

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Maria Antonia Conti Paulino

**ANÁLISE DA CAPACIDADE VIÁRIA E NÍVEL DE  
SERVIÇO DE UMA RÓTULA MODERNA ENTRE  
AVENIDA BRUNO RUGGIERO FILHO E AVENIDA  
PARQUE FABER NA CIDADE DE SÃO CARLOS (SP)**

SÃO CARLOS - SP  
2025

MARIA ANTONIA CONTI PAULINO

**ANÁLISE DA CAPACIDADE VIÁRIA E NÍVEL DE SERVIÇO DE UMA RÓTULA  
MODERNA ENTRE AVENIDA BRUNO RUGGIERO FILHO E AVENIDA PARQUE FABER  
NA CIDADE DE SÃO CARLOS (SP)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Fernando Hideki Hirose

## **DEDICATÓRIA**

A Deus primeiramente, aos meus avós e aos meus pais.

## AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a Deus e a São Judas Tadeu, que nunca me desampararam durante minha trajetória.

Agradeço a meus pais Maria Therezinha e Silvio por sempre terem feito o possível e impossível para eu chegar aqui me apoiando em cada etapa vivida, sem nunca desistir de mim. Tudo isso sempre foi por vocês.

Ao meu orientador de Trabalho de Conclusão de Curso Prof. Dr. Fernando Hideki Hirose que em nenhum momento mediu esforços para me ajudar a desenvolver esse trabalho e teve muita paciência comigo. Além de orientador de TCC, agradeço também formalmente pela orientação de Iniciação Científica, estágio e por todas as aulas espetaculares ministradas durante tantas matérias na área de transportes que pude ter o privilégio de acompanhar. Obrigada por me mostrar que essa área é realmente incrível e a que mais gosto.

Ao meu namorado, Igor Maciel, por ter me fortalecido a cada momento de desânimo e por ter acompanhado todo o percurso até aqui bem de perto, me oferecendo todo o suporte emocional e confiança necessária para me manter focada e dedicada.

Às minhas amigas que também me deram muito suporte, em momentos que precisava de distração ou de mais foco, estando sempre presentes, me incentivando a não desistir.

À empresa Barbato Engenharia por todos os ensinamentos e por todo apoio para execução deste trabalho.

**Análise da capacidade viária e nível de serviço de uma rótula moderna entre Avenida Bruno Ruggiero Filho e Avenida Parque Faber na cidade de São Carlos (SP).**

**RESUMO**

Com o crescimento das populações e das malhas urbanas, tem-se também aumento no número de automóveis, tornando o fluxo de tráfego conturbado e as vias insuficientes para o novo fluxo. Assim, é de extrema importância que haja estudos para manter os cruzamentos e vias em um nível de serviço razoável. No presente trabalho é analisada a capacidade de tráfego da rotatória localizada entre as vias Avenida Bruno Ruggiero Filho e Avenida Parque Faber, na cidade de São Carlos - SP. O ponto é localizado próximo a um Polo Gerador de Viagens, o Shopping Iguatemi. Em virtude do alto fluxo de veículos que trafegam neste dispositivo, deu-se a necessidade da avaliação da capacidade de fluxo, com o propósito de definir o nível de serviço da mesma, e também apresentar possíveis medidas mitigadoras, a fim de reduzir os problemas locais. Para definir o nível de serviço do dispositivo, no cenário atual realizou-se a contagem veicular nos horários de picos, com matriz O/D, utilizando a metodologia proposta pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) no Manual de Projeto de Interseções, visto que se trata de uma rotatória moderna. Também foi realizada análise do nível de serviço em um cenário futuro, calculado para 5 anos, com projeção de frota a partir de dados reais dos últimos 4 anos. Para o caso em estudo, no cenário atual, o nível de serviço teve resultado menor que o aceitável em um ramo no pico da manhã, e em 2 no pico da tarde, enquanto para o cenário futuro, no pico da manhã 1 ramo saturado e à tarde 3. Desta forma, com resultados demonstrando que a rotatória não encontra-se em boa utilização, sofrendo com congestionamentos e podendo resultar em aumento de sinistros de trânsito, faz-se necessário um aprofundamento em questão à medidas capazes de melhorar a fluidez neste dispositivo.

**Palavras-chave:** capacidade; nível de serviço; matriz O/D; rotatória moderna.

**Analysis of the road capacity and service level of a modern roundabout  
between Avenida Bruno Ruggiero Filho and Avenida Parque Faber in the city of  
São Carlos (SP).**

**ABSTRACT**

With the growth of populations and urban networks, there is also an increase in the number of automobiles, making the flow of traffic troubled and the roads inadequate for the new flow. Thus, there must be studies to keep the intersections and roads at a reasonable level of service. In the present work, the traffic capacity of the roundabout located between Avenida Bruno Ruggiero Filho and Avenida Parque Faber, in the city of São Carlos - SP, is analyzed. The point is located next to a Travel Generator Pole, Shopping Iguatemi. Due to the high flow of vehicles that travel in this device, it was necessary to evaluate the flow capacity, with the purpose of defining the level of service of the same, and also to present possible mitigating measures, in order to reduce local problems. To define the service level of the device, in the current scenario, vehicle counting was carried out at peak hours, with an O/D matrix, using the methodology proposed by the National Department of Transport Infrastructure (DNIT) in the Intersection Design Manual, since it is a modern roundabout. An analysis of the service level in a future scenario was also carried out, calculated for 5 years, with a fleet projection based on real data from the last 4 years. For the case under study, in the current scenario, the service level had a result lower than acceptable in one branch in the morning peak, and in 2 in the afternoon peak. For the future scenario, in the morning peak 1 saturated branch and 3 in the afternoon. Thus, with results demonstrating that the roundabout is not in good use, suffering from congestion and may result in an increase in traffic accidents, it is necessary to deepen the question of measures capable of improving the fluidity of this device.

**Keyword:** capacity; service level; O/D matrix, modern roundabout.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Hierarquia funcional das vias urbanas .....	14
Figura 2 - Conflito 1 .....	16
Figura 3 - Conflito 2 .....	16
Figura 4 - Conflito 3 .....	16
Figura 5 - Conflito 4 .....	16
Figura 6 - Conflito 5 .....	17
Figura 7 - Conflito 6 .....	17
Figura 8 - Conflito 7 .....	17
Figura 9 - Conflito 8 .....	17
Figura 10 - Conflito 9 .....	18
Figura 11 - Conflito 10 .....	18
Figura 12 - Conflito 11 .....	18
Figura 13 - Conflito 12 .....	18
Figura 14 - Conflito 13 .....	19
Figura 15 - Conflito 14 .....	19
Figura 16 - Conflito 15 .....	19
Figura 17 - Conflito 16 .....	19
Figura 18 - Diminuição de pontos de conflito entra interseção e rotatória moderna .....	20
Figura 19 - Fluxos de Tráfego em uma Rotatória de 4 ramos .....	27
Figura 20 - Capacidade das Entradas.....	30
Figura 21 - Fator de redução (fi) para considerar a influência da travessia de pedestres de uma entrada com uma faixa de tráfego a uma rótula com uma faixa de tráfego. ....	31
Figura 22 - Fator de redução (fi) para considerar a influência da travessia de pedestres de uma entrada com duas faixas de tráfego a uma rótula com duas faixas de tráfego. ....	31
Figura 23 - Tempo médio de espera .....	32
Figura 24 - Fluxograma das etapas de trabalho.....	35
Figura 25 - Hierarquia Viária do município de São Carlos.....	37
Figura 26 - Rotatória estudada, seus ramos e SKZ .....	38
Figura 27 - Possíveis movimentos saindo da Origem 1 .....	39
Figura 28 - Possíveis movimentos saindo da Origem 2 .....	40
Figura 29 - Possíveis movimentos saindo da Origem 3 .....	40
Figura 30 - Possíveis movimentos saindo da Origem 4 .....	41
Figura 31 - Possíveis movimentos saindo da Origem 5 .....	41
Figura 32 - Níveis de serviço do pico da manhã do cenário atual .....	47
Figura 33 - Níveis de serviço do pico da tarde do cenário atual .....	48
Figura 34 - Níveis de serviço do pico da manhã do cenário futuro.....	53
Figura 35 - Níveis de serviço do pico da tarde do cenário futuro.....	54
Figura 36 - Entrada do ramo 2 da rotatória em estudo.....	56
Figura 37 - Entrada do ramo 5 da rotatória em estudo.....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Fator de equivalência em carros de passeio .....	24
Tabela 2 - Exemplo de Matriz O/D .....	28
Tabela 3 - Níveis de serviço em função dos tempos de espera .....	33
Tabela 4 - Possíveis movimentos da rotatória estudada .....	39
Tabela 5 - Matriz Origem Destino da rotatória em estudo .....	42
Tabela 6 - Horas de pico previamente definidas e seus volumes.....	43
Tabela 7 - Matriz O/D pico da manhã .....	44
Tabela 8 - Matriz O/D pico da tarde .....	44
Tabela 9 - Matriz O/D pico da manhã e soma dos arcos ki e entradas zi .....	45
Tabela 10 - Matriz O/D pico da tarde e soma dos arcos ki e entradas zi.....	45
Tabela 11 - Cálculo da capacidade básica $G_i$ para o pico da manhã .....	45
Tabela 12 - Cálculo da capacidade básica $G_i$ para o pico da tarde .....	46
Tabela 13 - Cálculo da capacidade de entrada ( $C_i$ ) e capacidade residual ( $R_i$ ) para o pico da manhã .....	46
Tabela 14 - Cálculo da capacidade de entrada ( $C_i$ ) e capacidade residual ( $R_i$ ) para o pico da tarde .....	46
Tabela 15 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da manhã	47
Tabela 16 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da tarde...	48
Tabela 17 - Tempo médio de espera e nível de serviço da Rotatória.....	49
Tabela 18 - Valores de frotas por ano em São Carlos.....	49
Tabela 19 - Matriz O/D pico da manhã para 2030.....	50
Tabela 20 - Matriz O/D pico da tarde para 2030 .....	50
Tabela 21 - Matriz O/D pico da manhã para 2030 e soma dos arcos ki e entradas zi .....	51
Tabela 22 - Matriz O/D pico da tarde para 2030 e soma dos arcos ki e entradas zi .....	51
Tabela 23 - Cálculo da capacidade básica $G_i$ para o pico da manhã para 2030 .....	51
Tabela 24 - Cálculo da capacidade básica $G_i$ para o pico da tarde para 2030.....	52
Tabela 25 - Cálculo da capacidade de entrada ( $C_i$ ) e capacidade residual ( $R_i$ ) para o pico da manhã para 2030.....	52
Tabela 26 - Cálculo da capacidade de entrada ( $C_i$ ) e capacidade residual ( $R_i$ ) para o pico da tarde para 2030 .....	52
Tabela 27 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da manhã para 2030 .....	53
Tabela 28 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da tarde para 2030 .....	54
Tabela 29 - Resumo dos níveis de serviço .....	54
Tabela 30 - Tempo médio de espera e nível de serviço da Rotatória.....	55

## Sumário

1	INTRODUÇÃO.....	9
1.1	JUSTIFICATIVA.....	10
1.2	OBJETIVOS.....	11
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1	SISTEMA VIÁRIO.....	12
2.1.1	Vias Urbanas.....	13
2.1.2	Interseções e conflitos.....	15
2.1.3	Formas de controle do tráfego.....	20
2.2	PESQUISAS DE TRÁFEGO.....	23
2.2.1	Volumes de tráfego.....	23
2.2.2	Contagens Volumétricas.....	24
2.2.3	Capacidade viária e Nível de Serviço.....	26
3	METODOLOGIA.....	34
4	RESULTADOS.....	35
4.1	PESQUISAS DE TRÁFEGO: CÁLCULO DA CAPACIDADE E DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO.....	43
4.2	AUMENTO DE FROTA E O IMPACTO NO NÍVEL DE SERVIÇO.....	49
4.3	MELHORIAS PROPOSTAS PARA A ROTATÓRIA.....	55
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
	REFERÊNCIAS.....	59
	APÊNDICE A – CONTAGENS VOLUMÉTRICAS.....	64

## 1 INTRODUÇÃO

A população nas áreas urbanas está crescendo cada vez mais, logo, o número de veículos presentes nas vias também aumenta. Em alguns casos, não se faz possível a compatibilização da expansão urbana, que ocorre de forma rápida, com um planejamento adequado. Desta forma, algumas regiões acabam ficando sobrecarregadas, gerando diversos problemas para os usuários da área.

Com cada vez mais automóveis trafegando nos sistemas viários, verificam-se consequências negativas, como aumento do número de sinistros de trânsito, diminuição da segurança do condutor, aumento do tempo de trajeto, diminuição das velocidades, entre outros.

Segundo Millack (2014), a ausência de fluidez nos deslocamentos urbanos, em grandes cidades, impacta imediatamente na qualidade de vida dos habitantes. É importante ressaltar que não é só o deslocamento de um ponto a outro que interessa, mas também poder realizá-lo com eficiência, segurança e alto nível de qualidade (SOUZA, 2014).

Além dos problemas já citados, tem-se também a poluição gerada por veículos parados no trânsito, estresse dos condutores por conta das longas filas e do tempo perdido no trânsito; o que deveria ser um trajeto rápido e com qualidade se torna algo perigoso e incômodo.

No sistema viário, os cruzamentos, ou interseções, são pontos de gargalo, em relação à capacidade de tráfego, e apresentam um risco maior de acidentes. Logo segurança e fluidez são características importantes nestes locais (NERIS, 2014).

Ao se obter um nível de serviço baixo, existem algumas medidas que podem ser tomadas a fim de melhorar a qualidade das interseções. Alguns exemplos são ampliação da malha urbana, aumento do número de faixas de rolamento, inserção de semáforos e transformação do cruzamento para uma rotatória.

Segundo o Manual de Projetos de Interseções do DNIT (2005), existem dois tipos de rótulas: convencionais e as modernas. De acordo com Neris (2014), se trata de um dispositivo viário, com interseção em nível, sendo mais usual a implantação do modelo de rotatória moderna, que consiste na preferência dos condutores que circulam na ilha central.

As rótulas modernas apresentam vantagens em relação a outros tipos de interseção como: eliminação de cruzamentos, redução do número de conflitos,

redução do consumo de combustível e emissão de gases poluentes, reduzem tempo de espera e apresentam maior capacidade que interseções semaforizadas. Entretanto, existem também desvantagens: necessitam de maior espaço, normalmente mais onerosas que as interseções diretas, aumentam o trajeto dos pedestres e apresentam difícil ampliação, não sendo aptas a planos de construção por etapas (DNIT, 2005).

Segundo Schuster (2012), o objetivo de uma rotatória é limitar velocidade e organizar fluxos de tráfego, a fim de reduzir conflitos, acidentes e melhorar a fluidez entre veículos que trafegam por ela.

Com esse dispositivo, sendo colocado no lugar de uma interseção de duas vias de mão dupla, segundo o DNIT (2005), os pontos de conflito passam de 32 para 8, caso sejam 4 ramos, possivelmente diminuindo o número de acidentes e melhorando a fluidez, ou seja, aumentando seu nível de serviço para um mais aceitável.

As cidades de porte médio, assim como São Carlos, enfrentam os problemas citados anteriormente. Sendo assim, o presente trabalho visa colaborar com o estudo de um dispositivo de controle do tráfego do tipo rotatória em uma região da cidade, podendo-se definir algumas medidas para resolver ou minimizar as situações enfrentadas pelos condutores. Desta forma, a rotatória moderna, é o tipo de interseção tratada nesse trabalho.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo a Secretaria Nacional de Trânsito (SENATRAN) (2022), em dezembro de 2022 foram computados 198.762 veículos automotores na cidade de São Carlos. Visto que, no mesmo período, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022b), o município contava com 254.857 habitantes, pode-se ter o valor de aproximadamente um veículo para cada 1,28 habitante.

Se comparado ao Brasil, que no último censo demográfico, de 2022, havia 203.080.756 habitantes (IBGE, 2022a), e segundo o SENATRAN (2022), 115.116.532 veículos, obtêm-se a taxa de um veículo para cada 1,76 habitante, o que mostra que a cidade de São Carlos possui número significativo de veículos que trafegam por suas vias.

Cabe ressaltar que São Carlos possui uma frota flutuante muito elevada, por se tratar de uma cidade com um perfil estudantil muito consolidado, e assim existe uma

grande e forte comunidade acadêmica, na qual muitos de seus pertencentes possuem veículos, saturando algumas vias em horário de pico.

Atrelado ao tamanho da frota de veículos, estão os números de sinistros de trânsito, tanto em nível global, como local. Assim, é de extrema importância que estudos sejam realizados a fim de melhorar a fluidez, a segurança e o conforto aos usuários do sistema viário, e uma das formas de averiguar os problemas existentes em dispositivos próximos aos Polos Geradores de Viagens (PGV's) é o cálculo do nível de serviço de um cruzamento, o que foi feito neste trabalho.

O local para o estudo de caso escolhido foi uma rotatória que apresenta capacidade de tráfego insuficiente em horários de pico, com formação de filas, possível aumento no número de acidentes, atrasos significativos e lentidão no trânsito.

O grande volume de veículos é explicado pela proximidade do cruzamento a um grande Polo Gerador de Viagens da cidade, o Shopping Iguatemi. A expansão no entorno do ponto também aumenta o fluxo que passa por ali, durante o dia, visto que novos empreendimentos residenciais estão sendo entregues na região.

O dispositivo pode ser, também, muito utilizado por alunos e funcionários da Universidade de São Paulo (USP), visto que a rotatória se localiza em uma das possíveis rotas entre o centro da cidade e o segundo campus da faculdade.

Portanto, é necessário o estudo de locais como o deste trabalho, com o intuito de melhorar a qualidade de pontos bastante solicitados pela população, a partir de desenvolvimento de pesquisas, cálculo dos níveis de serviço e execução de algumas medidas, a fim de que os pontos de congestionamento possam ser diminuídos.

## 1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal a análise da capacidade viária da rotatória localizada na cidade de São Carlos, entre as vias Avenida Bruno Ruggiero Filho e Avenida Parque Faber, a fim de saber se a mesma está operando dentro do nível de serviço adequado, e se isso não ocorrer, sugerir medidas mitigadoras, com o intuito de melhorar a fluidez do tráfego.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica explora os contextos essenciais para compreender o estudo apresentado neste trabalho. Inicialmente, é fornecida uma explicação sobre o sistema viário urbano e seu funcionamento. Em seguida, são apresentadas definições para entender todas as fases do estudo de capacidade de fluxo de uma via. Por último, o conceito de rotatória é definido, com uma breve descrição de sua origem e principais características.

### 2.1 SISTEMA VIÁRIO

O sistema viário urbano é fundamental para a funcionalidade das cidades, afetando diretamente a mobilidade, a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico. No Brasil, a gestão e o planejamento dos sistemas viários urbanos são complexos e variam amplamente entre diferentes regiões e cidades.

De acordo com o Código de Trânsito Brasileiro (CTB), art. 1º, parágrafo 1º,

Considera-se trânsito a utilização das vias por pessoas, veículos e animais, isolados ou em grupos, conduzidos ou não, para fins de circulação, parada, estacionamento e operação de carga ou descarga (BRASIL, 1997, p.1).

Segundo Chagas (2009), é necessário um bom planejamento do sistema viário e de trânsito, a fim de oferecer fluidez no movimento, tanto dos veículos quanto dos pedestres; garantir também a segurança dos mesmos; possibilitar estacionamento de fáceis acessos; e priorizar meio de transporte coletivo.

Para Neris (2014), é de extrema complexidade medir a segurança e a eficiência do tráfego, visto que dependem de duas variáveis interdependentes, sendo elas conhecimentos relacionados aos fluxos de veículos e análise comportamental dos condutores. Além de uma depender da outra, ambas dependem do cenário em que se encontram.

A seguir, são apresentados os conceitos de vias urbanas e tipos de interseções que compõem o sistema viário.

### 2.1.1 Vias Urbanas

A definição de via, segundo o Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas, do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2010, p. 38), é:

Faixa de terreno, convenientemente preparada para o trânsito de qualquer natureza, podendo incluir pedestres, veículos e animais, compreendendo pistas, acostamentos, ilhas e canteiros, normalmente incluindo a área da sua faixa de domínio.

