	passou	29,29	105,43	12,20	2,60	31,72	3,50
2C	parou	10,67	38,40	12,20	2,60	31,72	5,09
3C	passou	27,50	99,00	12,20	2,60	31,72	3,73
3C	parou	13,00	46,80	12,20	2,60	31,72	4,18
2S3	passou	16,32	58,77	16,80	2,60	43,68	8,65
2S3	parou	9,53	34,31	16,80	2,60	43,68	7,84
3S3	passou	13,35	48,04	16,80	2,60	43,68	10,58
3S3	parou	7,61	27,38	16,80	2,60	43,68	18,57
3D4	passou	17,50	63,00	19,80	2,60	51,48	9,51
3D4	parou	não se aplica					

Fonte: Autor, 2022.

3.6 Método Craus et. al (1980)

Para o cálculo utilizando a equação 3 proposta por Craus et. al. (1980), foram utilizados os tempos de manobra os quais perfazem o tempo de atraso dos caminhões e carros de passeio. Os PCE's encontrados foram para as situações de tráfego com ou sem congestionamento sem distinção por veículos de carga.

Tabela 17- PCE geral e específico

PCE geral e específico			
Situação no congestionamento	Veículos de carga	Carro de passeio	PCE
geral	6,56	3,37	1,9
parou	10,77	4,73	2,3
passou	3,66	2,50	1,5

Fonte: Autor, 2022.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

As coletas de dados para o fluxo categorizado de veículos não foram feitas no mesmo dia que as contagens dos tempos de manobra dos veículos de carga e carros de passeio por questões relacionada à logística, segurança e dificuldade de permanência no lugar de filmagem pois é um lugar de grande fluxo de veículos. A contagem foi feita em maior quantidade de dias, porém com tempo de vídeo mais curtos. Como o fluxo de veículos precisou de uma hora completa para cada dia, foram feitas uma quantidade menor de filmagens, no entanto em tempo de vídeo maior e contínuo.

4.1 Fluxo de tráfego

As porcentagens dos tipos de veículos de carga foram calculadas a partir do total geral dos veículos que trafegaram pela via em uma hora e do total, considerando apenas os veículos de carga para analisar as porcentagens dos tipos de veículos que mais passam na via.

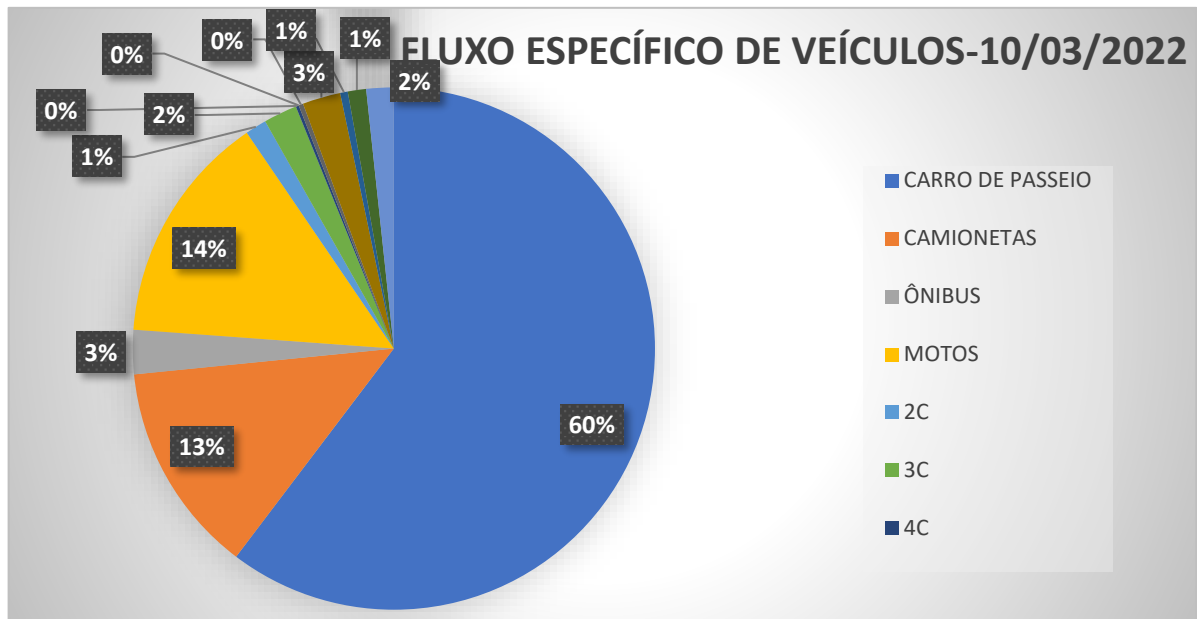
Tabela 18- Fluxo de veículos por hora

FLUXO DE VEÍCULOS		
DIA	TOTAL GERAL DE VEÍCULOS/HORA	TOTAL DE VEÍCULOS DE CARGA/HORA
10	1061	101
11	1261	142

Fonte: Autor, 2022.

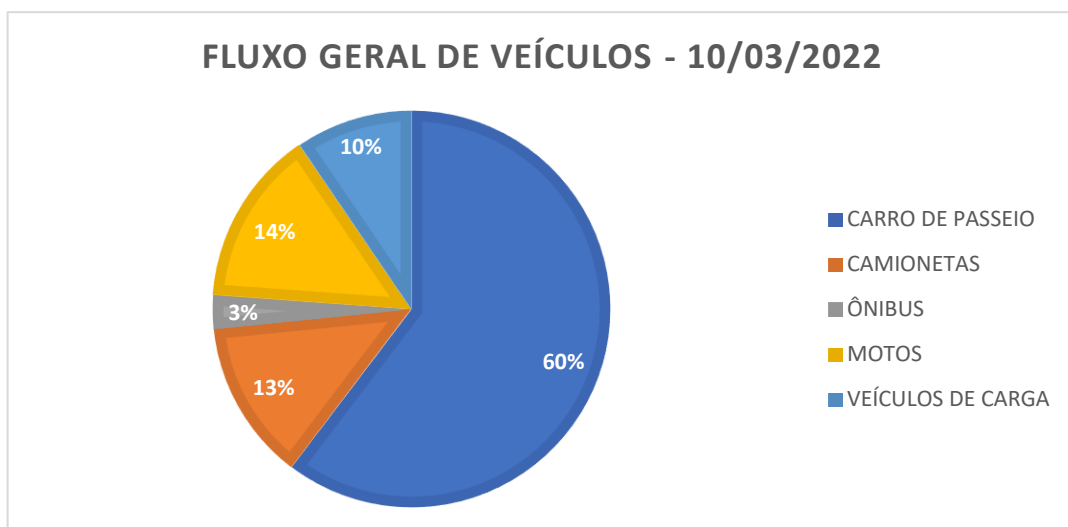
Desta forma, foram feitos 3 gráficos para cada dia mostrando o fluxo de veículos passantes no semáforo para o horário analisado.

Gráfico 2- Fluxo de veículos específicos- dia 10/03/2022



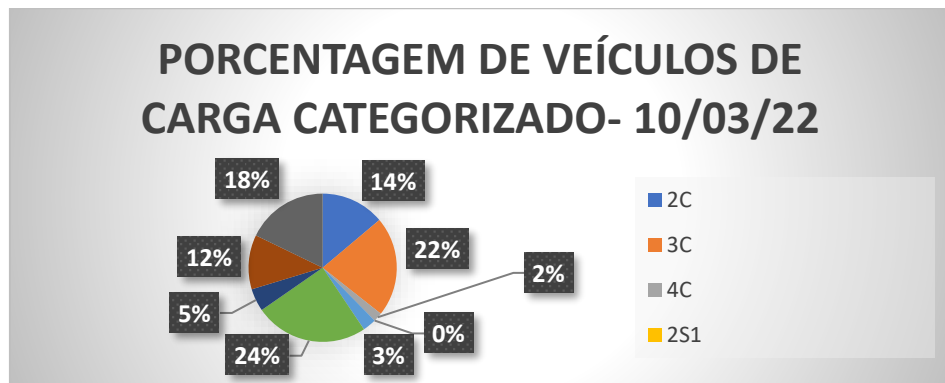
Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 3- Fluxo geral de veículos-10/03/2022



Fonte: Autor, 2022.

