

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**RAFAEL GUILHERME ROQUETTE MATOSO**

**ANÁLISE DE CAPACIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA ROTATÓRIA  
MODERNA NO CRUZAMENTO DA RODOVIA PR-423 COM UMA VIA  
SECUNDÁRIA, MUNICÍPIO DE CAMPO LARGO/PR**

**CURITIBA**

**2022**

**RAFAEL GUILHERME ROQUETTE MATOSO**

**ANÁLISE DE CAPACIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA ROTATÓRIA  
MODERNA NO CRUZAMENTO DA RODOVIA PR-423 COM UMA VIA  
SECUNDÁRIA, MUNICÍPIO DE CAMPO LARGO/PR**

**Capacity Analysis of the Implementation of a Roundabout at the Intersection of  
the PR-423 Highway with a Local Road, Municipality of Campo Largo/PR**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentada como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Matheus David Inocente  
Domingos

**CURITIBA**

**2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**RAFAEL GUILHERME ROQUETTE MATOSO**

**ANÁLISE DE CAPACIDADE PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA ROTATÓRIA  
MODERNA NO CRUZAMENTO DA RODOVIA PR-423 COM UMA VIA  
SECUNDÁRIA, MUNICÍPIO DE CAMPO LARGO/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Civil da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 10 de junho de 2022

---

Matheus David Inocente Domingos - Orientador  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Jair Ferreira de Almeida  
Doutor  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

---

Jorge Tiago Bastos  
Doutor  
Universidade Federal do Paraná

**CURITIBA**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que além de me capacitar e permitir que chegasse até aqui e colocou em minha vida pessoas que, com toda certeza, facilitaram essa jornada.

Aos meus pais e irmão, por todo carinho, incentivo, e por deixarem bons ensinamentos que me guiaram até aqui.

Aos meus avós paternos, que sonharam junto comigo, acreditando e dando todo o apoio necessário.

À Aline, que acompanha minhas angústias e conquistas, sendo minha motivação e suporte, nunca me deixando desistir.

Aos docentes e colegas, que agregaram conhecimento em minha trajetória e fizeram da experiência universitária algo único.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Matheus Domingos, por aceitar o desafio de me conduzir nesse trajeto, e por todo o esforço despendido para me auxiliar.

Por fim, ao DER/PR, pelo suporte e autorização do compartilhamento dos dados que deram origem a este trabalho.

A todos, obrigado!

*It is not the critic who counts; not the man who points out how the strong man stumbles or where the doer of deeds could have done them better. The credit belongs to the man who is actually in the arena, whose face is marred by dust and sweat and blood; who strives valiantly; who errs, who comes short again and again, because there is no effort without error and shortcoming; but who does actually strive to do the deeds; who knows great enthusiasms, the great devotions; who spends himself in a worthy cause; who at the best knows in the end the triumph of high achievement, and who at the worst, if he fails, at least fails while daring greatly, so that his place shall never be with those cold and timid souls who neither know victory nor defeat.*

Theodore Roosevelt (1858-1919)

## RESUMO

As interseções em nível representam locais com os maiores índices de acidentes em vias rodoviárias, tanto em ambientes urbanos quanto rurais. Em um contexto local, a interseção localizada no município de Campo Largo/PR e composta pela Rodovia PR-423 e a Rua João Stukas merece um destaque especial devido ao número elevado de colisões e óbitos nos últimos anos, tendo inclusive sido apelidada de “Trevo da Morte” por moradores da região. Em uma tentativa de reduzir as estatísticas de acidentes no local e aumentar a capacidade de tráfego, o estudo em questão tem por objetivo principal a análise de viabilidade para implantação de uma rótula com uma faixa de tráfego ao redor da ilha central, sendo que cada acesso também possui uma faixa de tráfego. A partir de contagens preliminares de tráfego, pesquisas bibliográficas e estimativas de crescimento dos fluxos provenientes de bancos de dados do DETRAN/PR, foram determinados os volumes horários de projeto em cada acesso e no ano de projeto da interseção (2037). Os métodos do DNIT e do DENATRAN foram considerados nos cálculos de capacidade e nível de serviço dos acessos à rótula, e um anteprojeto da mesma também foi desenvolvido na pesquisa. Os resultados mostraram que os acessos provenientes da via principal (Rodovia PR-423) operam em um nível de serviço C, ao passo que os acessos oriundos da via secundária (Rua João Stukas) operam em um nível de serviço A. O tempo médio de espera na rótula foi de aproximadamente 22 s de acordo o método do DNIT, e os dados obtidos segundo o método do DENATRAN corroboraram a hipótese de que o uso de uma rótula no local investigado é tecnicamente viável. Desta maneira, conclui-se que a rótula é uma opção interessante para a interseção e estudos futuros e simuladores de tráfego são necessários para avaliar não apenas sua viabilidade econômica, mas também seu desempenho operacional.

Palavras-chave: interseções em nível; rótula; capacidade; nível de serviço.

## ABSTRACT

The in-level intersections are places with the highest indices of accidents in highways, both in urban and rural environments. In a local context, the intersection between the PR-423 highway and the João Stukas Street (municipality of Campo Largo/PR, Brazil) deserves a special attention due to the great number of collisions and fatalities within the last years – local residents have also named it as “Death Intersection”. In an attempt to reduce the accident statistics and increase traffic capacity, the present study mainly aimed at evaluating the feasibility of the implementation of a one-lane roundabout in the current intersection, and with all entrance roads containing one lane as well. Based on preliminary traffic data, a literature review and estimations of increase in traffic according to the database from the Paraná State Department of Roads (DETRAN/PR), the traffic flows in each entrance road were calculated by considering the design year of 2037. The DNIT and DENATRAN Brazilian methods were considered in the calculations of capacity and Level of Service (LOS) for each entrance of the roundabout. A preliminary project of this roundabout was also prepared in the current investigation. The entrances from the main road (PR-423 highway) showed LOS equal to C, whereas the ones from the secondary road (João Stukas Street) showed LOS equal to A. The average waiting time in the roundabout was approximately equal to 22 s according to the DNIT method, and the results collected according to the DENATRAN method gave support to the hypothesis that the use of a roundabout in the studied intersection is technically feasible. In this manner, it is possible to conclude that the one-lane roundabout is an interesting option. Future studies may include the use of traffic simulators for evaluating its operational performance, as well as analyses of its economic feasibility.

Keywords: in-level intersections; roundabout; capacity; level of service.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ilustração do <i>Safe System</i> no que tange ao gerenciamento do risco. .....	20
Figura 2 – Panorama global com relação aos critérios para melhoria da segurança viária .....	21
Figura 3 - Acidentes fatais de acordo com hora e tipo da via .....	25
Figura 4 – Totais de acidentes fatais de acordo com dia de ocorrência e tipo da via .....	25
Figura 5 – Tipos de interação entre fluxos de tráfego em interseções .....	27
Figura 6 – Pontos de conflito em uma interseção de quatro ramos e em uma rótula .....	28
Figura 7 - Elementos de uma rotatória moderna .....	31
Figura 8 – Exemplo de aplicação de ilha divisória .....	33
Figura 9 – Localização da distância de visibilidade externa do condutor ( $D_P$ ) na rótula .....	36
Figura 10 – Critérios de projeto para cálculo da distância de visibilidade na rótula .....	36
Figura 11 – Configuração usual de uma minirrotatória e seus principais elementos.....	37
Figura 12 – Exemplo de configuração de uma rótula com duas faixas de tráfego .....	39
Figura 13 – Configuração de uma rótula compacta em desnível de grandes dimensões.....	40
Figura 14 – Configuração de rótulas em desnível interligadas por um viaduto na via secundária .....	40
Figura 15 – Configuração de uma rótula com alongamento da ilha central .....	41
Figura 16 – Exemplo de uma rótula semaforizada na Fonte de Jerusalém, cidade de Curitiba/PR .....	42
Figura 17 – Configuração típica de uma rótula vazada.....	43
Figura 18 – Ábaco para seleção do tipo mais adequado de interseção em áreas urbanas .....	45
Figura 19 – Ábaco para seleção do tipo mais adequado de interseção em áreas rurais e considerando uma velocidade diretriz de 90 km/h na via principal.....	45
Figura 20 – Localização e definição dos bairros no entorno da interseção estudada.....	49
Figura 21 – Coordenadas geográficas e vista aérea da interseção entre a Rodovia PR-423 e a Rua João Stukas, município de Campo Largo/PR .....	51
Figura 22 – Manobras possíveis na interseção estudada .....	52
Figura 23 – Evolução da frota de veículos no Paraná e determinação da taxa média de crescimento da frota.....	54
Figura 24 – Classificação veicular utilizada na contagem das correntes de tráfego .....	54
Figura 25 – Elementos básicos de projeto em uma rotatória moderna de quatro ramos .....	58
Figura 26 – Fator de pedestres ao considerar uma entrada com uma faixa de tráfego a uma rótula com uma faixa de tráfego.....	59
Figura 27 – Fator de pedestres ao considerar uma entrada com duas faixas de tráfego a uma rótula com duas faixas de tráfego.....	59



<b>Figura 28 – Tempo médio de espera para a entrada da rótula e nível de serviço correspondente .....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 29 – Localizações dos fluxos de entrada (<math>Q_e</math>) e circulante (<math>Q_c</math>) em uma rótula. ....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 30 – Ilustração de uma rótula com seção de entrelaçamento reta.....</b>	<b>63</b>
<b>Figura 31 – Ilustração de uma rótula com seção de entrelaçamento curva.....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 32 – Ilustração do ângulo de entrada em outros tipos de rotatória .....</b>	<b>64</b>
<b>Figura 33 – Parâmetros importantes para determinar a capacidade das vias de entrada .....</b>	<b>65</b>
<b>Figura 34 – Apresentação da numeração de cada via de entrada da rótula .....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 35 – Esquema da projeção dos alinhamentos de entrada de cada via presente na interseção .....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 36 - Comparação dos pontos de conflito entre a situação atual e a rotatória proposta .....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Fatores geradores de acidentes ou sinistros de trânsito .....	22
Tabela 2 – Acidentes fatais em interseções em nível nos Estados Unidos e por tipo de colisão .....	26
Tabela 3 – Distâncias de parada na entrada da rótula em função da velocidade do tráfego.....	36
Tabela 4 – Categorização e breves descrições dos veículos de projeto .....	47
Tabela 5 – Fatores de equivalência veicular em interseções em nível do tipo rótula .....	47
Tabela 6 – Origens e destinos para cada uma das manobras da interseção estudada.....	53
Tabela 7 – Fatores de correção de sazonalidade adotados para cada tipo de veículo.....	55
Tabela 8 – Volumes diários médios de projeto por manobra e tipo de veículo, ano de 2014.....	56
Tabela 9 – Breves descrições sobre os níveis de serviço para cada entrada da rótula .....	61
Tabela 10 – Determinação do nível de serviço com base no TME.....	62
Tabela 11 – Valores da constante $t_D$ em função do diâmetro do círculo inscrito ( $D$ ) .....	66
Tabela 12 – Limites de variação para cada parâmetro usado na determinação da capacidade das vias de entrada .....	66
Tabela 13 – Correção na capacidade de entrada ( $Q_e$ ) em função do ângulo de entrada ( $\Phi$ ).....	67
Tabela 14 - Correção na capacidade de entrada ( $Q_e$ ) em função do raio de entrada ( $R$ ) .....	67
Tabela 15 – Volume médio diário para cada manobra (em UCP) e para o ano de 2022 .....	69
Tabela 16 - Volume médio diário para cada manobra (em UCP) e para o ano de 2037 .....	69
Tabela 17 – Classificação da origem de cada manobra com relação à respectiva via.....	70
Tabela 18 – Volume médio diário para as vias principal e secundária.....	70
Tabela 19 – Matriz origem-destino (O/D) na interseção estudada para o ano de 2037 .....	71
Tabela 20 – Volumes de tráfego na pista rotatória antes de cada entrada ( $K$ ) e no ano de 2037 .....	72
Tabela 21 – Capacidades básicas de cada via de entrada da rótula ( $G$ ) e para o ano de 2037.....	72
Tabela 22 – Capacidades corrigidas ( $C_i$ ) e residuais ( $R_i$ ), fluxos por entrada ( $Z_i$ ), tempos médios de espera ( $TMEs$ ) e níveis de serviço para cada entrada da interseção .....	73
Tabela 23 – Resultado do coeficiente $k$ para cálculo da capacidade das vias de entrada .....	75
Tabela 24 – Resultado do coeficiente $F$ para cálculo da capacidade das vias de entrada .....	75
Tabela 25 – Resultado da constante $f_c$ para cálculo da capacidade das vias de entrada .....	75

<b>Tabela 26 – Resumo dos cálculos de capacidade, em UCP/h, para cada entrada (Qe) e sua respectiva taxa de ocupação (<math>\lambda_i</math>) segundo o método do DENATRAN (1991).....</b>	<b>76</b>
--	-----------

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AND	Associação Nacional dos DETRANs
CNT	Confederação Nacional do Transporte
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
HCM	<i>Highway Capacity Manual</i>
INFOSIGA	Sistema de Informações Gerenciais de acidentes de trânsito do Estado de São Paulo
NHTSA	<i>Nation Highway Traffic Safety Administration</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>
ZIL-II	Zona de Influência Logística II

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>17</b>
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos .....	17
<b>1.2</b>	<b>Justificativas</b> .....	<b>17</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Segurança Viária</b> .....	<b>19</b>
2.1.1	Acidentes de trânsito .....	22
2.1.2	Conflitos de tráfego .....	26
<b>2.2</b>	<b>Engenharia de Tráfego</b> .....	<b>28</b>
<b>2.3</b>	<b>Rotatórias modernas (rótulas)</b> .....	<b>29</b>
2.3.1	Entradas e saídas das vias de aproximação .....	31
2.3.2	Ilhas central e divisória e via circular .....	32
2.3.3	Pedestres e ciclistas e segurança operacional.....	34
<b>2.4</b>	<b>Visibilidade</b> .....	<b>35</b>
<b>2.5</b>	<b>Tipos de rótula</b> .....	<b>36</b>
2.5.1	Minirrotatórias.....	37
2.5.2	Rotatória Moderna.....	38
2.5.3	Rótulas em interconexões .....	39
2.5.4	Outros tipos de rótulas .....	41
<b>2.6</b>	<b>Escolha de soluções para interseções viárias não semaforizadas e aplicações das rotatórias modernas</b> .....	<b>43</b>
<b>2.7</b>	<b>Veículos de projeto e fatores de equivalência veicular em rótulas</b> .....	<b>46</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>49</b>
<b>3.1</b>	<b>Caracterização da interseção e análise jurisdicional</b> .....	<b>49</b>
<b>3.2</b>	<b>Descrições dos arredores da interseção e respectivas vias de acesso</b> <b>50</b>	
<b>3.3</b>	<b>Contagens e fluxos de tráfego</b> .....	<b>51</b>
<b>3.4</b>	<b>Estudo de capacidade e nível de serviço da rótula segundo o DNIT</b> <b>57</b>	
3.4.1	Matriz origem-destino .....	57
3.4.2	Capacidade de entrada na rótula .....	58
3.4.3	Capacidades residuais das entradas da rótula e níveis de serviço .....	60

<b>3.5</b>	<b>Estudo de capacidade e nível de serviço da rótula segundo o DENATRAN</b> .....	<b>62</b>
3.5.1	Capacidade .....	62
3.5.2	Restrições e eventuais correções.....	66
3.5.3	Taxa de ocupação .....	67
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>68</b>
<b>4.1</b>	<b>Análise dos fluxos veiculares em cada via da interseção</b> .....	<b>68</b>
4.1.1	Projeção do crescimento do fluxo de veículos .....	68
4.1.2	Análise dos volumes médios diários para as vias da interseção.....	70
<b>4.2</b>	<b>Análise de viabilidade da proposta de alteração da interseção</b> .....	<b>71</b>
4.2.1	Metodologia do DNIT (2005) .....	71
4.2.2	Metodologia do DENATRAN (1991).....	74
4.2.3	Comparações entre os resultados obtidos segundo o DNIT (2005) e o DENATRAN (1991) .....	76
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>78</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>80</b>
	<b>APÊNDICE A - Detalhamento do anteprojeto da rótula moderna proposta a interseção deste estudo</b> .....	<b>86</b>
	<b>APÊNDICE B - Anteprojeto da solução proposta com sinalização vertical e horizontal</b> .....	<b>88</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A história do modal rodoviário no Brasil é antiga. Segundo uma publicação da Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transportes e Logística (CNTTL, 2005), as primeiras rodovias surgiram no País ainda no século XIX. Seixas (2019) aponta que o aprimoramento rodoviário data de 1934, quando o ex-presidente Getúlio Vargas criou o Plano Geral Nacional de Viação. Apesar de este plano ter em teoria um caráter multimodal, já havia uma priorização do modal rodoviário por parte da gestão federal. Isto se tornou ainda mais evidente três anos depois, com a criação do então Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER) – atual Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT).

Duas décadas depois, já nos anos 1950, o governo de Juscelino Kubitschek (1956-1961) estabeleceu a política de cinquenta anos de desenvolvimento econômico em cinco anos-calendário e aumentou massivamente os investimentos no sistema rodoviário nacional. A extensão da malha foi substancialmente ampliada e, ao final de seu mandato, apenas as capitais Manaus/AM e Belém/PA não estavam interligadas às demais regiões por via rodoviária (FGV, 2016). Por sua vez, o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) foi de aproximadamente três vezes superior ao restante da América Latina no mesmo período (FAUSTO, 2008).

Tal crescimento da produção ocasionou o aumento da demanda por transportes para o seu adequado escoamento, criando assim um ciclo de necessidade de expansão e melhoramento da infraestrutura existente. Além disso, fatores como o desenvolvimento da indústria automobilística e a consolidação do mercado causaram um aumento expressivo da frota automotora, sobretudo na década de 90 (SILVA, 2017). A título de exemplo, a produção anual de veículos saltou de 843.429 unidades em 1990 para 1.605.848 em 2000 (CNT, 2021). Nesta mesma linha de raciocínio, a Associação Nacional dos DETRANs (AND) cita que o Brasil contava com um automóvel para cada 4,4 habitantes em 2019. Dez anos antes, em 2009, esta métrica era de um automóvel para cada 7,4 habitantes (AND, 2019).

Com mais veículos transitando em vias urbanas e rurais, há a necessidade de promoção do melhoramento contínuo da infraestrutura existente. Segundo o DNER (p.1, 1979), melhoramento é definido pelo “conjunto de operações que acrescentam às rodovias novas características, ou modifica aquelas previamente

existentes”. Podem ser considerados como exemplos modificações em um pavimento deteriorado, duplicações ou aumento do número de faixas em rodovias de pista simples e novas propostas de interseções. Tais ações são importantes para que seja garantido o conforto e a segurança dos usuários de uma via, seja ela rural ou urbana. A pesquisa CNT (2021) aponta a ocorrência de mais de 51.000 acidentes de trânsito com vítimas em rodovias federais no ano de 2020, o que corresponde a uma média de 142 acidentes diários com vítimas – algo inaceitável para os padrões mínimos exigidos em segurança viária.

A importância do modal rodoviário nos transportes de cargas e passageiros no Brasil aumenta ainda mais essa necessidade de melhorias na segurança viária. A literatura aponta que este modal foi responsável por 61% do transporte de cargas no País em 2019, considerando a unidade de medida tonelada-quilômetro útil (TKU). Por sua vez, o modal ferroviário registrou uma participação três vezes menor no caso do transporte de cargas, apenas 21% do total transportado no mesmo ano. Cabe ainda citar que, em comparação ao ano anterior, não houve mudanças significativas nessas proporções. Para fins comparativos, o modal rodoviário foi responsável por apenas 43% do transporte de cargas nos EUA, 35% na China e 19% no Canadá (ALVARENGA, 2020). Assim, é possível observar uma alta concentração e dependência do modal rodoviário no Brasil, o que impacta toda a cadeia produtiva nacional e – de modo particular – os custos finais dos produtos ao consumidor.

Um dos principais desafios enfrentados durante as etapas de projeto e adequação de vias é a interseção. Em seu manual técnico, o DNIT (2005) define uma interseção como sendo um local de confluência, entroncamento ou cruzamento de duas ou mais vias. Também existe uma classificação das interseções quanto ao seu tipo, sendo uma delas a chamada interseção em nível. Neste caso, os cruzamentos das correntes de tráfego ocorrem no mesmo nível.

Necessariamente, um conflito de tráfego é um evento envolvendo a interação entre pelo menos dois usuários de uma determinada via, sendo um risco potencial para a ocorrência de acidentes e/ou colisões (ROBLES e JUNIOR, 2008). Os conflitos de cruzamento – nos quais as correntes de tráfego se cruzam em um determinado ponto, sobretudo nas interseções – são um exemplo desse perigo e, por isso, devem ser avaliados e eliminados sempre que possível. Neste aspecto, soluções como um reforço das sinalizações horizontal e vertical, dispositivos fixos para medição de velocidade dos motoristas (radares) e mudanças na geometria do local (por exemplo,



a utilização de rótulas) podem ser adotadas pelos engenheiros para reduzir ou eliminar os acidentes e colisões em uma determinada interseção.

A interseção atual entre a Rodovia PR-423 e a Rua João Stukas, no município de Campo Largo/PR, é um exemplo de uma interseção em nível que demanda intervenções para aumento da segurança dos motoristas e pedestres que passam pelo local. O título popular de “Trevo da Morte” para o local (RPC CURITIBA, 2021) não foi dado por acaso, apesar do reforço da sinalização e da implantação de radares por parte do órgão com jurisdição sobre a rodovia (DER/PR, 2013). Cabe destacar que a configuração atual da interseção – rótula vazada – acarreta muitos pontos de conflito de tráfego, além de já ter sido objeto de estudo e de propostas de melhorias em outros trabalhos da literatura não apenas por conta dos acidentes, mas também da insuficiência de capacidade (CÉ, 2019).

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem como objetivo geral a análise de viabilidade da substituição da rótula vazada na interseção entre a Rodovia PR-423 e a Rua João Stukas, município de Campo Largo/PR, por uma rotatória moderna e com uma faixa ao redor da ilha central. Esta análise de viabilidade será feita por meio da verificação das capacidades de cada entrada da interseção, considerando os manuais técnicos em vigor no Brasil para vias rurais (DNIT, 2005) e os fluxos no ano de projeto.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

- Verificar a viabilidade técnica do uso de uma faixa na pista rotatória para atendimento às demandas de tráfego na interseção, sem prejuízo à segurança viária e à capacidade;
- Determinar os níveis de serviço de cada entrada da interseção do tipo rótula e projetada para o local; e
- Elaborar um anteprojeto de uma rótula sugerida para a interseção.