As vias de uma cidade devem ser classificadas de forma funcional, ou seja, elas devem ser agrupadas hierarquicamente em subsistemas, de acordo com o seu tipo de função e serviço. Essa classificação define a natureza do processo de canalização, definindo a função de cada via no escoamento do tráfego dentro da rede viária (DNIT, 2010). Os 4 sistemas básicos mais usuais são:

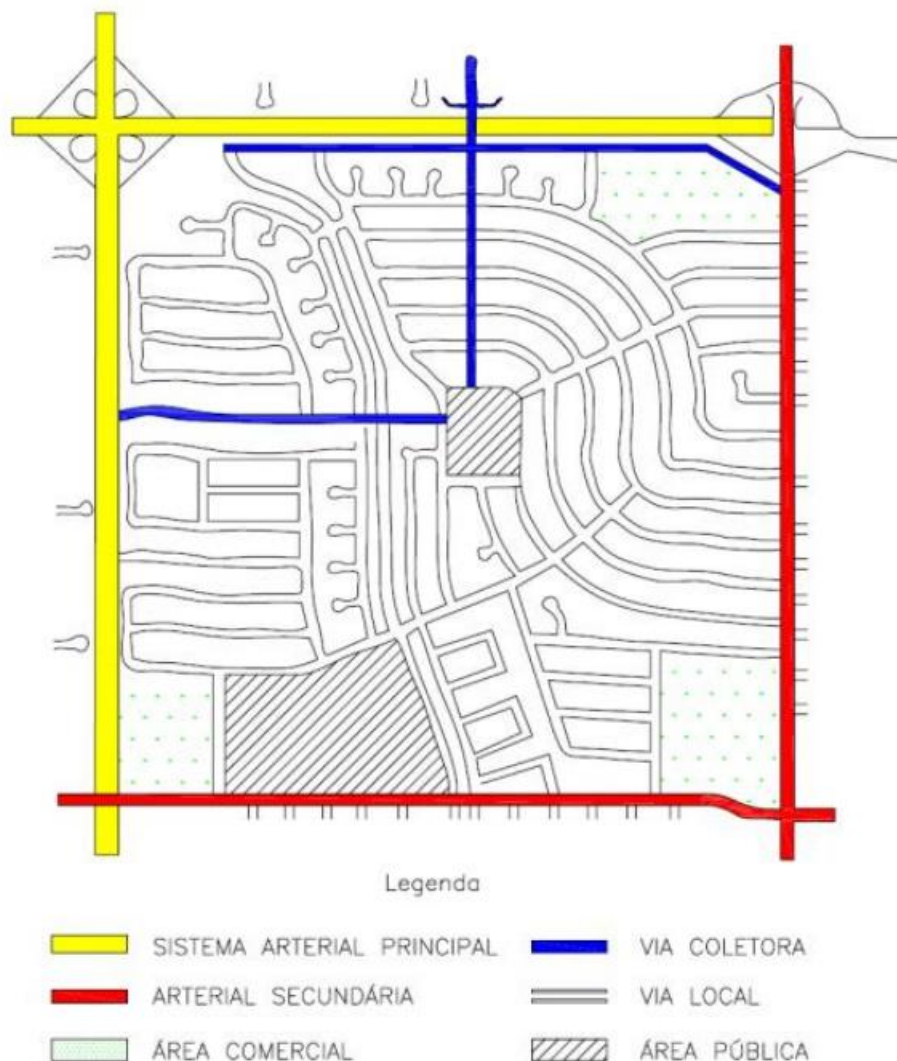
- Sistema arterial principal: atende os principais polos de atividade nas áreas urbanas, os corredores com maior volume de tráfego e as viagens de maior distância. Apesar de representar uma pequena porcentagem em termos de extensão dentro da rede viária, ele é responsável pelo transporte de uma grande parcela do tráfego urbano. Esse sistema precisa ser integrado tanto internamente quanto com as principais rodovias estaduais e federais, incluindo conexões e extensões das rodovias arteriais e coletoras interurbanas que penetram, atravessam ou contornam a área urbana;
- Sistema arterial secundário: complementa e se conecta ao Sistema Arterial Principal, sendo responsável por atender percursos de viagens de média extensão, com níveis de serviço inferiores aos das vias arteriais primárias. Ele atende viagens com um grau de mobilidade um pouco menor que o do Sistema Arterial Principal e distribui o tráfego para áreas menores em comparação com as cobertas pelo sistema principal;
- Sistema coletor: tem como principal função conectar as ruas locais às vias arteriais, garantindo a continuidade do tráfego dentro das comunidades locais ou subdivisões urbanas, porém, a baixas velocidades. Diferente do sistema arterial, as vias do Sistema Coletor podem penetrar nas áreas residenciais, distribuindo o tráfego proveniente das vias arteriais até seus destinos finais. Inversamente, o Sistema Coletor também recolhe o tráfego das vias locais das áreas residenciais e o direciona ao Sistema Arterial. Além disso, ele deve garantir o acesso às residências adjacentes que não são atendidas pelas vias

locais. Vias de grande fluxo no centro da cidade e outras áreas com alto volume de tráfego podem ser incorporadas a esse sistema; e

- Sistema local: engloba todas as vias que não fazem parte de sistemas hierarquicamente superiores. Sua função principal é proporcionar o acesso às propriedades adjacentes aos sistemas de maior hierarquia. Ele oferece o menor nível de mobilidade e, geralmente, não inclui rotas de ônibus. O tráfego de passagem é intencionalmente desestimulado nesse sistema.

A Figura 1 a seguir mostra um conjunto de vias, agrupando-as de acordo com suas funções e características geométricas, anteriormente explicitadas.

Figura 1 - Hierarquia funcional das vias urbanas



Fonte: DNIT (2010).

### 2.1.2 Interseções e conflitos

Segundo o Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005), uma interseção é definida como área onde duas ou mais vias se cruzam ou se juntam, circundando o espaço inteiro que seja destinado para facilitação dos movimentos executados pelos veículos que ali trafegam.

As interseções são separadas por duas classificações, de acordo com os planos onde realizam-se os movimentos: interseções em nível e interseções em níveis diferentes. Estas interseções podem representar situações críticas, visto que são constituintes de elementos descontínuos na rede viária (DNIT, 2005). No âmbito urbano é mais comum a ocorrência de interseções em nível, como por exemplo as rotatórias.

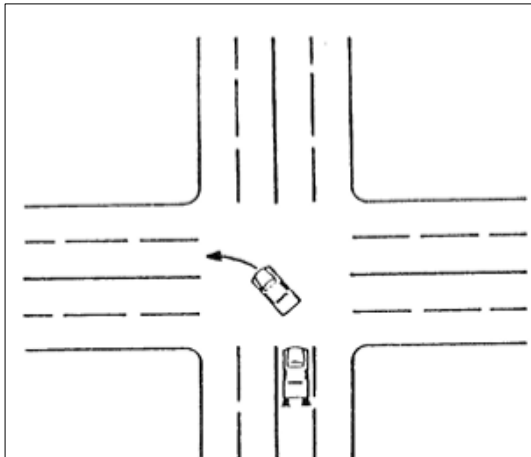
Já os pontos de conflitos são caracterizados como os locais onde ocorrem movimentos de cruzamento, convergência e divergência existentes no sistema viário. A quantidade de conflitos existentes em uma interseção afeta a operação do tráfego, causando diminuição nas velocidades dos veículos e interferência na capacidade e segurança da via.

Os conflitos são definidos como evento envolvendo 2 ou mais usuários do sistema viário que interagem entre si, como motoristas e pedestres, e pelo menos um dos dois age a fim de evitar uma colisão (MING, 2001).

Ao todo, segundo Federal Highway Administration (FHWA, 1989), são classificados 16 tipos de conflitos, dependendo da direção e das conversões realizadas pelos veículos envolvidos:

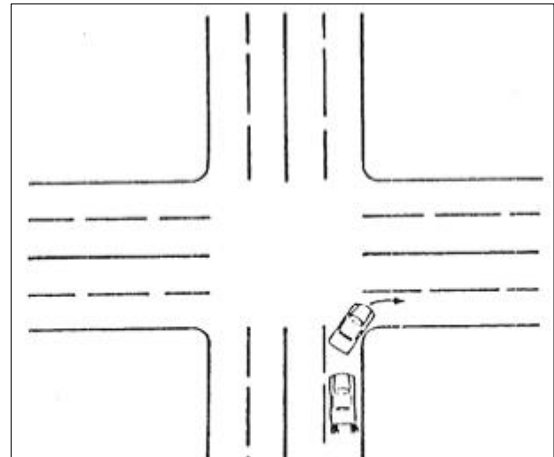
- Conflito 1 (Figura 2): Conflito de mesma direção, com veículo virando à esquerda. Ocorre quando o primeiro veículo reduz a velocidade para virar, gerando um risco de colisão traseira com o veículo seguinte.
- Conflito 2 (Figura 3): Conflito de mesma direção, com veículo virando à direita. Ocorre quando o primeiro veículo reduz a velocidade para virar, gerando um risco de colisão traseira com o veículo seguinte.

Figura 2 - Conflito 1



Fonte: FHWA (1989).

Figura 3 - Conflito 2

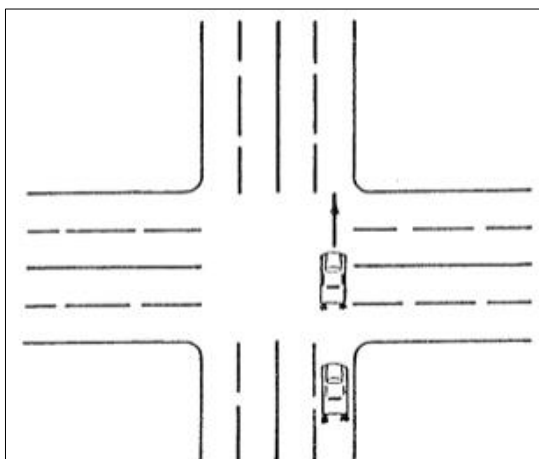


Fonte: FHWA (1989).

- Conflito 3 (Figura 4): Esse conflito é explicitado por uma desaceleração do veículo que está à frente, por uma precaução ao passar a interseção, possibilitando uma colisão traseira do veículo que está atrás.

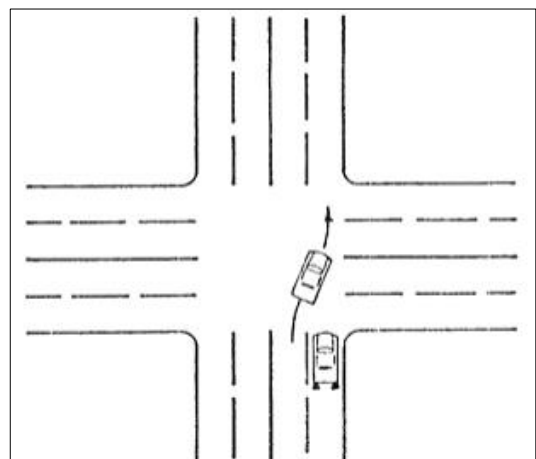
- Conflito 4 (Figura 5): Conflito proveniente de uma ultrapassagem, com um veículo passando de uma faixa da esquerda para faixa da direita, onde existe outro veículo, e, assim, pode acontecer colisão lateral ou traseira.

Figura 4 - Conflito 3



Fonte: FHWA (1989).

Figura 5 - Conflito 4

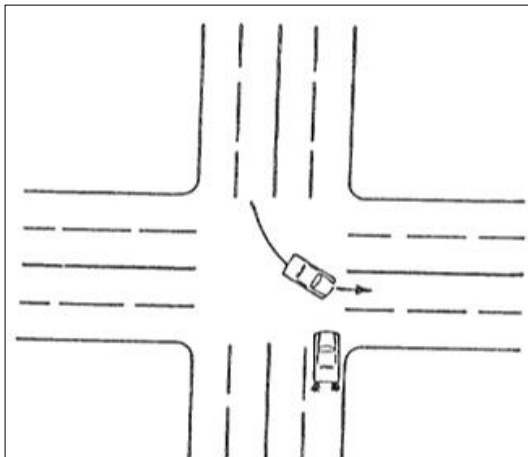


Fonte: FHWA (1989).

- Conflito 5 (Figura 6): Ocorre entre um veículo que está vindo na direção oposta ao veículo principal e vira à esquerda, gerando uma possível colisão frontal ou lateral.

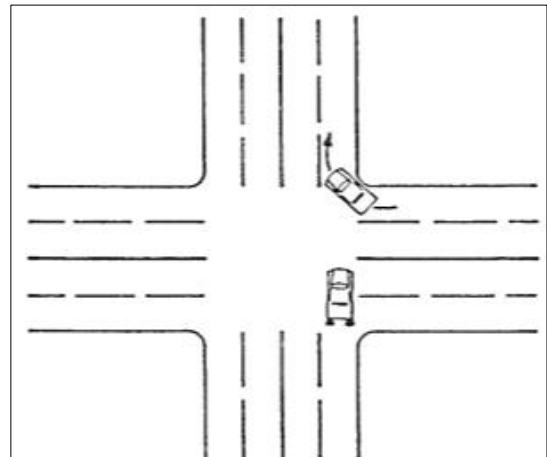
- Conflito 6 (Figura 7): O veículo que vem na transversal direita do veículo principal vira à direita, gerando possibilidade de colisão lateral ou traseira.

Figura 6 - Conflito 5



Fonte: FHWA (1989).

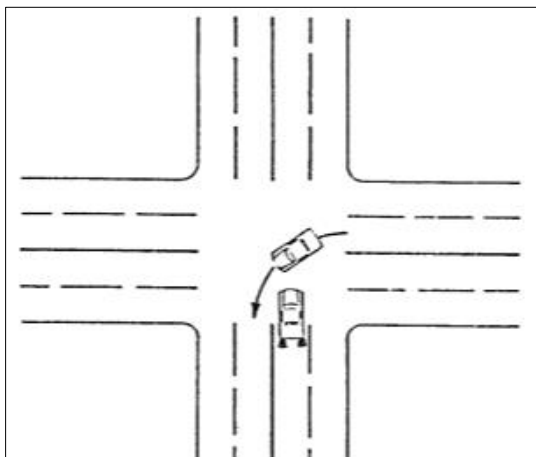
Figura 7 - Conflito 6



Fonte: FHWA (1989).

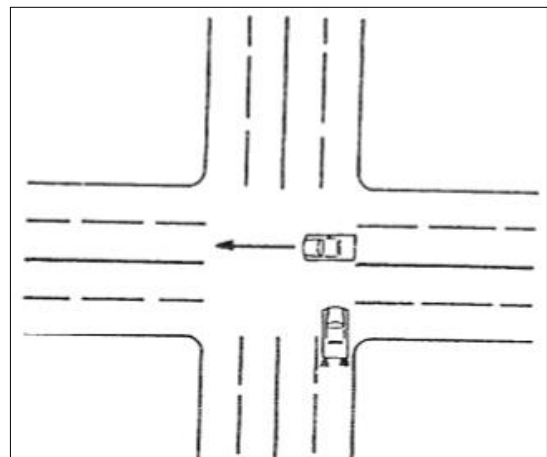
- Conflito 7 (Figura 8): O veículo que vem na transversal direita do veículo principal vira à esquerda, gerando possibilidade de colisão lateral.
- Conflito 8 (Figura 9): O veículo que vem na transversal direita do veículo principal segue em frente, gerando possibilidade de colisão lateral.

Figura 8 - Conflito 7



Fonte: FHWA (1989).

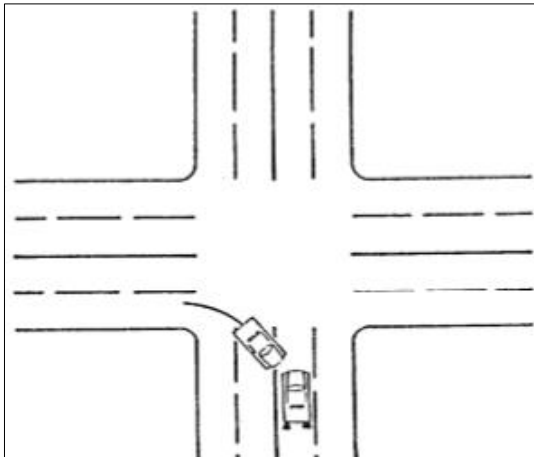
Figura 9 - Conflito 8



Fonte: FHWA (1989).

- Conflito 9 (Figura 10): O veículo que vem na transversal esquerda do veículo principal vira à direita, gerando possibilidade de frontal.
- Conflito 10 (Figura 11): O veículo que vem na transversal esquerda do veículo principal vira à esquerda, gerando possibilidade de colisão lateral ou traseira.

Figura 10 - Conflito 9



Fonte: FHWA (1989).

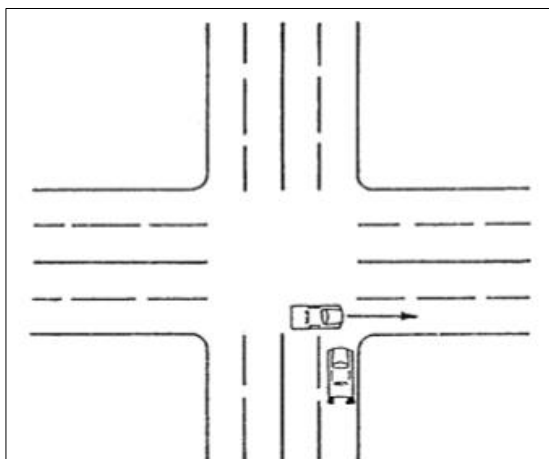
Figura 11 - Conflito 10



Fonte: FHWA (1989).

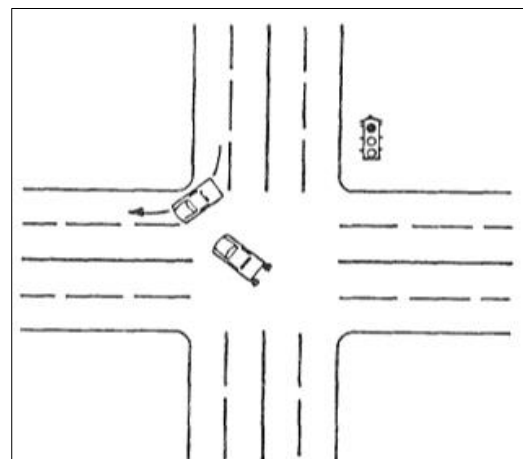
- Conflito 11 (Figura 12): O veículo que vem na transversal direita do veículo principal segue em frente, gerando possibilidade de colisão lateral.
- Conflito 12 (Figura 13): Acontece quando um veículo que se aproxima faz uma conversão à direita no vermelho durante a fase protegida de conversão à esquerda, colocando assim um segundo veículo que vira à esquerda (que tem o direito de passagem) em perigo de colisão lateral ou traseira.

Figura 12 - Conflito 11



Fonte: FHWA (1989).

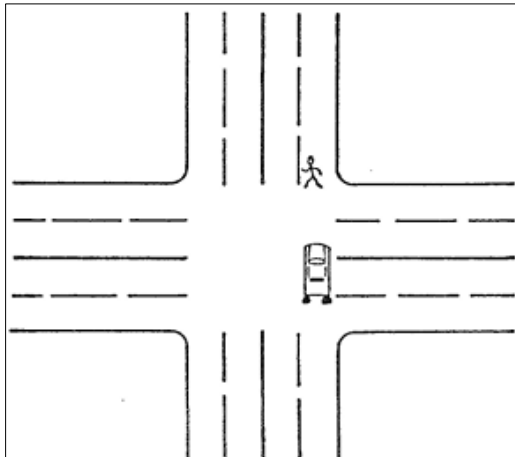
Figura 13 - Conflito 12



Fonte: FHWA (1989).