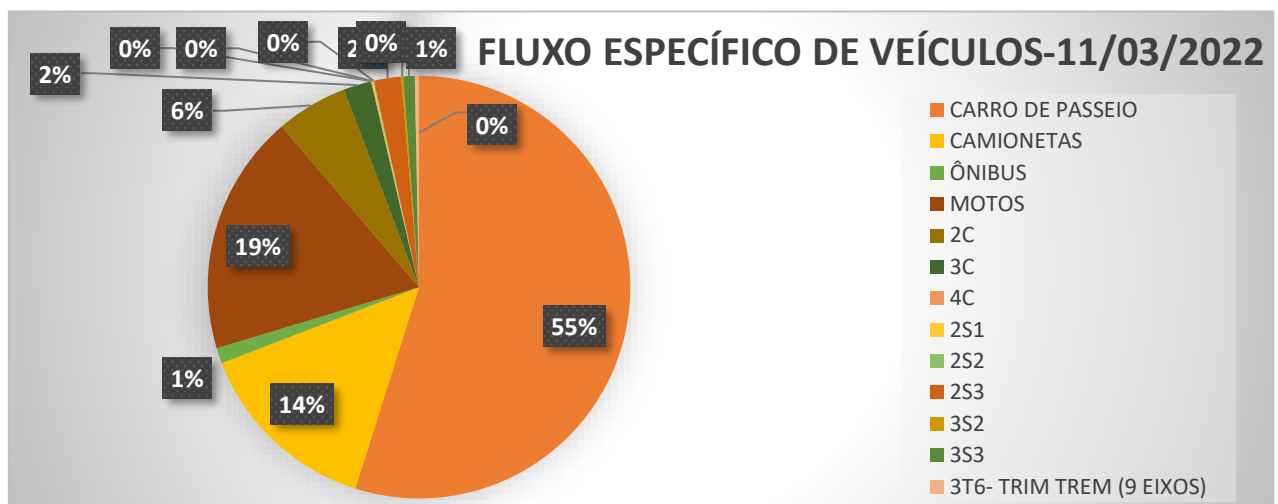
Gráfico 4- Porcentagem de veículos de carga categorizado-10/03/2022



Fonte: Autor, 2022.

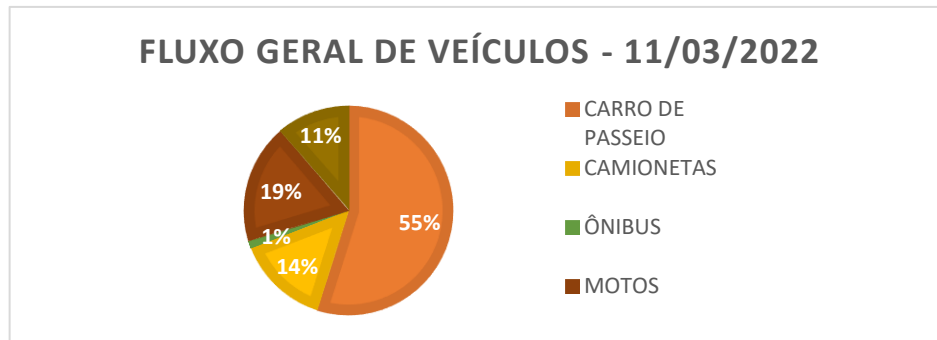
Através dos gráficos, pode-se perceber que mesmo a via sendo desenvolvida para a passagem de carros de passeio, motos e veículos leves, os quais são dimensionados para trafegar neste tipo de rodovia, e que perfazem 90% somados (gráfico 4), ainda há 10% de veículos de carga que passam na via mesmo não sendo permitido o seu tráfego por comprometer o fluxo da via a qual poderia estar tendo melhor desempenho sem a passagem destes tipos de veículos. Do total de veículos de carga passantes no horário das 14h às 15h na via, 24% é de veículos do tipo 2S3 (gráfico 4), o qual segundo o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT e Resolução CONTRAN nº 210 de 13/11/2006 pode ter comprimento máximo de 18,60 metros. Conforme Setti (2009) afirma em sua tese quanto maior o fator de equivalência maior o seu impacto no desempenho na via e interferência em fatores como a capacidade e nível de serviço da via. Analogamente, foi feito os mesmos gráficos para o segundo dia de contagem de veículos, dia 11/02/2022.

Gráfico 5- Fluxo de veículos específicos- dia 11/03/2022



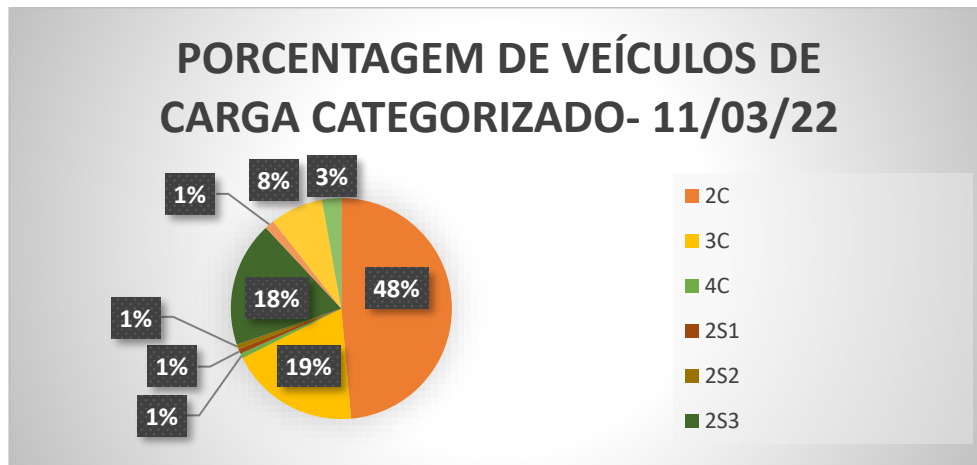
Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 6- Fluxo geral de veículos-10/03/2022



Fonte: Autor, 2022.

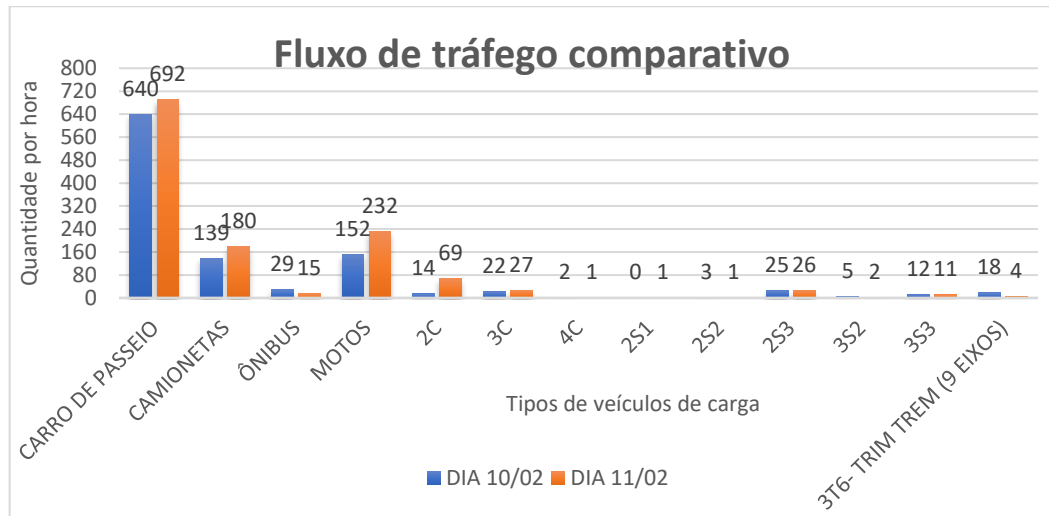
Gráfico 7- Porcentagem de veículos de carga categorizado-10/03/2022



Fonte: Autor, 2022.

De forma análoga foram encontrados resultados semelhantes para o segundo dia de contagem de veículos, sendo 89% do tráfego das 15h às 16h, de veículos leves, ônibus, carros de passeio, caminhonetas e motos, e 11% de veículos de carga (Gráfico 6). Dos veículos de carga que trafegaram na hora contabilizada, 48% foram do tipo de 2C o qual tem comprimento máximo de 14 metros de comprimento segundo a Resolução CONTRAN nº 210 de 13/11/2006. Abaixo há um gráfico comparativo entre o dia 10 e 11 do fluxo, quantidade e tipo de veículo passante por hora e dia na Avenida General Rodrigo Otávio, o qual descreve os tipos de veículos de carga mais trafegados na via, com 25 veículos/hora para o tipo 2S3 no dia 10/03 e 69 veículos/hora do tipo 2C no dia 11/03/2022.

Gráfico 8- Fluxo de tráfego comparativo



Fonte: Autor, 2022.