## **1.2 Justificativas**

O cruzamento entre a Rua João Stukas e a Rodovia PR-423 é um problema recorrente para os usuários de ambas as vias. A primeira é responsável pela

interligação entre a região central da cidade de Campo Largo/PR à região sul, passando pelos bairros Itaqui e Botiatuva. A PR-423, ou Rodovia Engenheiro Adolar Schultze, interliga as cidades de Araucária/PR e Campo Largo/PR ao longo de aproximadamente 24,7 km. É uma alternativa ao Contorno Sul (BR-277/BR-376), sobretudo para moradores desta área oeste da Região Metropolitana de Curitiba (RMC) e que eventualmente trabalham ou estudam na capital e em cidades da região todos os dias. A rodovia está atualmente sob a jurisdição do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR), responsável pela administração de todo o sistema rodoviário estadual. O DER/PR é um órgão público, vinculado ao Governo do Estado do Paraná.

O alto índice de acidentes chama a atenção na interseção estudada, fazendo jus ao apelido de “Trevo da Morte” por parte dos moradores locais. As pessoas relatam que acidentes graves são frequentes no trecho e atribuem o perigo à falta de sinalização e à imprudência dos motoristas. Um dos entrevistados inclusive afirmou que havia presenciado vários acidentes graves, em uma frequência muito alta (RPC CURITIBA, 2021). Diante disso, o DER/PR reforçou a sinalização no local em 2013 e implantou dispositivos de fiscalização eletrônica em áreas próximas (DER, 2013).

Entretanto, tais medidas não foram suficientes para impedir dois acidentes muito graves nos últimos três anos. No dia 14 de maio de 2019, um motociclista proveniente da Rua João Stukas cruzou a PR-423 e colidiu com um caminhão durante a manobra. (REDAÇÃO, 2019). Em 14 de abril de 2021, um automóvel proveniente da Rua João Stukas iniciou a manobra de cruzamento na rodovia e foi atingido por um caminhão que transportava combustível. Um ônibus também se envolveu no acidente e, na sequência, o automóvel explodiu devido aos impactos. Esta explosão causou um incêndio no ônibus (RPC CURITIBA, 2021).

Somados os dois acidentes acima, quatro vidas foram perdidas em um intervalo de aproximadamente dois anos, sem considerar o prejuízo financeiro total. Neste sentido, uma revitalização da interseção atual entre as duas vias pode trazer mais segurança aos motoristas e pedestres que passam pelo local. Cabe destacar que, segundo o DENATRAN (1987), cada acidente com vítimas fatais tem um peso 13 vezes maior que um acidente apenas com danos materiais. Desta forma, é notório que a presente interseção precisa ser melhorada para deixar de ser um local crítico na extensão da Rodovia PR-423, ou seja, com uma média de acidentes muito superior ao valor obtido nos outros trechos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Segurança Viária

A segurança viária almeja o desenvolvimento de ações corretivas e preventivas, considerando as ações realizadas desde a fase de projeto até a operação da via, evitando assim a ocorrência de acidentes. Há uma forte relação entre as ações elaboradas e a redução do número de acidentes, principalmente nos pontos que os concentram (SOLEK e MARCUSSO, 2018). Desta maneira, a implantação de tais ações almeja a garantia de que os deslocamentos sejam efetuados diariamente e considerando conforto, segurança e um tempo razoável de traslado entre a origem e o destino do usuário.

O crescimento do transporte individual torna insustentável a boa gestão do tráfego, sendo potencializada pela falta de alternativas de mobilidade urbana e da estruturação deficitária do transporte público em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento. Evidencia-se então um fator social, pois a WHO (2018) destaca que historicamente países menos desenvolvidos possuem taxas de mortalidade *per capita* relacionadas a acidentes de trânsito (27,5 mortes a cada 100.000 habitantes) mais de três vezes acima das taxas de países desenvolvidos (8,3 mortes a cada 100.000 habitantes).

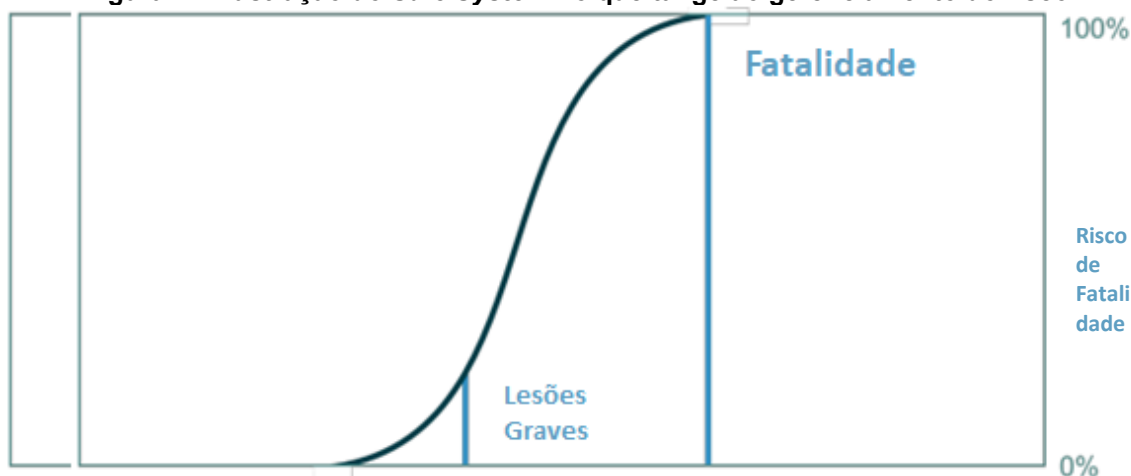
A relevância da questão dos acidentes de trânsito é reforçada por um estudo da Organização Mundial da Saúde – OMS (WHO, 2010), o qual aponta que tais acidentes serão a quinta maior causa de mortes até o ano de 2030 – equivalente a 3,6% dos óbitos registrados globalmente. A título de comparação, esse percentual era de apenas 2,2% em 2004, o que posicionou os acidentes de trânsito na nona posição em termos das causas de morte no mundo. É importante destacar também que, ao se analisar os dados por faixa etária, as maiores ocorrências de mortes no trânsito estão concentradas no público mais jovem: 5-14 anos, 15-29 anos e 30-44 anos ocupam, nesta ordem, os três primeiros lugares.

Um caso de sucesso na implantação de medidas que buscam a redução do número de acidentes e mortes é a Suécia. Utilizando o parâmetro supracitado como referencial, o país europeu é líder mundial com somente 2,8 mortes a cada 100.000 habitantes. Ainda, a redução de vítimas fatais em acidentes de trânsito caiu 66% em um intervalo de 25 anos, mais especificamente entre 1990 e 2015 (WHO, 2018). Tal resultado provém do programa de segurança viária “Visão Zero”, adotado em 1997 e

que considera inadmissível a ocorrência de vítimas fatais ou pessoas feridas em acidentes de trânsito. O programa parte do pressuposto que, se não há como impedir a ocorrência de todos os acidentes, pode-se ao menos evitar que as lesões sejam severas (JOHANSSON, 2008). Também almeja criar um senso de responsabilidade compartilhada para um melhor gerenciamento do sistema viário, o que inclui a imposição de restrições de velocidade nas vias, o aumento da fiscalização em relação à sobriedade do condutor, a exigência o uso de cinto de segurança e capacete e a adaptação de dispositivos tecnológicos que aumentam a segurança do veículo, dentre outras medidas (WHO, 2018). O modelo foi replicado e adaptado em outros países desde então (CARMO e JUNIOR, 2019).

Uma dessas adaptações veiculares, denominada *Safe System*, tenta auxiliar na antecipação de erros humanos e na manutenção da energia de um eventual impacto ao corpo humano em um nível tolerável. Ao se admitir a vulnerabilidade do ser humano pelo estabelecimento de um limite de energia cinética absorvível pelo corpo, é possível desenhar um sistema em que seja minimizada a consequência de um acidente, assim garantindo que não existam quaisquer lesões graves (FHWA, 2020). O conceito em questão está ilustrado na Figura 1, e nela se visualiza claramente o ponto em que a energia cinética máxima admissível está localizada (*Serious Injury*, ou “lesão grave” em português). Quanto maior a energia cinética, maior o *Fatality Risk*, ou “risco de fatalidade” em português. O eixo x representa a energia cinético no momento de um impacto.

Figura 1 – Ilustração do *Safe System* no que tange ao gerenciamento do risco.

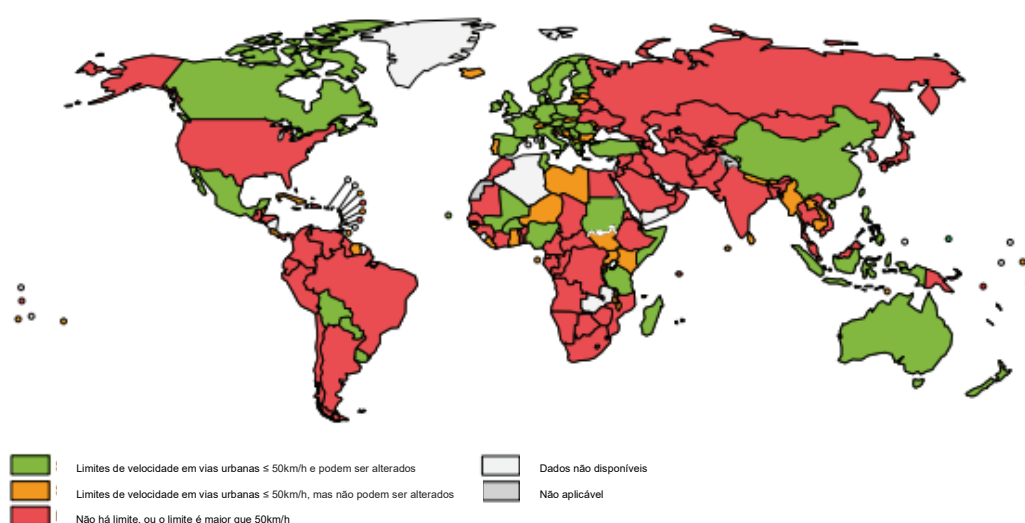


Fonte: Adaptado de FHWA (2020)

A velocidade máxima da via pode ser interpretada como um fator preponderante na ocorrência de acidentes. A Organização Mundial da Saúde (WHO, 2018) aponta que o risco de uma batida, a gravidade das lesões e probabilidade de morte estão diretamente relacionadas à velocidade do veículo. As justificativas para um melhor gerenciamento dos limites de velocidade de uma via estão de acordo com os pontos elencados pelo *Safe System*, os quais incluem limiares de tolerância humana para impactos, veículos e qualidade da via para fins de respeito à segurança de seus usuários.

Pequenas reduções na velocidade de um veículo causam um impacto significativo na diminuição do risco de acidentes fatais. WHO (2018) ressalta que uma redução de 5% na velocidade média de tráfego reduz o número de fatalidades em aproximadamente 30%. Por outro lado, um aumento de 1% na velocidade média produz uma alta de 4% na chance de ocorrência de um acidente fatal. O autor aponta que deve existir uma lei federal que regulamente os limites de velocidade, permitindo que as autoridades competentes possam modificar os referidos limites de acordo com a necessidade. Finalmente, a pesquisa recomenda que o limite de velocidade em vias urbanas não ultrapasse 50 km/h. A Figura 2 destaca que, dos 169 países contemplados na investigação, apenas 46 atendem a estes três quesitos (cor verde), e o Brasil infelizmente não é um deles.

**Figura 2 – Panorama global com relação aos critérios para melhoria da segurança viária**



**Fonte: Adaptado de WHO (2018)**

### 2.1.1 Acidentes de trânsito

De acordo com a NBR 10.697 (ABNT, 2020), um acidente ou sinistro de trânsito se define por um evento que resulta em o dano ao veículo e/ou à sua carga, bem como em lesões a pessoas e/ou animais, ocasionando danos materiais e prejuízo ao trânsito. Esta norma também cita que os fatores causadores dos sinistros podem ser classificados em cinco grupos, a saber: externo, humano, operacional, veicular e viário. Cada um destes fatores e suas respectivas descrições estão elencados na Tabela 1 a seguir.

**Tabela 1 - Fatores geradores de acidentes ou sinistros de trânsito**

<b>Fator</b>	<b>Descrição</b>
Externo	Fatores externos que prejudicam a segurança do trânsito, como condições climáticas, ambientais, animais e da natureza.
Humano	Condição relacionada ao comportamento ou ação do condutor, passageiro ou pedestre.
Operacional	Mau armazenamento ou má amarração de carga, cargas incompatíveis com as características de um veículo.
Veicular	Falha no veículo, fruto de defeito de fabricação ou negligência na manutenção preventiva.
Viário	Deficiência na via ou em sua sinalização.

**Fonte: ABNT (2020)**

Na ocorrência de um acidente qualquer, geralmente se encontra uma combinação de fatores causadores e não apenas um fator isolado. ICETTRAN (2019) aponta que todos os fatores responsáveis por trazer quaisquer tipos de adversidade na condução de um veículo aumentam a possibilidade de ocorrência de um acidente de trânsito. Tais fatores podem incluir condições climáticas, condições de via, geometria de interseções e tráfego. Neste aspecto, as interseções são peça-chave na estruturação do sistema viário porque nelas há a convergência de duas ou mais vias, cruzando-se em diferentes direções (FAN, 2018). Dado o elevado grau de interação entre indivíduos, veículos e vias nas interseções, mais de 50% dos acidentes de trânsito ocorridos nos Estados Unidos em 2020 se deram especificamente nelas ou em pontos próximos (FHWA, 2021).

O tráfego veicular é composto por três componentes que se interagem de forma indefinida: indivíduo, via e veículo. Quando um desses componentes não está em condições ideais, a interação entre todos eles é afetada e, assim, é

possível que ocorra um sinistro de trânsito (FERRAZ *et al.*, 2012). Alguns exemplos que configuram a deficiência de um dos elementos são embriaguez do condutor, falha mecânica e falta de sinalização de uma via. Em termos matemáticos, tais condições afetam o Tempo de Percepção e Reação (TPR) do indivíduo, seja este condutor ou pedestre.

A forma de compreensão dos estímulos engloba quatro subitens: percepção, identificação, decisão e reação. O somatório dos valores numéricos associados a cada subitem resulta no valor final de TPR, que é dado em função das condições da via, do condutor e do tipo de estímulo relacionado. Adota-se 0,64 s como média dos valores de TPR, estando 95% deles estatisticamente abaixo de 1,64 s. O DNIT (2005) recomenda que se adote um TPR igual a 2,50 s em projetos de interseções, visando garantir uma margem de segurança que abrange motoristas nas mais diversas condições, sobretudo no caso de interseções em nível. Em situações extremas, principalmente interseções complexas e em nível, o TPR poderá ser superior do que a recomendação oficial.

Uma pesquisa feita por Mognon e Santos (2017) indicou que erros e lapsos possuem uma correlação positiva com a atribuição da ocorrência de acidentes, bem como quando o estilo de direção do condutor é classificado como negligente ou agressivo. O enfoque psicológico sobre o condutor também é pautado por Hoffmann (2005), em que se menciona que o motorista está sujeito a erros devido ao tempo gasto com estímulos que não possuem relevância no ambiente de circulação. Por outro lado, muitas vezes estímulos relevantes são subestimados e o esforço e o tempo demandados pela busca visual podem levar ao não processamento adequado de informações, ocasionando uma situação perigosa. Dentre as principais atividades comportamentais relacionadas a acidentes, é possível citar a falta do uso de cinto de segurança e a ingestão de bebidas alcoólicas.

O cinto de segurança, de uso obrigatório segundo o Código de Trânsito Brasileiro (BRASIL, 1997), ainda encontra muita resistência por parte de motoristas e passageiros. Considerando os ocupantes dos bancos da frente, apenas 66% dos entrevistados utilizam o cinto na região Nordeste – percentual muito menor que os 86,5% dos entrevistados da região Sudeste que afirmaram utilizar o dispositivo. No caso dos passageiros no banco de trás, a utilização não supera os 50% de todos os entrevistados, sendo ainda menor (44,8%) em áreas rurais. Cabe destacar que, no ano de 2019, foram registrados 7.921 acidentes em que houve queda dos ocupantes

do veículo – isto é, os ocupantes foram ejetados do mesmo – com um total de 98 mortes. Se o cinto de segurança fosse utilizado em todas as ocasiões, os números de mortes e lesões graves poderiam ser reduzidos em até 70% (DNIT, 2020).

No caso da ingestão de bebidas alcoólicas por parte de condutores, uma concentração em gramas de álcool por litro de sangue (g/l) entre 0,2 e 0,5 aumenta em duas vezes o risco de um acidente. Este risco aumenta três vezes para concentrações entre 0,5 e 0,9 g/l, e o risco aumenta dez vezes quando as concentrações são de 0,9 a 1,5 g/l (CNT, 2018). Para combater a combinação perigosa de bebidas alcólicas com direção de veículo automotor, a conhecida “Lei Seca” (BRASIL, 2008) estabeleceu uma punição rigorosa ao condutor flagrado sob efeito de álcool ou qualquer outra substância psicoativa. Tal legislação colocou o Brasil em um grupo de 32 países que definiram tolerância zero para concentração de álcool no sangue de qualquer condutor. Acredita-se que a lei poupou mais de 40.000 vidas ao longo de 10 anos, além de outras 235.000 pessoas de invalidez permanente (CNT, 2018).

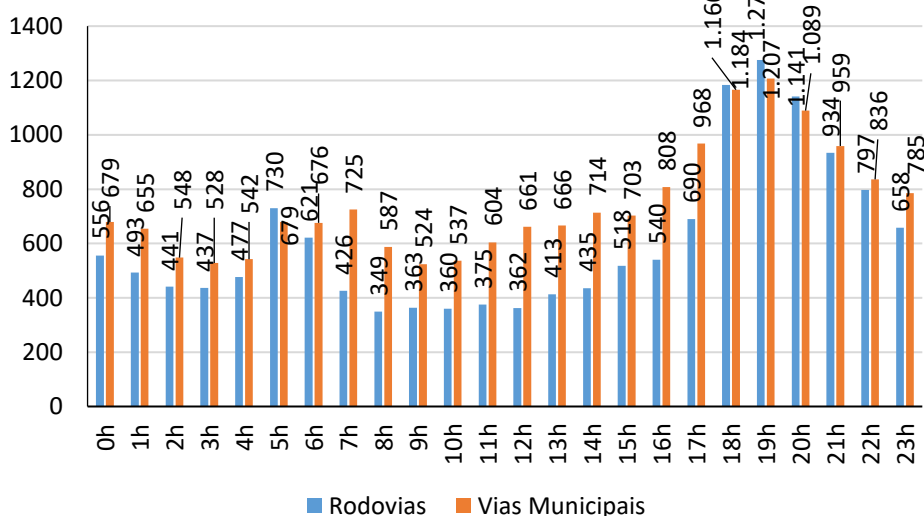
Um dado que chama a atenção nas pesquisas é o período do dia em que mais ocorrem acidentes de trânsito. Alguns estudos indicam que existe uma concentração de frequência no período noturno e em dias de semana (BARROS *et al.*, 2003; CABRAL, SOUZA e LIMA, 2011). O relatório do Sistema de Informações Gerenciais de Acidentes de Trânsito do Estado de São Paulo, ligado ao Governo do Estado (INFOSIGA, 2022), corrobora os referidos estudos – vide Figuras 3 e 4. Os dados são restritos ao estado de São Paulo e contêm o acumulado de acidentes fatais entre janeiro de 2015 e março de 2022. Pode-se notar claramente uma concentração de acidentes em sábados e domingos, bem como no período noturno – entre 18h e 24h. É possível visualizar também que 41% das ocorrências em rodovias foram registradas no período noturno, valor próximo ao encontrado nas vias municipais (34%). Um cenário parecido é encontrado nos Estados Unidos, em que 50% dos acidentes ocorrem à noite. Dentre as principais causas elencadas pelos pesquisadores estão a fadiga, o consumo de substâncias psicoativas e a falta de visibilidade (FHWA, 2017).

Tendo como ênfase as interseções em nível, Peña e Goldner (2012) determinaram relações entre acidentes ocorridos nesses pontos em rodovias estaduais de Santa Catarina e o tipo de interseção, considerando um horizonte de análise de 11 meses e 5 dias (01/01/07 a 06/12/07). Os pesquisadores verificaram



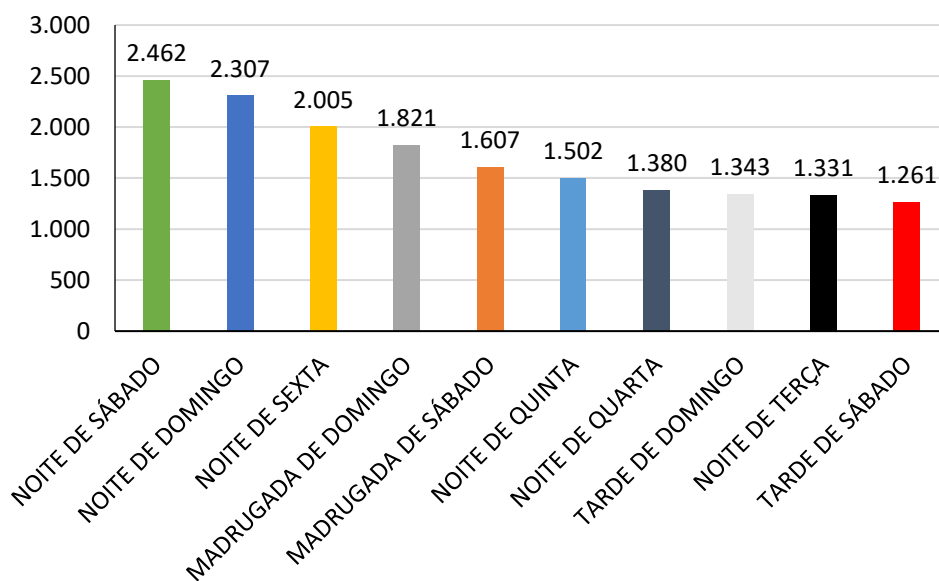
que as características físicas do local e ao redor da interseção contribuem para a incidência de acidentes, além de terem constatado uma maior correlação entre esta incidência e as interseções em nível com mais vias de aproximação. Por fim, verificaram que a taxa de acidentes por quilômetro é cinco vezes maior em interseções ao comparar com seções da rodovia.

**Figura 3 - Acidentes fatais de acordo com hora e tipo da via**



Fonte: INFOSIGA (2022)

**Figura 4 – Totais de acidentes fatais de acordo com dia de ocorrência e tipo da via**



Fonte: INFOSIGA (2022)

O principal tipo de colisão em interseções em nível é a lateral, pois geralmente um dos condutores desrespeita a via preferencial e ingressa na interseção quando não está no seu direito de passagem. Também podem ser citadas as colisões frontais e as traseiras, que são menos comuns e menos graves em um contexto geral. Dados coletados em todas as rodovias dos Estados Unidos (NHTSA, 2022) e resumidos na Tabela 2 ilustram claramente essa tendência: as colisões traseiras e frontais representam apenas 8 a 10% do total de acidentes entre 2016 e 2020, enquanto que as colisões laterais respondem por 80 a 90% deste total.