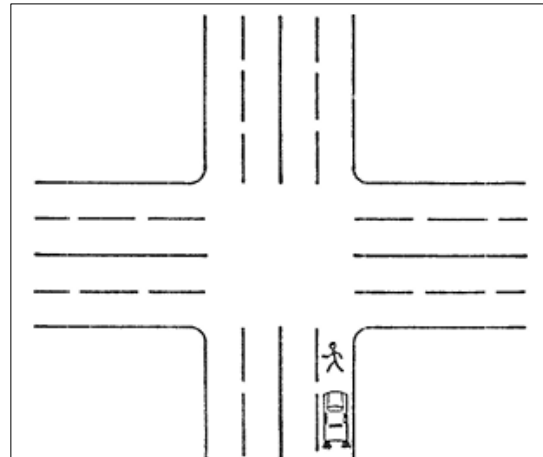
- Conflito 13 e 14 (Figuras 14 e 15): Conflitos gerados pela travessia de pedestres, seja ela realizada no lado mais distante ou mais próximo da interseção.

Figura 14 - Conflito 13



Fonte: FHWA (1989).

Figura 15 - Conflito 14



Fonte: FHWA (1989).

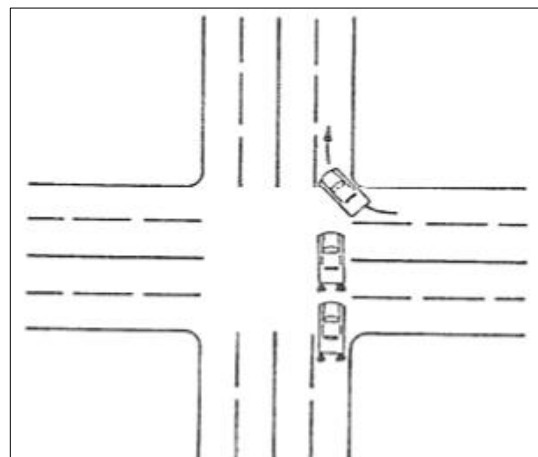
- Conflito 15 (Figura 16): Conflito considerado secundário. Muito parecido com o conflito 3, entretanto, impactando um terceiro veículo.
- Conflito 16 (Figura 17): Conflito considerado secundário. Muito parecido com o conflito 4, entretanto, impactando um terceiro veículo.

Figura 16 - Conflito 15



Fonte: FHWA (1989).

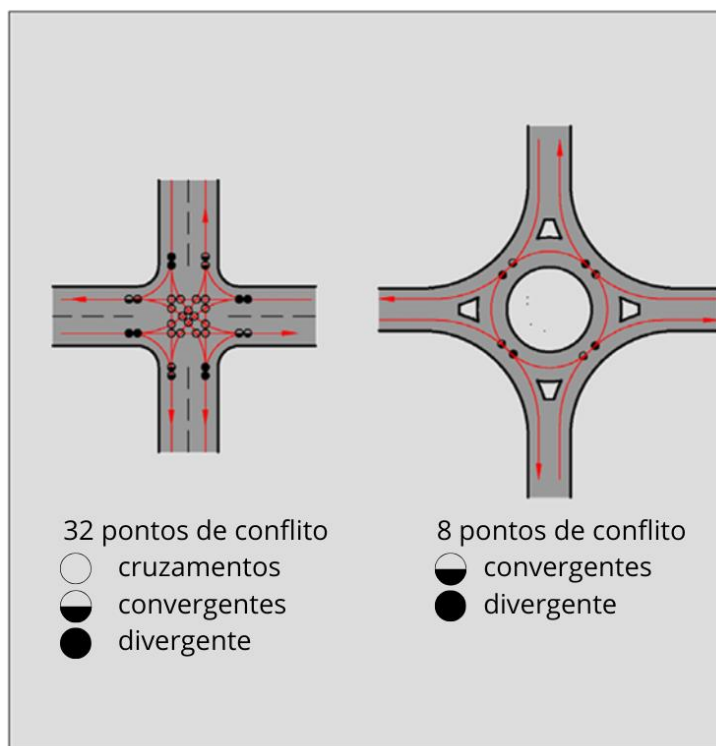
Figura 17 - Conflito 16



Fonte: FHWA (1989).

Alguns autores como Neris (2014), Schuster (2012) e Souza (2014) indicam que as rotatórias reduzem o número e a severidade dos acidentes nos cruzamentos onde são implantadas. Isso se dá, também, pela diminuição do número de pontos de conflitos de 32 para 8, como já citado no decorrer do presente trabalho, conforme pode ser visto na Figura 18 (DNIT, 2005).

Figura 18 - Diminuição de pontos de conflito entra interseção e rotatória moderna



Fonte: Adaptado de DNIT (2005).

### 2.1.3 Formas de controle do tráfego

O controle de tráfego é um aspecto fundamental para garantir a fluidez do trânsito e a segurança dos usuários da via. A escolha do tipo de controle a ser implementado em uma interseção depende de vários fatores, como o volume de tráfego, a complexidade da interseção, a segurança viária e a eficiência desejada no fluxo de veículos e pedestres. Existem alguns tipos de controle de tráfego, podendo ter maior ou menor eficiência. Os próximos itens apresentam breves contextualizações de alguns deles.

#### 2.1.3.1 Interseção sem sinalização

Segundo Neris (2014), as interseções sem sinalização são utilizadas quando há um fluxo pequeno de veículos. Segundo o CTB, art. 29, parágrafo 3º

Quando veículos, transitando por fluxos que se cruzem, se aproximarem de local não sinalizado, terá preferência de passagem:

- a) no caso de apenas um fluxo ser proveniente de rodovia, aquele que estiver circulando por ela;
- b) no caso de rotatória, aquele que estiver circulando por ela;
- c) nos demais casos, o que vier pela direita do condutor (BRASIL, 1997).

O cruzamento sem sinalização deve ser evitado, visto que a probabilidade da ocorrência de acidentes é grande. Vale ressaltar, também, que a utilização deste tipo de cruzamento não é cabível de justificativa, pois o custo de implantação de sinalização é relativamente baixo (ORTOLANI, 2003).

### 2.1.3.2 Interseção com sinalização (Pare ou Dê a preferência)

As sinalizações existentes nestas interseções podem ser verticais ou horizontais. As sinalizações verticais são classificadas, segundo o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2022), em 3 categorias:

- Regulamentação: Regulamentar obrigações, limitações, proibições ou restrições;
- Advertência: Advertir condutores sobre condições de risco potencial existente na via ou nas suas proximidades; e
- Indicação: Indicar direções, localizações, pontos de interesse turístico ou de serviços, e transmitir mensagens educativas.

As principais, neste caso, que podem ser aplicadas para controle da operação são os sinais de “Pare” e “Dê a preferência”, ambas classificadas como de regulamentação. O Pare é representado pela placa R-1, e o Dê a preferência pela placa R-2.

O sinal de “Pare” é utilizado para reforçar ou alterar a regra geral de direito de passagem, quando realmente há a necessidade de imobilização total do veículo, e não apenas reduzir a velocidade, para garantia da segurança, e em algumas outras situações listadas:

- Onde há grande risco de acidentes;
- Onde não apresenta necessidade de semáforo, entretanto encontra-se rodeado por áreas com sinalização semafórica;
- Na interseção com via preferencial de alto volume; e
- Interseções com visibilidade restrita ao condutor da via secundária.

Já o “Dê a preferência”, regulamenta que os veículos devem parar, ou ao menos diminuir a velocidade, visto que normalmente são introduzidos em pontos com melhor visibilidade.

### 2.1.3.3 Semáforo

De acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (CONTRAN, 2022), o semáforo tem como principal objetivo sinalizar ao usuário o direito de passagem dentro de um intervalo de tempo e espaço determinado, especialmente em locais com fluxos de tráfego conflitantes, ou para alertar sobre situações que possam representar risco à segurança viária. Em alguns casos, podem ser empregados semáforos exclusivos para veículos que realizam conversões em movimentos conflitantes, como, por exemplo, a conversão à esquerda em uma via de sentido duplo.

Ao ser instalado um semáforo, para que possa ser justificada sua implantação, é necessário que algumas consequências, como as citadas a seguir, sejam positivas:

- Segurança viária ampliada;
- Fluidez dos veículos, à medida que os tempos de cada movimento são distribuídos adequadamente;
- Diminuição de atrasos;
- Redução de conflitos, dado o controle correto da passagem de veículos e pedestres; e
- Credibilidade em relação ao usuário.

### 2.1.3.4 Rótula Moderna

A rótula ou rotatória se trata de um dispositivo viário em nível, onde os veículos circulam em volta de uma ilha central, sendo permitido realizar todos os movimentos (NERIS, 2014).

As principais vantagens que a rótula garante em uma interseção são diminuição do tempo de espera, eliminação de cruzamentos, ou seja, diminuição de conflitos e possíveis acidentes, possíveis manobras de retorno, diminuição do combustível gasto e de gases poluentes (MILLACK, 2014).

Segundo Akishino (2005), algumas outras vantagens das rotatórias são:

- Circulação ordenada, contínua e segura;
- Maior segurança;
- Substituição de cruzamentos por entrecruzamentos, tornando os conflitos menos agudos, e os acidentes que possam ocorrer, menos graves;
- Giros à esquerda com facilidade; e

- Boa adaptação em interseções de 5 ou mais ramos.

Ao esmiuçar estas formas de controle, pode-se dizer que a rotatória é uma boa opção visando minimizar os grandes números de conflitos e suas gravidades.

## 2.2 PESQUISAS DE TRÁFEGO

De acordo com o Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006), a partir de estudos de tráfego, se faz possível o conhecimento do fluxo veicular existente em determinada via em um período, suas velocidades, os locais de preferência de estacionamento dos condutores, lugares de concentração de acidentes, entre outras questões no sistema viário. Esses estudos permitem também a determinação da capacidade viária, de forma quantitativa, e, conseqüentemente, possibilitam a escolha de medidas que possam melhorar a fluidez.

Através de pesquisas, pode-se conhecer as origens e destinos dos veículos dentro de suas viagens no tráfego atual, e além disso, ao se ter conhecimento da forma de geração e distribuição, uma circulação futura, essencial para o planejamento de rede, é capaz de ser calculada.

A seguir, são apresentados alguns conceitos sobre contagem de tráfego.

### 2.2.1 Volumes de tráfego

Volume de Tráfego é definido como número de veículos que circulam por uma via em um determinado tempo, normalmente sendo dado em veículos/dia (vpd) ou veículos/hora (vph), incluindo todos os veículos, sejam eles em um sentido ou em ambos, ou ainda, os circundantes em apenas uma das faixas (DNIT, 2006). A unidade de tempo básica pode ser o período de um ano, um dia ou uma hora (AKISHINO, 2005).

De acordo com o DNIT (2006), caso o volume seja representado pela soma dos veículos, independentemente de sua categoria, o mesmo será dado em “Unidades de Tráfego Misto” (UTM). Entretanto, se os veículos componentes da soma forem padronizados a carros de passeio, por meio de uma conversão, o volume será dado em “Unidades de Carro de Passeio” (UCP) que é utilizado neste trabalho. Essa conversão é feita a partir de fatores de equivalência. No presente trabalho, foram transformados em UCP: motos, ônibus e caminhões, de acordo com a Tabela 1 a seguir, encontrada no Manual de Estudos de Tráfego do DNIT (2006).

Tabela 1 – Fator de equivalência em carros de passeio

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

Fonte: DNIT (2006).

Na Tabela 1, VP significa veículo de passeio, CO são os caminhões e ônibus, SR/RE são os semirreboques e reboques, M são as motocicletas, B bicicletas e SI veículos sem informação caso a contagem não seja feita por divisão de classificações.

Dentro desse assunto tem-se alguns conceitos importantes, como por exemplo o Volume Médio Diário (VMD), que se trata da média dos volumes de veículos que trafegam durante 24 horas em determinado trecho da via. Já o Volume Médio Anual (VMDa) é o número total de veículos trafegando em um ano dividido por 365 dias (DNIT, 2006).

Ainda de acordo com DNIT (2006), o Fator Horário de Pico (FHP) indica que, durante a hora de pico, a intensidade de tráfego pode ter valores bastante altos em algumas frações, e relativamente baixos em outras, ou se manter mais ou menos constante. Esse comportamento é calculado através do Fator de Hora Pico (FHP), conforme Equação 1:

$$FHP = V_{hp} / (4 * V_{15}) \quad (1)$$

Onde:

$V_{hp}$  = volume da hora de pico; e

$V_{15}$  = volume dos 15 minutos consecutivos de maior tráfego dentro da hora de pico.

### 2.2.2 Contagens Volumétricas

As Contagens Volumétricas têm como objetivo a determinação da quantidade, do sentido e da composição do fluxo de veículos que passam por um ou mais pontos escolhidos do sistema viário, por unidade de tempo escolhida. As informações obtidas, após serem manipuladas, são utilizadas na análise da capacidade viária do ponto, nas razões dos congestionamentos e índices altos de acidentes, nos projetos de canalização, no dimensionamento de pavimentos, entre outras melhorias (DNIT, 2006).

O DNIT apresenta três classificações de contagens volumétricas: Globais, Direcionais e Classificatórias. As Globais se referem ao registro do total de veículos que transitam por um segmento de estrada, sem considerar a direção, sendo

utilizados para o cálculo de volumes diários, elaboração de mapas de fluxo e identificação de padrões de tráfego.

Já nas Direcionais registra-se o número de veículos em cada sentido do tráfego, utilizado para cálculos de capacidade, definição de intervalos de semáforos, fundamentação de controles de trânsito, acidentes, entre outros. Fornece um detalhamento dos fluxos em uma interseção.

Em relação a Contagens Classificatórias tem-se os registros dos volumes de diferentes tipos ou categorias de veículos, utilizados para o dimensionamento estrutural e o projeto geométrico de estradas e interseções, cálculo da capacidade, avaliação de benefícios para os usuários e determinação dos fatores de correção para as contagens automáticas.

Existem diversas formas de se realizar as contagens volumétricas, dependendo da necessidade e confiabilidade desejadas. O DNIT (2006) traz a explicação de 3 formas distintas: Manuais, Automáticas e Videoteipe. As Contagens Manuais são feitas por pesquisadores, com utilização de fichas e contadores manuais. Esse modelo de contagem é ideal para alguns fins como: classificação de veículos, análise de movimentos em cruzamentos e contagens em rodovias com várias faixas. É fundamental que sejam anotadas quaisquer possibilidades de erros na contagem, visto que existem fatores que dificultam a contagem. Considerado de fácil operação, barato e bem flexível em relação à mudança de locais, pode cobrir uma área de análise maior em um período menor.

Por sua vez, as Contagens Automáticas são realizadas através de contadores automáticos, de vários tipos, nos quais os veículos são computados a partir de tubos pneumáticos ou dispositivos magnéticos, sonoros, etc. São utilizados acoplados em computadores, garantindo registro permanente dos volumes. Tem como desvantagem o elevado custo e exposição a roubos ou depredação.

Já o método por Videoteipe consiste na execução de uma filmagem com câmeras de vídeo, utilizada para determinação de volumes de tráfego. Se trata de um método que leva um tempo maior para ser instalado, se comparado à contagem manual in loco. Algumas de suas vantagens são: apenas um observador ser capaz de levantar dados de todos os movimentos que ocorrem simultaneamente, por maiores que sejam; maior confiança, visto que pode-se confirmar dados; melhor em questão de conforto do observador; e é possível obter outros dados a partir das gravações.

Atualmente, segundo a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) (2010)

já existem métodos de contagem mais rebuscados, como por exemplo o IST (Sistemas de Transporte Inteligente) que consiste num conjunto de equipamentos e sistemas de monitoramento de tráfego, utilizado principalmente em rodovias federais. Outro método é o Sistema de Sensoriamento de Tráfego, no qual um equipamento computadorizado registra e monitora, a movimentação veicular, guardando dados relativos à contagem, medição de tamanho e velocidade e contagem de eixos. São várias as opções de contagem veicular de forma mais inteligente, com maior precisão, entretanto, com custo maior também.

### **2.2.3 Capacidade viária e Nível de Serviço**

A determinação da Capacidade de uma via tem como objetivo quantificar o quão suficiente a mesma é para acomodar os volumes de veículos já existentes e também os projetados, possibilitando a análise técnica e econômica de soluções que garantam o escoamento eficiente desses volumes em condições aceitáveis (DNIT, 2006).

Ainda de acordo com DNIT (2006), a capacidade viária é definida como o número máximo de veículos que pode passar por uma faixa de tráfego ou trecho de via em um período determinado, levando em consideração as condições atuais da via e do tráfego. Esta, por si só, não é capaz de traduzir por completo as condições de utilização da via, pois refere-se apenas ao número de veículos que possa circular e ao intervalo de tempo decorrente deste uso. Outros fatores importantes como velocidade, tempo de percurso, facilidade de manobras, segurança, conforto e custos de operação não são incorporados na determinação da capacidade.

A fim de traduzir a utilização da via de forma mais adequada, qualificando-a além de quantificá-la, o conceito de Nível de Serviço foi criado e introduzido através do *Highway Capacity Manual* (HCM) na edição de 1965, permitindo a avaliação do grau de eficiência do serviço oferecido pela via, desde um volume de tráfego quase inexistente até o volume máximo ou a capacidade total da via (DNIT, 2006).

Logo, Nível de serviço é a avaliação da qualidade das condições operacionais de uma corrente de tráfego, considerando fatores como velocidade, tempos de viagem, liberdade de manobra, além das condições de conforto e segurança (DNIT, 2010).

Vale ressaltar que o conceito não cabe somente a veículos motorizados, existindo também o cálculo de nível de serviço para pedestres e bicicletas.

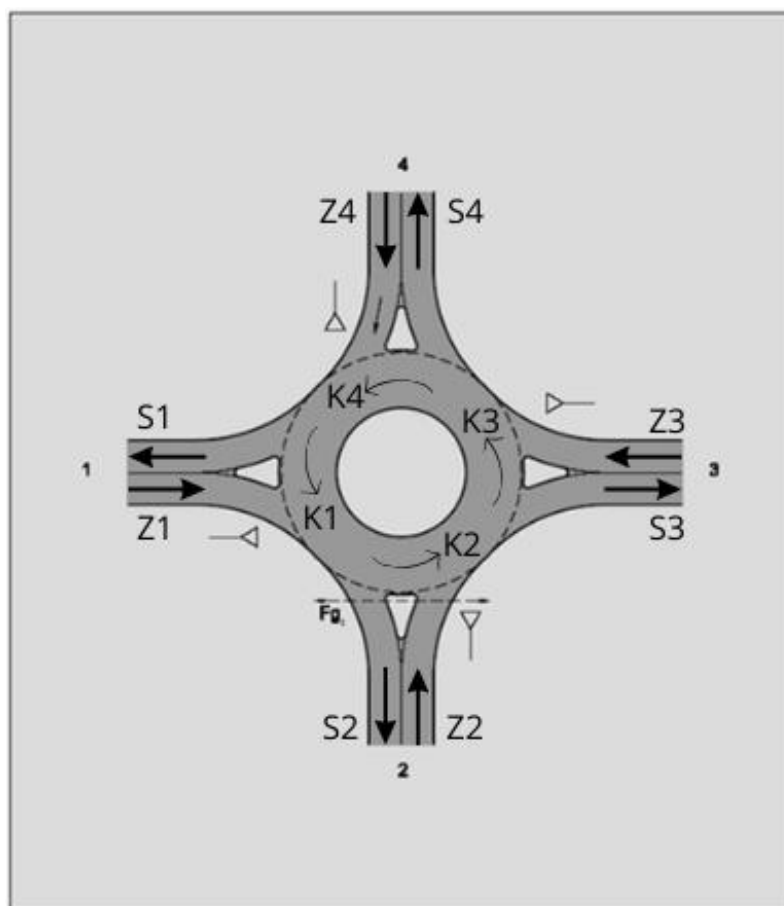
Para uma rotatória moderna, que é o caso do presente estudo, primeiramente o

DNIT (2005) indica que é necessária a elaboração da matriz origem e destino, a fim de que se possa determinar os fluxos presentes em cada ramo. Para fins de demonstração, será exemplificada uma rotatória com quatro ramos.

Os volumes de tráfego que chegam à rotatória são chamados de Z, acompanhados do número do ramo de origem. Já quem sai da rotatória, é expresso pela letra S, seguido do número do ramo de destino dos veículos que ali trafegam. Por fim, quem circula na rotatória, antes de cada entrada, são representados pela letra K e o número do ramo em frente a esse volume.