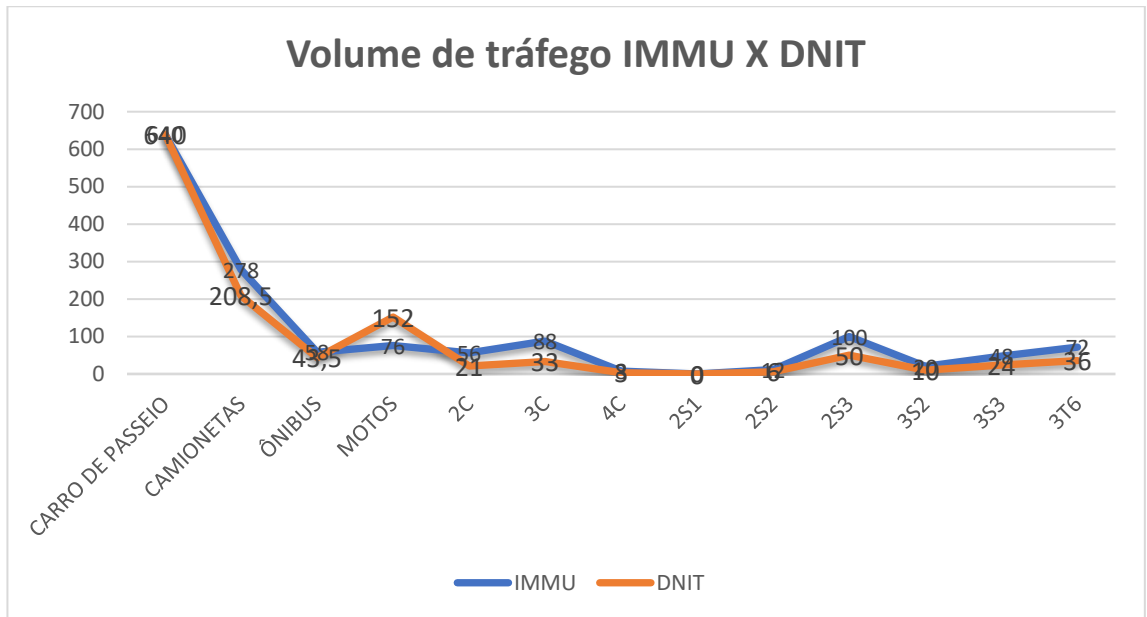
4.2 Volume horário

Para a obtenção dos volumes horários a nível de comparação, serão calculados com os dados analisados no fluxo no dia 10 e 11 utilizando os fatores de equivalência do Manual de Estudos de tráfego do DNIT (2006), e IMMU (2013). Desta forma, foram calculados e dispostos no gráfico abaixo:

Tabela 19- Cálculo do volume horário dia 10/03/2022

FLUXO DE TRÁFEGO CATEGORIZADO-DIA 10/03/202					
TIPO	QUANTIDADE	PEC		VOLUME HORÁRIO	
		IMMU	DNIT	IMMU	DNIT
CARRO DE PASSEIO	640	1	1	640	640
CAMIONETAS	139	2	1,5	278	208,5
ÔNIBUS	29	2	1,5	58	43,5
MOTOS	152	0,5	1	76	152
2C	14	4	1,5	56	21
3C	22	4	1,5	88	33
4C	2	4	1,5	8	3
2S1	0	4	2	0	0
2S2	3	4	2	12	6
2S3	25	4	2	100	50
3S2	5	4	2	20	10
3S3	12	4	2	48	24
3T6	18	4	2	72	36
TOTAL				1456	1227

Gráfico 9- Volume horário IMM U X DNIT



Fonte: Autor, 2022.

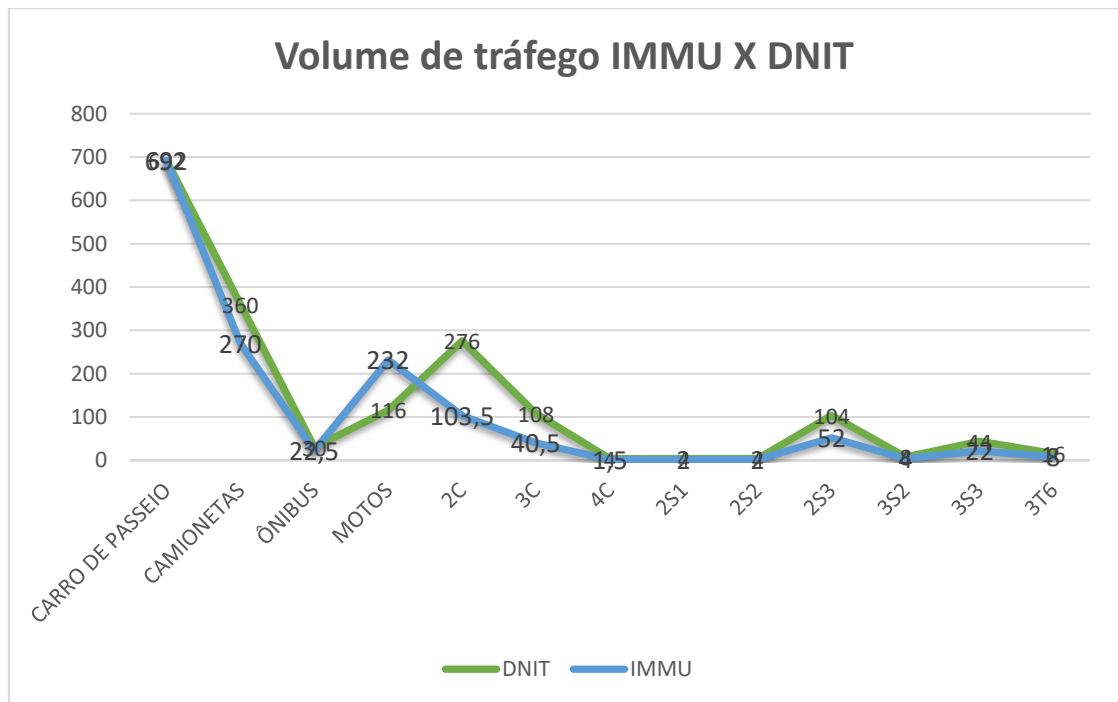
Analogamente, foi realizado a mesma análise para o dia 11/03, o qual mostrou volumes proporcionais ao fator de equivalência do IMM U e DNIT. Conforme o gráfico 8 mostra, o volume de tráfego para o IMM U se mostrou maior que o do DNIT visto que o volume de tráfego horário é proporcional ao fator de equivalência.

Tabela 20- Cálculo do volume horário dia 11/03/2022

FLUXO DE TRÁFEGO CATEGORIZADO-DIA 11/03/2022					
TIPO	QUANTIDADE	PCE		VOLUME HORÁRIO	
		IMMU	DNIT	IMMU	DNIT
CARRO DE PASSEIO	692	1	1	692	692
CAMIONETAS	180	2	1,5	360	270
ÔNIBUS	15	2	1,5	30	22,5
MOTOS	232	0,5	1	116	232
2C	69	4	1,5	276	103,5
3C	27	4	1,5	108	40,5
4C	1	4	1,5	4	1,5
2S1	1	4	2	4	2
2S2	1	4	2	4	2
2S3	26	4	2	104	52
3S2	2	4	2	8	4
3S3	11	4	2	44	22
3T6	4	4	2	16	8
TOTAL				1766	1452

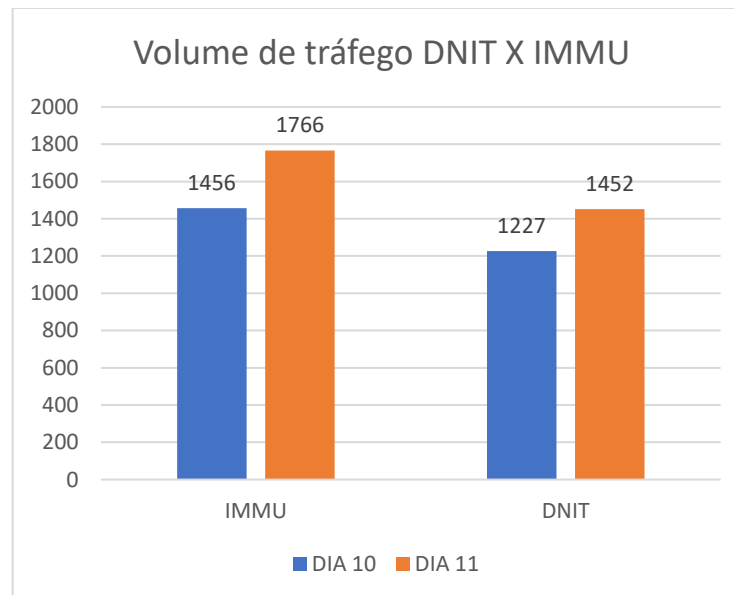
Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 10- Volume horário IMMU X DNIT



Fonte: Autor, 2022

Gráfico 11- Volume de tráfego DNIT X IMMU



Fonte: Autor, 2022.