**Tabela 2 – Acidentes fatais em interseções em nível nos Estados Unidos e por tipo de colisão**

<b>Acidentes fatais em interseções por tipos de colisão (2016-2020)</b>					
<b>Tipo de colisão</b>	<b>2016</b>	<b>2017</b>	<b>2018</b>	<b>2019</b>	<b>2020</b>
Colisão traseira	490	497	492	474	496
Colisão frontal	474	428	495	478	487
Colisão lateral	4.267	4.451	4.146	4.226	4.526

**Fonte: Adaptado de NHTSA (2022)**

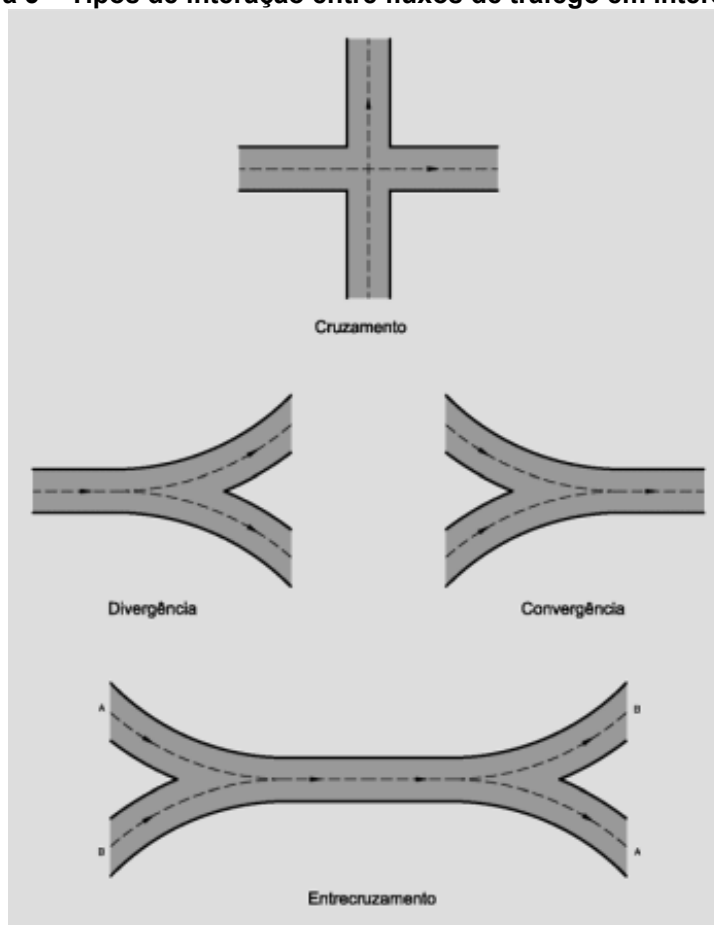
O DENATRAN (1987) define uma metodologia de identificação de segmentos críticos. Um dos itens descreve procedimentos para a identificação, análise e tratamento de “pontos críticos”. Estes são definidos como trechos ou locais que abrigam a maior incidência de acidentes de trânsito em relação à média de incidentes ao longo de toda a extensão da via. Em outras palavras, trata-se de pontos de altíssimo risco para a segurança de motoristas e pedestres. A metodologia permite identificar os pontos críticos pela comparação de um resultado pré-estabelecido e o cálculo da quantidade e taxa de acidentes. Com base nos resultados obtidos, os locais cujos indicadores forem maiores que os valores pré-estabelecidos (referenciais) são denominados pontos críticos.

### 2.1.2 Conflitos de tráfego

A circulação normal de uma corrente de tráfego é afetada por fatores como rampas, sinalização, iluminação, quantidade e largura de faixas de rolamento e número de interseções na via, dentre outros. Especificamente no caso de interseções em nível, o comportamento da corrente de tráfego depende da composição do tráfego, do volume, da velocidade e do tipo de interseção em cada ponto da via. O tipo de interseção determina a natureza dos movimentos permitidos para os fluxos, bem como as interações entre os mesmos. O DNIT (2005) classifica

tais interações em quatro grupos, vide Figura 5: (a) cruzamento, em que uma corrente de tráfego “corta” a outra e, neste caso, deve haver uma regra de prioridade de passagem; (b) convergência, em que duas ou mais correntes de tráfego se unem para formar uma única; (c) divergência, na qual uma única corrente de tráfego se subdivide em duas ou mais correntes independentes; e (d) entrecruzamento, em que os veículos das correntes originais se “misturam” nas faixas de tráfego e depois se separam em fluxos independentes.

**Figura 5 – Tipos de interação entre fluxos de tráfego em interseções**

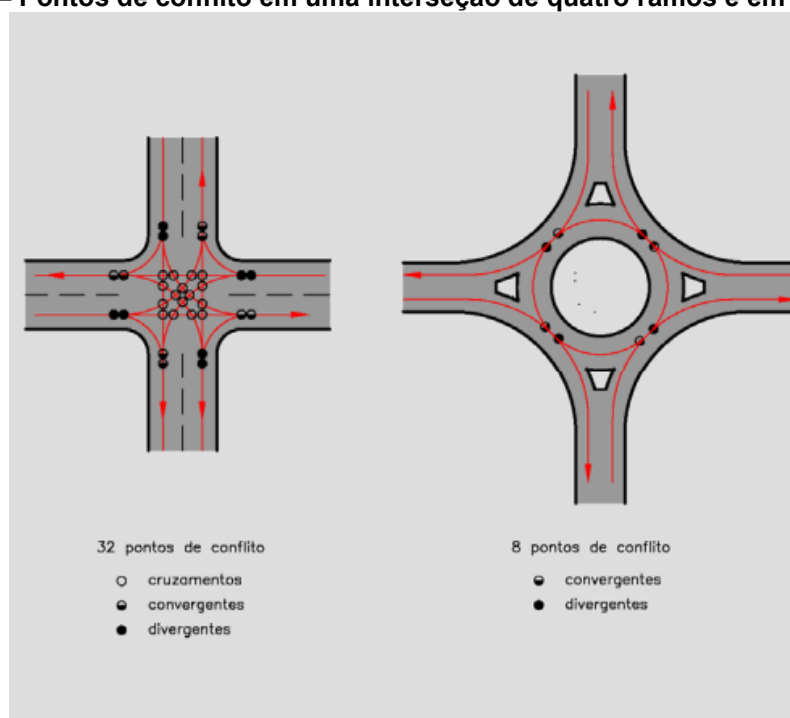


**Fonte: DNIT (2005)**

De um ponto de vista técnico, os pontos em que ocorrem tais interações são denominados pontos de conflito – à exceção do entrecruzamento. Os conflitos são conceituados como “quase acidentes”, ou seja, pode ou não haver um acidente no momento em que dois ou mais motoristas se interagem fisicamente no ponto de conflito. O acidente não ocorrerá somente quando houver uma ação evasiva por parte dos condutores ou pedestres envolvidos (FERRAZ *et al.*, 2012). O projeto da interseção definirá o tipo e a quantidade de pontos de conflito, tornando-a assim

mais ou menos segura para os condutores. Por exemplo, a Figura 6 compara uma interseção convencional de quatro ramos (32 pontos de conflito) com uma rótula de uma faixa (apenas oito pontos de conflito). De posse destas informações, é natural supor que a rótula é uma interseção em nível muito mais segura que a convencional, uma vez que a exposição de pedestres e motoristas ao risco de acidentes de trânsito é bem menor no caso da rótula.

**Figura 6 – Pontos de conflito em uma interseção de quatro ramos e em uma rótula**



Fonte: DNIT (2005)

## 2.2 Engenharia de Tráfego

A Engenharia de Tráfego é definida como a área da Engenharia que estuda o planejamento de tráfego e das vias, buscando desenvolver medidas que proporcionem segurança e conveniência na movimentação de pessoas e veículos (NETO, 1996). Também é responsável pela recomendação de melhorias na infraestrutura existente, além de ter um papel fundamental em três pilares: conservação, viabilidade econômica e segurança dos usuários.

Em havendo uma constante mudança nas condições de mobilidade urbana devido ao aumento populacional e ao maior número de veículos em circulação, dentre outros fatores, é relevante realizar intervenções no sistema viário que melhor se adequam a cada caso. Um dos principais fatores levados em consideração em um

estudo de caso é a gestão do fluxo, considerando as circunstâncias atuais da via. Neste sentido, almeja-se inicialmente o aumento da capacidade de tráfego sem qualquer alteração física expressiva na geometria da interseção (SOLEK e MARCUSSO, 2018). Este é o caso quando, por exemplo, uma interseção em nível convencional e com um sistema de prioridade regulamentado por placas – “pare” ou “dê a preferência” – é substituída por uma interseção semaforizada. O aumento de capacidade do local é expressivo, mas as alterações físicas são mínimas.

Por outro lado, nem sempre será possível resolver um problema apenas com a gestão do fluxo, seja ele relacionado ao tempo de uma viagem ou à alta incidência de congestionamentos em determinado ponto. Em outras palavras, não há como sempre causar um impacto positivo no tráfego apenas com uma melhor gestão de fluxos. Especificamente no caso de interseções, Solek e Marcusso (2018) apontam que o primeiro item a ser considerado durante a etapa de planejamento é o volume de tráfego, juntamente com os níveis de serviço das configurações existente e proposta. O volume é medido em veículos/dia, e se considera a projeção do fluxo de tráfego para um horizonte de 15 anos (DNIT, 2005). Para tal, são necessárias contagens veiculares em que ao menos existam os sentidos e os movimentos de cada fluxo, o ano da contagem e as unidades de medidas adotadas.

### **2.3 Rotatórias modernas (rótulas)**

A rótula é uma interseção em formato geralmente circular, sendo caracterizada pela convergência de ramos de entrada (ou vias de aproximação) ao redor de uma ilha central. O sentido de circulação das faixas de tráfego que circundam esta ilha é único e do tipo anti-horário no caso de países como o Brasil e os Estados Unidos, tendo tal fluxo preferência de circulação sobre os veículos que ingressam na interseção. Este sentido é horário em outros países como o Reino Unido e a Austrália (SILVA e SECO, 2004; SOUZA, 2015).

O relato mais antigo de sua utilização data de 1904, quando foi implantada na cidade de Nova York e batizada de *Columbus Circle*. Começou a se popularizar nos anos seguintes, sendo relatadas instalações nas cidades de Paris em 1907 e Hertfordshire em 1910. Nesta época, havia vários problemas operacionais que causavam uma baixa capacidade de tráfego da rótula. Estes problemas incluíam os pontos de conflito e a falta de uma regra que determinasse a prioridade do motorista ao realizar a manobra. O problema da prioridade foi sanado primeiramente no Reino

Unido, em 1966, onde foi criada a regra de dar preferência ao veículo que trafega pela rotatória (SILVA, 2019). A operação da rótula foi aperfeiçoada ao longo do tempo e, a partir dos anos 1990, começaram a se difundir pelo mundo as rotatórias com novas regras de circulação (modernas), nas quais o tráfego circulando ao redor da ilha central passou a ter prioridade de passagem. As principais consequências foram o grande aumento da capacidade das rótulas – uma vez que o movimento de entrecruzamento foi eliminado e houve uma priorização do fluxo circulante – e a maior segurança aos usuários devido à redução dos pontos de conflito (DNIT, 2005).

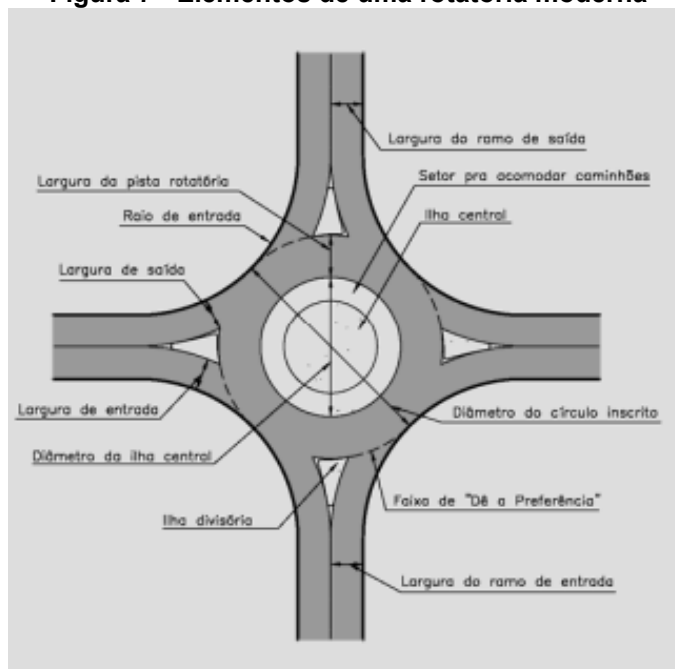
Outro fator crucial no projeto de uma rotatória moderna é a deflexão do tráfego de entrada. Segundo DNIT (2005) e Taekratok (1998), a deflexão facilita a operação segura da interseção e é proporcionada por ilhas divisórias nas entradas de cada ramo da interseção ou pela ilha central, além de eventuais alterações de traçado nas vias de aproximação. Nas opiniões de Taekratok (2008) e Souza (2015), o projeto de implantação de uma rótula deve levar em consideração 14 aspectos, sendo que a deficiência em um deles pode resultar no comprometimento da segurança operacional de toda a interseção. Tais aspectos são: (a) tipo do veículo; (b) limite de velocidade no local; (c) áreas visuais; (d) ângulos de entrada e saída e deflexões; (e) ilha central; (f) largura da via circular; (g) diâmetro do círculo inscrito; (h) condições de entrada e saída das vias de aproximação; (i) ilha divisória; (k) drenagem e topografia; (l) sinalização vertical; (m) sinalização horizontal; (n) iluminação; e (o) paisagismo. A Figura 7 mostra os elementos de projeto de uma rótula e suas respectivas localizações.

Em relação aos principais benefícios e prejuízos da rótula em comparação com outras interseções, Souza (2015) aponta que os benefícios incluem a redução da gravidade dos acidentes envolvendo pedestres e ciclistas, um menor tempo de espera para os veículos provenientes das vias secundárias, menor velocidade de tráfego, um custo de manutenção relativamente baixo e a canalização/ordenação do trânsito. Por sua vez, as desvantagens incluem as seguintes: (a) maior custo de implantação em comparação com outras interseções em nível; (b) exigência de maior espaço físico; (c) não ser apropriada para locais com alto fluxo de pedestres; e (d) maior exigência de iluminação pública.

Os subitens a seguir discorrem a respeito dos principais aspectos para uma eficiência operacional adequada de uma rotatória moderna, sendo eles: vias de

aproximação (entradas e saídas), ilha central, ilha canalizadora do fluxo de tráfego, pista rotatória, pedestres e ciclistas e segurança operacional.

**Figura 7 - Elementos de uma rotatória moderna**



**Fonte: DNIT (2005)**

### 2.3.1 Entradas e saídas das vias de aproximação

Para rótulas, os dimensionamentos adequados dos elementos de projeto são cruciais para garantir que a solução seja eficiente do ponto de vista operacional. O aumento do número de vias de aproximação compromete a capacidade da rótula, uma vez que mais vias chegando e saindo da interseção aumentam a complexidade em relação a manobras e a pontos de conflito de tráfego (SOUZA, 2015). Para tal, não devem existir quaisquer pontos de conflito na via de aproximação em um raio de 20 metros da rótula. Além disso, recomenda-se que tais vias possuam largura entre 4 e 12 metros e não tenham mais que quatro faixas de rolamento (SILVA e SECO, 2004).

Deve-se também tomar um cuidado especial quanto à visibilidade na entrada da interseção, a fim de garantir que a manobra seja realizada dentro da velocidade adequada e com conforto, reduzindo ao máximo os riscos de acidentes. Ainda, os ângulos de entrada na rótula devem permitir que as manobras ocorram de forma fluida, sem prejuízos à segurança. Silva e Seco (2004) recomendam valores ideais de 30° a 40° para tais ângulos.

O raio de entrada na rótula igualmente contribui para o conforto e a segurança dos usuários, além de restringir certos tipos de veículo de acordo com suas características. Usualmente, para que não existam problemas relacionados a restrições de veículos específicos, estes raios devem ser de 20 a 50 m. Souza (2015) afirma que raios maiores que 20 m causam prejuízos à interseção no que se refere ao aspecto operacional. Entretanto, os valores limítrofes superiores podem ser mais altos no caso de rodovias rurais, exemplo das grandes rótulas (DNIT, 2005).

Em termos da velocidade máxima adotada nas vias de aproximação, o FHWA (2000) afirma que os valores dependem do tipo de rótula. Para minirrotatórias e rótulas compactas em ambiente urbano, a velocidade máxima recomendada é de 25 km/h e os raios de entrada oscilam entre 13 e 30 m. No caso das rótulas urbanas com uma ou duas faixas de tráfego, as velocidades máximas são maiores (30 a 40 km/h) e os raios variam de 30 a 55 m. Em ambientes rurais, as rótulas podem ter velocidades máximas ainda maiores (50 km/h) e os raios de entrada podem chegar aos 60 m no caso da existência de duas faixas de tráfego ao redor da ilha central. Ambos os parâmetros são ligeiramente menores no caso de rótulas rurais com apenas uma faixa de tráfego, tanto no caso da velocidade máxima (40 km/h) quanto do raio máximo recomendado na entrada da interseção (40 m).

Conforme Silva e Seco (2004), é possível garantir a fluidez e a segurança do fluxo de tráfego ao dificultar as manobras de entrada na rótula e facilitar as manobras de saída. Os autores também apontam que idealmente deve-se haver uma ou duas faixas de rolamento nas áreas de saída de cada aproximação, com larguras recomendadas entre 4 e 9 m. Em termos dos raios de saída, estes devem ser superiores aos de entrada e os valores podem oscilar entre 20 e 100 m, sendo recomendado o valor de 40 m (SOUZA, 2015). Todavia, o DNIT (2005) não atribui qualquer menção a este caso no seu *Manual de Projeto de Interseções*.

### 2.3.2 Ilhas central e divisória e via circular

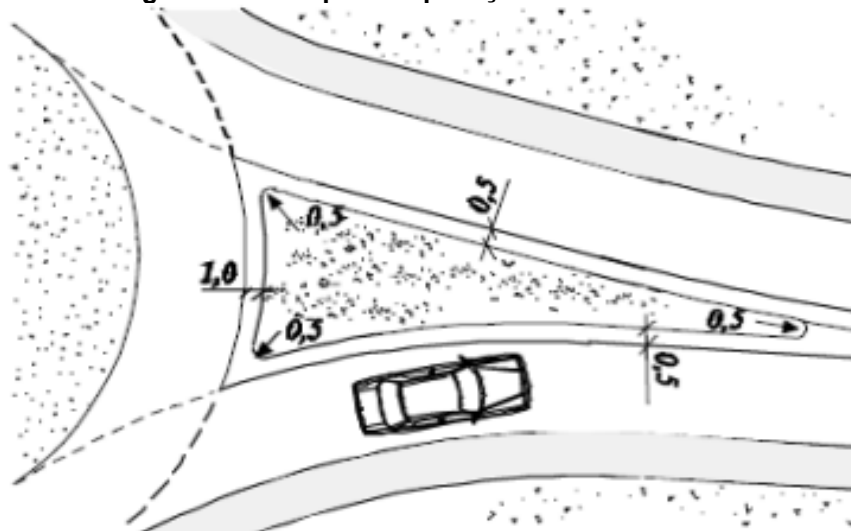
A determinação da necessidade e do tipo de ilha central a ser adotada depende principalmente de três fatores: número e situação dos ramos da interseção, comprimento necessário dos trechos de entrecruzamento para que sejam atendidos os critérios de velocidade, e curvatura da pista (via circular) relacionando velocidade e condições adequadas de segurança da operação (DNIT, 2005). Seu dimensionamento é influenciado principalmente pelo espaço disponível e pela



necessidade de dispositivos que dificultem a entrada do fluxo, de tal modo que as manobras sejam realizadas em velocidades compatíveis com o local. Segundo Taekratok (1998), dimensões maiores são adequadas no caso de velocidades de tráfego maiores e interseções com mais de quatro ramos. Quanto ao formato, DNIT (2005) e Silva e Seco (2004) sugerem que formas geométricas simples como círculos ou elipses sejam preferencialmente adotadas, a fim de evitar interpretações confusas por parte dos motoristas.

Por sua vez, a ilha divisória tem como principais atribuições a canalização dos fluxos de tráfego, a separação das correntes que transitam em sentidos opostos e a garantia de que haja uma redução adequada da velocidade de entrada na via. Além disso, serve para possibilitar a deflexão da corrente de tráfego tanto na entrada como na saída da via de aproximação, permitindo ainda um local seguro para refúgio de pedestres e a instalação de sinalização vertical. Recomenda-se ainda a integração deste elemento ao dispositivo de travessia de pedestres e uma largura mínima entre 1,20 e 1,80 m (SILVA e SECO, 2008; SOUZA, 2015). A Figura 8 mostra um exemplo de ilha divisória aplicada na entrada de uma rótula, bem como dimensões e raios mínimos sugeridos em suas extremidades para fins construtivos.

**Figura 8 – Exemplo de aplicação de ilha divisória**



**Fonte: Silva e Seco (2008)**

A via circular (ou pista rotatória) é o trecho que compõe a rótula propriamente dita. É o elemento que possibilita a manobra em torno da ilha central, sendo seu dimensionamento condicionado a estudos de capacidade e níveis de serviço. Usualmente, a largura da via dependerá da quantidade de faixas de

rolamento e da matriz de origem/destino que compõe os ramos da interseção. As características das vias de aproximação também balizam o correto dimensionamento do raio e da largura desta via (SILVA e SECO, 2004). Estudos alemães que incluem a hipótese de três faixas na pista rotatória apontam que essa adição é praticamente inútil caso as vias de entrada possuam apenas uma faixa. (DNIT, 2005). Brilon (2011) mostra que a adição de faixas nas vias de entrada da rótula também não contempla uma melhora na capacidade da interseção, pois o comportamento típico dos motoristas é utilizar apenas a faixa da direita, devido ao receio de não conseguirem sair da interseção caso a ingressem pela faixa da esquerda.

### 2.3.3 Pedestres e ciclistas e segurança operacional

DNIT (2005) cita que a travessia de pedestres deverá levar em conta a conveniência e a segurança de todos os usuários da rótula. Geralmente, estas travessias são alocadas próximas às ilhas divisórias e um pouco antes das entradas, de forma a garantir que a atenção dos condutores não seja prejudicada e que não haja necessidade de parada de um veículo dentro da via circular. Também deverão contemplar, em um contexto geral, as sinalizações vertical e horizontal e guias rebaixadas para garantia de acessibilidade. Para que não haja travessia em pontos não adequados, pode-se reforçar o entorno com barreiras e gradis cujas dimensões variam de acordo com a necessidade específica do local contemplado.

No caso da presença expressiva de bicicletas na rótula, recomenda-se que os ciclistas sejam acomodados de maneira conjunta com os veículos em rótulas pequenas. Para os demais tipos de rotatória moderna, deve-se pesar a necessidade de alocação junto aos pedestres ou a criação de uma ciclofaixa exclusiva. O DNIT (2005) reforça que tais decisões devem ser pautadas principalmente em função da velocidade do fluxo de tráfego.