A Figura 19 mostra tal esquema, com indicação do número de cada ramo, e seus possíveis movimentos.

Figura 19 - Fluxos de Tráfego em uma Rotatória de 4 ramos



Fonte: Adaptado de DNIT (2005).

Ao realizar as pesquisas de tráfego, as contagens classificatórias de origem e destino devem ser feitas nos horários de pico, separando os tipos de veículos em:

- Carros de Passeio (VP);
- Caminhões e Ônibus (CO);

- Semirreboques e Reboques (SR/RE); e
- Motocicletas (M).

A partir dessas contagens, elabora-se uma matriz origem e destino, como o exemplo visto na Tabela 2.

Tabela 2 - Exemplo de Matriz O/D

Origem/Destino	1	2	3	4	Total
1	0	110	700	165	975
2	110	0	165	200	475
3	700	165	0	110	975
4	165	200	110	0	475
<b>Total</b>	975	475	975	475	2900

Fonte: Adaptado de DNIT (2005).

Os valores da Tabela 2 necessitam ser transformados em veículos equivalentes a carros de passeio (UCP), anteriormente descrito neste trabalho (Tabela 1). Desta forma, a soma das matrizes multiplicadas pelos fatores de equivalência constitui a matriz em Carros de Passeio Equivalente. Para o exemplo apresentado no Quadro 1, tem-se:

- As origens são indicadas na primeira coluna, e os destinos na primeira linha.
- Os volumes Z1, Z2, Z3 e Z4 são aqueles que chegam à rotatória por diversos acessos, e juntos, somados, resultam na última coluna da matriz.
- Os volumes de tráfego que transitam girando na rotatória são: K1, K2, K3 e K4, e são calculados pelas Equações 2 a 5.

$$K1 = 03D2 + 04D2 + 04D3 \quad (2)$$

$$K2 = 01D3 + 01D4 + 04D3 \quad (3)$$

$$K3 = 02D1 + 01D4 + 02D4 \quad (4)$$

$$K4 = 02D1 + 03D1 + 03D2 \quad (5)$$

Onde  $O_iD_j$  o fluxo com origem no acesso i e destino no acesso j, ou seja,

$O_1D_1 = \text{movimento da origem 1 para destino 1}$

$O_1D_2 = \text{movimento da origem 1 para destino 2}$

$O_1D_3$  = movimento da origem 1 para destino 3  
 $O_1D_4$  = movimento da origem 1 para destino 4  
 $O_2D_1$  = movimento da origem 2 para destino 1  
 $O_2D_2$  = movimento da origem 2 para destino 2  
 $O_2D_3$  = movimento da origem 2 para destino 3  
 $O_2D_4$  = movimento da origem 2 para destino 4  
 $O_3D_1$  = movimento da origem 3 para destino 1  
 $O_3D_2$  = movimento da origem 3 para destino 2  
 $O_3D_3$  = movimento da origem 3 para destino 3  
 $O_3D_4$  = movimento da origem 3 para destino 4  
 $O_4D_1$  = movimento da origem 4 para destino 1  
 $O_4D_2$  = movimento da origem 4 para destino 2  
 $O_4D_3$  = movimento da origem 4 para destino 3  
 $O_4D_4$  = movimento da origem 4 para destino 4

O próximo passo é a determinação da capacidade de cada entrada da rotatória, a qual é dada pela Equação 6 demonstrada na sequência:

$$G_i = 3600 * \left(1 - \frac{t_{min} * K_i}{n_k * 3600}\right)^{n_k} * \frac{n_z}{t_f} * \exp\left[-\frac{K_i}{3600} * \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)\right] \quad (6)$$

Onde:

$G_i$  = capacidade básica da entrada  $i$ , em UCP/h;

$K_i$  = fluxo de tráfego na pista rotatória, em UCP/h;

$n_{ki}$  = número de faixas de tráfego na pista rotatória antes da entrada  $i$ ;

$n_{zi}$  = número de faixas de tráfego na entrada  $i$ ;

$t_g$  = valor médio do intervalo mínimo entre veículos na rotatória, aceitável por veículos na entrada aguardando oportunidade de se inserir na rotatória, em segundos;

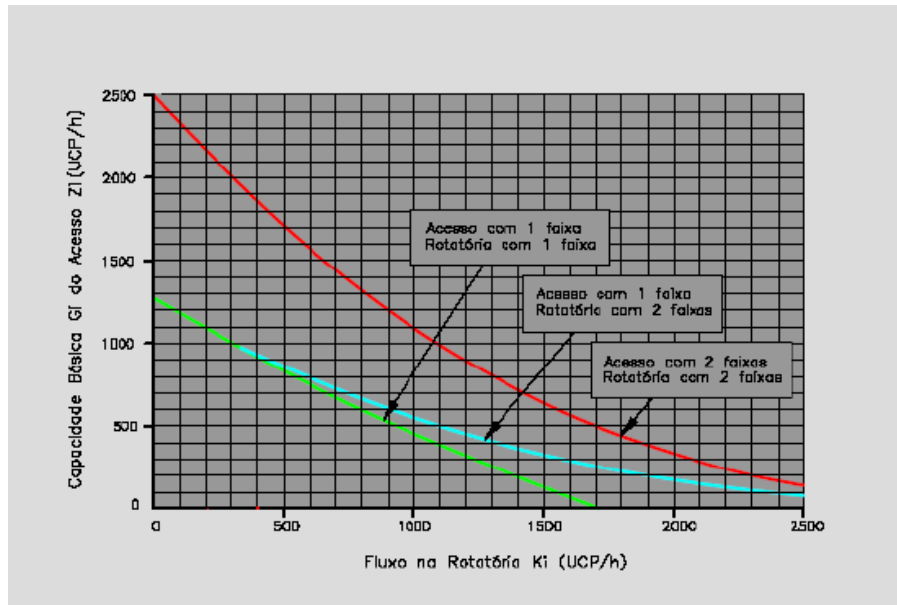
$t_f$  = valor médio do intervalo entre dois veículos sucessivos da entrada, que entram no mesmo intervalo de veículos da rotatória, em segundos; e

$t_{min}$  = valor mínimo do intervalo entre veículos da rotatória, em segundos.

No Brasil, até que sejam feitos novos experimentos, e obtenham-se valores mais condizentes com suas condições, o Manual de Projetos de Interseções (DNIT, 2005) indica adotar os mesmos valores que são utilizados na Alemanha, sendo eles:  $t_g = 4,1$  s,  $t_f = 2,9$  s e  $t_{min} = 2,1$  s.

A Capacidade Básica ( $G_i$ ) pode ser determinada usando o gráfico exposto na Figura 20. O gráfico mostra 3 opções de configurações, sendo elas: 1 faixa de tráfego na entrada e 1 na pista rotatória; 1 faixa de tráfego na entrada e 2 na pista rotatória; e 2 faixas de tráfego na entrada e na pista rotatória.

Figura 20 - Capacidade das Entradas

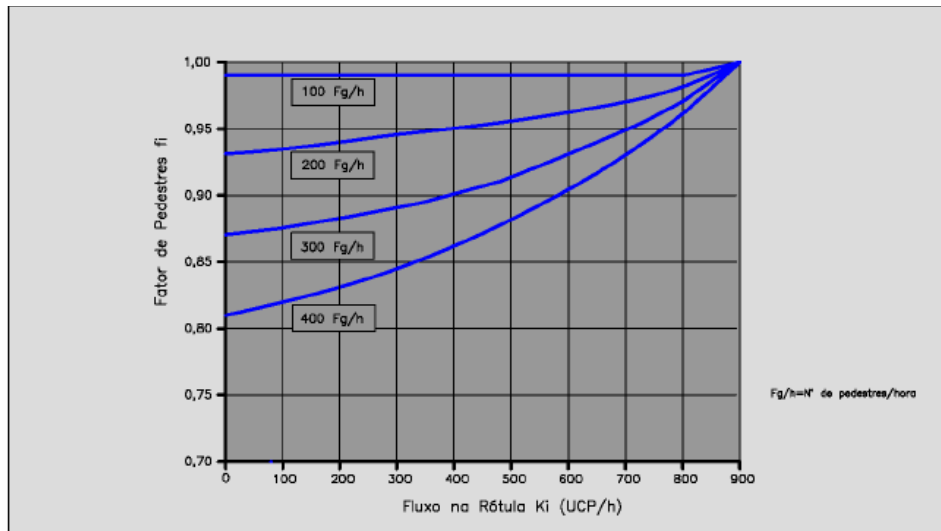


Fonte: DNIT (2005).

Após determinada a Capacidade Básica, calcula-se o Fator de Pedestres ( $f_i$ ), em função do número de pedestres por hora ( $F_g/h$ ), para cada entrada ( $i$ ). De acordo com o DNIT (2005), esse fator de redução é dado a partir dos gráficos das Figuras 21 e 22, a partir do número de faixas de tráfego da pista rotatória. Se o número de faixas não for igual na entrada e na pista, é possível optar pelo menor fator de redução, por questão de segurança.

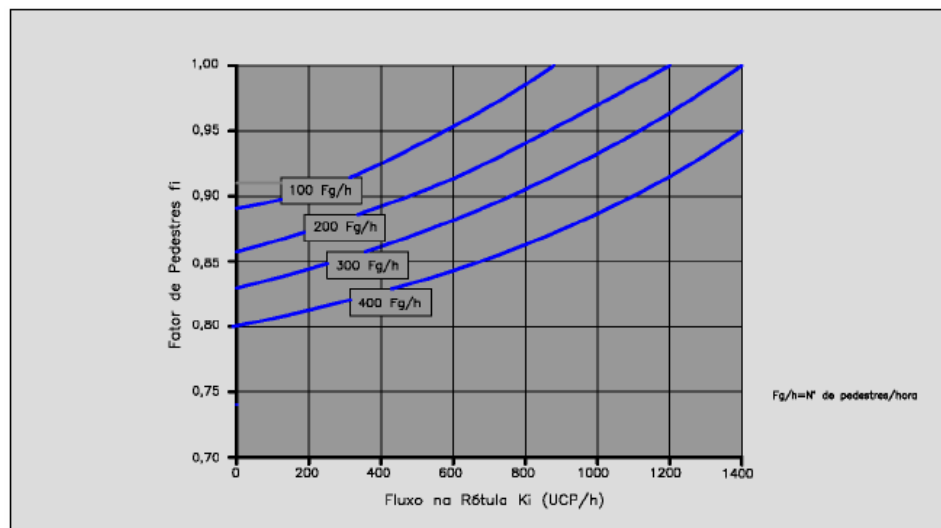
O fator ( $f_i$ ) considera a diminuição da capacidade devido à interferência dos pedestres durante a travessia (DNIT, 2005).

Figura 21 - Fator de redução ( $f_i$ ) para considerar a influência da travessia de pedestres de uma entrada com uma faixa de tráfego a uma rótula com uma faixa de tráfego.



Fonte: DNIT (2005).

Figura 22 - Fator de redução ( $f_i$ ) para considerar a influência da travessia de pedestres de uma entrada com duas faixas de tráfego a uma rótula com duas faixas de tráfego.



Fonte: DNIT (2005).

A capacidade da entrada ( $i$ ) é obtida pela Equação 7:

$$C_i = G_i \times f_i \quad (7)$$

Onde:

$C_i$  = capacidade de entrada, em UCP/h;

$G_i$  = capacidade básica de entrada, em UCP/h; e

$f_i$  = fator de pedestres.

Em seguida, calcula-se a capacidade residual ( $R_i$ ) de cada entrada pela Equação

8:

$$R_i = C_i - Z_i \quad (8)$$

Onde:

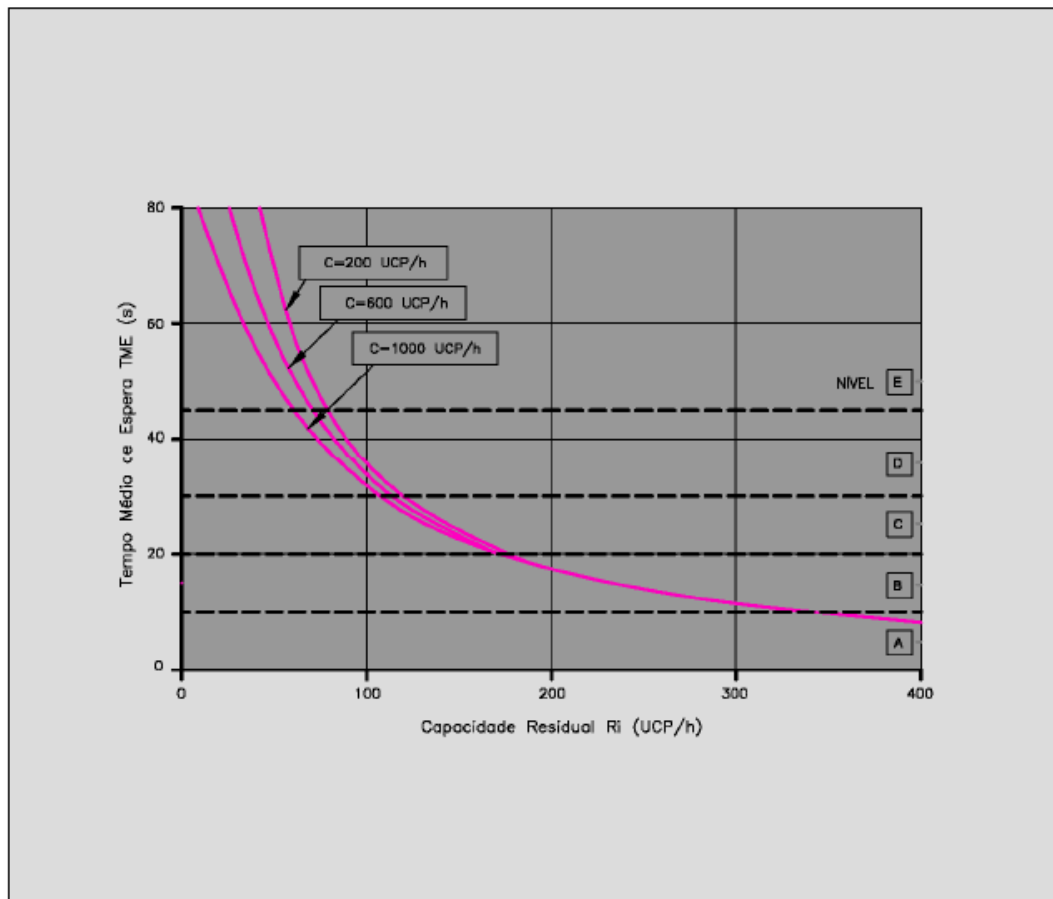
$R_i$  = capacidade residual, em UCP/h;

$C_i$  = capacidade de entrada, em UCP/h; e

$Z_i$  = fluxo de entrada, em UCP/h.

Ademais, a fim de determinar o tempo médio de espera ( $TME_i$ ) de cada entrada, utiliza-se o gráfico da Figura 23, o qual apresenta resultados em função da capacidade residual ( $R_i$ ), e da capacidade ( $C_i$ ), interpolada entre as curvas da figura, ou utilizando as curvas externas, quando ultrapassadas.

Figura 23 - Tempo médio de espera



Fonte: DNIT (2005).

Em relação aos níveis de serviço, tem-se que os mesmos podem variar de A a F, do melhor para o pior, e sua definição é dada através do tempo de espera (TME) no cruzamento. A Tabela 3 apresenta os intervalos em que cada nível se enquadra.

Tabela 3 - Níveis de serviço em função dos tempos de espera

Tempo médio de espera TME (s)	Nível de serviço (NS)
$\leq 10$	A
$\leq 20$	B
$\leq 30$	C
$\leq 45$	D
$> 45$	E
$R_i < 0$	F

Fonte: DNIT (2005).

Por definição do DNIT (2005), os níveis de serviço representam:

- a) **Nível A:** A maioria dos veículos na corrente de tráfego consegue passar pela interseção de forma fluida, com quase nenhum atraso.
- b) **Nível B:** O fluxo da corrente secundária é levemente impactado pelo tráfego preferencial, resultando em tempos de espera baixos.
- c) **Nível C:** Motoristas da corrente secundária precisam estar atentos à presença significativa de veículos na corrente principal. Os tempos de espera começam a aumentar, e pequenas retenções começam a se formar, mas sem grande extensão ou duração.
- d) **Nível D:** A maioria dos motoristas na corrente secundária é obrigada a parar, com uma perda considerável de tempo. Alguns veículos podem ter tempos de espera altos. Embora as retenções possam ser maiores, elas se reduzem rapidamente. O tráfego ainda segue de forma relativamente estável.
- e) **Nível E:** Retenções de veículos se formam e permanecem enquanto o volume de tráfego não mudar. Os tempos de espera aumentam bastante. Pequenas alterações no fluxo de veículos podem causar o colapso do tráfego. A capacidade foi alcançada.
- f) **Nível F:** O número de veículos chegando à interseção excede a capacidade por um longo período. Longas filas de veículos se formam, com tempos de espera elevados. Essa situação só pode ser aliviada com uma queda significativa no volume de tráfego. A interseção está completamente sobrecarregada.

O Nível de Serviço de cada entrada  $i$  é obtido na Tabela 3, em função do Tempo Médio de Espera em segundos - TME (s). É importante observar que a capacidade será ultrapassada quando a capacidade residual  $R_i$  for inferior a zero.

O Nível de Serviço da Rótula é obtido calculando o TMER (Tempo Médio de Espera da Rótula), expresso pela Equação 9.

$$TMER = \sum_4^1 \frac{Z_i \times TME_i}{\sum Z_i} \quad (9)$$

Onde:

TMER: tempo médio de espera na Rotatória, em segundos.

$Z_i$  = fluxo na entrada  $i$ , em UCP/h.

$TME_i$  = tempo de espera na entrada  $i$ , em segundos.

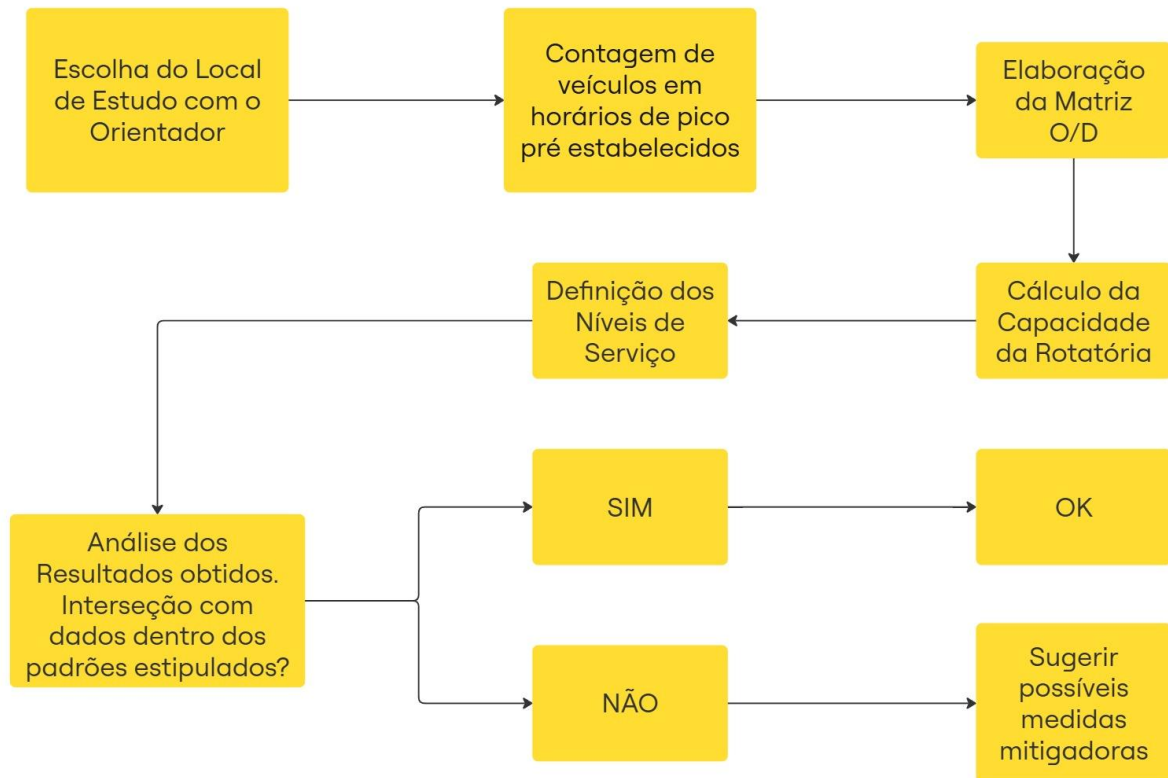
Utilizando a Tabela 3, é possível definir o nível de serviço da rotatória, a partir do tempo médio de espera (TMER). Caso uma entrada atinja o nível F, a rotatória também estará nesse nível.