Com base na análise do gráfico 10, pode-se inferir que o tempo de manobra varia de acordo com o tipo de veículo de carga passante no trecho, tanto devido às suas características próprias, com número de eixos, isolados ou em tandem, sendo duplo ou simples, comprimento, como também devido ao fator externo do congestionamento da via no horário e dia especificado

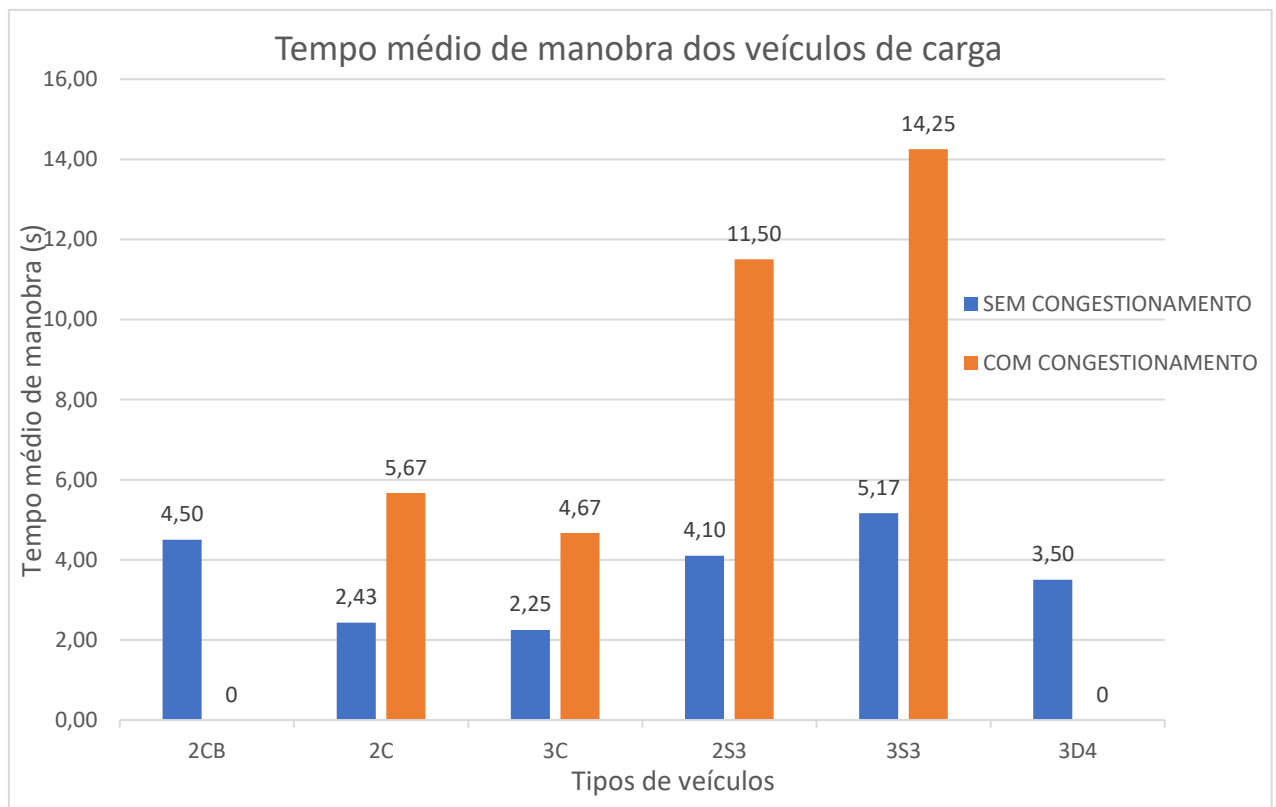
o qual se evidencia pelo o gráfico abaixo no qual calcula tempo médio de manobra para os veículos de carga considerando a base de dados dos dias de coleta. Para os veículos do tipo 2CB e 3D4 não foram observados um número suficiente de caminhões para cálculo do tempo de manobra considerando a situação de congestionamento no semáforo para os dias coletados.

Tabela 21 - Tempos médio de manobra para veículos de carga

Tipo de veículo	Congestionamento no sinal	
	SIM	NÃO
2CB	-	4,50
2C	5,67	2,43
3C	4,67	2,25
2S3	11,50	4,10
3S3	14,25	5,17
3D4	-	3,50

Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 12- Tempo médio de manobra dos veículos de carga

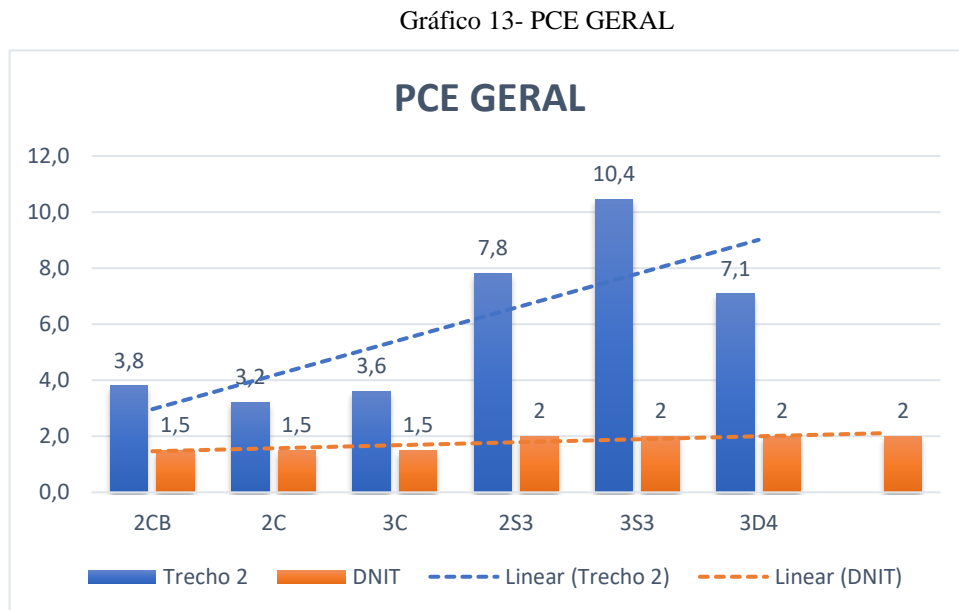


Fonte: Autor, 2022.

De posse dos dados relacionados à velocidade média e PCE específico e geral calculados através dos métodos mostrados é possível realizar uma análise comparativa entre os fatores de equivalência encontrados. São mostrados gráficos comparativos entre os fatores de equivalência por método, sendo específico e geral.

4.3 Método Chandra e Sikdar

Pelo método descrito na equação 2, foram encontrados os gráficos de fator de equivalência específico considerando as condições de tráfego congestionado, livre e o geral, sem distinção das condições de tráfego. O gráfico de PCE geral foi comparado com os valores de fatores de equivalência do DNIT o qual são compatíveis com os valores do HCM (2000).

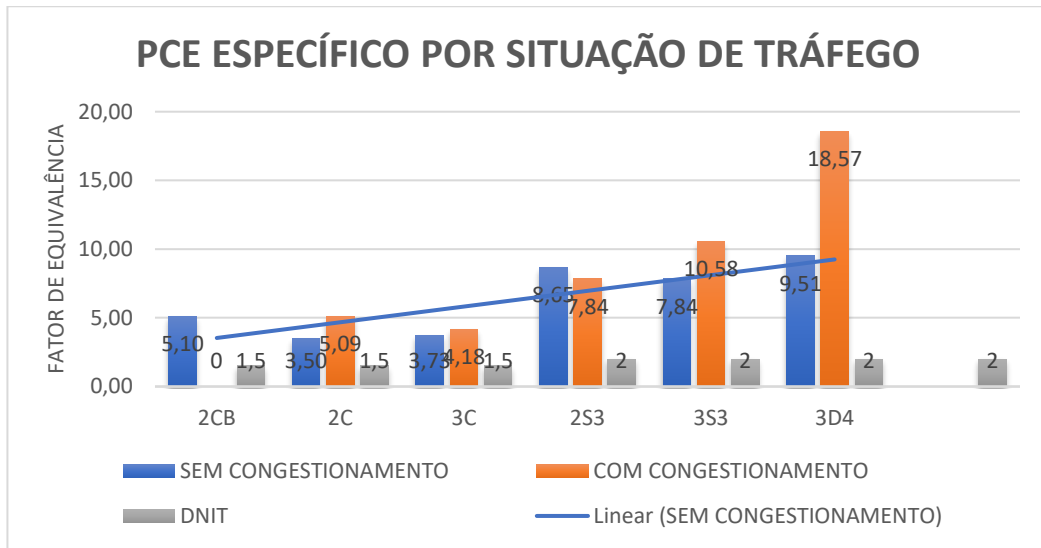


Fonte: Autor, 2022.