O DNIT (2005) também menciona a existência de uma relação diretamente proporcional entre o diâmetro da rótula e a quantidade de acidentes, considerando estudos realizados na Austrália e na Alemanha. Em outras palavras, a incidência de acidentes na interseção é tanto menor quanto menor for o tamanho da rótula. Outras pesquisas feitas nos Estados Unidos e citadas por DNIT (2005) permitem concluir os seguintes pontos:

- Acidentes em rótulas rurais são gerados por velocidade excessiva, provocados pela falsa sensação de segurança nos condutores;

- O desbalanceamento do fluxo prejudica a operação da rótula;
- Problemas relacionados à visibilidade prejudica o fluxo de tráfego na rótula; e
- Um fluxo muito baixo pode resultar em velocidades excessivas, prejudiciais à segurança operacional da rótula.

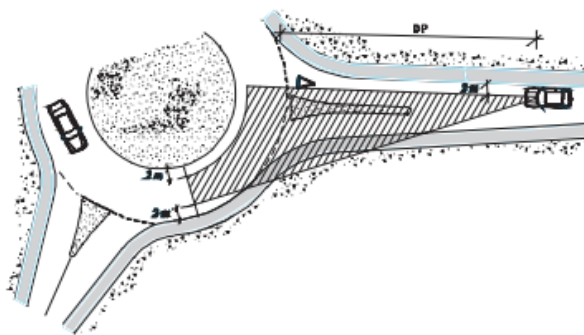
## 2.4 Visibilidade

A visibilidade dos usuários na rótula é crucial para garantia da eficiência e segurança operacional da interseção. Neste aspecto, Souza (2015) aponta que a área que engloba a rótula deve estar livre, sem obstáculos de qualquer natureza, para assegurar a visibilidade dos motoristas nas manobras de entrada e saída e em qualquer aproximação. Tal visibilidade também permite aos condutores a constatação da existência de outros veículos ou até mesmo ciclistas, pedestres e animais.

Para se alcançar condições mínimas de segurança operacional, é imprescindível a definição de uma distância mínima adequada para que sejam verificados quaisquer obstáculos no trajeto da via. Taekratok (1998) listou duas distâncias no que tange à visibilidade: distância de visibilidade externa do condutor à ilha central e distância de visibilidade de quem está dentro da rótula. Conforme Silva e Seco (2008), a primeira é medida a partir do ponto em que se o condutor possa exercer frenagem até a parada total do veículo na entrada da pista rotatória, vide parâmetro  $D_P$  na Figura 9. O valor de  $D_P$  também é inversamente proporcional à velocidade do tráfego, em que uma velocidade mais baixa indica uma menor distância de parada e vice-versa – vide Tabela 3.

Já em relação à distância de visibilidade na rótula, Silva e Seco (2008) a consideram como critério de visibilidade na entrada, isto é, o condutor de um veículo na entrada da via circular deve ter uma noção global do fluxo proveniente dos ramos à sua esquerda. Esse critério, associado a uma distância mínima adequada, tem por objetivo assegurar que o condutor avalie a distribuição dos fluxos que se encontram na rótula – e que, conseqüentemente, têm prioridade de passagem – e os intervalos entre veículos destas mesmas correntes de tráfego prioritárias. A Figura 10 ilustra o contexto relacionado a esta distância e parâmetros de projeto correspondentes.

Figura 9 – Localização da distância de visibilidade externa do condutor ( $D_P$ ) na rótula



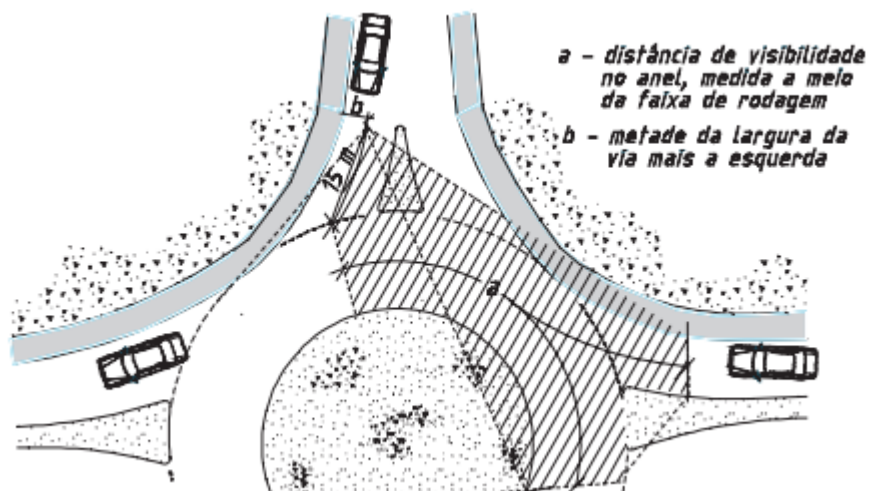
Fonte: Silva e Seco (2008)

Tabela 3 – Distâncias de parada na entrada da rótula em função da velocidade do tráfego

Velocidade do tráfego	Distância de parada
40 km/h	40 m
50 km/h	60 m
60 km/h	80 m
70 km/h	100 m
80 km/h	120 m
100 km/h	180 m
120 km/h	250 m

Fonte: Silva e Seco (2008)

Figura 10 – Critérios de projeto para cálculo da distância de visibilidade na rótula



Fonte: Silva e Seco (2008)

## 2.5 Tipos de rótula

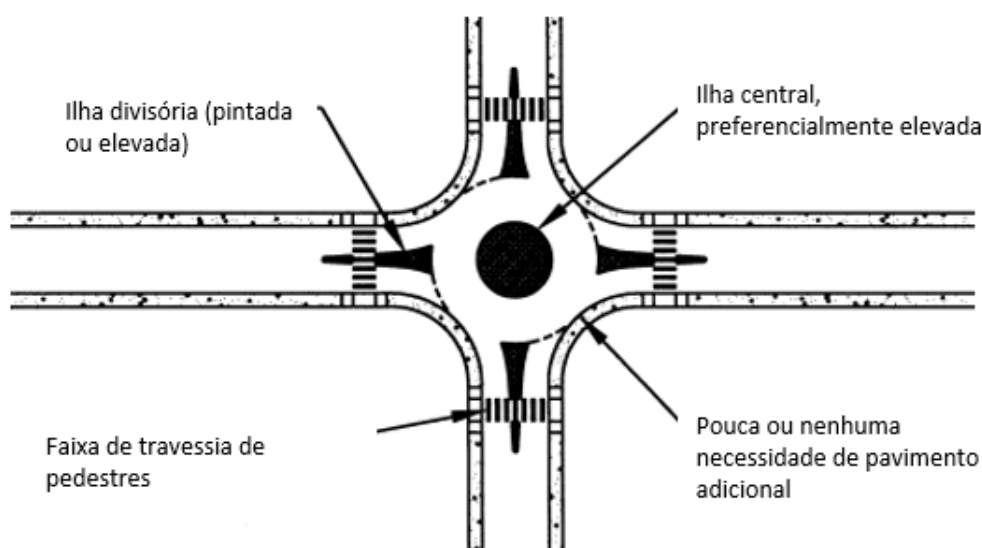
De acordo com o FHWA (2000), existem seis classificações básicas para as rótulas em função do tamanho, do número de faixas e do ambiente em que estão inseridas: mini, compacta urbana, urbana de faixa única, urbana de faixa dupla, rural de faixa única e rural de faixa dupla. Velocidades máximas também são

recomendadas para cada uma delas, conforme discutido anteriormente. Por outro lado, Silva e Seco (2008) classificam as rotatórias modernas em seis grupos, a saber: mini, moderna, desnivelada, dupla com múltiplos anéis, semaforizadas e vazadas. Todas elas são discutidas nos itens subsequentes.

### 2.5.1 Minirrotatórias

Estes dispositivos são geralmente utilizados em vias de baixa velocidade e localizados em ambientes urbanos. De acordo com o FHWA (2000), o custo de implantação de uma minirrotatória é baixo, haja vista que requer pouco material para pavimentação e poucas mudanças em relação ao cruzamento preexistente. Souza (2015) cita que a ilha central é tipicamente pintada com tinta e o diâmetro adotado costuma variar entre 1 e 4 m. Devido a este diâmetro pequeno, sua existência acaba restringindo a conversão de veículos pesados como os ônibus e as carretas (reboques e semirreboques). Tem como principais finalidades a ordenação do tráfego e a diminuição das velocidades de fluxo em cada um dos ramos. A Figura 11 destaca uma configuração típica de uma minirrotatória e os seus principais componentes.

**Figura 11 – Configuração usual de uma minirrotatória e seus principais elementos**



**Fonte: Adaptado de FHWA (2000)**

Costa (2010) elenca as principais vantagens na utilização desta solução para ambientes urbanos. Dentre elas, é possível elencar a menor velocidade

praticada tanto nas vias de aproximação quanto na rotatória, o maior respeito à preferência do fluxo de tráfego, pouco tempo de atraso e uma circulação ordenada e segura. Além disso, é possível mencionar benefícios ecológicos trazidos pela minirrotatória, como a possibilidade de a ilha central ser permeável, auxiliando na drenagem das águas.

### 2.5.2 Rotatória Moderna

A rotatória moderna é o tipo mais utilizado nas cidades brasileiras. Suas aplicações são variadas, desde as vias urbanas até as rodovias rurais e com maior frequência em meios urbanos. Conforme Silva (2015), as ilhas centrais deverão possuir diâmetro igual ou superior a 4 m e o diâmetro do círculo inscrito (o qual contempla a pista rotatória) precisa ser superior a 28 m.

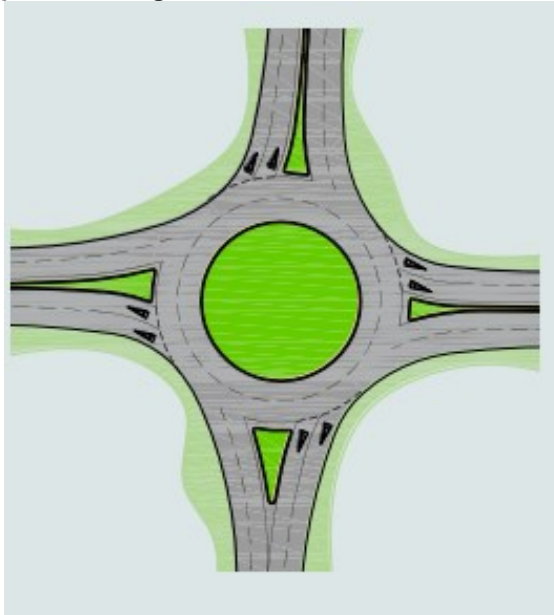
Este tipo de rotatória pode ter uma ou mais faixas de circulação ao redor da ilha central, além de possuir um sentido único de tráfego. Recomenda-se que a ilha central seja circular ou em elipse, enquanto seu princípio básico impõe que os veículos e eventuais ciclistas trafeguem pela via circular, sem invadir tal ilha. A usabilidade desta rótula permite que sejam resolvidos conflitos de três ou quatro vias de aproximação, além de ser um dispositivo que não requer habilidades especiais dos condutores e ser facilmente percebida pelos usuários. Também consiste em uma solução interessante de tráfego porque alia segurança, conforto e capacidade (SILVA e SECO, 2004). A Figura 12 mostra uma ilustração típica de uma rotatória moderna com duas faixas na pista rotatória, bem como aproximações com duas faixas de entrada em cada uma delas.

Pedrosa, Sequinel e Paulino (2020) concluem que a capacidade – e consequentemente o nível de serviço – pode ser prejudicada caso os fluxos da via principal (a via com os maiores fluxos) sejam muito superiores em relação aos da via secundária. Entretanto, os autores afirmam que a rotatória moderna é uma excelente opção para diminuir os pontos de conflito em interseções, sendo este o principal fator relacionado à capacidade da mesma.

Em uma análise de cinco rotatórias na cidade de Palmas/TO, Souza, Souza e Sidel (2019) apontam que os principais fatores relacionados a acidentes são os problemas de traçado, os quais contemplam os raios e larguras de entrada e saída das rótulas. Dessa forma, fica clara a importância do entendimento de todos os

parâmetros geométricos de projeto, bem como a influência que possuem no conjunto da solução implementada.

**Figura 12 – Exemplo de configuração de uma rótula com duas faixas de tráfego**



**Fonte: Silva e Seco (2004)**

### 2.5.3 Rótulas em interconexões

São dispositivos que buscam canalizar movimentos de mudança de direção e da via secundária. Silva e Seco (2004) atribuem outros três subgrupos a esta categoria: comuns, de grandes dimensões e compactas interligadas por um viaduto central. O tipo comum é adequado quando existem deficiências tanto na capacidade do dispositivo quanto na visibilidade nos ramos de acesso. Por sua vez, a rótula de grandes dimensões e em desnível está associada a velocidades elevadas na via circular, podendo ainda demandar a construção de viadutos sobre a via principal (ilustração na Figura 13) – o que costuma ser expressivo em termos financeiros. Finalmente, a rótula em desnível interligada por um viaduto (Figura 14) é uma solução mais viável em relação a custos, quando comparada à rótula de grandes dimensões. Entretanto, costuma apresentar desafios relacionados à capacidade de fluxo, tanto na via ao redor da ilha central quanto nas vias de aproximação.

O exemplo apresentado na Figura 14 é uma combinação híbrida entre uma interseção em diamante e uma rotatória (ou mais de uma). Segundo Rencelj e Tollazzi (2014), a solução, chamada *dumb-bell roundabout* e com uma variação chamada de *dog-bone roundabout*, une a maior capacidade de uma rotatória com a

necessidade de uma área menor para implantação, o que reduz eventuais custos por eliminar a necessidade de uma ponte maior. Além disso, os autores afirmam que essa configuração também aumenta a segurança dos usuários, pois praticamente impede que um motorista esteja dirigindo na contramão.

**Figura 13 – Configuração de uma rótula compacta em desnível de grandes dimensões**



Fonte: LASTRAN (2009)

**Figura 14 – Configuração de rótulas em desnível interligadas por um viaduto na via secundária**



Fonte: LASTRAN (2009)

É importante destacar que a configuração mostrada na Figura 14 foi inicialmente adotada no Reino Unido e na Holanda, sendo rapidamente disseminada em outros países da Europa. Em comparação à solução mostrada na Figura 13, as principais vantagens da utilização de rótulas nas extremidades da via secundária (*dumb-bell roundabout* ou *dog-bone roundabout*) são a maior capacidade e um



menor tempo de deslocamento dos veículos, visto que não necessita de frenagens mais contundentes por parte dos motoristas.

#### 2.5.4 Outros tipos de rótulas

Dentre os outros tipos de rótulas existentes nas vias urbanas, é possível destacar aquelas com alongamento da ilha central. Tais rótulas configuram-se como uma boa opção para solução de problemas relacionados à capacidade de fluxo de tráfego. Souza (2015) afirma que a geometria mais utilizada é a elipse (Figura 15), embora sejam possíveis rótulas com diferentes combinações, principalmente devido ao número de vias de aproximação. Destaca-se ainda o fato de que o alongamento da ilha central é uma opção interessante quando pelo menos duas das vias de aproximação possuem um alto fluxo de tráfego.

**Figura 15 – Configuração de uma rótula com alongamento da ilha central**



**Fonte: Souza (2015)**

Em termos das rótulas duplas e com múltiplos anéis, cabe enfatizar que são dispositivos pouco utilizados no trânsito brasileiro, embora seja uma solução interessante para pontos com restrição de espaço e cuja demanda de tráfego resultaria em uma rótula de grandes dimensões (SILVA e SECO, 2004). Neste aspecto, Souza (2015) ressalta que é preciso haver muita cautela na concepção desse tipo de rótula por conta da complexidade, da falta de experiência dos condutores com essa configuração e de uma maior quantidade de manobras a serem realizadas quando comparadas a uma rotatória moderna.

Apesar de as rótulas serem originalmente projetadas sem o uso de semáforos (SOUZA, 2015), problemas advindos do desequilíbrio dos fluxos de tráfego nas vias de aproximação acabam por saturar a capacidade do dispositivo, prejudicando a fluidez e segurança da operação. Neste sentido, a instalação de semáforos para regulação dos direitos de passagem pode auxiliar na redução do tempo médio de atraso dos motoristas (exemplo na Figura 16), o que tem sido feito em vários municípios do Brasil como Londrina/PR e Curitiba/PR. Sendo uma cidade conhecida pelo uso de rótulas nos seus principais cruzamentos, a Prefeitura Municipal de Londrina/PR vem instalando semáforos em algumas delas para minimizar o impacto causado pelo aumento do tráfego (OGAWA, 2019).

**Figura 16 – Exemplo de uma rótula semaforizada na Fonte de Jerusalém, cidade de Curitiba/PR**



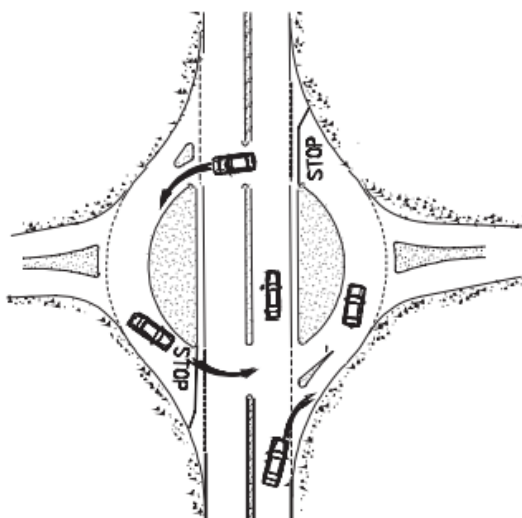
**Fonte: GOOGLE EARTH (2022)**

Uma relação interessante para a capacidade operacional de tráfego dessa configuração é a proximidade entre o semáforo e a via principal – a via com maior fluxo de tráfego na interseção. Neris (2014) conclui que, quando empregados semáforos próximos às entradas da via principal, o atraso na aproximação crítica e o tamanho da fila são reduzidos significativamente. Cabe ressaltar que o estudo foi realizado considerando uma interseção hipotética, além de limitar as velocidades em 50 km/h nas vias de entrada e 30 km/h na rotatória. Dessa forma, fica evidente que a presença de semáforos próximos e programados de forma adequada – sobretudo no

caso de situações com altos fluxos na interseção – aumenta a capacidade da configuração aqui descrita.

As rótulas vazadas (Figura 17) constituem um tipo peculiar de rótula, uma vez que nelas a ilha central é atravessada por uma via prioritária (SILVA e SECO, 2008). São muito comuns em cidades menores do Brasil, ainda que tragam uma série de prejuízos do ponto de vista de segurança operacional porque acarreta um cruzamento de 90° entre as vias principal e secundária. Silva (2015) afirma que este modelo vem sendo gradualmente substituído por outras opções de interseção devido ao maior risco de acidentes, uma vez que os princípios de operação da rótula vazada são praticamente idênticos aos adotados nos cruzamentos comuns de quatro ramos.

**Figura 17 – Configuração típica de uma rótula vazada**



**Fonte: Silva e Seco (2008)**

## **2.6 Escolha de soluções para interseções viárias não semaforizadas e aplicações das rotatórias modernas**

Os principais problemas envolvendo rótulas e que devem ser considerados nos projetos de interseções não semaforizadas e em nível incluem pouca visibilidade nos acessos, velocidades elevadas na entrada da via circular e fiscalização ineficiente por parte dos órgãos competentes. DNIT (2005) infere que esses fatores podem resultar em altas taxas de acidente e baixa eficiência operacional do dispositivo. Além disso, um tempo demasiado de espera pode ser atribuído a

diferenças muito grandes nos fluxos de cada ramo de acesso. Caso haja predominância de um fluxo em detrimento dos demais, aumenta-se a incidência de demoras excessivas e o risco de decisões erradas por parte dos motoristas, conseqüentemente aumentando o número e a gravidade dos acidentes.

Além da questão do desbalanceamento dos fluxos de entrada na rótula, outros fatores de risco podem incluir ângulos de entrada muito agudos, sinalização deficiente ou inexistente, rampas com alta inclinação, baixo coeficiente de atrito nas vias de aproximação e diferenças muito elevadas nas dimensões dos veículos que trafegam pelo local. Dessa forma, é evidente a necessidade de compreensão de todas as características físicas relacionadas à configuração da solução escolhida, bem como prever as interações entre cada uma delas.

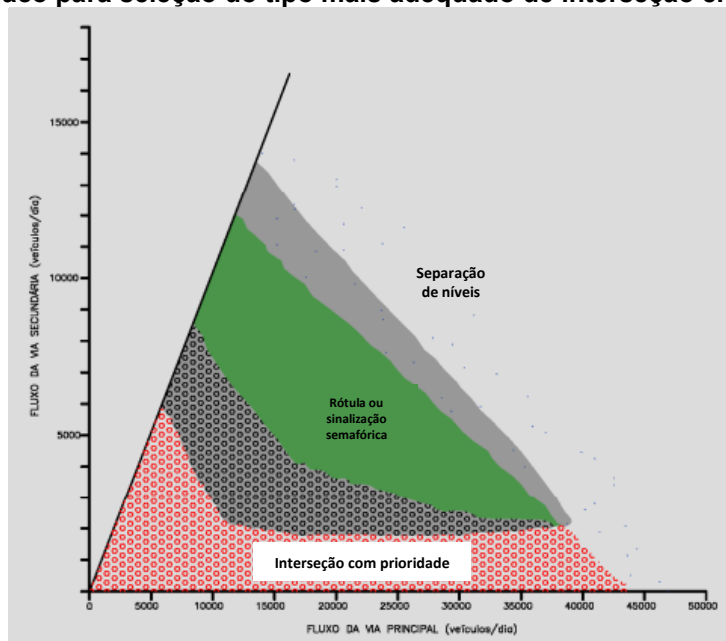
O *Manual de Projeto de Interseções* (DNIT, 2005) estipula que o fator preponderante na escolha do tipo de interseção é o volume de tráfego, tanto no ambiente rural quanto no urbano. Ainda, a operação de interseções em nível não controladas por dispositivos semaforicos depende da frequência dos intervalos entre veículos na via principal, de modo que haja tempo hábil para que os veículos advindos da via secundária possam atravessar ou convergir no fluxo da principal. Desta maneira, diferentes condições de tráfego, velocidades e limitações específicas de um local resultam em interseções mais e menos recomendadas para o mesmo.

É importante destacar que o termo “capacidade” pode ser definido como o número máximo de veículos capazes de passar por uma seção durante um período determinado de tempo (DNIT, 2005). Neste aspecto, os acessos da interseção devem possuir reserva suficiente de capacidade para acomodar o fluxo veicular que ingressa na mesma e no ano horizonte de projeto. Para interseções em ambientes rurais, o DNIT (2005) estipula o 10º ano após a abertura ao tráfego como sendo o ano de projeto. Para interseções urbanas, o DENATRAN (1991) estipula um horizonte de projeto de cinco anos.