O nível de serviço máximo aceito pelo DNIT (2005) é D, sendo necessárias melhorias na interseção caso o nível esteja abaixo dessa faixa. Outra informação dada pelo Manual de Projeto de Interseções (DNIT, 2005) é que pelas normas alemãs, a capacidade de saída de uma rotatória com uma ou duas faixas é de 1.200 a 1.400 unidades de carros de passeio por hora, para cada ramo de saída com faixa única.

### 3 METODOLOGIA

Após o desenvolvimento da revisão bibliográfica, tratando do tema deste trabalho e de assuntos envolvidos, fez-se o levantamento de dados e as etapas executadas. No começo desenvolveu-se um fluxograma, onde estão explicitadas as etapas (Figura 24).

Figura 24 - Fluxograma das etapas de trabalho



Fonte: Autoria Própria (2025).

Inicialmente, foi necessária a escolha do objeto de estudo, com o auxílio do orientador, baseando-se em fluxos de tráfego e proximidade a Polos Geradores de Viagem. Após realizar essa escolha, a autora fez pesquisa de campo, realizando coleta de contagem de veículos em horários de pico estabelecidos anteriormente.

Em seguida, realizada a coleta, elaborou-se a matriz origem destino do dispositivo em estudo com o resultado das contagens, calculou-se a capacidade viária de cada entrada na rotatória, assim sendo possível realizar a capacidade da mesma como todo, definiu-se o níveis de serviço e analisou resultados, havendo a interpretação dos mesmo, a fim de averiguar se deveriam ser realizadas medidas mitigadoras ou não.

## 4 RESULTADOS

Após uma breve explicação da metodologia utilizada na coleta dos dados necessários (Capítulo 3), são apresentados os resultados obtidos da pesquisa de tráfego.

Partindo da ideia de que o desenvolvimento da pesquisa de campo seria mais adequado onde a autora fica maior parte de seu tempo, a cidade escolhida foi São Carlos. Logo, é importante que a legislação da cidade seja verificada.

Visto que o trabalho se desenvolve a partir de um local na cidade de São Carlos, verifica-se a legislação da cidade, e, segundo o Plano Diretor do Município de São Carlos (2016), a hierarquização viária é dividida da seguinte forma:

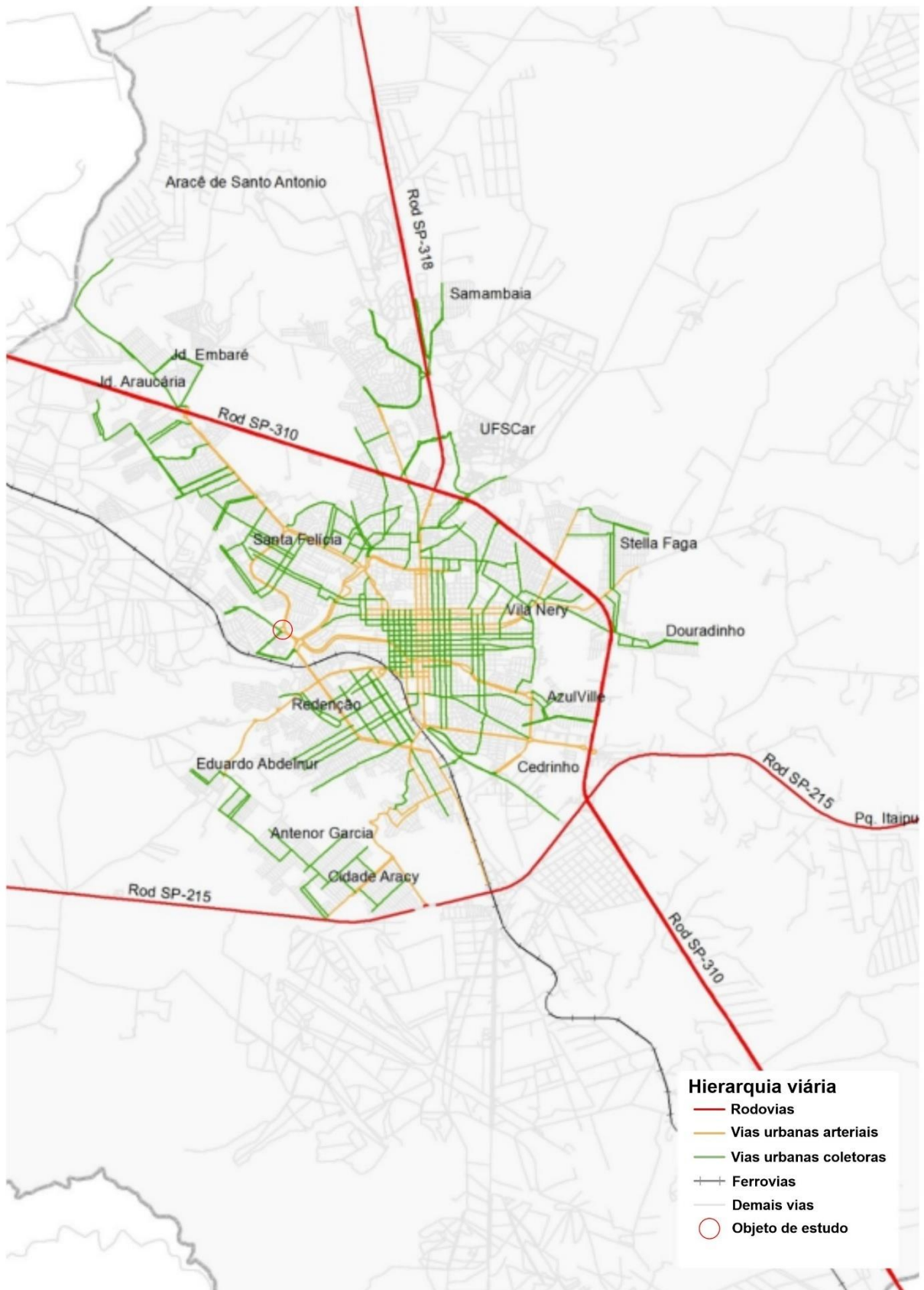
1. Rodovias Estaduais;
2. Estradas Municipais;
3. Vias de Estruturação Urbana;
4. Vias Marginais;
5. Vias Coletoras;
6. Vias Locais; e
7. Vias privativas.

Dentro das Vias de Estruturação Urbana tem-se:

- a) Via Arterial Tipo 1;
- b) Via Arterial Tipo 2; e
- c) Vias Estruturais Urbanas.

De acordo com o Plano Municipal de Mobilidade Urbana do Município de São Carlos (FGV, 2023), uma colaboração da Fundação Getúlio Vargas e Prefeitura Municipal de São Carlos, a Figura 25, a seguir, representa a hierarquização viária da cidade estudada.

Figura 25 - Hierarquia Viária do município de São Carlos

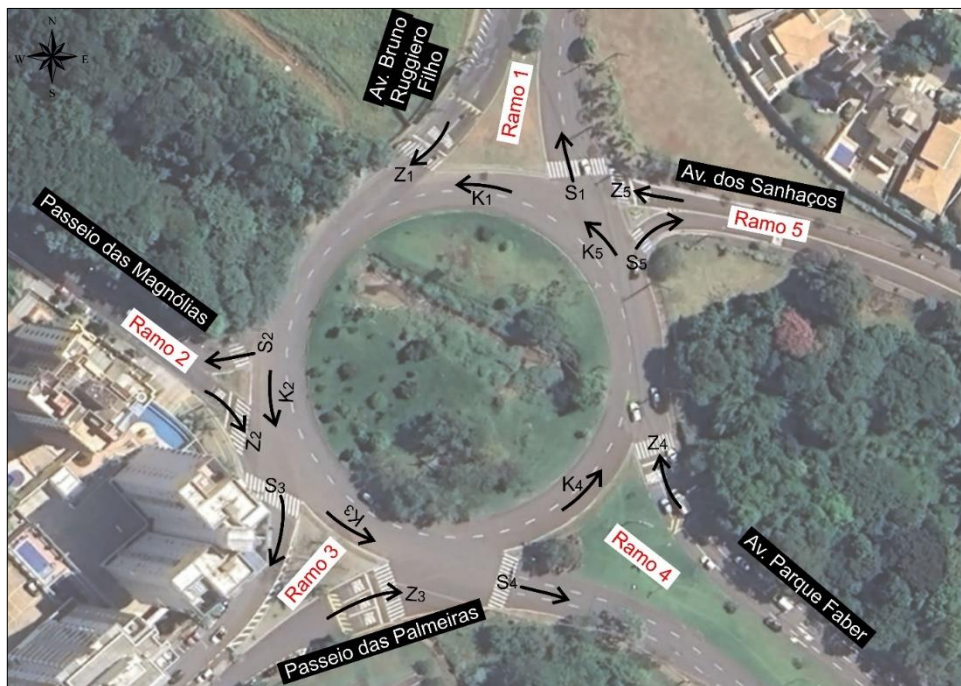


Fonte: Adaptado de FGV (2023).

O ponto escolhido para o presente estudo se localiza na região oeste da cidade, e apresenta grande movimento devido a presença de Polos Geradores de Viagem em seu entorno, como já foi citado. A rotatória moderna em questão apresenta 5 ramos, compreendida entre 5 vias, que de acordo com o mapa da Figura 25, duas são caracterizadas como coletoras, 2 como arteriais e uma como local. Existem 5 origens e 5 destinos, pois todos os ramos apresentam entrada e saída de veículos na rotatória.

A nomenclatura de cada ramo e seus movimentos podem ser vistos na Figura 26.

Figura 26 - Rotatória estudada, seus ramos e SKZ



Fonte: Autoria Própria (2024).

A segunda etapa foi realizar as contagens, e então foi realizado o posicionamento de câmeras, disponibilizadas pela empresa Barbato Engenharia, na qual a autora faz estágio obrigatório remunerado. As gravações foram baixadas no computador, e para reprodução do vídeo foi utilizado o software VLC. Os picos filmados foram baseados em conhecimentos da equipe que trabalha no local de estágio da autora, visto que a prefeitura da cidade não apresenta nenhuma diretriz sobre os horários. O vídeo da manhã foi filmado das 07 às 08, e o da tarde das 17 às 18, do dia 10 de dezembro de 2024.

Os veículos foram contados separando carros, motos, caminhões/ônibus e reboques/semirreboques, pois os valores para transformá-los em UCP são diferentes. Seguindo as diretrizes do DNIT (2006), citadas anteriormente, carro e moto terão valor de 1 UCP; caminhão e ônibus de 1,5 UCP; e reboques e semirreboques 2 UCP. Então

faz-se a correção com esses fatores e obtém-se o volume total de tráfego ali existente. A rotatória estudada tem vários possíveis movimentos, que são expostos na Tabela 4, a seguir.

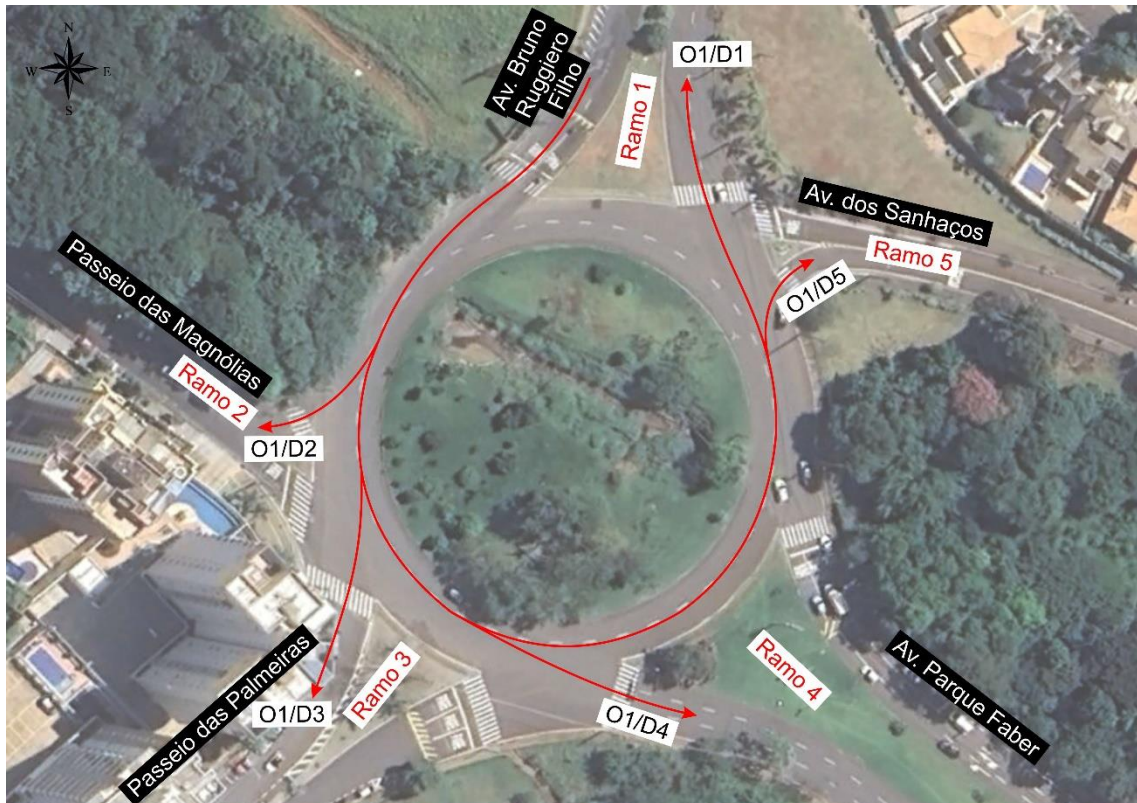
Tabela 4 - Possíveis movimentos da rotatória estudada

Origem x Destino				
O1 – D1	O2 – D1	O3 – D1	O4 – D1	O5 – D1
O1 – D2	O2 – D2	O3 – D2	O4 – D2	O5 – D2
O1 – D3	O2 – D3	O3 – D3	O4 – D3	O5 – D3
O1 – D4	O2 – D4	O3 – D4	O4 – D4	O5 – D4
O1 – D5	O2 – D5	O3 – D5	O4 – D5	O5 – D5

Fonte: Aatoria Própria (2024).

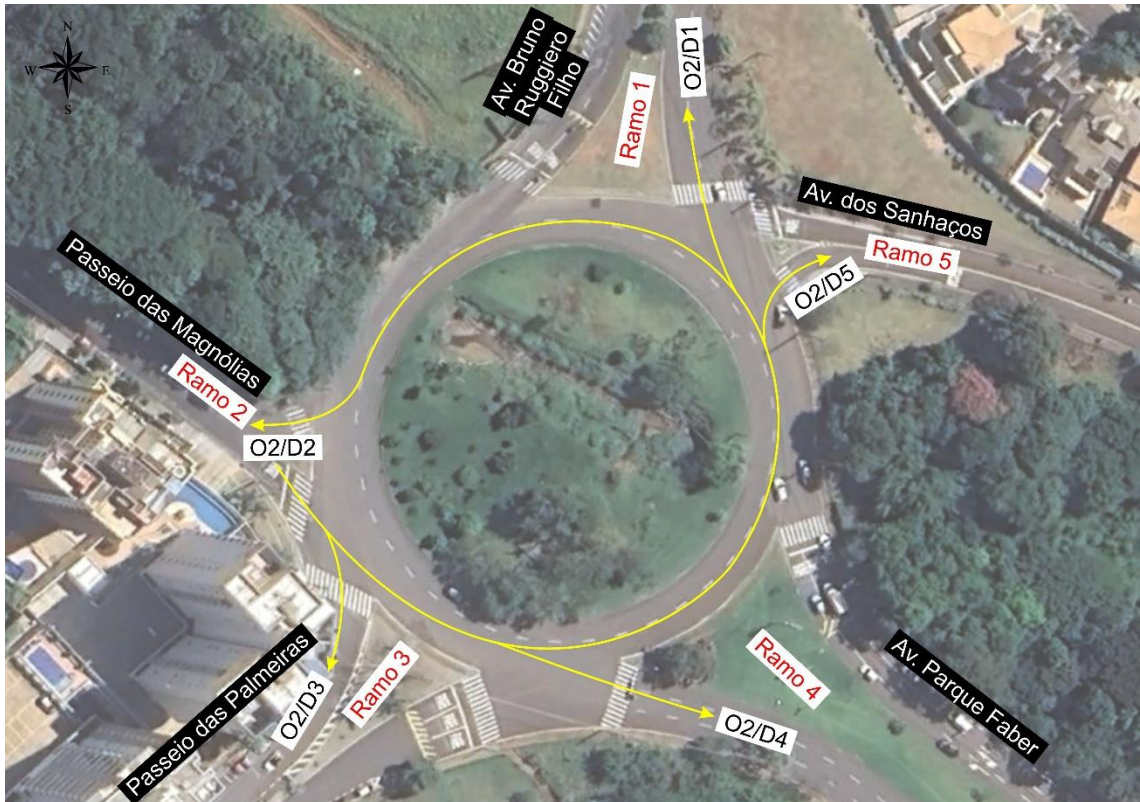
É possível entender de forma mais clara as possíveis trajetórias analisadas, nas Figuras 27 a 31.

Figura 27 - Possíveis movimentos saindo da Origem 1



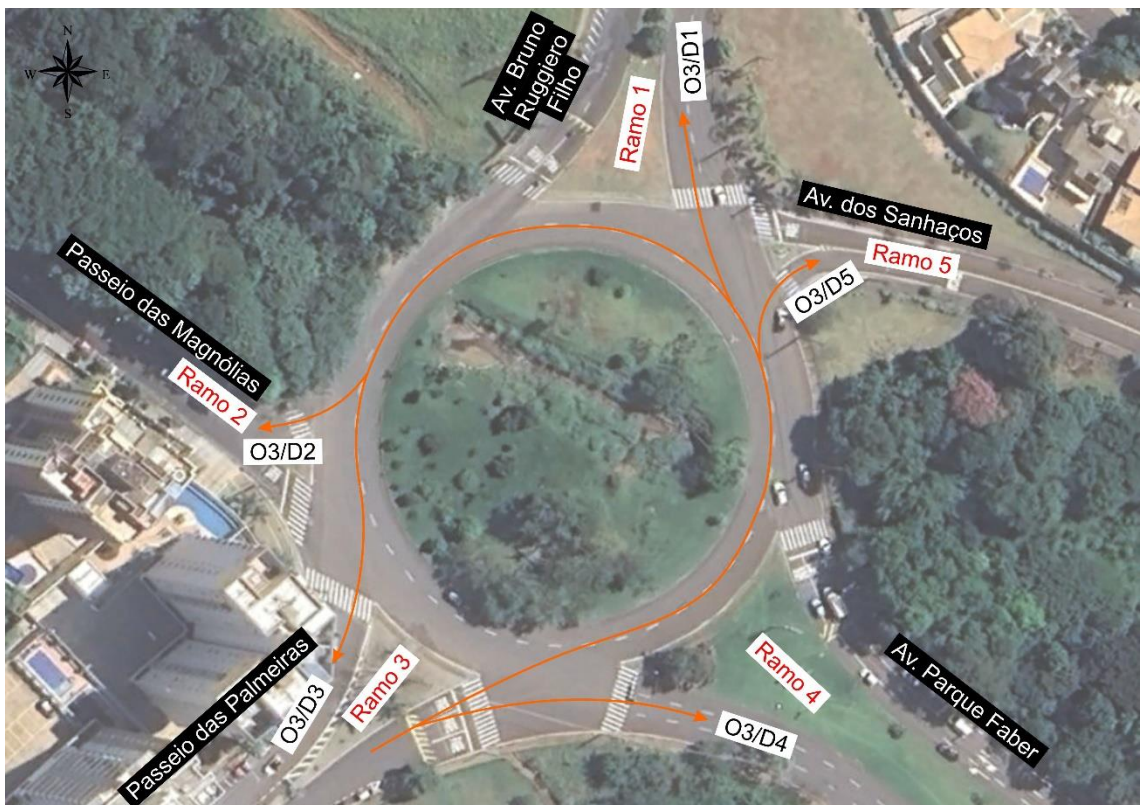
Fonte: Aatoria Própria (2024).