Percebe-se que os valores encontrados para fator de equivalência tendem a ser maiores que os estipulados pelo DNIT (2006), e por consequência geram mais impacto no fluxo diário da via do que dimensionado através dos fatores de equivalência fixados, o que pode afetar no dimensionamento do semáforo da intersecção.

Foi considerado o fator de equivalência específico para a situação congestionada e livre e comparada novamente aos PCE's fixados na tabela do DNIT. Para essa situação os dados continuaram tendendo a serem maiores que o estipulados e também maiores que os PCE's gerais.

Gráfico 14- PCE específico por situação de tráfego.

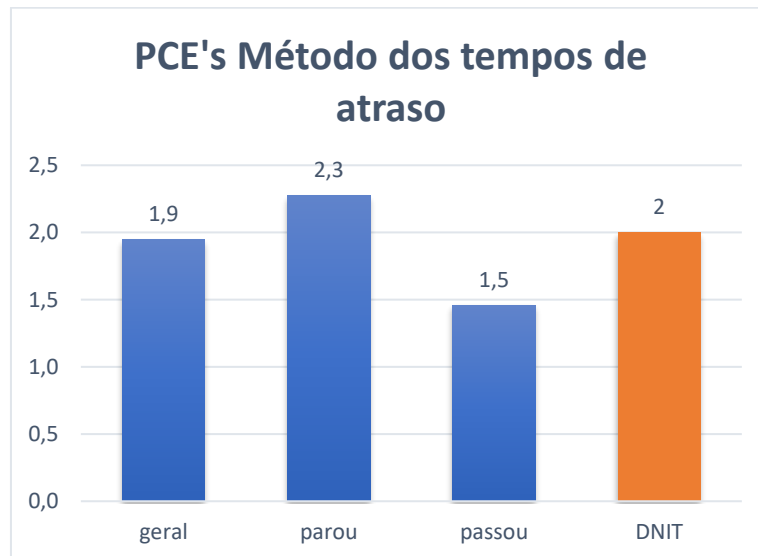


Fonte: Autor, 2022.

4.4 Método Craus et al, 1980.

Através do método que leva em consideração os atrasos e com os dados obtidos, pode-se traçar um gráfico para análise dos fatores de equivalência. Percebe-se que para este método o tempo de atraso os valores encontrados se aproximam do fator 2 do DNIT.

Gráfico 15- PCE's pelo método dos tempos de atraso



Fonte: Autor, 2022.

4.5 Resumo dos PCE's estudados x padronizados

Abaixo se encontra os resultados obtidos para os fatores de equivalência calculados através dos métodos e os padronizados por órgãos referências.

Tabela 22- Resumo dos fatores de equivalência estudados x padronizados

Tipos de veículos de carga	Método Chandra e sikdar (2000)			Craus et. al (1980)			Padronizados	
	PCE's específicos		PCE's gerais	PCE's específicos		PCE's gerais	IMMU	DNIT
	sem congestionamento	com congestionamento	-	Sem congestionamento	Com congestionamento	-		
2CB	5,1	-	3,8	1,5	2,3	1,9	4	2
2C	3,5	5,1	3,2					
3C	3,7	4,2	3,6					
2S3	8,7	7,8	7,8					
3S3	7,8	10,6	10,4					
3D4	9,5	18,6	7,1					

Fonte: Autor, 2022.

4.6 Fluxo de saturação

Com base nos dados obtidos dos fatores de equivalência, pode-se realizar uma análise de sensibilidade do quanto esses fatores podem interferir nos resultados de análises para melhoria do fluxo de tráfego de uma via quando não dimensionados de forma cuidadosa e sem adaptações necessárias. A análise de sensibilidade feita se utiliza do fluxo de saturação na via. Para a análise, os fatores de equivalência da tabela 22 foram substituídos na equação 5, para verificar a discrepância do fator de ajuste f_{HV} para veículos pesados, o qual pode ser observado na tabela abaixo. A porcentagem de veículos pesados no grupo de movimentos que utiliza o conjunto de faixas utilizado foi a maior dos dois dias de coleta realizados, sendo utilizado um f_{HV} de 12,45% conforme é mostrado na tabela 8 do fluxo categorizado. Considerando o fluxo hipotético de 1800 ucp/hora pode-se utilizar a Equação 5, para estimar o fluxo de saturação considerando os $f_{HV}'s$ calculados.

De posse dos dados, calculou-se o fator de ajuste para veículos pesados considerando os fatores de equivalência da tabela resumo 22 e o seu respectivo fluxo de saturação.

Tabela 23- f_{HV} e FS para fatores de equivalência do Método Chandra e sikdar (2000)

Tipos de veículos	Método Chandra e sikdar (2000)					
	Fhv sem congestionamento	FS sem congestionamento	Fhv com congestionamento	FS com congestionamento	fhv geral	FS Geral
2CB	0,66	1191,63	-	-	0,74	-
2C	0,76	1372,40	0,66	1192,70	0,78	1410,27
3C	0,75	1343,40	0,72	1289,91	0,76	1361,77
2S3	0,51	921,78	0,54	971,87	0,54	974,49
3S3	0,54	971,87	0,46	820,70	0,46	827,53
3D4	0,49	873,85	0,31	564,71	0,57	1024,74

Fonte: Autor, 2022.

Tabela 24- fHV e FS para fatores de equivalência do Método Craus et. al (1980)

Craus et. al (1980)		
Situação	Fhv	fs
Sem congestionamento	0,95	1702,50
Com congestionamento	0,86	1553,12
Geral	0,89	1610,11

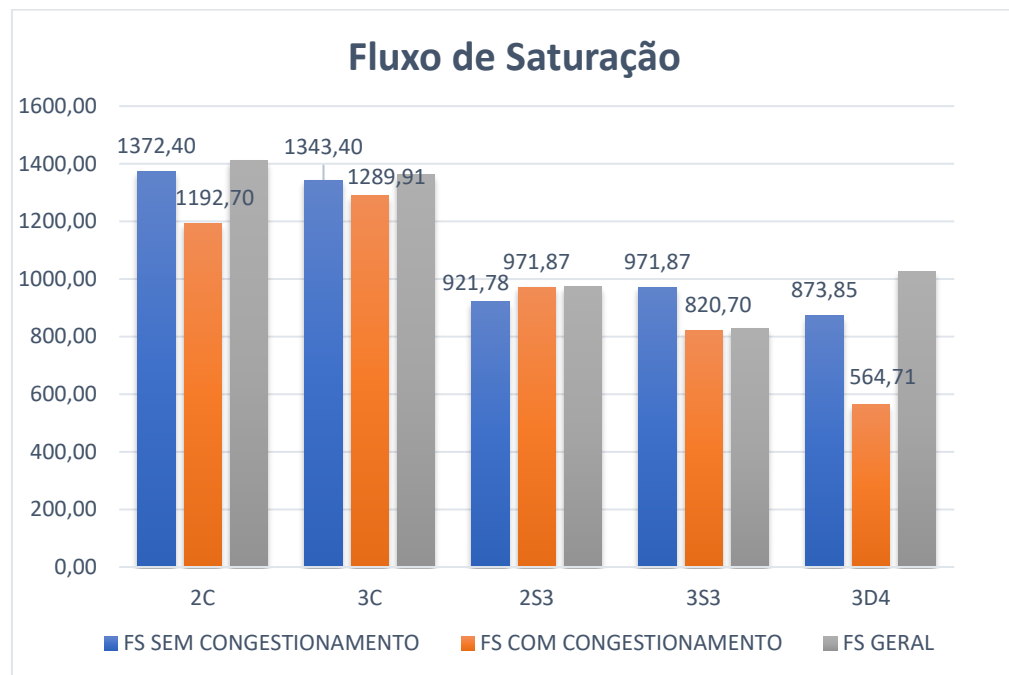
Fonte: Autor, 2022.