No caso de interseções em nível em áreas urbanas, os manuais técnicos (DENATRAN, 1991; DNIT, 2005) apontam sugestões para uma primeira análise da interseção mais recomendada para o local e em função dos volumes diários médios de projeto (VDMs) nas vias principal e secundária, vide Figura 18. Por sua vez, os cálculos envolvendo interseções em nível e em áreas rurais demandam o uso de outros ábacos como o exemplificado na

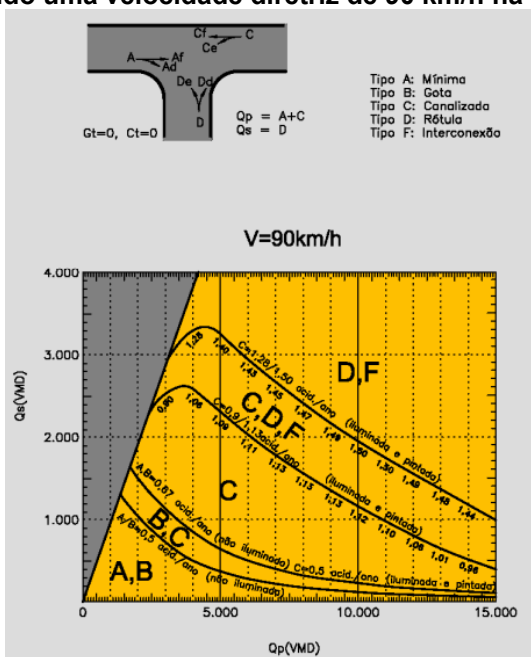
Figura 19 (DNIT, 2005), ainda que a variável predominante nos cálculos seja a mesma – isto é, VDMs nas vias principal e secundária. No entanto, as interseções em ambientes rurais demandam análises complementares como os índices máximos de acidentes por ano e envolvendo pedestres e ciclistas, sobretudo no caso das interseções ditas “menores” – mínima, tipo gota e canalizada, por exemplo.

Figura 18 – Ábaco para seleção do tipo mais adequado de interseção em áreas urbanas



Fonte: Adaptado de DNIT (2005)

Figura 19 – Ábaco para seleção do tipo mais adequado de interseção em áreas rurais e considerando uma velocidade diretriz de 90 km/h na via principal



Fonte: DNIT (2005)

As rótulas modernas trazem vantagens relevantes quando utilizadas. Entre elas, pode-se citar a boa circulação do tráfego quando bem projetadas e a eliminação de boa parte dos pontos de conflito quando comparada com um cruzamento normal, sendo conseqüentemente uma solução mais segura. Além disso, evitam a necessidade de acelerações e frenagens bruscas, causando um ganho no consumo de combustível. Por fim, se pode citar a melhoria estética do local em que foram implantadas e o aumento da capacidade ao se comparar com outras configurações.

Por outro lado, as rótulas são mais onerosas do que outras soluções porque necessitam de maior espaço e eventualmente acarretam desapropriações ou alterações na infraestrutura local. Quando há um intenso tráfego de pedestres, não é a solução mais apropriada. Por fim, são soluções de difícil ampliação porque criam barreiras para eventuais adaptações ao longo de sua vida útil.

Já as interseções em níveis diferentes oferecem maior segurança, pois não há conflitos de cruzamento. Também evitam frenagens completas de veículos e são adaptáveis à construção por etapas e eventuais modificações futuras. Dentre suas desvantagens, pode-se dizer que as interconexões apresentam necessidade de capital para execução superior às demais, além de serem alternativas complexas quando a interseção possui vários ramos. Por fim, as estruturas de separação e proteção necessárias podem tornar o resultado final antiestético, além de eventualmente haver necessidade de modificações indesejáveis nas rodovias.

## **2.7 Veículos de projeto e fatores de equivalência veicular em rótulas**

As características dos veículos que compõem o tráfego – bem como as proporções entre eles nas composições de cada fluxo – constituem um ponto fundamental para realização do dimensionamento geométrico de uma via, interseção ou similar. Cada veículo apresenta diferenças relevantes em relação a dimensões e capacidades de carga, o que pode impedir a trajetória de um determinado veículo em uma via ou interseção cujas larguras de faixas de rolamento ou canteiros centrais sejam insuficientes para acondicioná-lo durante as manobras (SOLEK e MARCUSSO, 2018).

Além das dimensões dos veículos, outros fatores como a relação peso bruto/potência, a distância entre eixos e a altura podem influenciar a escolha das dimensões do projeto geométrico da via ou da interseção. Desta maneira, é

importante examinar todos os veículos que compõem os fluxos de projeto para um dimensionamento adequado de uma proposta de intervenção. De uma forma resumida, o DNIT (2005) lista cinco classificações básicas de veículos presentes nos fluxos de tráfego, conforme Tabela 4. Solek e Marcusso (2018) destacam que a categoria CO, que abrange 77% dos veículos comerciais leves, semi-leves e médios e toda a frota de ônibus para transporte coletivo de passageiros nas cidades brasileiras, costuma ser escolhida em projetos de dimensionamento de interseções urbanas. As dimensões típicas de veículos desta categoria incluem largura total de 2,60 m, comprimento total de 9,10 m e raios mínimos de giro das rodas entre 8 e 13 m.

**Tabela 4 – Categorização e breves descrições dos veículos de projeto**

<b>Tipo</b>	<b>Definição</b>
VP	Representa veículos leves e os que se assemelham a veículos de passeio.
CO	Representa veículos comerciais rígidos e não articulados.
O	Representa veículos comerciais de grandes dimensões, como ônibus urbanos, de longo percurso e turismo, bem como caminhões longos.
SR	Representa veículos comerciais articulados com uma unidade tratora e um semirreboque.
RE	Representa veículos comerciais com reboque.

**Fonte: DNIT (2005)**

É importante enfatizar que, no caso da contagem de tráfego, todas as categorias veiculares (Tabela 4) deverão ser levadas em consideração. Entretanto, a simples soma dos veículos não é suficiente para fins de análise de capacidade de uma interseção do tipo rótula. Neste caso, é preciso converter cada um dos veículos em Unidades de Carros de Passeio (UCPs) a partir dos fatores de equivalência mostrados na Tabela 5. Em outras palavras, tal equivalência determina o Veículo de Passeio (VP) como unidade padrão do fluxo de tráfego, ainda que suas dimensões não devam ser levadas em conta para escolha dos parâmetros geométricos da interseção. Caso contrário, haverá a possibilidade de a solução projetada não atender os parâmetros mínimos referentes à segurança e eficiência operacional.

**Tabela 5 – Fatores de equivalência veicular em interseções em nível do tipo rótula**

<b>Tipo do veículo</b>	<b>VP</b>	<b>CO/O</b>	<b>SR/RE</b>	<b>M</b>	<b>B</b>	<b>SI</b>
Fator de equivalência	1	1,5	2	1	0,5	1,1

**Fonte: DNIT (2005)**

O *Manual de Projeto de Interseções em Nível não Semaforizadas em Áreas Urbanas* (DENATRAN, 1991) não apresenta qualquer referência aos fatores de equivalência veicular, de modo a obter uma uniformização nas contagens de tráfego. Dessa forma, optou-se por utilizar os mesmos fatores apresentados na Tabela 5 para os cálculos de capacidade de cada uma das vias de entrada da interseção estudada pelo método do DENATRAN (1991). Cabe ressaltar que o referido manual é mais utilizado para interseções urbanas, enquanto o do DNIT (2005) tem como base as interseções localizadas em áreas rurais (ou não urbanas). Entretanto, determinadas interseções como a destacada nesta pesquisa apresentam fluxos híbridos, provenientes de áreas urbanas e rurais. Assim, optou-se por analisar as capacidades de acordo com os dois procedimentos descritos.



### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Caracterização da interseção e análise jurisdicional

O trabalho consiste no estudo de uma interseção em nível, localizada no entroncamento da Rodovia PR-423 (Rodovia Engenheiro Adolar Schultze, km 19+600) com a Rua João Stukas – município de Campo Largo/PR. A configuração atual da interseção é dada por uma rótula vazada, popularmente conhecida como “trevo”. A interseção em questão está posicionada na divisa entre três bairros, conforme mostrado na Figura 20: Águas Claras a noroeste, Botiatuva a nordeste e Balbino Cunha ao sul. Cabe ressaltar que já existe uma rotatória moderna semelhante à sugerida neste trabalho, estando localizada a seis quilômetros de distância. Trata-se do cruzamento da Rodovia PR-423 com a Rodovia PR-510, também situado no município de Campo Largo/PR.

Figura 20 – Localização e definição dos bairros no entorno da interseção estudada



Fonte: CAMPO LARGO (2018)

Cabe salientar que as jurisdições das vias que formam a interseção são distintas. A Rodovia PR-423 está sob responsabilidade do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR), sendo este órgão integrante da Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística do Governo do Estado do Paraná. Por sua vez, a Rua João Stukas e sua continuação – denominada Estrada da Colônia Balbino Cunha – estão sob jurisdição da Prefeitura Municipal de Campo Largo. O

governo municipal (CAMPO LARGO, 2018) classifica o local da interseção como Zona de Influência Logística II (ZIL-2), de acordo com o Plano Diretor da cidade. Tal diferença jurisdicional, na opinião de Solek e Marcusso (2018), pode resultar em conflitos e atrasos significativos sobre uma eventual obra prevista no local, uma vez que pode haver divergências orçamentárias de ambas as partes.

Deve-se salientar também que existe um Projeto Executivo de revitalização do local e considerando uma interseção em níveis diferentes, popularmente denominada como “trincheira”. Esta informação foi obtida pelo autor e via contato telefônico feito com a empresa Engemin (comunicação pessoal)<sup>1</sup>, o que foge completamente da alternativa avaliada neste estudo – interseção em nível e do tipo rótula – e demanda mais recursos financeiros para a conclusão das obras. Ainda segundo o mesmo contato telefônico, o referido Projeto não foi executado pelo DER/PR.

### **3.2 Descrições dos arredores da interseção e respectivas vias de acesso**

O principal ponto de referência nos arredores da interseção (coordenadas geográficas mostradas na Figura 21) é a Capela São Roque. Também existe um parque industrial de pequeno porte e compreendido pelas empresas Lumimundi, Braffemam, Conprem e Metalúrgica Mattrifer, além de outros estabelecimentos comerciais locais. A Rua João Stukas conecta a região sul de Campo Largo/PR até o centro da cidade, possuindo aproximadamente quatro quilômetros de extensão. Também é alternativa para acessos às Rodovias PR-423, PR-510 e BR-277.

Por sua vez, Rodovia PR-423 é uma ligação relevante entre as cidades de Araucária/PR e Campo Largo/PR, bem como uma alternativa à Rodovia BR-277 e ao Contorno Sul de Curitiba (BR-277/BR-376) para moradores, trabalhadores e viajantes que passam pela região. Ambas as cidades possuem estabelecimentos industriais relevantes e se relacionam social e economicamente com a capital Curitiba. Também possuem empresas de grande porte em seus parques industriais, caso de FIAT, SIG e Itambé em Campo Largo/PR e REPAR, Cassol e ArcelorMital em Araucária/PR. Tais indústrias aumentam a demanda por postos de trabalho, movimentações de produtos, interações entre fornecedores e outros, o que resulta em uma grande demanda de deslocamentos por via rodoviária.

---

<sup>1</sup> Contato telefônico feito com o engenheiro Bruno Beetz Mafra, projetista de rodovias da empresa Engemin, Curitiba/PR, em 22 de abril de 2022. O mesmo autorizou a citação do nome e do conteúdo da conversa neste trabalho.

**Figura 21 – Coordenadas geográficas e vista aérea da interseção entre a Rodovia PR-423 e a Rua João Stukas, município de Campo Largo/PR**



**Fonte: Adaptado de Google Earth (2022)**

A interseção pode ser tecnicamente classificada como de quatro ramos, além de apresentar ilhas de canalização em cada uma das aproximações da via secundária (Rua João Stukas) e uma rótula vazada ao redor da via principal. Não há quaisquer pontos designados para travessia de pedestres ou ciclistas, tampouco semáforos. A via principal (Rodovia PR-423) tem um longo declive no sentido Araucária-Campo Largo, além de sinalizações e dispositivos redutores de velocidade. Duas linhas de transporte público passam pelo local, sendo elas: (a) Linha 108, Campina, transporte municipal; e (b) Linha I32, Araucária/Campo Largo, transporte intermunicipal de passageiros. Finalmente, o DER/PR salienta que a faixa de domínio ao redor desta rodovia é de 60 m no total, sendo 35 m na direção da entrada proveniente da Colônia Balbino Cunha e 25 m na direção da Rua João Stukas.

### **3.3 Contagens e fluxos de tráfego**

Para fins de obtenção das contagens veiculares na interseção e respectivos fluxogramas e fatores de sazonalidade de tráfego, foi consultado o Volume 3 de um documento preparado pela empresa vencedora da Concorrência N° 002/2013 – DER/DT/SR LESTE (DER-PR, 2013). A partir destes dados de tráfego, coletados no

ano de 2014, foram feitas projeções dos fluxos em dois cenários possíveis: (a) ano de 2022, de modo a avaliar o desempenho da interseção nos dias atuais; e (b) ano de 2037, haja vista que os horizontes de projeto devem ser de 15 anos para interseções em nível e localizadas em áreas rurais – cinco anos dedicados ao planejamento e à construção da interseção e os outros 10 anos para a operação da mesma. Assumiu-se que as proporções de cada corrente de tráfego no fluxo total se mantiveram inalteradas, bem como as proporções das categorias de veículo nas correntes individuais.

Os dados de tráfego foram obtidos através de uma contagem realizada pela empresa Engemin – Engenharia e Geologia, mês de janeiro de 2014. Os quantitativos de veículos foram determinados para todas as manobras permitidas na interseção – 12 no total, conforme representado esquematicamente na Figura 22 e detalhadas na Tabela 6 quanto às suas respectivas origens e destinos. Foram considerados três dias úteis (sexta-feira, segunda-feira e terça-feira) e contagens de 24 horas para todas estas manobras, e as datas selecionadas para o levantamento foram as seguintes: 24/01/2014, 27/01/2014 e 28/01/2014.

**Figura 22 – Manobras possíveis na interseção estudada**



Fonte: DER/PR e ENGEMIN (2014)

**Tabela 6 – Origens e destinos para cada uma das manobras da interseção estudada**

<b>Manobra</b>	<b>Sentido</b>
1	Araucária – Campo Largo
2	Campo Largo – Araucária
3	Araucária – Rua João Stukas
4	Rua João Stukas – Campo Largo
5	Rua João Stukas – Col. Balbino Cunha
6	Rua João Stukas – Araucária
7	Campo Largo – Col. Balbino Cunha
8	Col. Balbino Cunha – Araucária
9	Col. Balbino Cunha – Campo Largo
10	Col. Balbino Cunha – Rua João Stukas
11	Campo Largo – Rua João Stukas
12	Araucária – Col. Balbino Cunha

**Fonte: DER-PR (2014)**

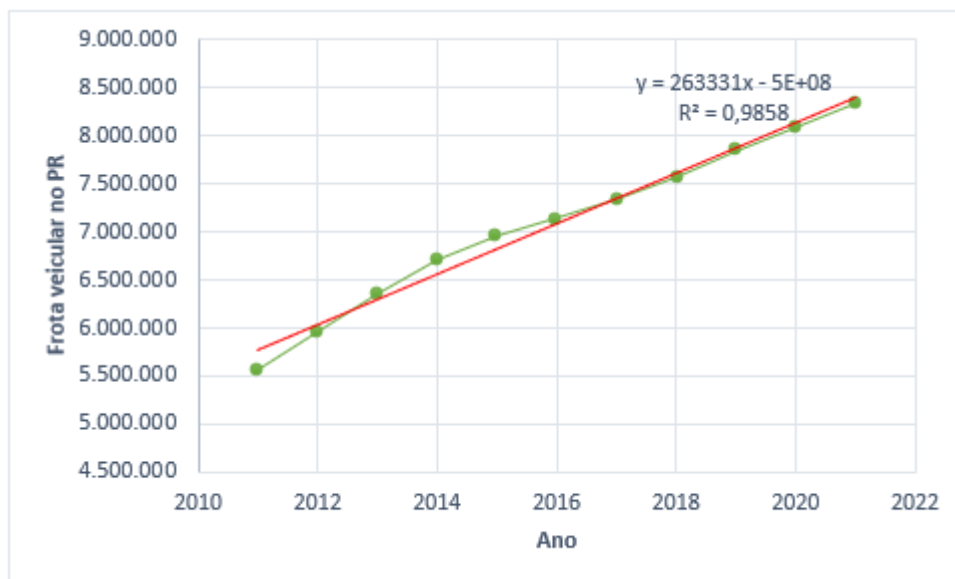
Os cálculos das projeções dos fluxos de tráfego para os anos de 2022 e 2037 tiveram como base a projeção linear do crescimento da frota no estado do Paraná entre 2011 e 2021 (CNT, 2022; IBGE, 2022). A taxa anual de crescimento obtida nestes cálculos foi de aproximadamente 3%, e a metodologia empregada é similar à de estudos anteriores como Reginaldo (2015) e Solek e Marcusso (2018). Com base nestas projeções, foram feitas as avaliações de capacidade e de nível de serviço da interseção tipo rótula proposta para o local, considerando as equações e ábacos discriminados nos manuais técnicos correspondentes (DENATRAN, 1991; DNIT, 2005).

Para que fossem projetados os volumes de tráfego para o ano corrente e o 15º ano após a realização deste estudo (2022 e 2037, respectivamente), utilizou-se a equação resultante da regressão linear do crescimento da frota veicular no estado do Paraná entre os anos de 2011 e 2021. As frotas veiculares em cada um destes anos foram extraídas das bases de dados do IBGE (2022) e da CNT (2022), conforme mostrado na Figura 23. A equação resultante apresentou um excelente ajuste aos dados brutos ( $R^2 \approx 0,985$ ), e a taxa média de crescimento obtida nestas análises foi de 3,22% ao ano.

Em relação à classificação dos veículos para a contagem, a empresa responsável selecionou as categorias discriminadas na Figura 24. Em uma associação direta entre tais categorias e às propostas pelo DNIT (2005) para fins de cálculo de capacidade e nível de serviço de rótulas (Tabela 5), é possível obter as seguintes conclusões: (a) carros e utilitários equivalem a Veículos de Passeio (VP); (b) caminhões leves equivalem a Comerciais Rígidos (CO); (c) ônibus equivalem a Ônibus (O); (d) caminhões semirreboques e caminhões semirreboques especiais

equivalem a Semirreboques (SR); (e) caminhões reboques equivalem a Reboques (RE); e (f) motos equivalem a Motocicletas (M).

**Figura 23 – Evolução da frota de veículos no Paraná e determinação da taxa média de crescimento da frota.**



Fontes: CNT (2022) e IBGE (2022)

**Figura 24 – Classificação veicular utilizada na contagem das correntes de tráfego**

Carros		Caminhões Semi-Reboques	2S2		Caminhões Reboques	3Q4		
Utilitários			2S3			2C2		
Motos			3S2			2C3		
Ônibus	O1			3S3			3C2	
	O2		Caminhões Semi-Reboques Especiais	3T4-SE1			3C3	
Caminhões Leves	2C			3T6-SE2			3C4	
	3C			3T6-SE3				

Fonte: DER/PR (2014)

Uma vez que existem três contagens de 24 horas e em dias distintos na semana, os valores finais de VDM foram determinados como a média aritmética simples destas três contagens individuais. Na sequência, foi aplicado um fator de correção referente à sazonalidade do período da coleta dos fluxos de tráfego, em função da categoria de cada veículo. Segundo o Memorial Justificativo (DER/PR e ENGEMIN, 2014), os dados para obtenção deste fator de sazonalidade foram cedidos pela então concessionária Rodonorte, responsável à época pela

administração da praça de pedágio de São Luiz do Purunã/PR, localizada no km 132 da Rodovia BR-277/BR-376. A Tabela 7 elenca os fatores para cada um dos tipos de veículo nas correntes de tráfego e determinados para a referida praça de pedágio, assumindo-se que os mesmos são válidos também para a interseção estudada.

As contagens corrigidas e por tipo de veículo e manobra ( $C_{ci}$ ) foram então determinadas conforme mostrado na Equação (1) a seguir:

$$C_{ci} = \frac{C_i}{f_s} \quad (1)$$

em que:  $C_{ci}$  = contagem corrigida para cada tipo de veículo e manobra;

$f_s$  = fator de sazonalidade; e

$C_i$  = contagem original para cada tipo de veículo e manobra.

<b>Tabela 7 – Fatores de correção de sazonalidade adotados para cada tipo de veículo</b>		
<b>Grupos veiculares</b>	<b>Categorias abrangidas</b>	<b>Fator de correção</b>
Veículos leves	Carros	0,730
	Utilitários	0,730
	Motos	0,849
Ônibus	O1	1,048
	O2	0,795
Caminhões rígidos	2C	1,051
	3C	0,687
Caminhões semirreboques	2S2	1,027
	2S3	1,244
	3S2	1,244
	3S3	1,126
Caminhões semirreboques especiais	3T4-SE1	1,000
	3T6-SE2	1,000
	3T6-SE3	1,000
Caminhões reboques	3Q4	1,000
	2C2	1,027
	2C3	1,244
	3C2	1,244
	3C3	1,258
	3C4	1,000

**Fonte: DER-PR (2014)**

A Tabela 8 apresenta os VDMs de projeto já corrigidos e para cada uma das 12 manobras da interseção, considerando também as categorias de veículos estabelecidas pelo DNIT (2005). Dado que os fluxos de tráfego se encontram acumulados para um dia útil (24 horas), foi necessário recorrer à literatura para

determinar o volume horário de pico. Uma revisão feita por Gomes (2004) indicou que, para 70% das pesquisas feitas em rodovias dos Estados Unidos, o fluxo na hora do pico corresponde a um percentual entre 12 e 18% do VDM. Por outro lado, os dados coletados por Gomes (2004) em rodovias do estado do Ceará sugerem que tal percentual é igual a 11,8%, o que o aproxima de valores reportados em outros trabalhos nacionais (entre 11 e 12%). Assim, optou-se por adotar um valor médio entre os extremos tipicamente encontrados em estudos nacionais – ou seja, 11,5%. Em outras palavras, os volumes horários de projeto para cada movimento foram obtidos a partir da multiplicação do VDM de projeto pela constante 0,115.

**Tabela 8 – Volumes diários médios de projeto por manobra e tipo de veículo, ano de 2014**

Movimento	Veículo de passeio	Caminhão	Ônibus	Semirreboque	Reboque	Moto
1	1.366	472	10	654	3	108
2	1.791	438	15	719	4	142
3	823	45	14	6	0	69
4	214	20	2	2	0	28
5	170	16	15	0	0	30
6	476	45	14	10	0	50
7	9	0	1	0	0	2
8	49	4	1	0	0	6
9	25	8	1	1	0	4
10	168	15	16	1	0	33
11	20	2	2	0	0	2
12	25	5	2	0	0	2

Fonte: Adaptado de DER-PR (2014)

Após a determinação dos valores horários para cada manobra e categoria de veículo, foram aplicados os fatores de equivalência veicular para interseções do tipo rótula (Tabela 5) para fins de normalização dos dados das correntes de tráfego em UCPs. No que concerne às contagens de pedestres e ciclistas na interseção estudada, o projeto (DER/PR e ENGEMIN, 2014) não contempla tais contagens. Para fins de cálculo e dimensionamento da proposta de revitalização do local, será considerado um fator de pedestres ( $f_i$ ) igual a 0,95 e para todas as aproximações.