Figura 28 - Possíveis movimentos saindo da Origem 2



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 29 - Possíveis movimentos saindo da Origem 3



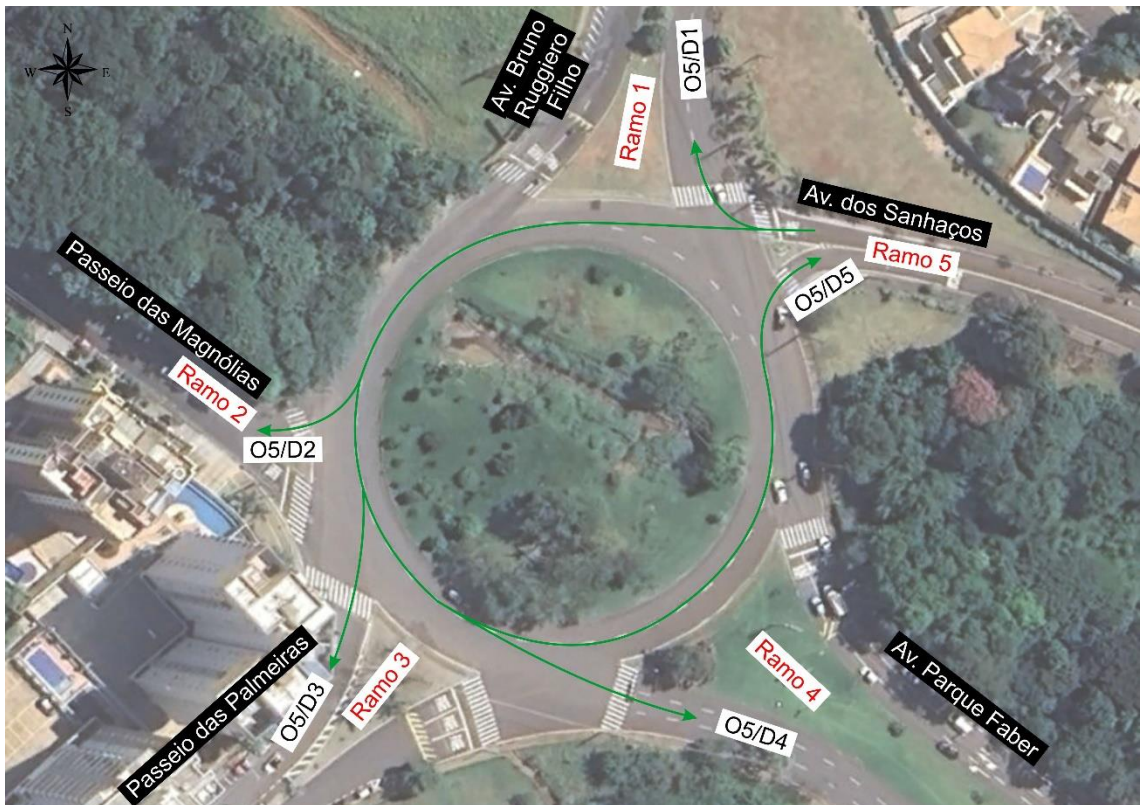
Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 30 - Possíveis movimentos saindo da Origem 4



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 31 - Possíveis movimentos saindo da Origem 5



Fonte: Autoria Própria (2024).

Após realização das contagens, dispostas no Apêndice A, é possível montar uma matriz Origem/Destino. Com esses valores, e com os métodos de cálculo de capacidade e de nível de serviço anteriormente citados, é possível obter os resultados para a rotatória em estudo e então concluir o estado de operação da mesma.

A matriz da rotatória estudada pode ser vista na Tabela 5.

Tabela 5 - Matriz Origem Destino da rotatória em estudo

Origens x Destino						
O/D	1	2	3	4	5	Total
1	O <sub>1</sub> D <sub>1</sub>	O <sub>1</sub> D <sub>2</sub>	O <sub>1</sub> D <sub>3</sub>	O <sub>1</sub> D <sub>4</sub>	O <sub>1</sub> D <sub>5</sub>	I
2	O <sub>2</sub> D <sub>1</sub>	O <sub>2</sub> D <sub>2</sub>	O <sub>2</sub> D <sub>3</sub>	O <sub>2</sub> D <sub>4</sub>	O <sub>2</sub> D <sub>5</sub>	II
3	O <sub>3</sub> D <sub>1</sub>	O <sub>3</sub> D <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> D <sub>3</sub>	O <sub>3</sub> D <sub>4</sub>	O <sub>3</sub> D <sub>5</sub>	III
4	O <sub>4</sub> D <sub>1</sub>	O <sub>4</sub> D <sub>2</sub>	O <sub>4</sub> D <sub>3</sub>	O <sub>4</sub> D <sub>4</sub>	O <sub>4</sub> D <sub>5</sub>	IV
5	O <sub>5</sub> D <sub>1</sub>	O <sub>5</sub> D <sub>2</sub>	O <sub>5</sub> D <sub>3</sub>	O <sub>5</sub> D <sub>4</sub>	O <sub>5</sub> D <sub>5</sub>	V
Total	VII	VIII	IX	X	XI	VI

Fonte: Autoria Própria (2025).

Os valores de I, II, III, IV e V são as somas das suas respectivas linhas, ou seja, as somas de cada origem. Já os valores VII, VIII, IX, X e XI são as somas das colunas, sendo assim, soma de todos que tem um mesmo destino. O valor VI é dado pelas Equações 9 e 10:

$$VI = I+II+III+IV+V \quad (9)$$

$$VI = VII+VIII+IX+X+XI \quad (10)$$

Para calcular o K de cada entrada, são utilizadas as Equações 11 a 15:

$$K1 = O2D2 + O3D2 + O3D3 + O4D2 + O4D3 + O4D4 + O5D2 + O5D3 + O5D4 + O5D5 \quad (11)$$

$$K2 = O1D1 + O1D3 + O1D4 + O1D5 + O3D3 + O4D3 + O4D4 + O5D3 + O5D4 + O5D5 \quad (12)$$

$$K3 = O1D1 + O1D4 + O1D5 + O2D1 + O2D2 + O2D4 + O2D5 + O4D4 + O5D4 + O5D5 \quad (13)$$

$$K4 = O1D1 + O1D5 + O2D1 + O2D2 + O2D5 + O3D1 + O3D2 + O3D3 + O3D5 + O5D5 \quad (14)$$

$$K5 = O1D1 + O2D1 + O2D2 + O3D1 + O3D2 + O3D3 + O4D1 + O4D2 + O4D3 + O4D4 \quad (15)$$

Com base na matriz de origem e destino, foram definidos os valores necessários para o cálculo da capacidade básica (Gi), que representa a capacidade de entrada. Os cálculos foram realizados da seguinte maneira:

- a) Cálculo da Capacidade Básica utilizando a Equação 6;
- b) Fator de Pedestres desconsiderado do cálculo;
- c) Cálculo da Capacidade de Entrada com a Equação 7;
- d) Determinação da Capacidade Residual com a Equação 8; e
- e) Determinação do Tempo Médio de Espera com o auxílio do gráfico da Figura 23.

Após a realização desses procedimentos, foi definido o nível de serviço de cada acesso da interseção, levando em consideração os parâmetros apresentados na Tabela 3. A partir da aplicação da Equação 9, obteve-se o Tempo Médio de Espera da Rotatória (TMER) e o nível de serviço de toda a interseção.

Para obtenção de valores para realização da previsão do tráfego futuro, são utilizados dados de anos anteriores da cidade em estudo, da quantidade de veículos ali existentes, e assim, se faz possível a obtenção de taxas de crescimento. Com a média desses valores, é possível estimar um valor equivalente a um fator multiplicador de multiplicador para as contagens realizadas no presente. O restante do desenvolvimento de todas as contas e definições se dá da mesma maneira que fora realizada a etapa do cenário atual, seguindo o método alemão anteriormente descrito.

Por fim, com os resultados obtidos no cenário atual e na projeção para 5 anos, nos pontos onde o nível de serviço foi insatisfatório, ou como o método indica, abaixo do nível D, foram feitas investigações desses gargalos para verificar as possíveis ações mitigadoras que podem ser tomadas, para que o nível de serviço do dispositivo por inteiro possa melhorar.

#### 4.1 PESQUISAS DE TRÁFEGO: CÁLCULO DA CAPACIDADE E DETERMINAÇÃO DO NÍVEL DE SERVIÇO

Conforme apresentado anteriormente, as filmagens foram realizadas dia 10 de dezembro de 2024 em dois horários, considerados de pico, sendo eles das 7h às 8h e das 17h às 18h, que podem ser analisadas no Apêndice A. A Tabela 6 mostra os volumes totais em UCP dos horários de picos previamente estipulados.

Tabela 6 - Horas de pico previamente definidas e seus volumes

Hora	Volume UCP/h
07:00 às 08:00	3.087
17:00 às 18:00	4.305

Fonte: Autoria própria (2025).

Por mais que a bibliografia descreva o fator hora pico (FHP), neste trabalho, o mesmo não foi calculado, visto que a contagem foi realizada em um intervalo de 1 hora, sem dividi-lo em intervalos menores de 15 minutos, ou seja, não foi possível analisar quais foram os 15 minutos de maior fluxo dentro da hora pico.

As Tabelas 7 e 8 apresentam as matrizes O/D, e a partir dos valores nelas presentes é possível realizar o cálculo da capacidade e identificação do nível de serviço de acordo com o método alemão.

Tabela 7 - Matriz O/D pico da manhã

<b>Pico da manhã – 07:00 às 08:00</b>						
<b>O/D</b>	<b>Ramo 1</b>	<b>Ramo 2</b>	<b>Ramo 3</b>	<b>Ramo 4</b>	<b>Ramo 5</b>	<b>Total</b>
<b>Ramo 1</b>	12	47	84	1.071	12	<b>1.226</b>
<b>Ramo 2</b>	27	0	6	251	3	<b>287</b>
<b>Ramo 3</b>	63	3	0	269	9	<b>344</b>
<b>Ramo 4</b>	824	123	87	3	42	<b>1.079</b>
<b>Ramo 5</b>	3	3	12	132	3	<b>153</b>
<b>Total</b>	<b>929</b>	<b>176</b>	<b>189</b>	<b>1.725</b>	<b>69</b>	<b>3.087</b>

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 8 - Matriz O/D pico da tarde

<b>Pico da tarde – 17:00 às 18:00</b>						
<b>O/D</b>	<b>Ramo 1</b>	<b>Ramo 2</b>	<b>Ramo 3</b>	<b>Ramo 4</b>	<b>Ramo 5</b>	<b>Total</b>
<b>Ramo 1</b>	20	30	146	875	9	<b>1.079</b>
<b>Ramo 2</b>	74	0	15	240	18	<b>347</b>
<b>Ramo 3</b>	219	15	9	569	27	<b>839</b>
<b>Ramo 4</b>	1.286	168	399	5	48	<b>1.905</b>
<b>Ramo 5</b>	6	3	18	110	0	<b>137</b>
<b>Total</b>	<b>1.604</b>	<b>216</b>	<b>587</b>	<b>1.797</b>	<b>102</b>	<b>4.305</b>

Fonte: Autoria própria (2025).

Para o presente trabalho, foram desconsiderados os volumes de pedestres fazendo as travessias dessa rotatória, visto que não foi realizada a contagem dos mesmos. O cálculo da capacidade inicia-se com determinação de  $Z_i$  e  $K_i$  a partir da matriz O/D definida anteriormente. Os valores foram determinados conforme descrito na metodologia (capítulo 3) e elencados na Tabela 9 e 10, uma para cada pico.

Tabela 9 - Matriz O/D pico da manhã e soma dos arcos ki e entradas zi

Pico da manhã – 07:00 às 08:00							
O/D	Ramo 1	Ramo 2	Ramo 3	Ramo 4	Ramo 5	Total do Zi	Total do arco Ki
Ramo 1	12	47	84	1.071	12	1.226	366
Ramo 2	27	0	6	251	3	287	1.416
Ramo 3	63	3	0	269	9	344	1.514
Ramo 4	824	123	87	3	42	1.079	132
Ramo 5	3	3	12	132	3	153	1.142
<b>Total</b>	<b>929</b>	<b>176</b>	<b>189</b>	<b>1.725</b>	<b>69</b>	<b>3.087</b>	-

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 10 - Matriz O/D pico da tarde e soma dos arcos ki e entradas zi

Pico da tarde – 17:00 às 18:00							
O/D	Ramo 1	Ramo 2	Ramo 3	Ramo 4	Ramo 5	Total do Zi	Total do arco Ki
Ramo 1	20	30	146	875	9	1.079	726
Ramo 2	74	0	15	240	18	347	1.589
Ramo 3	219	15	9	569	27	839	1.349
Ramo 4	1.286	168	399	5	48	1.905	390
Ramo 5	6	3	18	110	0	137	2.193
<b>Total</b>	<b>1.604</b>	<b>216</b>	<b>587</b>	<b>1.797</b>	<b>102</b>	<b>4.305</b>	-

Fonte: Autoria própria (2025).

Em seguida realiza-se o cálculo da determinação da capacidade básica ( $G_i$ ), utilizando a Equação 6, e inserindo os parâmetros necessários, de acordo com o objeto de estudo. Nas Tabelas 11 e 12, é possível verificar as capacidades para os dois picos.

Tabela 11 - Cálculo da capacidade básica  $G_i$  para o pico da manhã

Cálculo Capacidade Básica $G_i$ - Pico da manhã									
Ramo 1		Ramo 2		Ramo 3		Ramo 4		Ramo 5	
Arco k1	366	Arco k2	1.416	Arco k3	1.513	Arco k4	132	Arco k5	1.141
nk1	2	nk2	2	nk3	2	nk4	2	nk5	2
nz1	2	nz2	1	nz3	3	nz4	3	nz5	1
tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1
tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9
tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1
<b><math>G_i</math></b>	<b>1.873</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>345</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>922</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>3.374</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>464</b>

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 12 - Cálculo da capacidade básica  $G_i$  para o pico da tarde

Cálculo Capacidade Básica $G_i$ - Pico da tarde									
Ramo 1		Ramo 2		Ramo 3		Ramo 4		Ramo 5	
Arco k1	726	Arco k2	1.588	Arco k3	1.348	Arco k4	390	Arco k5	2.193
nk1	2	nk2	2	nk3	2	nk4	2	nk5	2
nz1	2	nz2	1	nz3	3	nz4	3	nz5	1
tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1
tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9
tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1
<b><math>G_i</math></b>	<b>1.381</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>281</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>1.116</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>2.756</b>	<b><math>G_i</math></b>	<b>115</b>

Fonte: Autoria própria (2025).

Com a capacidade básica determinada, e o fator de pedestres desconsiderado, calcula-se a capacidade de entrada ( $C_i$ ) através da Equação 7, resultando em valores iguais aos da capacidade básica ( $G_i$ ). Na sequência é determinado o valor da capacidade residual ( $R_i$ ), com auxílio da Equação 8. Todos estes resultados foram expostos nas Tabelas 13 e 14.

Tabela 13 - Cálculo da capacidade de entrada ( $C_i$ ) e capacidade residual ( $R_i$ ) para o pico da manhã

Determinação da Capacidade Residual $R_i$ - Pico da Manhã						
Ramo	Entrada $Z_i$ (UCP/h)	Arco $K_i$ (UCP/h)	Capacidade Básica $G_i$ (UCP/h)	Fator de Pedestres	Capacidade $C_i$ (UCP/h)	Capacidade Residual $R_i$ (UCP/h)
1	1.226	366	1.873	-	1.873	648
2	287	1.416	345	-	345	58
3	344	1.514	922	-	922	579
4	1.079	132	3.374	-	3.374	2.296
5	153	1.142	464	-	464	311

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 14 - Cálculo da capacidade de entrada ( $C_i$ ) e capacidade residual ( $R_i$ ) para o pico da tarde

Determinação da Capacidade Residual $R_i$ - Pico da Tarde						
Ramo	Entrada $Z_i$ (UCP/h)	Arco $K_i$ (UCP/h)	Capacidade Básica $G_i$ (UCP/h)	Fator de Pedestres	Capacidade $C_i$ (UCP/h)	Capacidade Residual $R_i$ (UCP/h)
1	1.079	726	1.381	-	1.381	302
2	347	1.589	281	-	281	-66
3	839	1.349	1.116	-	1.116	277
4	1.905	390	2.756	-	2.756	851
5	137	2.193	115	-	115	-21

Fonte: Autoria própria (2025).

A partir do Gráfico da Figura 23 é possível determinar o tempo médio de espera (TMEi) e, em seguida, definir os níveis de serviço de cada ramo. O TMEi de cada entrada é obtido pelo gráfico, em função da capacidade residual e da capacidade de entrada.

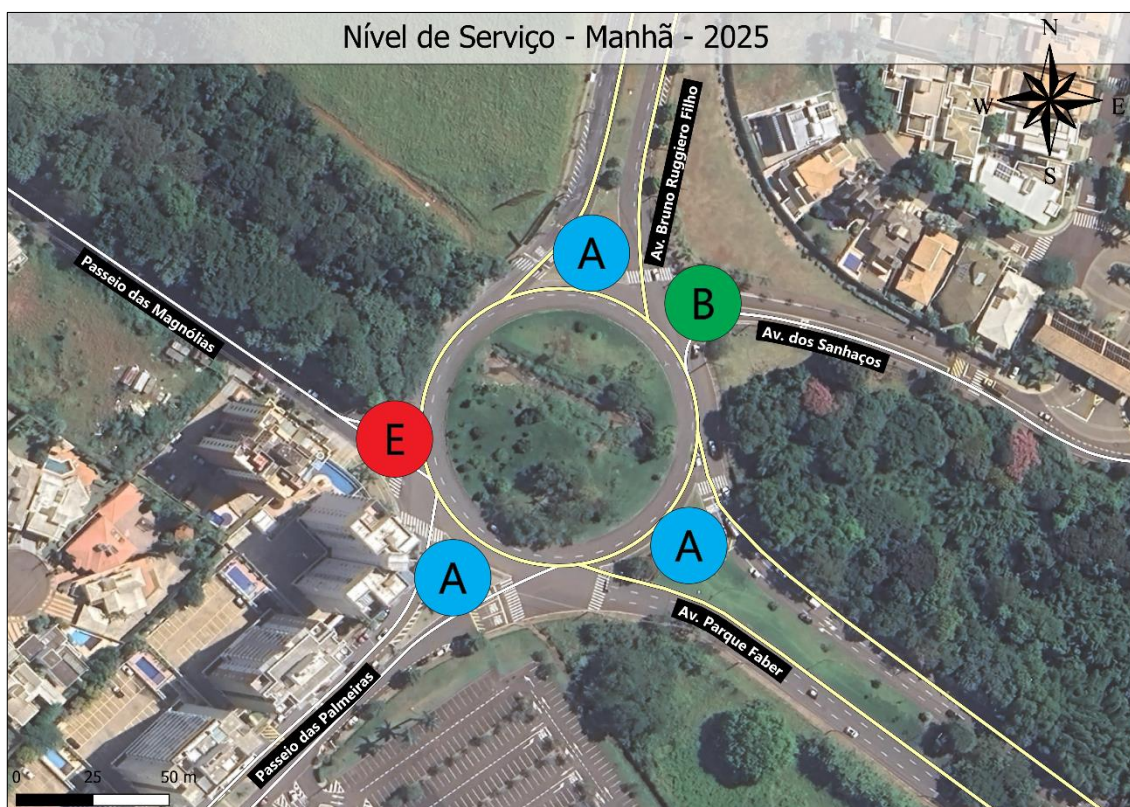
O tempo de espera e o nível de serviço de cada acesso em cada horário de pico são apresentados nas Tabelas 15 e 16. Observa-se que no pico da manhã o acesso com pior classificação atingiu nível E de serviço, enquanto no pico da tarde dois acessos atingiram nível F. Nas Figuras 32 e 33 é possível visualizar cada ramo e seus respectivos níveis de serviço.