Tabela 25- fHV e FS para fatores de equivalência padronizados

Padronizados			
IMMU		DNIT	
fhv	FS	fhv	FS
0,73	1310,52	0,89	1600,71

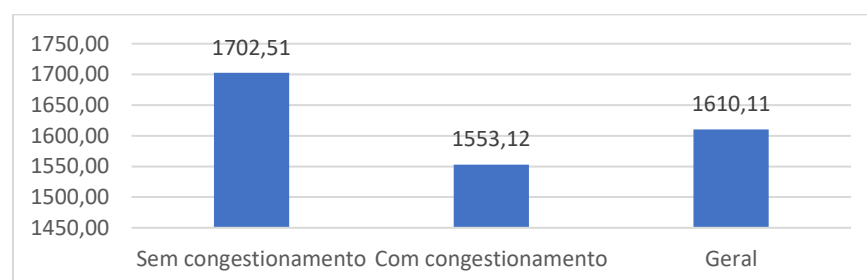
Fonte: Autor, 2022.

Tabela 26- Fluxo de Saturação- Método de Chandra e Sikdar (2000)



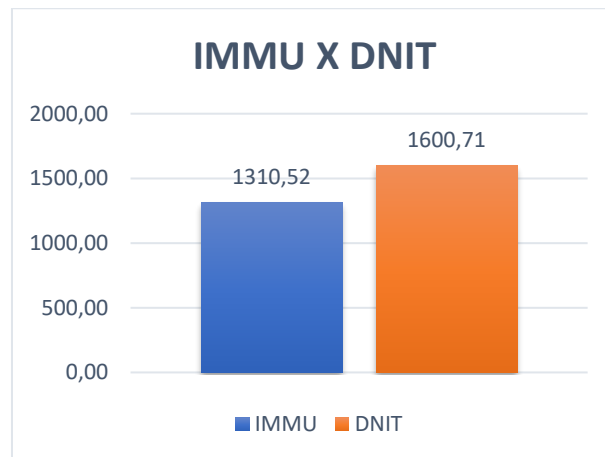
Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 16- Fluxo de saturação- Método Craus et. al (1980)



Fonte: Autor, 2022.

Gráfico 17- Fluxo de saturação- IMMU X DNIT



Fonte: Autor, 2022.

Através dos dados e tabelas apresentados pode-se observar que o fluxo de saturação diminuiu conforme o aumento do fator de equivalência através dos métodos utilizados. Verificou-se que para os métodos comparados o fluxo de saturação diminuiu em todas as análises devido ao aumento do fator de equivalência o qual também apresentou mudanças significativas quando comparadas com os fatores de equivalência padronizados pelo DNIT e IMMU. Para o Método de Chandra e Sikdar (2000), gráfico 15, o tipo de veículo que mais obteve diminuição do fluxo foi o 3D4, com uma variância de 54,74% do valor sem congestionamento para o congestionado. Isso se dá pelo fato de seu fator de equivalência aumentar conforme a área do veículo, o qual está ligada diretamente à sua tipologia. Desta forma, infere-se que quanto maior for a área ocupada pelo veículo no tráfego maior serão os seus valores de fator de equivalência e conseqüentemente resultará em um maior impacto na mobilidade do tráfego da via. A variável da mobilidade estudada foi o fluxo de saturação da via, o qual confirmou na variação da porcentagem entre um fluxo de saturação em situação congestionada e outra não, que as condições da via, e tipologia do veículo interferem na mobilidade urbana.

Através dos gráficos 16 pode-se inferir que o Método Craus et. al (1980) seguiu a mesma vertente do método anterior, no qual houve também uma diminuição do fluxo de saturação para situações congestionadas, em que a variação percentual foi de 9,6% da situação sem congestionamento para a congestionada. Conforme Gráfico 17 aponta, o fluxo de saturação do IMMU apresentou valor inferior ao do DNIT com uma variância percentual de 22,14% entre os dois parâmetros. Isso se dá pelo fato dos valores de fator de equivalência estipulados serem diferentes, isso impacta nos resultados finais de análise do fluxo de saturação da via.

5 CONCLUSÃO

Com bases nos resultados obtidos observa-se variâncias do fator de equivalência conforme as situações impostas ao tráfego da via. Tal situação foi evidenciada a partir das análises feitas diferenciando os tipos de veículos de carga, se houve a interferência ou não do congestionamento da via, se o trecho tinha fatores que retardassem ou acelerassem a velocidade do veículo, o que interfere no tempo de manobra e conseqüentemente no fator de equivalência, como por exemplo no trecho em estudo ser em curva e em uma intersecção semaforizada o qual é um impeditivo de continuidade e tráfego livre de fluxo na via.

Com base nos dados retirados in loco, pôde-se realizar comparações de fatores de equivalência entre os já preconizados por órgãos referência como o IMMU e DNIT e os calculados pelos métodos utilizados e verificou-se que houve divergência entre os fatores calculados e preconizados. Foram calculados fatores de equivalência tanto para o geral, comparado com o fator referência do DNIT como também para os específicos, distinguindo os PCE's de situações congestionados ou não. Percebeu-se que houve uma tendência ao aumento dos fatores de equivalência conforme a tipologia do veículo e situação de congestionamento, pois quanto maior o veículo passante em situação congestionada maior o fator de equivalência e seu impacto no tráfego da via.

Calculou-se o volume horário de tráfego utilizando os dados coletados e os fatores de equivalência estipulados pelo DNIT e IMMU, para verificar a diferença de resultados posto que os fatores divergem também entre as duas referências. O fluxo categorizado de veículos identificou os veículos de carga que mais impactam no fator de equivalência devidos as suas dimensões e frequência de passagem. A porcentagem de veículos pesados passantes em uma hora inteira auxiliou no cálculo do fluxo de saturação da via cuja análise permite inferir o quanto o cuidado com a aplicação correta do fator de equivalência pode interferir na análise realizada, pois verificou-se que para os fatores de equivalência calculados o fluxo de saturação diminui conforme o tempo de congestionamento aumenta, ou seja, é estabelecida uma relação de proporcionalidade entre o tempo que o veículo permanece congestionado ou em velocidade lenta na via, sua dimensão e seu respectivo fator de equivalência o qual aumenta e difere dos já preconizados.

Em suma, conclui-se sobre a necessidade de adaptar os métodos utilizados no cálculo do índice de mobilidade estudado o qual se refere ao fator de equivalência à realidade da via e das condições impostas, desta forma, deve-se abandonar o uso de índices pré-estabelecidos sem as devidas adaptações às condições de tráfego da via em estudo, visto que cada tipo de cidade

e região, possui suas próprias características de tráfego, envolvendo fatores como economia, estrutura e dificuldades de tráfego da via contingente populacional, condições de semaforização, índice de pluviosidade na cidade, o qual pode ser um fator que dificulte o tráfego em dias e horários específicos, e conseqüentemente interfira em ferramentas e apontadores de melhoria de uso e capacidade de serviço da via, como o fluxo de saturação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A REVISED METHOD FOR THE DETERMINATION OF PASSENGER CAR EQUIVALENCIES. Israel, 4 dez. 1979. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0191260780900400>. Acesso em: 31 mar. 2022.

CITROEN C3 (São Paulo) (org.). **Guia de Utilização Citroen C3.** Santo Amaro: Citroen C3, 2017. Disponível em: https://media.citroen.com.br/file/92/4/manual_c3.271924.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

Conselho Nacional de Trânsito- CONTRAN. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito.** Brasil. 2014.

COSTA, Marcela da Silva. **Um índice de mobilidade urbana sustentável.** 2008. 248 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

CUNHA, André Luiz Barbosa Nunes da. **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA MEDIDA DE DESEMPENHO NO EQUIVALENTE VEICULAR DE CAMINHÕES.** 2007. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264383308_Avaliacao_do_impacto_da_medida_de_desempenho_no_equivalente_veicular_de_caminhoes. Acesso em: 02 mar. 2022.

CUNHA, André Luiz Barbosa Nunes da; SETTI, José Reynaldo. **FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA CAMINHÕES EM RODOVIAS DE PISTA DUPLA.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RODOVIAS E CONCESSÕES, 6., 2009, Florianópolis. **FATORES DE EQUIVALÊNCIA PARA CAMINHÕES EM RODOVIAS DE PISTA DUPLA.** 2009: Cbr&C, 2009. p. 1-16. Disponível em: <https://www.stt.eesc.usp.br/setti/papers/cbr2009/cunha2009.pdf>. Acesso em: 11 mar. 22.