### 3.4 Estudo de capacidade e nível de serviço da rótula segundo o DNIT

O *Manual de Projeto de Interseções* (DNIT, 2005) faz um compilado de normas norte-americanas e europeias para o cálculo de capacidade e nível de serviço de uma rotatória moderna. Segundo este manual, o modelo norte-americano detalha a fundamentação de cálculo para rótulas com apenas uma faixa de tráfego, sem qualquer citação a respeito do nível de serviço (HCM, 2000). Por outro lado, sabe-se que as normas alemãs apresentam o método de cálculo de capacidade e dos níveis de serviço de cada via de aproximação da rótula (BRILON, 2011). Devido à simplicidade e à facilidade de uso, estas normas alemãs constituem a base para determinação da capacidade e do nível de serviço para projetos de rótulas no Brasil, conforme detalhamentos mostrados nos subitens a seguir.

#### 3.4.1 Matriz origem-destino

A matriz origem-destino é utilizada para que sejam determinados os fluxos em cada ramo da interseção. Assim, é importante conhecer todas as origens e destinos dos condutores que se encontram nas vias de aproximação do dispositivo. A Figura 25 ilustra esquematicamente uma interseção tipo rótula e com quatro aproximações, bem como os fluxos de entrada ( $Z_i$ ), os fluxos circulantes antes de cada aproximação ( $K_i$ ) – vide Equação (2), retirada de DNIT (2005) – e os fluxos de pedestres ( $Fg_i$ ). Cabe destacar que todos os fluxos desta matriz origem-destino já devem estar convertidos para UCP, uma vez que se assume no processo de cálculo que tais fluxos são uniformemente distribuídos nas faixas de tráfego e que os veículos pertencem à mesma categoria.

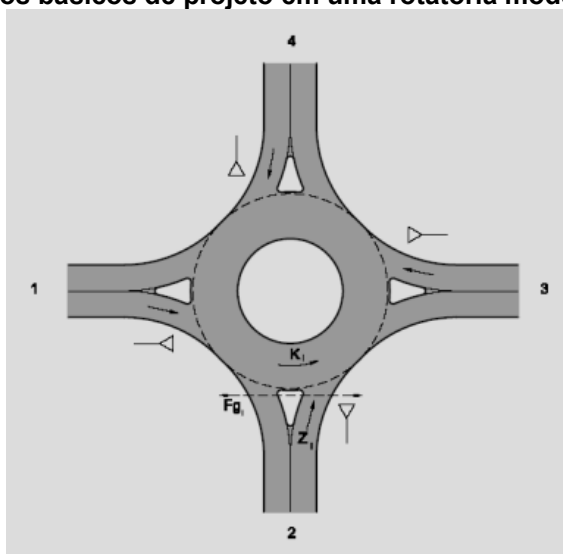
$$K_i = C_{m-1,2} = \frac{(m-1)!}{2(m-3)!} \quad (2)$$

em que:  $m$  = número de aproximações na rótula;

$O_i D_j$  = fluxo de tráfego com origem  $i$  e destino  $j$ ; e

$C_i$  = contagem original para cada tipo de veículo e manobra.

Figura 25 – Elementos básicos de projeto em uma rotatória moderna de quatro ramos



Fonte: DNIT (2005)

### 3.4.2 Capacidade de entrada na rótula

Os volumes de tráfego circulantes antes de cada entrada  $i$  ( $K_i$ ) são importantes para que seja determinada a capacidade básica da mesma entrada  $i$  (parâmetro  $G_i$ ), conforme Equação (3):

$$G_i = 3600 * \left(1 - \frac{t_{min} * K_i}{n_{ki} * 3600}\right)^{n_{ki}} * \frac{n_{zi}}{t_f} * e^{\left[-\frac{K_i}{3600} * \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{min}\right)\right]} \quad (3)$$

em que:  $G_i$  = capacidade básica da entrada  $i$  (UCP/h);

$K_i$  = fluxo de tráfego na pista rotatória e antes da entrada  $i$  (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 e aguardando oportunidade de ingressar na interseção (segundos);

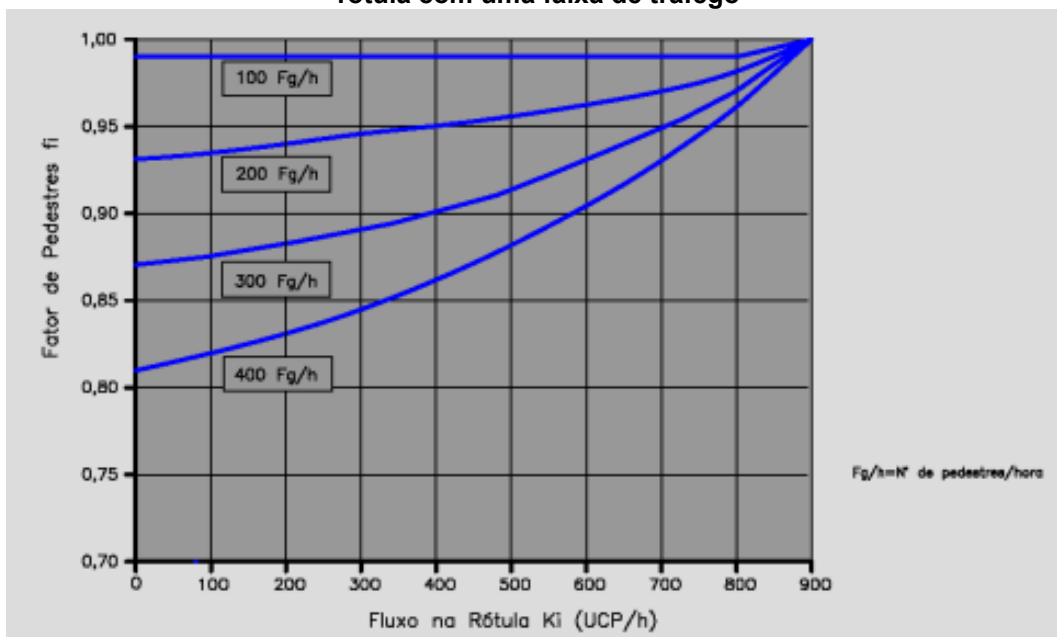
$t_f$  = valor médio do intervalo entre dois veículos sucessivos entrando na interseção (segundos); e

$t_{min}$  = valor mínimo do intervalo entre veículos na pista rotatória (segundos).

Segundo os estudos alemães utilizados como base para o método brasileiro, os valores dos tempos a serem adotados são:  $t_g = 4,1$  s;  $t_f = 2,9$  s;  $t_{min} = 2,1$  s. Também é importante destacar que, para cada entrada  $i$ , deve ser determinado o fator de pedestres correspondente  $f_i$  em função do fluxo de pedestres por hora  $F_{g_i}$ . Os ábacos

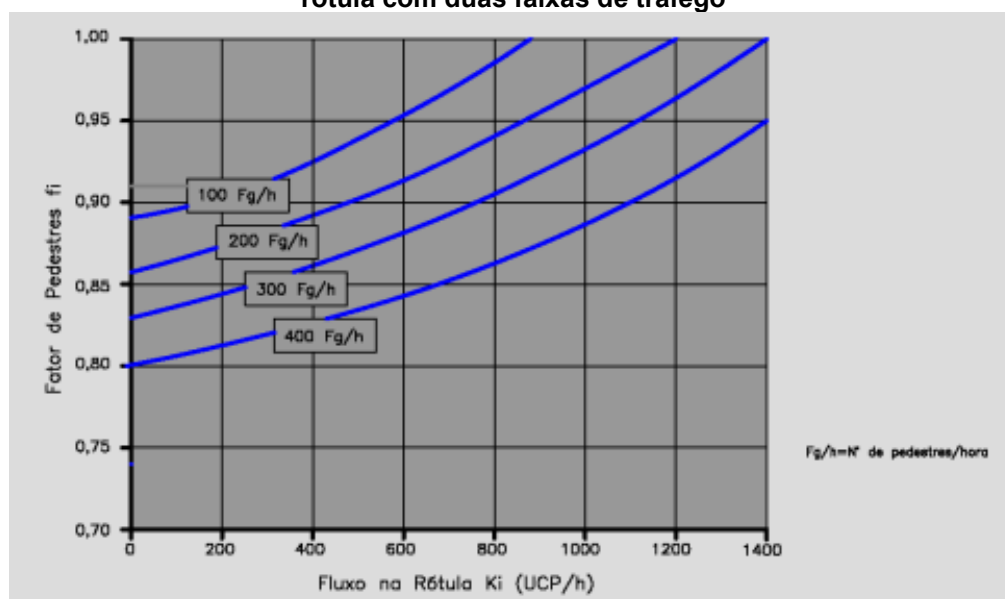
mostrados na Figura 26 e na Figura 27 permitem a determinação de  $f_i$  com base nos números de faixas na entrada e na pista rotatória, bem como no fluxo circulante  $K_i$  (DNIT, 2005).

**Figura 26 – Fator de pedestres ao considerar uma entrada com uma faixa de tráfego a uma rótula com uma faixa de tráfego**



Fonte: DNIT (2005)

**Figura 27 – Fator de pedestres ao considerar uma entrada com duas faixas de tráfego a uma rótula com duas faixas de tráfego**



Fonte: DNIT (2005)

Dessa forma, calcula-se a capacidade corrigida na entrada  $i$  ( $C_i$ ) por intermédio da Equação (4):

$$C_i = G_i * f_i \quad (4)$$

em que:  $G_i$  = capacidade básica da entrada  $i$  (UCP/h); e

$f_i$  = fator de pedestres aplicável a esta mesma entrada  $i$ .

### 3.4.3 Capacidades residuais das entradas da rótula e níveis de serviço

A capacidade residual de uma entrada  $i$  qualquer ( $R_i$ ) é determinada pela Equação (5) a seguir:

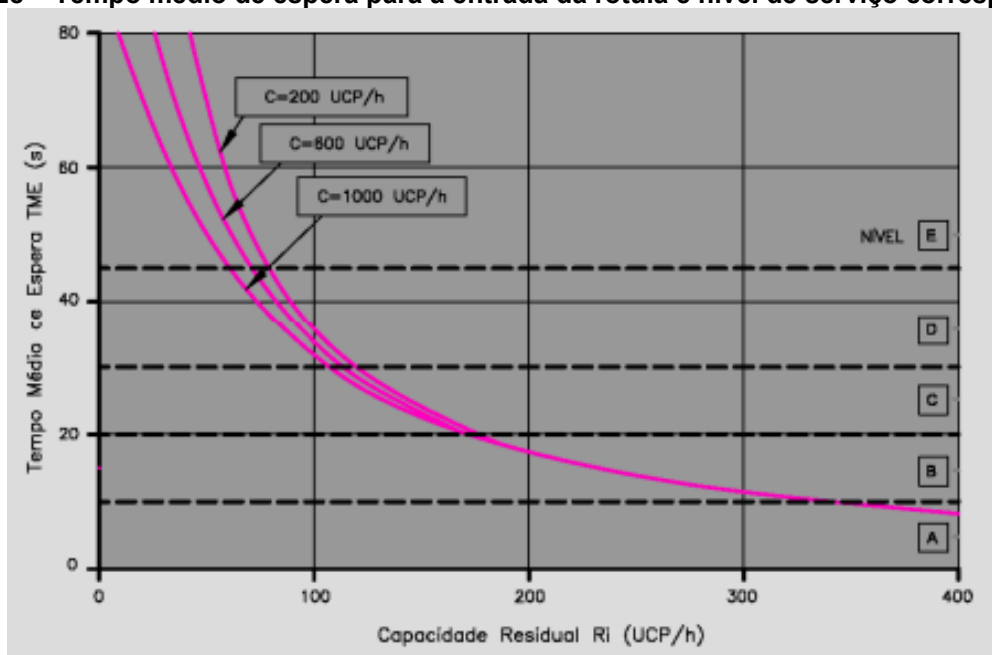
$$R_i = C_i - Z_i \quad (5)$$

em que:  $C_i$  = capacidade corrigida e referente à entrada  $i$  (UCP/h); e

$Z_i$  = fluxo veicular de projeto e referente à mesma entrada  $i$  (UCP/h).

O tempo médio de espera na entrada  $i$  ( $TME_i$ ) é dado em função da capacidade residual  $R_i$  e da capacidade corrigida de entrada  $C_i$ , vide Figura 28. Ao mesmo tempo, é possível determinar o nível de serviço desta mesma entrada  $i$ , o qual pode ou não ser igual ao nível de serviço da rótula como um todo. Por exemplo, quando uma determinada aproximação possui nível de serviço F ( $R_i < 0$ ), toda a interseção estará automaticamente enquadrada no mesmo nível de serviço. A Tabela 9 mostra breves descrições para os níveis de serviço A até F.

Figura 28 – Tempo médio de espera para a entrada da rótula e nível de serviço correspondente



Fonte: DNIT (2005)

**Tabela 9 – Breves descrições sobre os níveis de serviço para cada entrada da rótula**

<b>Nível de Serviço</b>	<b>Breve descrição</b>
Nível A	A maioria dos veículos da corrente de tráfego transita livremente pela interseção, sem atrasos e com boa fluidez.
Nível B	A capacidade de deslocamentos dos veículos da via secundária é afetada pelo fluxo advindo da via principal. Entretanto, os tempos de espera não são elevados.
Nível C	Os motoristas da via secundária devem esperar um número elevado de veículos advindos da via principal. Os tempos de espera são consideráveis, e retenções de veículos se formam, com pouca extensão.
Nível D	A maioria dos motoristas da via secundária devem efetuar paradas, com uma perda de tempo elevada. O movimento do tráfego, entretanto, segue estável, pois as retenções que se formam são diluídas em um período não tão elevado.
Nível E	As retenções de fluxo são mais evidentes, e não se diluem sem que haja uma redução no volume de tráfego. Nesse nível, os tempos de espera são elevados, e pequenas interferências nos fluxos de tráfego podem resultar no colapso do tráfego. É o ponto limite da capacidade do dispositivo.
Nível F	Qualquer adição de veículo aos fluxos de tráfego é superior à capacidade. Há formação de filas longas e crescentes, com grande tempo de espera. Dado o sobrecarregamento da interseção, apenas com a redução das correntes de tráfego haverá um alívio na operação.

**Fonte: DNIT (2005)**

Para obtenção do nível de serviço da rótula como um todo (global), deve-se calcular o tempo médio de espera da rótula ( $TMER$ ) a partir dos valores individuais de  $TME_i$  e dos fluxos em cada entrada  $Z_i$ . A Equação (6) a seguir detalha este processo matemático:

$$TMER = \frac{\sum_{i=1}^m (Z_i * TME_i)}{\sum_{i=1}^m Z_i} \quad (6)$$

em que:  $m$  = número de aproximações na rótula;

$TME_i$  = tempo médio de espera na entrada  $i$  (segundos); e

$Z_i$  = fluxo veicular de projeto e referente à entrada  $i$  (UCP/h).

Com base no valor de  $TMER$ , é possível determinar o nível de serviço global a partir dos intervalos listados na Tabela 10. Para que a interseção seja eficiente de um ponto de vista operacional, DNIT (2005) adverte que o nível de serviço mínimo admissível é o D. Caso a rótula proposta não atenda a esta condição em pelo menos uma de suas aproximações, deve-se buscar outra solução.

Tabela 10 – Determinação do nível de serviço com base no TME

Tempo médio de espera – TME (s)	Nível de serviço
≤ 10	A
≤ 20	B
≤ 30	C
≤ 45	D
> 45	E
Ri < 0	F

Fonte: DNIT (2005)

### 3.5 Estudo de capacidade e nível de serviço da rótula segundo o DENATRAN

#### 3.5.1 Capacidade

O *Manual de Projeto de Interseções em Nível não Semaforzadas em Áreas Urbanas* (DENATRAN, 1991) tem como base um método de cálculo desenvolvido na Inglaterra e na década de 1980. Para fins de determinação da capacidade de entrada na rótula ( $Q_e$ ), é possível utilizar a Equação (7) a seguir, a qual depende também do fluxo circulante na rótula ( $Q_c$ ). A Figura 29 mostra as localizações dos fluxos  $Q_c$  e  $Q_e$  em uma rotatória moderna de quatro ramos.

$$Q_e = k (F - f_c * Q_c) \Rightarrow f_c * Q_c \leq F \quad (7)$$

em que:  $Q_e$  = capacidade da entrada da via de aproximação (em UCP/h);

$f_c$  = constante determinada em função das características geométricas da entrada e do diâmetro do círculo inscrito;

$Q_c$  = fluxo já em circulação na rotatória, logo antes da entrada cuja capacidade está sendo determinada;

$k$  = coeficiente determinado em função do ângulo de entrada e do raio da curva de entrada; e

$F$  = constante determinada pelas características geométricas de entrada.

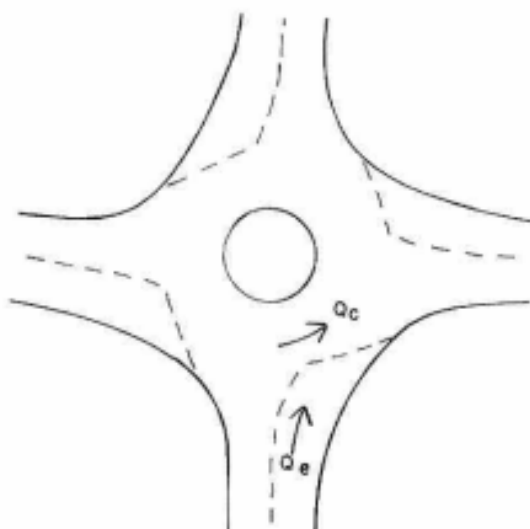
O coeficiente  $k$  é calculado segundo a Equação (8) a seguir discriminada.

$$k = 1 - 0,00347 * (\Phi - 30^\circ) - 0,978 * \left[ \left( \frac{1}{R} \right) - 0,05 \right] \quad (8)$$

em que:  $\Phi$  = ângulo de entrada da via de aproximação (em graus); e

$R$  = raio da curva de entrada da via de aproximação (m).

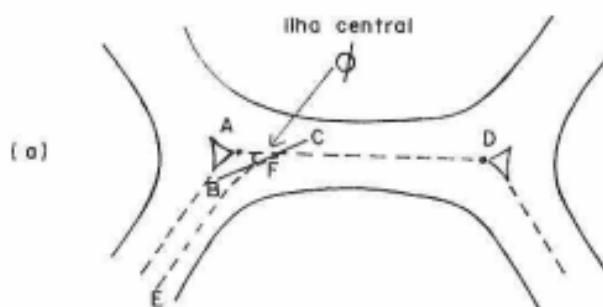
**Figura 29 – Localizações dos fluxos de entrada ( $Q_e$ ) e circulante ( $Q_c$ ) em uma rótula.**



Fonte: DENATRAN (1991)

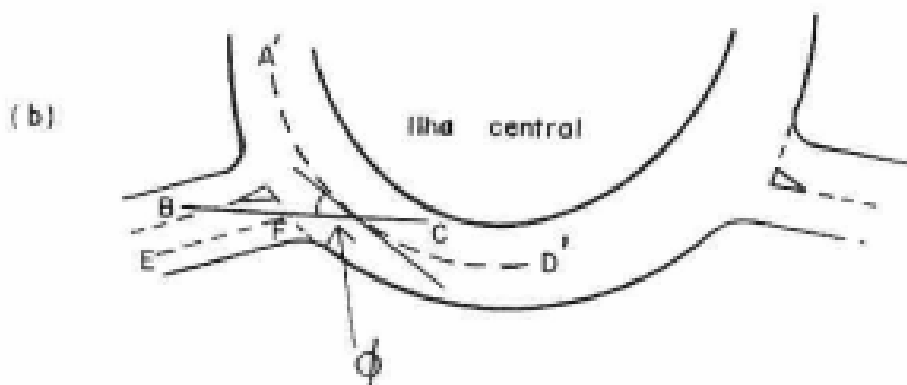
Além da questão dos fluxos  $Q_c$  e  $Q_e$ , o DENATRAN (1991) também leva em consideração o ângulo de conflito entre ambos os fluxos. Existem três situações de cálculo para determinação do ângulo de entrada, as quais dependem da configuração da rótula estudada: (1) rotatória apresenta uma seção de entrelaçamento quase reta; (2) rotatória apresenta uma seção de entrelaçamento curva; e (3) demais configurações. Na situação (1), a linha paralela à referida seção é designada como AD conforme Figura 30, e o ângulo de entrada  $\phi$  também é apontado no mesmo esquema. A situação (2) é mostrada na Figura 31, a qual também destaca as variáveis e as seções supracitadas. Em ambas as situações, a linha BC é tangente à linha EF, no ponto em que idealmente encontra-se a linha da placa de sinalização “DÊ A PREFÊNCIA”.