Tabela 15 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da manhã

Determinação dos tempos médios e NS - Pico da Manhã				
Ramo	Capacidade Ci (UCP/h)	Capacidade Residual Ri (UCP/h)	Tempo Médio de Espera (TMEi) (s)	Nível de Serviço
1	1873	648	8	A
2	345	58	57	E
3	922	579	8	A
4	3374	2296	8	A
5	464	311	11	B

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 32 - Níveis de serviço do pico da manhã do cenário atual



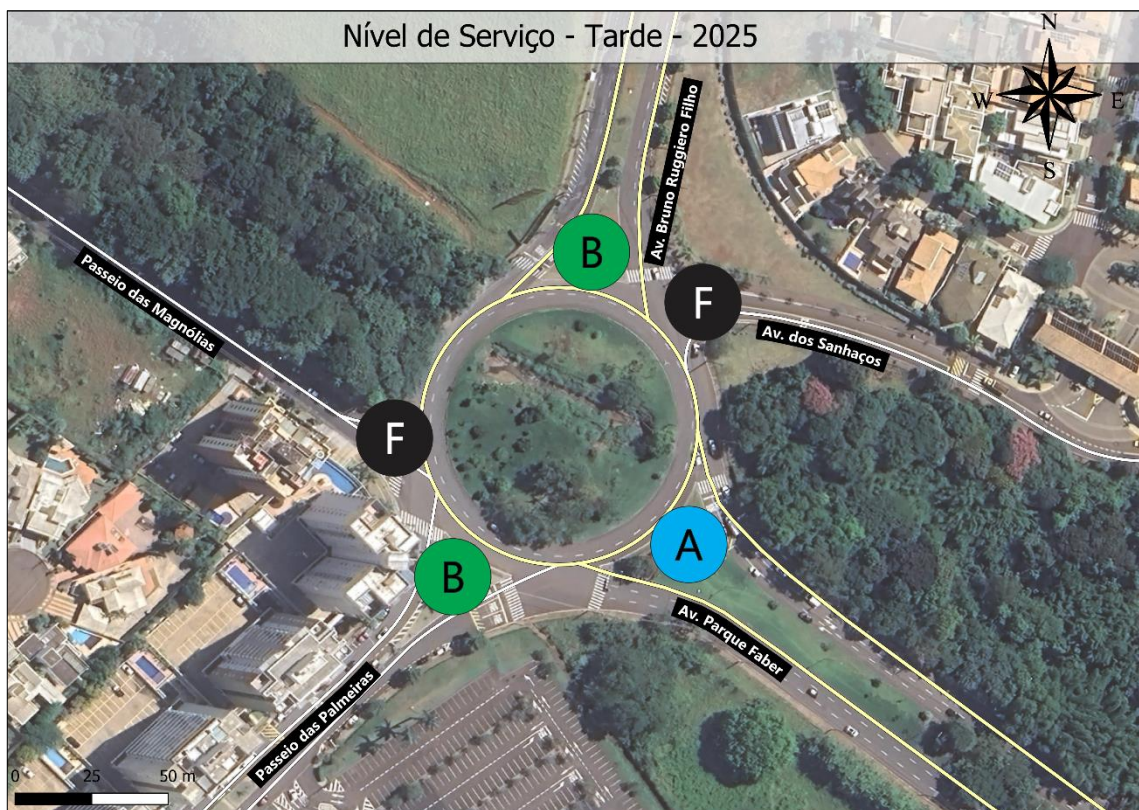
Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 16 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da tarde

Determinação dos tempos médios e NS - Pico da Tarde				
Ramo	Capacidade Ci (UCP/h)	Capacidade Residual Ri (UCP/h)	Tempo Médio de Espera (TMEi) (s)	Nível de Serviço
1	1381	302	12	B
2	281	-66	Ri<0	F
3	1116	277	13	B
4	2756	851	8	A
5	115	-21	Ri<0	F

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 33 - Níveis de serviço do pico da tarde do cenário atual



Fonte: Autoria própria (2025).

Quando a capacidade residual é negativa, o nível de serviço é classificado como F, indicando que os ramos 2 e 5 estão sobrecarregados no horário de pico da tarde. Uma das razões para esses ramos apresentarem níveis insatisfatórios nesse período é que ambos possuem apenas uma faixa de entrada, o que reduz a capacidade básica calculada.

Ao comparar os dois picos e os resultados obtidos, observa-se uma diferença. No pico da manhã, apenas um dos acessos não atingiu o nível aceitável de acordo com a classificação do DNIT, enquanto no pico da tarde, dois acessos não atingiram esse nível.

Para determinar o nível de serviço da rotatória, calcula-se o tempo médio de espera (TMER), utilizando a Equação 9. No entanto, caso algum dos acessos atinja o nível de serviço F, a rotatória como um todo também será classificada como F. Os valores de TMER e o nível de serviço da rotatória são apresentados na Tabela 17, a fim de ilustrar a situação nos horários de pico.

Tabela 17 - Tempo médio de espera e nível de serviço da Rotatória

Horários de Pico	Melhor NS atingido pelos acessos i	Pior NS atingido pelos acessos i	TMER (rotatória) (s)	Nível de Serviço da Rotatória
Manhã	A	E	13	B
Tarde	A	F	Sem necessidade de cálculo	F

Fonte: Autoria própria (2025).

O nível de serviço da rotatória no pico da manhã é considerado um resultado positivo, refletindo uma boa operação. Por outro lado, o nível de serviço alcançado no pico da tarde indica que a rotatória está sobrecarregada, o que demanda a implementação de intervenções.

#### 4.2 AUMENTO DE FROTA E O IMPACTO NO NÍVEL DE SERVIÇO

A partir de valores das frotas existentes nos anos de 2021, 2022, 2023 e 2024 na cidade de São Carlos, segundo SENATRAM (2021, 2022, 2023, 2024), foi possível realizar os cálculos para descobrir um crescimento médio anual, e projetar a frota existente na cidade em 5 anos, em um cenário futuro, a fim de verificar qual o impacto desse aumento de veículos nos níveis de serviços dos ramos da rótula em estudo. A Tabela 18 apresenta esses dados.

Tabela 18 - Valores de frotas por ano em São Carlos

Ano	Frota (veículos)	Taxas de crescimento (%)	Média das taxas (%)	Para 2030 (%)
2021	195.956	-		
2022	198.762	1,0143	1,0189	1,098
2023	202.676	1,0197		
2024	207.294	1,0228		

Fonte: Autoria própria (2025), a partir de dados de SENATRAM (2021, 2022, 2023, 2024).

As Equações 16 a 20 a seguir demonstram o procedimento dos cálculos.

$$1^{\text{a}} \text{ taxa de crescimento} = \frac{198.762}{195.956} = 1,0143 \quad (16)$$

$$2^{\text{a}} \text{ taxa de crescimento} = \frac{202.676}{198.762} = 1,0197 \quad (17)$$

$$3^{\text{a}} \text{ taxa de crescimento} = \frac{207.294}{202.676} = 1,0228 \quad (18)$$

$$\text{Média das taxas} = \frac{1,0143 + 1,0197 + 1,0228}{3} = 1,0189 \quad (19)$$

$$\text{Taxa para 2030} = 1 \times 1,0189^5 = 1,098 \quad (20)$$

A partir deste valor de 1,098 como taxa de crescimento para a frota de 2030, a fim de se obter novos resultados, fez-se a multiplicação das contagens realizadas em campo por essa taxa, e assim, foram obtidos novos valores de veículos na matriz O/D, percorridos na Tabela 18 e 19, respectivamente para pico da manhã e da tarde, para o cenário futuro estudado.

Tabela 19 - Matriz O/D pico da manhã para 2030

<b>Pico da manhã – 07:00 às 08:00 – Para 2030</b>						
<b>O/D</b>	<b>Ramo 1</b>	<b>Ramo 2</b>	<b>Ramo 3</b>	<b>Ramo 4</b>	<b>Ramo 5</b>	<b>Total</b>
<b>Ramo 1</b>	13	51	92	1.176	13	<b>1.346</b>
<b>Ramo 2</b>	30	0	7	275	3	<b>315</b>
<b>Ramo 3</b>	69	3	0	295	10	<b>377</b>
<b>Ramo 4</b>	904	135	96	3	46	<b>1.185</b>
<b>Ramo 5</b>	3	3	13	145	3	<b>168</b>
<b>Total</b>	<b>1.020</b>	<b>193</b>	<b>208</b>	<b>1.895</b>	<b>76</b>	<b>3.390</b>

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 20 - Matriz O/D pico da tarde para 2030

<b>Pico da tarde – 17:00 às 18:00 – Para 2030</b>						
<b>O/D</b>	<b>Ramo 1</b>	<b>Ramo 2</b>	<b>Ramo 3</b>	<b>Ramo 4</b>	<b>Ramo 5</b>	<b>Total</b>
<b>Ramo 1</b>	21	33	160	960	10	<b>1.185</b>
<b>Ramo 2</b>	81	0	16	264	20	<b>381</b>
<b>Ramo 3</b>	241	16	10	624	30	<b>921</b>
<b>Ramo 4</b>	1.412	185	438	5	53	<b>2.092</b>
<b>Ramo 5</b>	7	3	20	120	0	<b>150</b>
<b>Total</b>	<b>1.761</b>	<b>237</b>	<b>644</b>	<b>1.974</b>	<b>112</b>	<b>4.728</b>

Fonte: Autoria própria (2025).

Com esses novos dados, o desenvolvimento de todo o cálculo para determinar capacidade e nível de serviço foi realizado, seguindo o método descrito no Capítulo 3

e utilizado na primeira parte do Capítulo 4.

Novamente, foram desconsiderados os volumes de pedestres fazendo as travessias dessa rotatória. O cálculo da capacidade inicia-se com determinação de  $Z_i$  e  $K_i$  a partir da matriz O/D definida anteriormente. Os valores foram elencados na Tabela 20 e 21, uma para cada pico.

Tabela 21 - Matriz O/D pico da manhã para 2030 e soma dos arcos  $k_i$  e entradas  $z_i$

Pico da manhã – 07:00 às 08:00 – Para 2030							
O/D	Ramo 1	Ramo 2	Ramo 3	Ramo 4	Ramo 5	Total do $Z_i$	Total do arco $K_i$
Ramo 1	13	51	92	1.176	13	1.346	402
Ramo 2	30	0	7	275	3	315	1.555
Ramo 3	69	3	0	295	10	377	1.662
Ramo 4	904	135	96	3	46	1.185	145
Ramo 5	3	3	13	145	3	168	1.254

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 22 - Matriz O/D pico da tarde para 2030 e soma dos arcos  $k_i$  e entradas  $z_i$

Pico da tarde – 17:00 às 18:00 – Para 2030							
O/D	Ramo 1	Ramo 2	Ramo 3	Ramo 4	Ramo 5	Total do $Z_i$	Total do arco $K_i$
Ramo 1	21	33	160	960	10	1.185	797
Ramo 2	81	0	16	264	20	381	1.745
Ramo 3	241	16	10	624	30	921	1.481
Ramo 4	1.412	185	438	5	53	2.092	428
Ramo 5	7	3	20	120	0	150	2.409

Fonte: Autoria própria (2025).

Com a Equação 6, calcula-se a capacidade básica ( $G_i$ ), dispostas nas Tabelas 23 e 24.

Tabela 23 - Cálculo da capacidade básica  $G_i$  para o pico da manhã para 2030

Cálculo Capacidade Básica $G_i$ - Pico da manhã - 2030									
Ramo 1		Ramo 2		Ramo 3		Ramo 4		Ramo 5	
Arco $k_1$	402	Arco $k_2$	1.555	Arco $k_3$	1.662	Arco $k_4$	145	Arco $k_5$	1.254
$nk_1$	2	$nk_2$	2	$nk_3$	2	$nk_4$	2	$nk_5$	2
$nz_1$	2	$nz_2$	1	$nz_3$	3	$nz_4$	3	$nz_5$	1
$tg$	4,1	$tg$	4,1	$tg$	4,1	$tg$	4,1	$tg$	4,1
$tf$	2,9	$tf$	2,9	$tf$	2,9	$tf$	2,9	$tf$	2,9
$tmin$	2,1	$tmin$	2,1	$tmin$	2,1	$tmin$	2,1	$tmin$	2,1
$G_i$	1.819	$G_i$	292	$G_i$	767	$G_i$	3.341	$G_i$	412

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 24 - Cálculo da capacidade básica Gi para o pico da tarde para 2030

Cálculo Capacidade Básica Gi - Pico da tarde - 2030									
Ramo 1		Ramo 2		Ramo 3		Ramo 4		Ramo 5	
Arco k1	797	Arco k2	1.745	Arco k3	1.481	Arco k4	428	Arco k5	2.409
nk1	2	nk2	2	nk3	2	nk4	2	nk5	2
nz1	2	nz2	1	nz3	3	nz4	3	nz5	1
tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1	tg	4,1
tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9	tf	2,9
tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1	tmin	2,1
Gi	1.295	Gi	229	Gi	958	Gi	2.671	Gi	76

Fonte: Aatoria própria (2025).

Em seguida encontra-se a capacidade de entrada (Ci) calculada pela Equação 7. Desconsiderando o fator de pedestres, tem-se resultados iguais aos da capacidade básica (Gi). Depois disso, é determinado o valor da capacidade residual (Ri), com auxílio da Equação 8. Todos estes resultados foram expostos nas Tabelas 25 e 26.

Tabela 25 - Cálculo da capacidade de entrada (Ci) e capacidade residual (Ri) para o pico da manhã para 2030

Determinação da Capacidade Residual Ri - Pico da Manhã - 2030						
Ramo	Entrada Zi (UCP/h)	Arco Ki (UCP/h)	Capacidade Básica Gi (UCP/h)	Fator de Pedestres	Capacidade Ci (UCP/h)	Capacidade Residual Ri (UCP/h)
1	1.346	402	1.819	-	1.819	473
2	315	1.555	292	-	292	-22
3	377	1.662	767	-	767	389
4	1.185	145	3.341	-	3.341	2.156
5	168	1.254	412	-	412	244

Fonte: Aatoria própria (2025).

Tabela 26 - Cálculo da capacidade de entrada (Ci) e capacidade residual (Ri) para o pico da tarde para 2030

Determinação da Capacidade Residual Ri - Pico da Tarde - 2030						
Ramo	Entrada Zi (UCP/h)	Arco Ki (UCP/h)	Capacidade Básica Gi (UCP/h)	Fator de Pedestres	Capacidade Ci (UCP/h)	Capacidade Residual Ri (UCP/h)
1	1.185	797	1295	-	1.295	110
2	381	1.745	229	-	229	-151
3	921	1.481	958	-	958	37
4	2.092	428	2.671	-	2.671	579
5	150	2.409	76	-	76	-74

Fonte: Aatoria própria (2025).

Analisando o Gráfico da Figura 23 é possível determinar o tempo médio de espera

(TMEi) e, em seguida, definir os níveis de serviço de cada ramo. As Tabelas 27 e 28 apresentam valores de tempo de espera e nível de serviço de cada acesso em cada horário de pico.

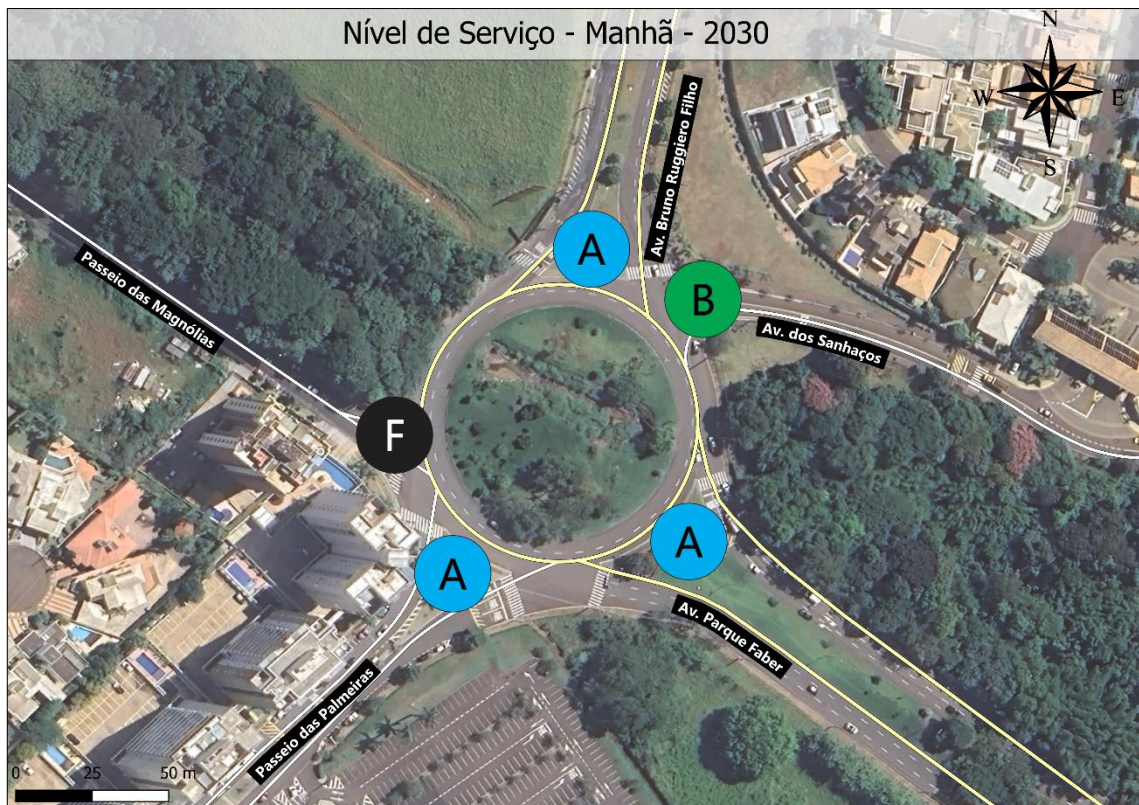
Observa-se que no pico da manhã para o cenário futuro o acesso com pior classificação atingiu nível F de serviço, enquanto no pico da tarde dois acessos atingiram nível F e um E. Nas Figuras 34 e 35 é possível visualizar cada ramo e seus respectivos níveis de serviço.