DABLANC, L. Goods transport in large European cities: difficult to organize, difficult to modernize. **Transportation Research Part A. Davis**, v. 41, 2007, p. 280-285.

DEMARCH, Sergio Henrique. **INFLUÊNCIA DOS VEÍCULOS PESADOS NA CAPACIDADE E NÍVEL DE SERVIÇO DE RODOVIAS DE PISTA DUPLA.** 2000. 166

f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, São Paulo, 2000.

FERNANDES, João Miguel Machado. **Análise do Nível de Serviço em Estradas Multivias: Uma Avaliação com Recurso à Metodologia HCM 2010**. 2014. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2014. Disponível em: <https://ubibliorum.ubi.pt/handle/10400.6/4925>. Acesso em: 01 mar. 2022.

FIAT AUTOMÓVEIS S.A (Minas Gerais). **Manual de Uso e Manutenção Fiat Uno**. Betim: Fiat, 2013. Disponível em: <https://servicos.fiat.com.br/manuais.html>. Acesso em: 15 mar. 2022.

FORD MOTOR COMPANY (Brasil). **Ford Focus Manual do Proprietário**. Brasil: Ford, 2019. Disponível em: https://www.ford.com.br/content/dam/Ford/website-assets/latam/br/servico-ao-cliente/manuais/2015/manuais-do-proprietario/Manual_Proprietario_Novo_Focus_2015.pdf. Acesso em: 15 mar. 2022.

HYUNDAI MOTOR BRASIL (Brasil). **Manual do Proprietário Hyundai HB20**. Brasil: Hyundai Hb20, 2019. Disponível em: <https://www.manualpdf.com.br/hyundai/hb20-2013/manual>. Acesso em: 15 mar. 2022.

MANAUS. Prefeitura Municipal de Manaus. **Plano de Mobilidade Urbana de Manaus. PlanMob- Manaus**. Manaus. 2015. Disponível em: <https://www2.manaus.am.gov.br/docs/portal/secretarias/smtu/PlanMobManaus.pdf>. Acesso em 15 mar. 2022.

PEREIRA NETO, Waldemiro de Aquino. **Análise de fatores intervenientes nas características dimensionais de segmentos rodoviários sob a óptica da compatibilidade veículo-via**. 2007. 190 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Transportes, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

RENAULT (Brasil). **Manual do Proprietário Renault Logan**. Brasil: Renault, 2021. Disponível em: <https://www.renault.com.br/manuais/logan.html>. Acesso em: 15 mar. 2022.

RESOLUÇÃO. Resolução nº 210, de 13 de novembro de 2006. **Resolução Contran Nº 210 de 13/11/2006**. n. 210. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=104243#:~:text=m%C3%A1ximo%2018%2C60%20metros%3B,m%C3%A1ximo%20de%2019%2C80%20metros..> Acesso em: 15 mar. 2022.

RIO DE JANEIRO. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. (org.). **MANUAL DE ESTUDOS DE TRÁFEGO**. 723. ed. Rio de Janeiro: Dnit, 2006. Disponível em: https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf. Acesso em: 06 fev. 2022.

SETTI, José Reynaldo. HIGHWAY CAPACITY MANUAL OU UM MANUAL DE CAPACIDADE RODOVIÁRIA BRASILEIRO? In: CBR&C 2009, 1., 2009, Florianópolis. **HIGHWAY CAPACITY MANUAL OU UM MANUAL DE CAPACIDADE RODOVIÁRIA BRASILEIRO?1**. Florianópolis: Cbr&C, 2009. p. 1-12. Disponível em: <https://www.stt.eesc.usp.br/setti/papers/cbr2009/setti2009.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2022.

SHALINI, Kanakabandi; KUMAR, Brind. Estimation of the Passenger Car Equivalent: A Review. **International Journal Of Emerging Technology And Advanced Engineering**. Varanasi, p. 1-6. 6 jun. 2014. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.640.7007&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 15 jan. 2022.

SILVA, Rômulo Pereira da; BRACAENSE, Lílian dos Santos Fontes Pereira. Impacto do tráfego de caminhões em meio urbano: caso de Palmas. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA EM TRANSPORTES DA ANPET, 29., 2015, Ouro Preto. **Impacto do tráfego de caminhões em meio urbano: caso de Palmas**. Ouro Preto: Congresso Nacional de Pesquisa em Transportes da Anpet, 2015. p. 1-12. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/264383308_Avaliacao_do_impacto_da_medida_de_desempenho_no_equivalente_veicular_de_caminhoes. Acesso em: 15 mar. 2022.

TERRESTRES, Agência Nacional de Transportes. **MANUAL DE PROCEDIMENTOS DE FISCALIZAÇÃO EM POSTOS DE PESAGEM VEICULAR**. 2. ed. Brasília: Antt, 2018. 99 p. Disponível em: <https://portal.antt.gov.br/documents/359209/0/Manual+de+Fiscaliza%C3%A7%C3%A3o+em+Postos+de+Pesagem+Veicular.pdf/1b576ca5-8a3f-d977-605e-85fbd9a8e07b?t=1592236651820>. Acesso em: 12 mar. 2022.

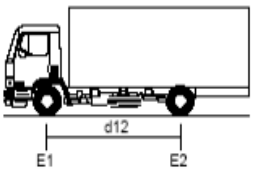
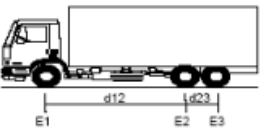
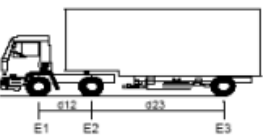
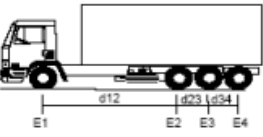
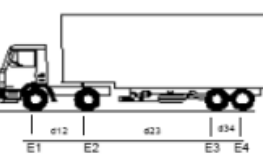
TULLU, Helen Hordofa; QUEZON, Emer Tucay. Determination of Passenger Car Unit for Urban Roads: A Case Study in Addis Ababa. **American Journal Of Construction And**

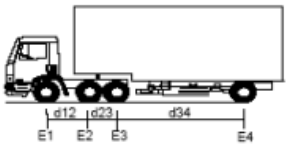
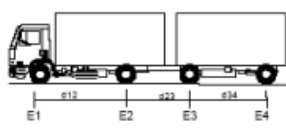
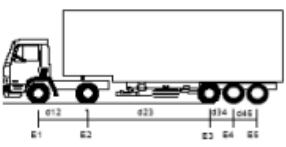
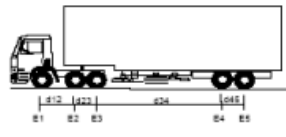
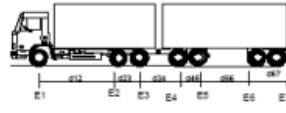
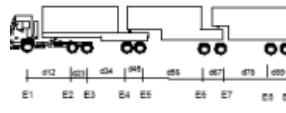
Building Materials. Addis Ababa, p. 57-63. maio 2021. Disponível em: https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3931154. Acesso em: 02 mar. 2022.

UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA CIENTÍFICA EM LOGÍSTICA URBANA NO BRASIL. Minas Gerais, 28 jun.