**Figura 30 – Ilustração de uma rótula com seção de entrelaçamento reta**



Fonte: DENATRAN (1991)

Figura 31 – Ilustração de uma rótula com seção de entrelaçamento curva

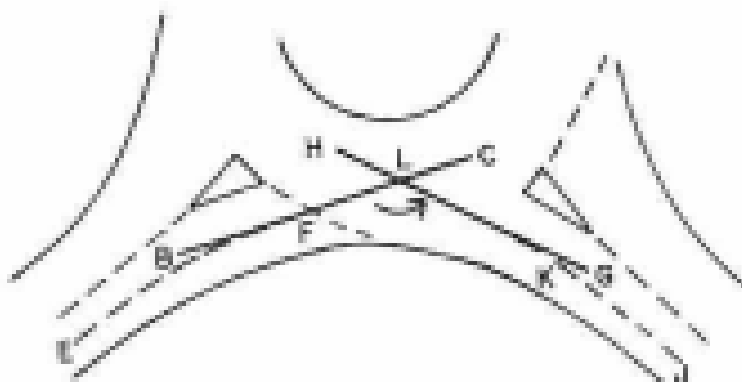


Fonte: DENATRAN (1991)

Finalmente, o cálculo do ângulo de entrada  $\Phi$  para os cenários inclusos na situação (3) é dado pela Equação (9). É importante enfatizar que, caso o ângulo BLG ilustrado na Figura 32 seja maior que  $180^\circ$ , o valor de  $\Phi$  é nulo.

$$\phi = 90 - \left(\frac{1}{2}BLG\right), \text{ se } \frac{1}{2}BLG > 0 \quad (9)$$

Figura 32 – Ilustração do ângulo de entrada em outros tipos de rotatória

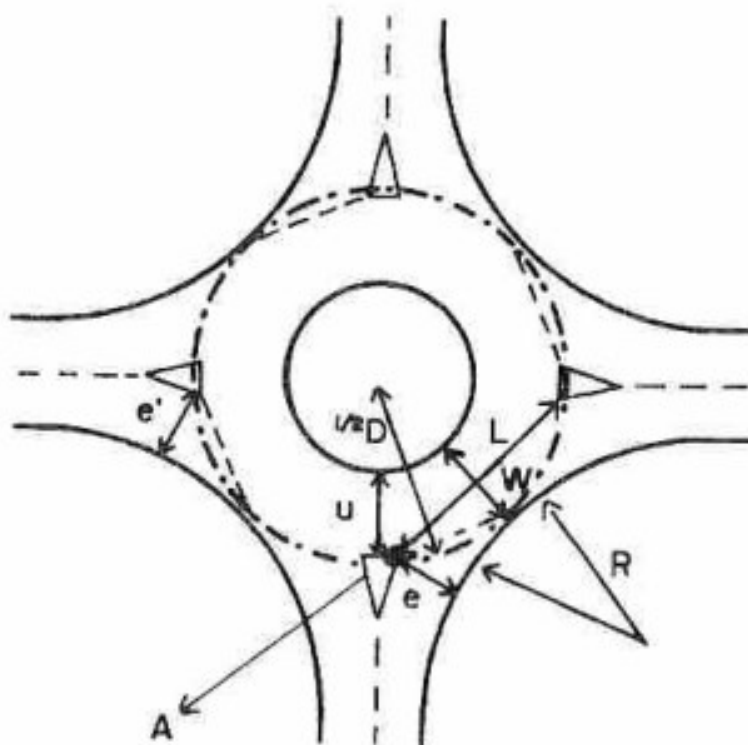


Fonte: DENATRAN (1991)

O raio da curva de entrada ( $R$ ), dado basicamente pelo raio mínimo de curvatura do meio-fio mais próximo da faixa de entrada, é mostrado na Figura 33. A figura em questão também mostra outras variáveis importantes e relacionadas ao projeto geométrico da rótula, tais como o diâmetro do círculo inscrito ( $D$ ), a largura de entrada da aproximação ( $e$ ) e a largura da pista rotatória ( $W$ ). A constante  $F$ , calculada por intermédio da Equação (10), depende da metade da largura da aproximação ( $l$ ) e de uma constante intermediária  $S$ , vide Equação (11).



Figura 33 – Parâmetros importantes para determinar a capacidade das vias de entrada



Fonte: DENATRAN (1991)

$$F = V + \frac{(e - v)}{(1 + 2S)} \quad (10)$$

$$S = \frac{1,6 * (e - v)}{l} \quad (11)$$

Na sequência, deve-se determinar a constante matemática  $f_c$  conforme detalhado na Equação (12), a qual depende de um parâmetro tabelado  $t_D$  em função do diâmetro do círculo inscrito  $D$  (Tabela 11). É importante destacar que o valor de  $D$  correspondente ao diâmetro do maior círculo inscrito que pode ser inserido na interseção do tipo rótula.

$$f_c = 0,210 * t_D * \left\{ 1 + 0,2 * \left[ v + \frac{(e - v)}{(1 + 2S)} \right] \right\} \quad (12)$$

Tabela 11 – Valores da constante  $t_D$  em função do diâmetro do círculo inscrito ( $D$ )

$D$ (m)	$t_D$
10	1,4967
15	1,4945
20	1,4910
25	1,4853
30	1,4763
35	1,4621
40	1,4404
45	1,4088
50	1,3655
55	1,3112
60	1,2500
65	1,1888
70	1,1345

Fonte: DENATRAN (1991)

### 3.5.2 Restrições e eventuais correções

As equações descritas anteriormente foram obtidas a partir de pesquisas realizadas na Inglaterra, cujos parâmetros podem ser utilizados em uma rótula qualquer desde que as faixas de valores para as quais cada parâmetro foi determinado sejam integralmente observadas. A Tabela 12 mostra tais faixas admissíveis de valores e referentes a cada parâmetro da rótula.

Tabela 12 – Limites de variação para cada parâmetro usado na determinação da capacidade das vias de entrada

Parâmetro	Limites de variação	Parâmetro	Limites de variação
$e$	3,6 a 16,5 (m)	$S$	0 a 2,9
$v$	1,9 a 12,5 (m)	$R$	Mínimo 3,4 (m)
$e'$	3,6 a 15,0 (m)	$\Phi$	0 a 77 (graus)
$v'$	2,9 a 12,5 (m)	$D$	13,5 a 171,6 (m)
$u$	4,9 a 22,7 (m)	$\omega$	7,0 a 26,0 (m)
$l$	Mínimo 1 (m)	$L$	9,0 a 86,0 (m)

Fonte: DENATRAN (1991)

A capacidade de entrada da via  $Q_e$  é determinada para locais denominados “típicos”, em que o ângulo de entrada  $\Phi$  equivale a  $30^\circ$  e o raio da curva de entrada  $R$  é igual a 20 m. Quando esses parâmetros apresentam valores diferentes, a capacidade  $Q_e$  deverá ser corrigida em função dos parâmetros  $\Phi$  e  $R$ , vide Tabela 13 e Tabela 14, respectivamente. Assim, a capacidade corrigida será igual ao valor

original de  $Q_e$  multiplicado pelos respectivos fatores de correção provenientes do raio e do ângulo de entrada.

**Tabela 13 – Correção na capacidade de entrada ( $Q_e$ ) em função do ângulo de entrada ( $\Phi$ )**

$\Phi$ (graus)	Correção (% de $Q_e$ )	$\Phi$ (graus)	Correção (% de $Q_e$ )
0	+ 10,4	40	- 3,5
5	+ 8,7	45	- 5,2
10	+ 6,9	50	- 6,9
15	+ 5,2	55	- 8,7
20	+ 3,5	60	- 10,4
25	+ 1,7	65	- 12,1
30	0	70	- 13,9
35	- 1,7	75	- 15,6

Fonte: DENATRAN (1991)

**Tabela 14 - Correção na capacidade de entrada ( $Q_e$ ) em função do raio de entrada ( $R$ )**

R (m)	Correção (% de $Q_e$ )	R (m)	Correção (% de $Q_e$ )
4	- 19,6	20	0
5	- 14,7	22	+ 0,4
6	- 11,4	24	+ 0,8
7	- 9,1	26	+ 1,1
8	- 7,4	28	+ 1,4
9	- 6,0	30	+ 1,6
10	- 4,9	35	+ 2,1
12	- 3,3	40	+ 2,5
14	- 2,1	50	+ 2,9
16	- 1,2	100	+ 3,9
18	- 0,5	$\infty$	+ 4,9

Fonte: DENATRAN (1991)

### 3.5.3 Taxa de ocupação

O método do DENATRAN (1991) não apresenta classificações ou critérios para atribuição do nível de serviço da rótula. Apesar desta ausência, o nível de serviço é um item de suma importância para validação da escolha de uma configuração para a interseção, além de permitir a análise de viabilidade operacional da proposta. Neste aspecto, é possível determinar as taxas de ocupação de cada entrada  $i$  ( $\lambda_i$ ) conforme Equação (13) a seguir. Desta maneira, é possível analisar o grau de saturação da entrada  $i$  e traçar uma relação entre os resultados obtidos pelos cálculos feitos segundo o DENATRAN (1991) e o DNIT (2005).

$$\lambda_i = \frac{Z_i}{Q_{ei}} \quad (13)$$

em que:  $Z_i$  = fluxo projetado para a entrada  $i$  (em UCP/h); e

$Q_{ei}$  = capacidade da entrada  $i$  (em UCP/h).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta os resultados obtidos durante a pesquisa aqui mostrada, bem como as respectivas discussões. A sequência de análise e discussão contempla as etapas descritas a seguir: (1) comparação entre os fluxos de tráfego para a via principal, Rodovia PR-423, e a via secundária, Rua João Stukas, ambos projetados para o ano de 2037; (2) estudo de viabilidade da proposta de uma nova configuração para a interseção, considerando as capacidades e os níveis de serviço de cada entrada e da rótula como um todo; (3) comparações entre os resultados obtidos segundo os métodos do DENATRAN (1991) e do DNIT (2005); e (4) elaboração de um anteprojeto de uma rótula a partir das análises e discussões feitas nas etapas anteriores.

### 4.1 Análise dos fluxos veiculares em cada via da interseção

#### 4.1.1 Projeção do crescimento do fluxo de veículos

A proposta de modificação da interseção considerada neste trabalho tomou como base os dados fornecidos pelo Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná (DER/PR, 2014) em medições diárias e no mês de janeiro/2014. Não foram identificadas quaisquer contagens de tráfego em datas anteriores ou posteriores aos dados considerados na pesquisa. Dessa forma, foi tomada como premissa o crescimento linear da frota de veículos no estado do Paraná, em uma metodologia parecida com a registrada nos trabalhos de Reginaldo (2015) e Solek e Marcusso (2018) – dentre outros.

Como se observa na Figura 23, apresentada no Capítulo 3, a equação linear obtida é dada por  $y = 263.331x - 523.798.697$  e o coeficiente de determinação  $R^2$  é excelente (0,985). Isto significa que a equação em questão é capaz de explicar muito bem o crescimento da frota veicular no estado do Paraná com o passar do tempo, considerando o intervalo entre os anos de 2011 e 2021. A taxa média de crescimento obtida nos cálculos é de 3,22% a. a., de modo que passam a ser possíveis estimativas de fluxos de veículos nos anos de 2022 e 2037. Cabe ressaltar que o primeiro ano é referente ao ano atual, ao passo que o segundo contempla o horizonte de projeto de 15 anos para a interseção – sendo cinco anos de projeto e construção e outros 10 anos de operação da mesma (DNIT, 2005).

De posse dos volumes médios diários obtidos nas contagens de tráfego no local estudado (Tabela 8) e os respectivos fatores de sazonalidade por veículo (Tabela 7), foram determinados os volumes médios diários (VMDs) por manobra na interseção. A Tabela 15 mostra os VMDs estimados para o ano de 2022, total de 13.186 UCPs/dia. Por sua vez, a Tabela 16 resume estes mesmos VMDs para o ano de 2037, total de 19.314 UCPs/dia. Tais volumes são considerados relevantes, conforme literatura técnica resumida no manual do DNIT (2005).

**Tabela 15 – Volume médio diário para cada manobra (em UCP) e para o ano de 2022**

<b>Volume médio diário para o ano de 2022 (em UCP)</b>	
Manobra 1	4.545
Manobra 2	5.252
Manobra 3	1.286
Manobra 4	366
Manobra 5	322
Manobra 6	825
Manobra 7	19
Manobra 8	85
Manobra 9	65
Manobra 10	328
Manobra 11	41
Manobra 12	54

**Fonte: Autoria Própria**

**Tabela 16 - Volume médio diário para cada manobra (em UCP) e para o ano de 2037**

<b>Volume médio diário para o ano de 2037 (em UCP)</b>	
Manobra 1	6.667
Manobra 2	7.706
Manobra 3	1.887
Manobra 4	532
Manobra 5	473
Manobra 6	1.209
Manobra 7	25
Manobra 8	121
Manobra 9	88
Manobra 10	477
Manobra 11	55
Manobra 12	74

**Fonte: Autoria Própria**

#### 4.1.2 Análise dos volumes médios diários para as vias da interseção

Para fins de determinação do VMD em cada uma das vias da interseção estudada e a identificação das vias principal e secundária, foram analisadas as manobras de acordo com a origem do seu movimento (Rodovia PR-423 ou Rua João Stukas). A Tabela 17 apresenta as classificações para todas as manobras da interseção segundo a metodologia aqui descrita. A título de exemplo, a Manobra 4 provém da Rua João Stukas e tem como destino o perímetro urbano da cidade de Campo Largo.

**Tabela 17 – Classificação da origem de cada manobra com relação à respectiva via**

<b>Manobra</b>	<b>Origem</b>
1	Rodovia PR-423
2	Rodovia PR-423
3	Rodovia PR-423
4	Rua João Stukas
5	Rua João Stukas
6	Rua João Stukas
7	Rodovia PR-423
8	Rua João Stukas
9	Rua João Stukas
10	Rua João Stukas
11	Rodovia PR-423
12	Rodovia PR-423

**Fonte: Autoria Própria**

Com base na classificação supramencionada, foram efetuadas as somas de todas as manobras cuja origem é a Rodovia PR-423 ou a Rua João Stukas, tanto no ano atual quanto no ano horizonte de projeto. Foram então obtidos os valores resumidos na Tabela 18, os quais mostram claramente que a Rodovia PR-423 é a via principal e a Rua João Stukas, a via secundária. Deduz-se, portanto, que a rótula é uma opção a ser considerada para a interseção entre ambas as vias, uma vez que os fluxos na via secundária são expressivos (volume superior a 2.500 veíc/dia) e os fluxos na via principal são muito elevados (acima de 12.000 veíc/dia).

**Tabela 18 – Volume médio diário para as vias principal e secundária**

<b>Volume médio diário para as vias que compõem a interseção (veíc./dia)</b>			
<b>Via</b>	<b>2022</b>	<b>2037</b>	<b>Classificação</b>
Rodovia PR-423	8.739	12.694	Via Principal
Rua João Stukas	1.862	2.692	Via Secundária

**Fonte: Autoria Própria**

## 4.2 Análise de viabilidade da proposta de alteração da interseção

### 4.2.1 Metodologia do DNIT (2005)

Tendo em vista que os dados de contagem de tráfego obtidos junto ao DER/PR (2014) apresentam somente os volumes diários de tráfego por veículo e manobra – ou seja, sem a classificação de acordo com o horário do dia – foi necessário recorrer à literatura para determinar o fluxo veicular na hora crítica do dia ou hora de pico. Conforme explicado anteriormente, Gomes (2004) obteve um percentual de aproximadamente 11,8% do VMD como sendo representativo do fluxo na hora de pico em rodovias do estado do Ceará. Tal percentual está de acordo com outros estudos brasileiros, os quais reportaram valores entre 11% e 12% do VMD como sendo presentes na hora de pico. Em termos deste trabalho, utilizou-se o valor médio do intervalo identificado em trabalhos anteriores da literatura nacional – ou seja, 11,5% do VMD como base para cálculo do fluxo na hora de pico.

A Tabela 19 contempla a matriz origem-destino (O/D) dos fluxos projetados para a interseção durante a hora de pico e para o ano de projeto (2037), já convertidos em UCP. Na sequência, foram calculados os volumes de tráfego antes de cada via de entrada da interseção (*K*), vide Tabela 20. Ressalta-se o fato de que a numeração presente nas duas tabelas seguiu o padrão mostrado na Figura 35, além da hipótese de que cada uma das entradas da rótula contém uma única faixa de tráfego e a pista rotatória também apresenta uma faixa de tráfego. A entrada 1 é representativa dos fluxos provenientes de Campo Largo; a entrada 2 representa os fluxos provenientes da Colônia Balbino Cunha; a entrada 3 representa os fluxos provenientes de Araucária; e, por fim, a entrada 4 engloba os fluxos advindos da Rua João Stukas.

**Tabela 19 – Matriz origem-destino (O/D) na interseção estudada para o ano de 2037**

Matriz origem-destino (em UCP)					
O/D	1	2	3	4	Total
1		3	877	6	887
2	10		14	54	78
3	759	8		215	982
4	61	54	138		252
<b>Total</b>	830	65	1.029	275	2.199

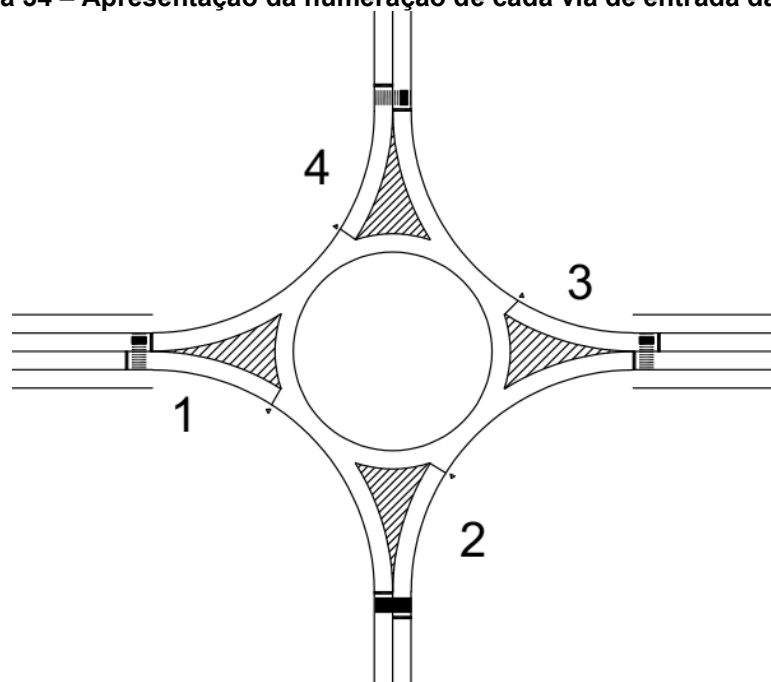
Fonte: Autoria Própria

Tabela 20 – Volumes de tráfego na pista rotatória antes de cada entrada (K) e no ano de 2037

Volumes de tráfego na rotatória antes de cada entrada		
$K_1 =$	200	UCP/h
$K_2 =$	1.021	UCP/h
$K_3 =$	70	UCP/h
$K_4 =$	778	UCP/h

Fonte: Autoria Própria

Figura 34 – Apresentação da numeração de cada via de entrada da rótula



Fonte: Autoria Própria

Na sequência, foram aplicadas as equações e ábacos constantes no manual do DNIT (2005) e descritos no Item 3.4 (Capítulo 3). Os valores resultantes para as capacidades básicas de entrada de todas as vias (G) são resumidos na Tabela 21.

Tabela 21 – Capacidades básicas de cada via de entrada da rótula (G) e para o ano de 2037

Capacidade básica de cada entrada da rotatória		
$G_1 =$	1.064	UCP/h
$G_2 =$	429	UCP/h
$G_3 =$	1.178	UCP/h
$G_4 =$	602	UCP/h

Fonte: Autoria Própria

Não há quaisquer menções referentes à contagem dos fluxos de pedestres na interseção, considerando os dados publicados por DER/PR (2014). De modo a preservar uma margem adequada de segurança aos eventuais transeuntes e



considerando a implantação da proposta de melhoramento da interseção, foi utilizado um fator de pedestres  $f_i = 0,95$  conforme já explicado. Tomando como referência a Figura 26 (Capítulo 3), tal mecanismo equivale à consideração de um fluxo de até 150 pedestres por hora. Sabe-se que não existem escolas, postos de saúde, médios comércios ou equivalentes, os quais poderiam demandar um valor maior de fluxo de pedestres. Para fins de comparação, o estudo realizado por Solek e Marcusso (2018) adotou um fator  $f_i = 1,00$  para uma interseção urbana na cidade de Curitiba/PR e ao redor da qual há inúmeros estabelecimentos comerciais de grande porte.

Com base nessas informações, foram calculadas as capacidades residuais de cada uma das entradas da rótula ( $R$ ) e os respectivos Tempos Médios de Espera ( $TMEs$ ) – vide Tabela 22. O nível de serviço de cada entrada também é mostrado na mesma tabela. Os valores individuais de  $TME$  foram considerados no cálculo do Tempo Médio de Espera da Rótula  $TMER$ , conforme discriminado na Equação (6) do Capítulo 3. Obteve-se então um valor de 21,9 s, o que representa um nível de serviço C para a proposta de melhoramento conforme Tabela 10 (Capítulo 3). Em outras palavras, a configuração escolhida – uma faixa para cada via de aproximação e uma faixa na pista rotatória – atende de forma satisfatória à projeção do fluxo veicular para o ano de 2037, horizonte de projeto.

**Tabela 22 – Capacidades corrigidas ( $C_i$ ) e residuais ( $R_i$ ), fluxos por entrada ( $Z_i$ ), tempos médios de espera ( $TMEs$ ) e níveis de serviço para cada entrada da interseção**

	$G_i$	$f_i$	$C_i$	$Z_i$	$R_i$	$TME_i$ (s)	Nível de serviço
<b>1</b>	1.064	0,95	1.010	887	124	25	C
<b>2</b>	429	0,95	408	78	330	10	A
<b>3</b>	1.178	0,95	1.119	982	136	23	C
<b>4</b>	602	0,95	572	252	320	10	A

**Fonte: Autoria Própria**

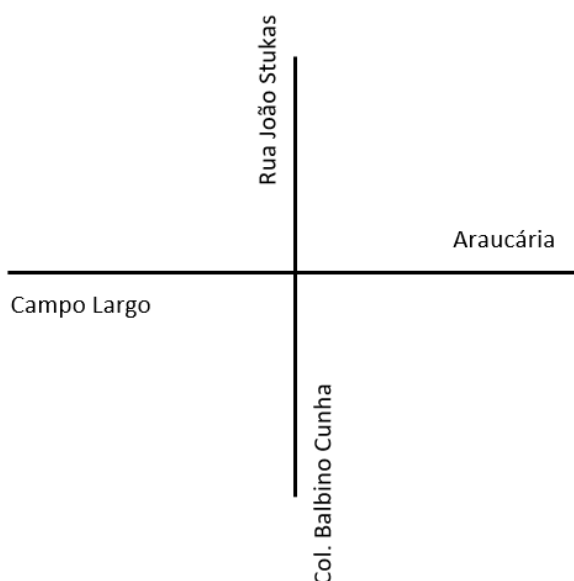
Dos resultados mostrados na Tabela 22 e na Figura 34, é possível visualizar que as entradas com nível de serviço C (1 e 3) estão situadas na Rodovia PR-423 – o que está de acordo com os volumes de tráfego estimados no ano de projeto. Por sua vez, as entradas provenientes da Rua João Stukas (2 e 4) são classificadas como nível de serviço A, apesar das capacidades inferiores pelo fato de o tráfego na pista rotatória ser maior antes de tais entradas. Conclui-se, portanto, que os dados realçam a boa escolha do *layout* do tipo rótula, além de garantir níveis adequados de eficiência e segurança para os eventuais usuários das vias que compõem a interseção.

#### 4.2.2 Metodologia do DENATRAN (1991)

Para fins de cálculo das capacidades de cada entrada da rótula segundo a metodologia do DENATRAN (1991), foi elaborado um anteprojeto da interseção (Apêndice A) e contendo todos os parâmetros geométricos necessários. Da mesma maneira que no caso da metodologia do DNIT (2005), o objetivo desta sugestão consiste na avaliação da viabilidade técnica do uso da rótula na interseção estudada, sem deixar de lado a segurança dos usuários e os parâmetros previstos na fundamentação teórica do procedimento de cálculo.

Neste sentido, verificou-se que uma adaptação no eixo da Estrada da Colônia Balbino Cunha poderia ser implantada na interseção. A entrada possui uma deflexão de aproximadamente  $70^\circ$  em relação ao eixo da Rodovia PR-423, o que implicaria em um raio de curvatura muito maior e tornaria desnecessária a entrada pela pista rotatória. Considerando a deflexão da entrada proveniente da Rua João Stukas em relação à Rodovia PR-423, verificou-se a existência de um ângulo praticamente igual a  $90^\circ$ . Sendo assim, considerou-se o deslocamento da entrada advinda da Colônia Balbino Cunha para que o alinhamento entre as entradas ocorresse de forma ortogonal, conforme apresentado na Figura 35.