Tabela 27 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da manhã para 2030

Determinação dos tempos médios e NS - Pico da Manhã				
Ramo	Capacidade Ci (UCP/h)	Capacidade Residual Ri (UCP/h)	Tempo Médio de Espera (TMEi) (s)	Nível de Serviço
1	1.819	473	8	A
2	292	-22	Ri<0	F
3	767	389	8	A
4	3.341	2.156	8	A
5	412	244	15	B

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 34 - Níveis de serviço do pico da manhã do cenário futuro



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 28 - Tempo médio de espera e nível de serviço de cada acesso no pico da tarde para 2030

Determinação dos tempos médios e NS - Pico da Tarde				
Ramo	Capacidade Ci (UCP/h)	Capacidade Residual Ri (UCP/h)	Tempo Médio de Espera (TMEi) (s)	Nível de Serviço
1	1.295	110	28	C
2	229	-151	Ri<0	F
3	958	37	55	E
4	2.671	579	8	A
5	76	-74	Ri<0	F

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 35 - Níveis de serviço do pico da tarde do cenário futuro

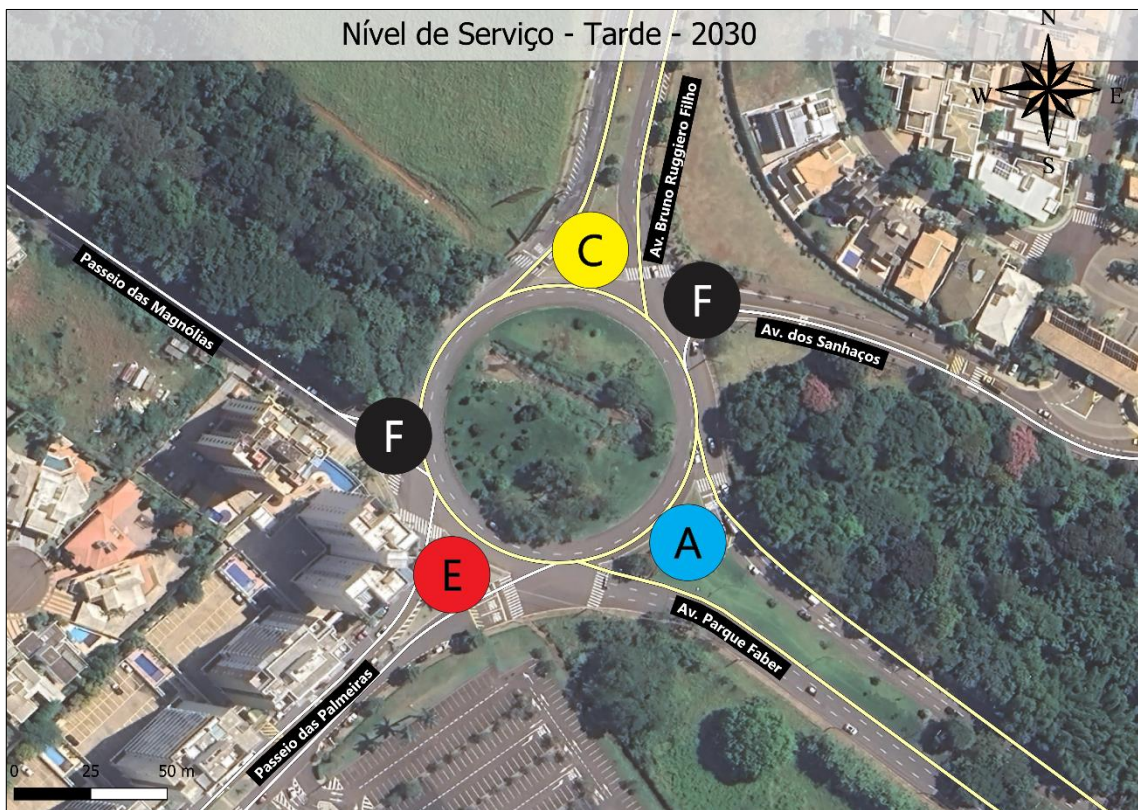


Tabela 29 - Resumo dos níveis de serviço

Resumo Níveis de Serviço				
Ramo	Manhã 2025	Tarde 2025	Manhã 2030	Tarde 2030
1	A	B	A	C
2	E	F	F	F
3	A	B	A	E
4	A	A	A	A
5	B	F	B	F

Fonte: Autoria própria (2025).

Conforme citado anteriormente, quando a capacidade residual é negativa, o nível de serviço é classificado como F, sendo assim o ramo 2 está sobrecarregado no pico da manhã, enquanto os ramos 2 e 5 estão no pico da tarde. Os ramos mais críticos continuam sendo os mesmos do cenário atual. Entretanto, há também uma queda brusca no ramo 3 no período da tarde, caindo de B para E, ficando abaixo do aceitável pelo DNIT. Logo, o aumento da frota, caso ocorra como o previsto, pode piorar ainda mais a fluidez da interseção.

Para determinar o nível de serviço da rotatória, calcula-se o tempo médio de espera (TMER), utilizando a Equação 9. No entanto, caso algum dos acessos atinja o nível de serviço F, a rotatória como um todo também será classificada como F. Os valores de TMER e o nível de serviço da rotatória são apresentados na Tabela 30, a fim de ilustrar a situação nos horários de pico.

Tabela 30 - Tempo médio de espera e nível de serviço da Rotatória

Horários de Pico	Melhor NS atingido pelos acessos i	Pior NS atingido pelos acessos i	TMER (rotatória) (s)	Nível de Serviço da Rotatória
Manhã	A	F	Não calculado	F
Tarde	A	F	Não calculado	F

Fonte: Autoria própria (2025).

O nível de serviço da rotatória no pico da manhã é considerado um resultado positivo, refletindo uma boa operação. Por outro lado, o nível de serviço alcançado no pico da tarde indica que a rotatória está sobrecarregada, o que demanda a implementação de intervenções.

#### 4.3 MELHORIAS PROPOSTAS PARA A ROTATÓRIA

Os dois ramos que apresentaram níveis de serviço abaixo do aceitável no cenário atual contêm apenas uma faixa de aproximação nas entradas à rotatória, sendo possível verificar a situação atual nas Figuras 36 e 37.

Figura 36 - Entrada do ramo 2 da rotatória em estudo



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 37 - Entrada do ramo 5 da rotatória em estudo



Fonte: Autoria própria (2025).

Por meio da ferramenta medir distância do Google Maps, é possível verificar que as aproximações têm largura suficiente para que se divida a aproximação em duas faixas, na tentativa de aumentar a capacidade dessa via, para que o nível de serviço tenha uma melhora.

Sabe-se que modificações na geometria das entradas e saídas são também opções para melhorar a operação do dispositivo, entretanto, para que se possa propor essas alterações, é necessário estudos mais aprofundados em relação a todos os

impactos e se são possíveis de realização, pois essas alterações no sistema viário demandam tempo e recursos financeiros altos.

Muitas soluções podem ser cabíveis neste caso, como, por exemplo, a utilização de grupo semafórico, a fim de controlar o fluxo que chega na rotatória, com oportunidade de brechas maiores, fazendo com que os tempos de espera sejam diminuídos. É importante lembrar que a utilização de um semáforo nesse caso não foi testada, nem avaliada na prática. Este trabalho traz apenas uma sugestão de forma de controle do volume do fluxo antes que cheguem na rótula.

A melhoria do transporte público, na tentativa de que mais indivíduos a utilizem, também é uma opção, pois assim o número de veículos circulantes poderia diminuir e desafogar a interseção que está saturada. Melhoria da qualidade dos ônibus, da oferta de horários para grandes Polos Geradores de Viagem e cumprimento desses horários, conforto nos pontos de espera e valores de tarifas reduzidos são características que podem atrair a população para que utilizem esse meio de transporte.

Todo o fluxo da região deve ser analisado, a fim de que se entenda a origem e o destino dos veículos antes mesmo de chegarem ao dispositivo estudado para que se possa verificar rotas alternativas, sinalizando-as e, então, diminuindo o fluxo que por ali passa.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos confirmam que a rotatória não está operando dentro dos padrões ideais, apresentando sinais claros de subdimensionamento. Por mais que no horário de pico da manhã o nível de serviço tenha sido B, no pico da tarde, o dispositivo foi classificado com nível de serviço F, indicando uma sobrecarga do mesmo. É evidente a necessidade de aplicar medidas no cruzamento para melhorar a fluidez do trânsito e garantir mais segurança aos usuários da via.

O trabalho também apresentou os volumes de tráfego da rotatória, identificando os horários de pico e calculando a capacidade da rotatória e o nível de serviço para ambos. Constatou-se que o fluxo de veículos é intenso e que, em determinados horários, a interseção se encontra sobrecarregada.

Outro fator que mostra a real necessidade de readequação da interseção é que, quando realizados os cálculos para um tráfego futuro, que seria 9,8% maior que o atual, os níveis são abaixo do aceitável pelo DNIT em um ramo de manhã e em 3 ramos a tarde.

Vale salientar que os dados utilizados do SENATRAN de 2021 a 2024, para número de veículos existentes no município de São Carlos, podem ter sido afetados significativamente por tendências de pós pandemia de Covid-19, visto que a população teve algumas mudanças em relação ao uso dos meios de transporte.

No cenário futuro o dispositivo teve nível de serviço do pico da manhã e da tarde como F. Importante lembrar que, conforme as recomendações dos manuais, quando um dispositivo atinge nível de serviço F, o ideal é sua substituição.

Algumas possíveis formas de se ter um trabalho mais refinado que não foram consideradas nesse trabalho são: dividir as contagens dos picos em partes de 15 minutos, e assim encontrar o fator horário de pico, sendo ele o maior volume dentro da hora pico, a fim de se obter valores mais críticos. Além disso, a contagem de pedestres que realizam o cruzamento do dispositivo em estudo também pode agregar a futuros trabalhos, para que se tenha uma maior precisão no método utilizado.

Um ponto importante a ser considerado é que o método utilizado no presente trabalho se trata de um método alemão. Cabe pensar em quanto este método é apropriado para ser aplicado no Brasil, onde as características do sistema viário são bem distintas do existente na Alemanha.

## REFERÊNCIAS

AKISHINO, PEDRO. **Estudos de Tráfego**. Curitiba, PR. 2005, 188p. Disponível em: <https://pdfcoffee.com/apostilatrafego-pdf-free.html> 24 ago. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Resolução nº 3.576**. Disponível em: [https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-3576-2010\\_111747.html#google\\_vignette](https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-3576-2010_111747.html#google_vignette) Acesso em: 24 fev. 2025.

BRASIL. **Código de Trânsito Brasileiro**. Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9503compilado.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9503compilado.htm) Acesso em: 10 nov. 2024.

CHAGAS, Eduardo M. **Estudo do Sistema de Trânsito do Município de Feira de Santana: Avaliação do Sistema de Trânsito da Avenida Senhor dos Passos**. Feira de Santana: UEFS, 2009. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – UEFS/ Departamento de Tecnologia. Disponível em: [https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54883266/EDUARDO\\_MOREIRA\\_CHAGAS-libre.pdf?1509538045=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDADE\\_ESTADUAL\\_DE\\_FEIRA\\_DE\\_SANTAN.pdf&Expires=1739763598&Signature=C6oT8qhvMUb3jleTx9io6GgwoGfJ0FWL8pKgLy27MobruJMABYRCuAzw~gnhC~3E96PX~cl2EGhuh1BwCOw4MYFV-E1XnwN2nke2pPaM41t4WWn1UMUVDwXYPdlhQ4-2U0mdkUzb-DKqNWkHMD3omv49WcFSyK4Uow3QYaSF6W2fjhIdIF4QrKFlwpukBnT1CfLTsITW7RJWZmHTFZ66ADz585mSQSGmsGrJF4UwLkgawSZAWXpuHQ4Oq43COUPwhHKYVFeGgwxuBPrsh5fEbaADXt-hWITMfbydHRM-jSXpEfcivDMX-1ze1A5WmJbz3Oo02O0Jt7-eWKzsMBRFIg\\_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/54883266/EDUARDO_MOREIRA_CHAGAS-libre.pdf?1509538045=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDADE_ESTADUAL_DE_FEIRA_DE_SANTAN.pdf&Expires=1739763598&Signature=C6oT8qhvMUb3jleTx9io6GgwoGfJ0FWL8pKgLy27MobruJMABYRCuAzw~gnhC~3E96PX~cl2EGhuh1BwCOw4MYFV-E1XnwN2nke2pPaM41t4WWn1UMUVDwXYPdlhQ4-2U0mdkUzb-DKqNWkHMD3omv49WcFSyK4Uow3QYaSF6W2fjhIdIF4QrKFlwpukBnT1CfLTsITW7RJWZmHTFZ66ADz585mSQSGmsGrJF4UwLkgawSZAWXpuHQ4Oq43COUPwhHKYVFeGgwxuBPrsh5fEbaADXt-hWITMfbydHRM-jSXpEfcivDMX-1ze1A5WmJbz3Oo02O0Jt7-eWKzsMBRFIg_&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA) Acesso em: 15 ago. 2024.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito**. CONTRAN, 2022, 297 p. v. 5: Sinalização Semafórica. Disponível em: [https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy\\_of\\_05\\_MBST\\_Vol.V\\_Sinalizacao\\_Semaforica.pdf](https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy_of_05_MBST_Vol.V_Sinalizacao_Semaforica.pdf) Acesso em: 15 dez. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.  
**Manual de estudos de tráfego.** Rio de Janeiro, 2006. 384 p. (IPR. Publ, 723).  
Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723\\_manual\\_estudos\\_trafego.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/723_manual_estudos_trafego.pdf)  
Acesso em: 02 ago. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.  
**Manual de projeto de interseções.** Brasília BARBOSA, B.R. DF: DNIT,2005.  
Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/718\\_manual\\_de\\_projeto\\_de\\_intersecoes.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/718_manual_de_projeto_de_intersecoes.pdf) Acesso em: 02 ago. 2024.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.  
**Manual de projeto geométrico de travessias urbanas.** Rio de Janeiro, 2010. 392p. (IPR. Publ, 740).  
Disponível em: [https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/740\\_manual\\_projetos\\_geometricos\\_travessias\\_urbanas.pdf](https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/740_manual_projetos_geometricos_travessias_urbanas.pdf)  
Acesso em: 02 ago. 2024.

FGV – Fundação Getúlio Vargas. **Plano de Mobilidade Urbana de São Carlos.** 2023.  
Disponível em: [http://www.saocarlos.sp.gov.br/files/planmob\\_são%20carlos.pdf](http://www.saocarlos.sp.gov.br/files/planmob_são%20carlos.pdf).  
Acesso em: 25 set. 2024.

FHWA – Federal Highway Administration. **Traffic Conflict Techniques for Safety and Operations – Observers Manual.** National Technical Information Service, Springfield, Virginia. 1989.  
Disponível em: <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/88027/88027.pdf> Acesso em: 16 jan. 2025.

**IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2022a.**

Disponível em:  
[https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm\\_source=ibge&utm\\_medium=home&utm\\_campaign=portal](https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/?utm_source=ibge&utm_medium=home&utm_campaign=portal) Acesso em: 20 jul. 2024.

**IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2022b.** Disponível em:  
<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/sao-carlos.html> Acesso em: 21 jul. 2024.

**MILLACK, Thaís S. Projeto Geométrico de uma Interseção em Desnível.** Florianópolis: UFSC, 2014. 72 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – UFSC/ Centro Tecnológico. Disponível em:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/30399355.pdf> Acesso em: 20 jul. 2024.

**MING, Sun Hsien. Técnica de Análise de Conflitos.** Nota Técnica, nº 210. CET, São Paulo, 2001. Disponível em:  
<https://www.cetsp.com.br/media/20791/nt%20210%20revisado.pdf> Acesso em: 15 jan. 2025.

**NERIS, Diego F. Melhoria do Desempenho do Tráfego em Rotatórias com o Empenho de Semáforos Próximos na Via Principal.** São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2014. 99 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Planejamento e Operação de Sistemas de Transporte. Disponível em:  
[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-29042014-094454/publico/Dissertacao\\_DFNeris.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18144/tde-29042014-094454/publico/Dissertacao_DFNeris.pdf) Acesso em: 22 jul. 2024.

ORTOLANI, Giseli A. **Comparação do desempenho de dispositivos de interseções rodoviárias em nível utilizando o simulador Integration**. 2003. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18137/tde-20062017-102938/> Acesso em: 24 jul. 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO CARLOS. **Plano Diretor do Município de São Carlos**. 2016. Disponível em: <http://www.saocarlos.sp.gov.br/images/stories/pdf/conselhos/lei18053%20-%20Plano%20Diretor%20-%20digital.pdf> Acesso em: 25 set. 2024.

SCHUSTER, Fernanda P. **O uso adequado de rotatórias como agente redutor da acidentalidade no trânsito**. 2012. Disponível em: [http://files-server.antp.org.br/\\_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/10/07/96FB1A2D-43D2-4261-866C-F1A334AE7C2A.pdf](http://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/10/07/96FB1A2D-43D2-4261-866C-F1A334AE7C2A.pdf) Acesso em: 25 fev. 2025.

SENATRAN. Frota de Veículos - 2022. *In*: GOVERNO FEDERAL. **Frota de Veículos – 2021**. [S. l.], 21 nov. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2021> Acesso em: 10 fev. 2025.

SENATRAN. Frota de Veículos - 2022. *In*: GOVERNO FEDERAL. **Frota de Veículos – 2022**. [S. l.], 19 dez. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2022> Acesso em: 18 jul. 2024.

SENATRAN. Frota de Veículos - 2023. *In*: GOVERNO FEDERAL. **Frota de Veículos – 2023**. [S. l.], 18 jun. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2023> Acesso em: 10 fev. 2025.

SENATRAN. Frota de Veículos - 2024. *In*: GOVERNO FEDERAL. **Frota de Veículos – 2024**. [S. l.], 15 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/conteudo-Senatran/frota-de-veiculos-2024> Acesso em: 10 fev. 2025.

SOUZA, Marcello V. J. **Análise de Desempenho de uma Interseção não Semaforizada em Nível (Rotatória) Utilizando Microssimulação – Estudo de Caso: Anel Viário da UFRJ**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2014. 102 p. Projeto de Graduação UFRJ/ Escola Politécnica/Curso de Engenharia Civil.  
Disponível em: <https://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010049.pdf>  
Acesso em: 22 jul. 2024.

### APÊNDICE A – CONTAGENS VOLUMÉTRICAS

Manhã 7h às 8h					
O/D	Carro	Moto	Ônibus/Caminhão	Reboque/Semirreboque	UCP
<i>Ramo 1 - Ramo 1</i>	9	3	0	0	<b>12</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 2</i>	30	12	3	0	<b>47</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 3</i>	66	9	6	0	<b>84</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 4</i>	873	162	24	0	<b>1071</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 5</i>	9	3	0	0	<b>12</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 1</i>	27	0	0	0	<b>27</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 2</i>	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 3</i>	6	0	0	0	<b>6</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 4</i>	222	24	3	0	<b>251</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 5</i>	3	0	0	0	<b>3</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 1</i>	54	9	0	0	<b>63</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 2</i>	0	3	0	0	<b>3</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 3</i>	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 4</i>	252	12	3	0	<b>269</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 5</i>	9	0	0	0	<b>9</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 1</i>	609	192	15	0	<b>824</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 2</i>	114	9	0	0	<b>123</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 3</i>	81	6	0	0	<b>87</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 4</i>	3	0	0	0	<b>3</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 5</i>	36	6	0	0	<b>42</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 1</i>	3	0	0	0	<b>3</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 2</i>	3	0	0	0	<b>3</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 3</i>	12	0	0	0	<b>12</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 4</i>	120	12	0	0	<b>132</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 5</i>	3	0	0	0	<b>3</b>

<b>Tarde 17h às 18h</b>					
<b>O/D</b>	<b>Carro</b>	<b>Moto</b>	<b>Ônibus/Caminhão</b>	<b>Reboque/Semirreboque</b>	<b>UCP</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 1</i>	12	3	3	0	<b>20</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 2</i>	30	0	0	0	<b>30</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 3</i>	126	15	3	0	<b>146</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 4</i>	687	183	3	0	<b>875</b>
<i>Ramo 1 - Ramo 5</i>	6	3	0	0	<b>9</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 1</i>	57	12	3	0	<b>74</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 2</i>	0	0	0	0	<b>0</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 3</i>	15	0	0	0	<b>15</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 4</i>	201	39	0	0	<b>240</b>
<i>Ramo 2 - Ramo 5</i>	15	3	0	0	<b>18</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 1</i>	195	15	6	0	<b>219</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 2</i>	15	0	0	0	<b>15</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 3</i>	9	0	0	0	<b>9</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 4</i>	501	45	15	0	<b>569</b>
<i>Ramo 3 - Ramo 5</i>	21	6	0	0	<b>27</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 1</i>	978	276	21	0	<b>1286</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 2</i>	141	18	6	0	<b>168</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 3</i>	381	18	0	0	<b>399</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 4</i>	0	0	3	0	<b>5</b>
<i>Ramo 4 - Ramo 5</i>	45	3	0	0	<b>48</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 1</i>	6	0	0	0	<b>6</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 2</i>	3	0	0	0	<b>3</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 3</i>	15	3	0	0	<b>18</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 4</i>	90	15	3	0	<b>110</b>
<i>Ramo 5 - Ramo 5</i>	0	0	0	0	<b>0</b>