ANEXOS

Anexo 1- Classificação do Manual de Estudos do DNIT (2006)

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	2	16(16,8)	CAMINHÃO E1 = eixo simples (ES), rodagem simples (RS), carga máxima (CM) = 6t ou capacidade declarada pelo fabricante do pneumático E2 = ES, rodagem dupla (RD), CM = 10t $d12 \leq 3,50m$	2C
	3	23(24,2)	CAMINHÃO TRUCADO E1 = ES, RS, CM = 6t E2E3 = ES, conjunto de eixos em tandem duplo TD, CM = 17t $d12 > 2,40m$ $1,20m < d23 \leq 2,40m$	3C
	3	26(27,3)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM = 6t E2 = ED, RD, CM = 10t E3 = ED, RD, CM = 10t $d12, d23 > 2,40m$	2S1
	4	31,5(33,1)	CAMINHÃO SIMPLES E1 = ES, RS, CM 6t E2E3E4 = conjunto de eixos em tandem triplo TT; CM = 25,5t $d12 > 2,40$ $1,20m < d23, d34 \leq 2,40m$	4C
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3E4 = TD, CM = 17t $d12, d23 > 2,40m$ $1,20m < d34 \leq 2,40m$	2S2

SILHUETA	Nº DE EIXOS	PBT/CMT MÁX.(t)	CARACTERIZAÇÃO	CLASSE
	4	33(34,7)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4 = ED, RD, CM 10t d12, d34 > 2,40m 1,20 < d23 ≤ 2,40	3S1
	4	36(37,8)	CAMINHÃO + REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD, CM 10t E3 = ED, RD, CM 10t E4 = ED, RD, CM 10m d12, d23, d34 > 2,40m	2C2
	5	41,5(43,6)	CAMINHÃO TRATOR + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2 = ED, RD CM10t E3E4E5 = TT, CM 25,5t d12, d23 > 2,40m 1,20m d34, d45 ≤ 2,40m	2S3
	5	40(42)	CAMINHÃO TRATOR TRUCADO + SEMI REBOQUE E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM17t E4E5 = TD, CM 17t d12, d34 > 2,40m 1,20m < d23, d45 ≤ 2,40m	3S2
	7	57(59,9)	ROMEU E JULIETA(caminhão trucado + reboque) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = T0, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t d12, d34, d56 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67 ≤ 2,40m	3D4
	9	74(77,7)	TRI TREM(caminhão trator trucado + três semi reboques) E1 = ES, RS, CM 6t E2E3 = TD, CM 17t E4E5 = TD, CM 17t E6E7 = TD, CM 17t E8E9 = TD, CM 17t d12, d34, d56, d78 > 2,40m 1,20m < d23, d45, d67, d89 ≤ 2,40m	3T6

Fonte: Adaptado do Manual de tráfego do DNIT (2006)

Anexo 2- Dimensões conforme tipologia do Manual de Procedimentos de Fiscalização em Postos de Pesagem Veicular (2018).

COMPOSIÇÕES HOMOLOGADAS PARA O TRANSPORTE DE CARGA											
Caminhão Trator + Semi-reboque			Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT E PBTC (t)							Comprimento máximo (m)
				Comprimento total (metros)							
				Inferior ou igual a 14,0	Inferior a 16,0	Superior ou igual a 16,0	Inferior a 17,5	Superior ou igual a 17,5	Superior a 19,8	Superior ou igual a 25,0	
I-9			$6 + 10 + 10 = 26$		26	26					18,60
I-10			$6 + 10 + 17 = 33$		33	33					
I-11			$6 + 10 + 10 + 10 = 36$		36	36					
I-12			$6 + 10 + 25,5 = 41,5$		41,5	41,5					
I-13			$6 + 10 + 10 + 17 = 43$		43	43					
I-14			$6 + 10 + 10 + 10 + 10 = 46$		45	46					
I-15			$6 + 17 + 10 = 33$		33	33					
I-16			$6 + 17 + 10 + 10 = 43$		43	43					
I-17			$6 + 13,5 + 10 + 10 = 39,5$		39,5	39,5					
COMPOSIÇÕES HOMOLOGADAS PARA O TRANSPORTE DE CARGA											
Caminhão			Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT E PBTC (t)							Comprimento máximo (m)
				Comprimento total (metros)							
				Inferior ou igual a 14,0	Inferior a 16,0	Superior ou igual a 16,0	Inferior a 17,5	Superior ou igual a 17,5	Superior a 19,8	Superior ou igual a 25,0	
I-1			$6 + 6 = 12$	12							14,00
I-2			$6 + 10 = 16$	16							
I-3			$6 + 17 = 23$	23							
I-4			$6 + 13,5 = 19,5$	19,5							
I-5			$6 + 13,5 = 19,5$	19,5							
I-6			$12 + 17 = 29$	29							
I-7			$12 + 13,5 = 25,5$	25,5							
I-8			$12 + 13,5 = 25,5$	25,5							
Ônibus convencional			Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT E PBTC (t)							Comprimento máximo (m)
				Comprimento total (metros)							
				Inferior ou igual a 14,0	Inferior ou igual a 15,0	Superior ou igual a 16,0	Inferior a 17,5	Superior ou igual a 17,5	Inferior ou igual a 18,6		
III-1			$6 + 6 = 12$	12							14,0
III-2			$6 + 10 = 16$	16							
III-3			$6 + 17 = 23$	23,0							
III-4			$6 + 13,5 = 19,5$	19,5							
III-5			$6 + 13,5 = 19,5$	19,5							
III-6			$12 + 10 = 22$	22,0							
III-7			$12 + 17 = 29$	29,0							
III-8			$12 + 13,5 = 25,5$	25,5							
III-9			$12 + 13,5 = 25,5$	25,5							

COMPOSIÇÕES HOMOLOGADAS PARA O TRANSPORTE DE CARGA											
Caminhão Trator + Semi-reboque			Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT E PBTC (t)							Comprimento máximo (m)
				Comprimento total (metros)							
				Inferior ou igual a 14,0	Inferior a 16,0	Superior ou igual a 16,0	Inferior a 17,5	Superior ou igual a 17,5	Superior a 19,8	Superior ou igual a 25,0	
I-26			$6 + 17 + 17 = 40$		40	40				18,6	
I-27			$12 + 13,5 + 10 + 17 = 52,5$		45	52,5					
I-28			$12 + 10 + 25,5 = 47,5$		45	47,5					
I-29			$12 + 17 + 25,5 = 54,5$		45	54,5					
I-30			$12 + 13,5 + 25,5 = 51$		45	51					
I-31			$12 + 17 + 10 = 39$		39	39					
I-32			$12 + 13,5 + 10 = 35,5$		35,5	35,5					
I-33			$12 + 17 + 17 = 46$		45	46					
I-34			$12 + 13,5 + 17 = 42,5$		42,5	42,5					
I-35			$12 + 17 + 10 + 10 = 49$		45	49					
I-36			$12 + 13,5 + 10 + 10 = 45,5$		45	45,5					

COMPOSIÇÕES HOMOLOGADAS PARA O TRANSPORTE DE CARGA											
Caminhão + Reboque			Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT E PBTC (t)							Comprimento máximo (m)
				Comprimento total (metros)							
				Inferior ou igual a 14,0	Inferior a 16,0	Superior ou igual a 16,0	Inferior a 17,5	Superior ou igual a 17,5	Superior a 19,8	Superior ou igual a 25,0	
I-37			$6 + 10 + 10 + 10 = 36$				36	36		19,80	
I-38			$6 + 10 + 10 + 17 = 43$				43	43			
I-39			$6 + 10 + 17 + 17 = 50$				45	50			
I-40			$6 + 17 + 10 + 10 = 43$				43	43			
I-41			$6 + 17 + 10 + 17 = 50$				45	50			
I-42			$6 + 17 + 17 + 17 = 57$				45	57			
I-43			$6 + 13,5 + 10 + 10 = 39,5$				39,5	39,5			
I-44			$6 + 13,5 + 10 + 17 = 46,5$				45	46,5			
I-45			$6 + 13,5 + 17 + 17 = 53,5$				45	53,5			
I-46			$12 + 17 + 10 + 10 = 49$				45	49			
I-47			$12 + 17 + 10 + 17 = 56$				45	56			
I-48			$12 + 13,5 + 10 + 10 = 45,5$				45	45,5			
I-49			$12 + 13,5 + 10 + 17 = 52,5$				45	52,5			

COMPOSIÇÕES QUE NECESSITAM DE AUTORIZAÇÃO ESPECIAL DE TRÂNSITO - AET											
Caminhão Trator + 3 Semi-reboques			Peso máximo por eixo ou conjunto de eixos (t)	PBT E PBTC (t)							Comprimento máximo (m)
				Comprimento total (metros)							
				Inferior ou igual a 14,0	Inferior a 16,0	Superior ou igual a 16,0	Inferior a 17,5	Superior ou igual a 17,5	Superior a 19,8	Superior ou igual a 25,0	
II-24			$6 + 17 + 17 + 10 + 10 = 60$							30,00	
II-25			$6 + 17 + 10 + 17 + 10 = 60$								
II-26			$6 + 17 + 10 + 10 + 17 = 60$								
II-27			$6 + 17 + 17 + 17 + 10 = 67$								
II-28			$6 + 17 + 17 + 10 + 17 = 67$								
II-29			$6 + 17 + 10 + 17 + 17 = 67$								
II-30			$6 + 17 + 17 + 17 + 17 = 74$								
II-31			$6 + 13,5 + 17 + 10 + 10 = 56,5$					56,5			

Fonte: Adaptado do Manual de Procedimentos de Fiscalização em Postos de Pesagem Veicular (2018).