**Figura 35 – Esquema da projeção dos alinhamentos de entrada de cada via presente na interseção**



**Fonte: Autoria Própria**

Em face do exposto e da simetria existente, os parâmetros geométricos essenciais aos cálculos das capacidades de entrada  $Q_e$  são os mesmos para todas as vias de acesso. A Tabela 23 apresenta o resultado obtido para a constante  $k$ , calculado com base no ângulo de entrada  $\Phi$  e no raio de curvatura  $R$ . Posteriormente, foram efetuados os cálculos necessários para determinação da constante  $F$  a partir da metade da largura da via de aproximação  $v$ , o comprimento do arco entre o início da curva e a entrada na pista rotatória  $l$  e a largura da entrada  $e$ . A Tabela 24 resume os resultados de todos estes parâmetros e constantes supramencionados.

**Tabela 23 – Resultado do coeficiente  $k$  para cálculo da capacidade das vias de entrada**

Parâmetro	Descrição	Resultado
$k$	Constante de cálculo	0,980708
$\Phi$	Ângulo de contato entre os fluxos de tráfego	43°
$R$	Raio de curvatura do meio-fio	42,3701 m

**Fonte: Autoria Própria**

**Tabela 24 – Resultado do coeficiente  $F$  para cálculo da capacidade das vias de entrada**

Parâmetro	Descrição	Resultado
$F$	Coefficiente de cálculo	1060,5
$v$	Metade da largura da aproximação	3,50 m
$e$	Largura da entrada	3,50 m
$S$	Constante de cálculo	0
$l$	Comprimento do arco entre a curva e a entrada da rótula	23,9163 m

**Fonte: Autoria Própria**

Finalmente, foi calculado o valor da constante  $f_c$  conforme resumido na Tabela 25. Além dos parâmetros acima descritos, o cálculo também levou em consideração o diâmetro do círculo inscrito  $D$  e o respectivo valor tabelado da constante  $t_D$  (Tabela 11).

**Tabela 25 – Resultado da constante  $f_c$  para cálculo da capacidade das vias de entrada**

Parâmetro	Descrição	Resultado
$f_c$	Constante de cálculo	0,295848
$D$	Diâmetro do círculo inscrito	45 m
$t_d$	Constante de correção	1,4088

**Fonte: Autoria Própria**

Com base nos resultados apresentados nas Tabelas 23 a 25, foi possível calcular as capacidades de cada via de entrada  $Q_e$ . Os fluxos circulantes na pista rotatória ( $Q_c$ ) são semelhantes aos valores de  $K_i$  já determinados segundo o método

do DNIT (2005), vide Tabela 20. Neste sentido, a Tabela 26 a seguir mostra os resultados da capacidade para cada entrada da interseção, bem como as respectivas taxas de ocupação  $\lambda_i$  para os fluxos de tráfego no ano de projeto (2037). Observa-se claramente que estas taxas de ocupação são muito elevadas (pelo menos 90%) para as entradas 1 e 3, ambas referentes à via principal. Também sinalizam que a operação de tais entradas se encontra praticamente no limite da operação, podendo possivelmente significar um nível de serviço D ou mesmo E. Por outro lado, os valores de  $\lambda_i$  são baixos no caso da via secundária (entre 10 e 30%). Em teoria, isto pode ser traduzido como um nível de serviço A ou até mesmo B.

**Tabela 26 – Resumo dos cálculos de capacidade, em UCP/h, para cada entrada ( $Q_e$ ) e sua respectiva taxa de ocupação ( $\lambda_i$ ) segundo o método do DENATRAN (1991)**

Entrada	$Q_e$	fluxo de entrada ( $Z_i$ )	$Q_e - Z_i$	fluxo circulante ( $Q_c$ )	$\lambda_i$
1	982	887	95	200	90%
2	744	78	666	1.021	10%
3	1.020	982	38	70	96%
4	919	252	667	778	27%

Fonte: Autoria Própria

#### 4.2.3 Comparações entre os resultados obtidos segundo o DNIT (2005) e o DENATRAN (1991)

Os resultados obtidos segundo os dois métodos são complementares entre si. A título de exemplo, os cálculos efetuados segundo o DNIT (2005) indicam que o nível de serviço das entradas da via principal (1 e 3) é igual a C, com tempos médios de espera relativamente elevados. Nesta mesma linha, o DENATRAN (1991) sugere que tais entradas apresentam taxas de ocupação elevadas, com valores de pelo menos 90%. Por sua vez, as duas entradas da via secundária (2 e 4) possuem nível de serviço A segundo o DNIT (2005) e taxas de ocupação inferiores a 30% segundo o DENATRAN (1991).

Considerando que não foi localizada uma literatura específica com delimitações e equivalências entre as taxas de ocupação e os níveis de serviço para uso no método do DENATRAN (1991), pode-se inferir que a rótula proposta neste trabalho (Apêndice A) atende aos requisitos mínimos de viabilidade técnica para implantação no cruzamento com a Rodovia PR-423 e a Rua João Stukas – mais especificamente, nível de serviço D ou melhor em todas as entradas. É importante

destacar também que, mesmo em áreas urbanas, estudos anteriores (SOLEK e MARCUSSO, 2018; SOUSA, 2018) também empregaram o método do DNIT (2005) para avaliações da capacidade e nível de serviço de rótulas.

Uma hipótese plausível para justificar a taxa de ocupação muito elevada na entrada 3 (96%) consiste na configuração geométrica da proposta feita no estudo. As premissas estão baseadas nos números de faixas nas vias de entrada e na pista rotatória – números estes que foram verificados quanto à viabilidade técnica segundo o método do DNIT (2005) – e suas respectivas larguras. Tais larguras são iguais a 3,50 m para todos os acessos à rótula, conforme detalhado no Apêndice A. A fim de evitar desapropriações e reduzir os custos de construção, optou-se pela otimização do espaço existente no local e pelo emprego de um diâmetro máximo possível para o círculo inscrito.

Eventualmente, outros parâmetros geométricos mais favoráveis ao aumento da capacidade da rótula poderiam resultar em taxas de ocupação inferiores, sobretudo no que tange ao diâmetro do círculo inscrito, à largura das faixas de entrada e ao ângulo de entrada. Em se aumentando o valor deste diâmetro, aumentam-se também os raios das curvas de cada entrada. Entretanto, tal alternativa poderia resultar em um aumento no custo da solução, afetando assim a relação custo-benefício da rótula. Cabe destacar ainda que, embora o ambiente seja majoritariamente urbano, foram adotados cálculos para determinação das capacidades de entrada devido ao fato de a interseção estudada estar em uma rodovia, tendo assim um fluxo rural. Por outro lado, o fluxo advindo da Rua João Stukas é urbano, mesmo que a via seja considerada secundária. Finalmente, enfatiza-se que a rótula reduz à metade os pontos de conflito no local e elimina todos os conflitos de cruzamento (Figura 36).

**Figura 36 - Comparação dos pontos de conflito entre a situação atual e a rotatória proposta**



Fonte: Autoria Própria; Adaptado de Google Earth (2022)

## 5 CONCLUSÃO

O cruzamento estudado neste trabalho, entre a Rua João Stukas e a Rodovia PR-423 (município de Campo Largo/PR), é considerado um local crítico, com um alto número de acidentes e muitos deles fatais. A configuração atual da interseção é uma rótula vazada, popularmente chamada de “trevo”. O problema mais grave desta configuração é o alto número de pontos de conflito, sendo equivalente a uma interseção normal e com uma das vias tendo a preferência nas manobras.

A análise de viabilidade técnica levou em consideração a implantação de uma rótula com uma faixa de tráfego no local, mantendo-se apenas uma faixa de tráfego em cada uma das suas entradas. Evitou-se ao máximo a necessidade de desapropriações e desvios na interseção proposta, a fim de minimizar os seus custos de construção. A única alteração geométrica feita na pesquisa consiste na readequação do eixo da entrada proveniente da Colônia Balbino Cunha (Rua João Stukas), tendo em vista o fato de a deflexão dos veículos ser incompatível com a geometria atual da via. Com relação aos fluxos de pedestres, cabe ressaltar que os dados coletados em campo não continham quaisquer menções a tais fluxos. No entanto, uma análise do entorno da interseção identificou a presença de pontos de ônibus e residências em um raio de 300 metros da interseção, o que indica a necessidade de consideração dos mesmos nos cálculos de capacidade e nível de serviço da rótula.

A nova geometria da interseção tem como foco a garantia de uma eficiência operacional das vias que se cruzam no local, estando as capacidades de todas as entradas compatíveis com os fluxos projetados para o ano de 2037 – níveis de serviço A e C nas vias secundária (Rua João Stukas) e principal (Rodovia PR-423), respectivamente, e segundo o método do DNIT. Em termos do método do DENATRAN, verificou-se que as taxas de ocupação das entradas da via principal são expressivas (pelo menos 90%) e os valores são muito baixos (até 30%) no caso das entradas da via secundária. Considerando o fato de o método do DENATRAN não efetuar associações entre estas taxas e os níveis de serviço da rótula, pode-se inferir que os dados são compatíveis entre si para ambos os métodos.

Cabe enfatizar que o método do DNIT é mais indicado para interseções localizadas em áreas rurais (ou não urbanas). Entende-se que é o melhor método para o local avaliado neste estudo, muito embora a Rua João Stukas tenha início em uma região com uma densidade populacional mais elevada e seu tráfego seja

majoritariamente urbano. Tal premissa é respaldada pelas características da área do cruzamento, composta principalmente por áreas de plantio e vegetação e com uma densidade populacional visivelmente inferior à de regiões mais urbanizadas.

Em síntese, a substituição da configuração atual da interseção (rótula vazada) por uma rotatória moderna com uma faixa de tráfego é altamente recomendada, tendo em vista o histórico de acidentes no local e o número elevado de pontos de conflito entre as manobras permitidas para os veículos. Além disso, sabe-se que uma rótula traz mais segurança ao deslocamento dos pedestres e motoristas que passam pela interseção, pois confere locais seguros para travessia dos pedestres e evita conflitos de cruzamento entre os veículos que ingressam na pista rotatória e os que adentram na mesma. Finalmente, os custos de construção de uma rótula são muito inferiores aos de uma interconexão, o que também traz benefícios do ponto de vista de economia de recursos financeiros.

Como sugestões para trabalhos futuros, são feitas as seguintes recomendações:

- Realização de um estudo de viabilidade econômica para implantação da rótula sugerida nesta pesquisa, além dos eventuais impactos ambientais decorrentes da sua construção; e
- Avaliação do desempenho da rótula em simuladores de tráfego, mostrando aspectos como o atraso médio dos veículos e os tamanhos máximos das filas em cada aproximação.

## REFERÊNCIAS

- AASHTO. **Highway safety design and operations guide**. Washington, DC: American Association of State Highway and Transportation Officials, 1997.
- ALBANO, J. F. **Noções sobre interseções**. Notas de aula. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007. Disponível em: [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420\\_14-intersecoes\\_apresentacao.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420_14-intersecoes_apresentacao.pdf). Acesso em: 19 mai. 2022.
- ALVARENGA, H. Matriz de transportes do Brasil à espera dos investimentos. **Portal ILOS**, 21 ago. 2020. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/matriz-de-transportes-do-brasil-a-espera-dos-investimentos/>. Acesso em: 19 mai. 2022.
- ABNT. **ABNT NBR 10697**: Pesquisa de sinistros de trânsito - terminologia. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 2020.
- AND. Brasil já tem 1 carro a cada 4 habitantes, diz Denatran. **Portal da Associação Nacional dos Detrans (AND)**, 10 mar. 2014. Disponível em: <http://www.and.org.br/brasil-ja-tem-1-carro-a-cada-4-habitantes-diz-denatran>. Acesso em 19 mai. 2022.
- AGÊNCIA CNT TRANSPORTE ATUAL. Uma década de Lei Seca: veja 10 fatos que mostram os impactos da norma. **Portal da Agência CNT Transporte Atual**, Confederação Nacional do Transporte, Brasília, 18 jul. 2018. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/agencia-cnt/10-fatos-lei-seca-uma-decada-vigencia>. Acesso em 19 mai. 2022.
- BARROS, A. J. D.; AMARAL, R. L.; OLIVEIRA, M. S. B.; LIMA, S. C.; GONÇALVES, E. V. Acidentes de trânsito com vítimas: sub-registro, caracterização e letalidade. **Cadernos de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 4, p. 979-986, jul.-ago. 2003. doi: 10.1590/S0102-311X2003000400021.
- BRILON, W. Studies on roundabouts in Germany: lessons learned. *In*: INTERNATIONAL TRB-ROUNDBOUT CONFERENCE, 3, Carmel, 2011. **Proceedings...** Washington (DC): Transportation Research Board, 2011.
- BRASIL. **Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997**. Institui o Código de Trânsito Brasileiro. Brasília: Casa Civil, 1997. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2008/lei/l11705.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2008/lei/l11705.htm). Acesso em: 20 mai. 2022.
- \_\_\_\_\_. **Lei nº 11.705, de 19 de junho de 2008**. Lei Seca. Brasília: Casa Civil, 2008. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/ato2007-2010/2008/lei/l11705.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2007-2010/2008/lei/l11705.htm). Acesso em: 20 mai. 2022.
- CABRAL, A. P. S.; SOUZA, W. V.; LIMA, M. L. C. Serviço de atendimento móvel de urgência: um observatório dos acidentes de transportes terrestre em nível local. **Revista Brasileira de Epidemiologia**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 3-14, mar. 2011. doi: 10.1590/S1415-790X2011000100001.



CAMPO LARGO. **Lei Municipal nº 3.000, de 19 de dezembro de 2018**. Dispõe sobre o plano diretor de desenvolvimento integrado do município de Campo Largo e dá outras providências. Câmara Municipal: Campo Largo, 2018. Disponível em: <https://leismunicipais.com.br/a/pr/c/campo-largo/lei-ordinaria/2018/300/3000/lei-ordinaria-n-3000-2018-dispoe-sobre-o-plano-diretor-de-desenvolvimento-integrado-do-municipio-de-campo-largo-e-da-outras-providencias>. Acesso em: 11 abr. 2022.

CARMO, C. L.; JUNIOR, A. A. R. Segurança em rodovias inseridas em áreas urbanas na região sul do Brasil. **Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, Curitiba, v. 11, e20180182, 2019. doi: 10.1590/2175-3369.011.e20180182.

CÉ, G. L. **Estudo de melhoria de interseção ERS 324/KM 181+110**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Faculdade IMED, Passo Fundo, 2019.

CNT. **Anuário CNT do transporte**: estatísticas consolidadas. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2021. Disponível em: <https://anuariodotransporte.cnt.org.br/2021/Inicial>. Acesso em 19 mai. 2022.

\_\_\_\_\_. **Painel CNT do transporte – rodoviário**. Brasília: Confederação Nacional do Transporte, 2022. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-rodoviario>. Acesso em 30 mar. 2022.

CNTTL. Modal rodoviário: história do transporte rodoviário no Brasil. **Caderno de Resoluções 6º Congresso da CNTT-CUT**, Confederação Nacional dos Trabalhadores em Transportes e Logística, Brasília, 2005. Disponível em: <https://cnttl.org.br/modal-rodoviario>. Acesso em 19 mai. 2022.

COLELLA, D. A. T. **Comportamento dos motoristas em interseções semaforizadas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

COSTA, J. P. B. **Mini-rotatórias: contribuição na redução de conflitos em interseções urbanas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

DENATRAN. **Manual de identificação, análise e tratamento de pontos negros**. 2. ed. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito, 1987.

DER/PR. **Aviso nº 462/2013, de 09 de outubro de 2013**. Resultado da concorrência nº 002-2013-DER/DT/SRLESTE. Curitiba: Diário Oficial do Estado do Paraná, 2013. Disponível em: <https://www.escavador.com/diarios/650170/DOEPR/comercio,-industria-e-servicos/2013-10-10?page=10>. Acesso em: 19 mai. 2022.

\_\_\_\_\_. **Projeto executivo de engenharia da interseção da rodovia PR-423, com acesso secundário à Campo Largo, no km 19+600, no município de Campo Largo, numa extensão aproximada de 1,20km**: volume 3 – memória justificativa. Curitiba: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Paraná, 2014.

DENATRAN. **Manual de projeto de interseções em nível e não-semaforizadas em áreas urbanas**. 2. ed. Brasília: Departamento Nacional de Trânsito, 1991.

DNER. **Conservação, restauração e melhoramentos - terminologia**. Documento DNER-TER 02-79. Brasília: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1979.

\_\_\_\_\_. **Elaboração de ações preventivas e corretivas de segurança rodoviária, por meio de identificação e mapeamento dos segmentos críticos da malha viária do DNIT: Fase I – Identificação e proposição de melhorias em segmentos críticos da malha rodoviária federal**. Brasília: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2009.

DNIT. **Manual de estudos de tráfego**. IPR Publ. 723. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.

\_\_\_\_\_. **Manual de projeto de interseções**. 2. ed. IPR Publ. 718. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2005.

\_\_\_\_\_. O cinto de segurança salva vidas, use sempre. **Coordenação-Geral de Comunicação Social**, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Brasília, 07 ago. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/o-cinto-de-seguranca-salva-vidas-use-sempre#:~:text=Deixando%20%20mil%20pessoas%20feridas,item%2C%20tamb%C3%A9m%20pode%20evitar%20acidente>. Acesso em 19 mai. 2022.

FAN, F. Study on the cause of car accidents at intersections. **Open Access Library Journal**, Shanghai, v. 5, e4578, mai. 2018. doi: 10.4236/oalib.1104578.

FAUSTO, B. **História do Brasil**. 13. ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2008.

FERRAZ, A. C. P. C.; RAIJA JUNIOR, A. A.; BEZERRA, B. S.; BASTOS, J. T.; RODRIGUES, K. C. R. **Segurança viária**. São Carlos: Suprema Gráfica e Editora, 2012.

FHWA. **Integrating the safe system approach with the highway safety improvement program: an informational report**. Report No. FHWA-SA-20-018. Washington (DC): Federal Highway Administration, 2020.

\_\_\_\_\_. Intersection safety: background and objectives. **Turner-Fairbank Highway Research Center**, Federal Highway Administration, Washington (DC), 26 ago. 2021. Disponível em: <https://highways.dot.gov/research/research-programs/safety/intersection-safety>. Acesso em 19 mai. 2022.

\_\_\_\_\_. Nighttime visibility: general information. **Federal Highway Administration**, Washington (DC), 5 mai. 2017. Disponível em: [https://safety.fhwa.dot.gov/roadway\\_dept/night\\_visib/general-information.cfm](https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/night_visib/general-information.cfm). Acesso em 19 mai. 2022.

\_\_\_\_\_. **Roundabouts: an informational guide**. Report No. FHWA-RD-00-067. Washington (DC): Federal Highway Administration, 2000.

FGV. Governo Juscelino Kubitschek (1956-1961). **Atlas Histórico do Brasil**, Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, 2016. Disponível em: <https://atlas.fgv.br/marcos/governo-juscelino-kubitschek-1956-1961/mapas/estradas-de-rodagem-expansao-de-1957-1964>. Acesso em: 19 mai. 2022.

GOOGLE EARTH. Objeto do estudo. **Google Earth**, 2022. Disponível em: [https://earth.google.com/web/@\\_25.50964973,49.54512485,892.40275168a,1000d,30y,0h,0t,0r](https://earth.google.com/web/@_25.50964973,49.54512485,892.40275168a,1000d,30y,0h,0t,0r). Acesso em 24 abr. 2022.

GOMES, M. J. T. L. **Volume horário de projeto para as rodovias estaduais do Ceará: análise e contribuição**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

HOFFMANN, M. H. Comportamento do condutor e fenômenos psicológicos. **Psicologia: Pesquisa & Trânsito**, Itajaí, v. 1, n. 1, p. 17-24, jul./dez. 2005.

IBGE. Frota de veículos no estado do Paraná. **Portal Oficial do IBGE**, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2022. Disponível em: [https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/22/28120?indicador%3D28122%26localidade1%3D0%26localidade2%3D410690%26ano%3D2020=&source=gmail&ust=1652893484851000&usq=AOvVaw1ZCI\\_q2qNdwwM9TchEIZZd](https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/pesquisa/22/28120?indicador%3D28122%26localidade1%3D0%26localidade2%3D410690%26ano%3D2020=&source=gmail&ust=1652893484851000&usq=AOvVaw1ZCI_q2qNdwwM9TchEIZZd). Acesso em 22 abr. 2022.

ICETTRAN. Condições adversas da direção defensiva. **Portal ICETTRAN**, Florianópolis, 05 jun. 2019. Disponível em: <https://icetran.com.br/blog/condicoes-adversas-da-direcao-defensiva-2/>. Acesso em: 19 mai. 2022.

INFOSIGA. Painel de Resultados. **Governo do Estado de São Paulo**, Sistema de Informações Gerenciais de acidentes de trânsito do Estado de São Paulo, São Paulo, 2022. Disponível em <http://painelderresultados.infosiga.sp.gov.br/dados>. Acesso em 20 mai. 2022.

JOHANSSON, R. Vision zero – implementing a policy for traffic safety. **Safety Science**, Amsterdam, v. 47, n. 6, p. 826-831, jul. 2009. doi: 10.1016/j.ssci.2008.10.023.

LASTRAN. **Interseções**. Notas de aula. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: [http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420\\_14intersecoes.pdf](http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/420_14intersecoes.pdf). Acesso em: 21 mai. 2022.

MOGNON, J. F; SANTOS, A. A. A. Avaliação do comportamento do motorista, lócus de controle e estilos de direção no trânsito. **Temas em Psicologia**, Ribeirão Preto, v. 25, n. 4, p. 1621-1635, dez. 2017. doi: 10.9788/TP2017.4-07.

NERIS, D. F. **Melhoria do desempenho do tráfego em rotatórias com o emprego de semáforos próximos na via principal**. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

NETO, J. C. **Aplicações da engenharia de tráfego na segurança dos pedestres**. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1996.

NHTSA. Fatality and injury reporting system tool (FIRST). **United States Department of Transportation**, National Highway Traffic Safety Administration, Washington (DC), 2022. Disponível em: <https://cdan.dot.gov/query>. Acesso em 19 mai. 2022.

OGAWA, V. Rotatórias para organizar o trânsito em Londrina. **Folha de Londrina**, Londrina, 21 mar. 2019. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/cidades/rotatorias-para-organizar-o-transito-em-londrina-2936367e.html>. Acesso em: 19 mai. 2022.

PEDROSA, G. H.; SEQUINEL, L. F.; PAULINO, R.S. Análise da capacidade e nível de serviço em interseções de vias urbanas. *In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO*, 18, Porto Alegre, 2020. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2020.

PEÑA, C. C.; GOLDNER, L. G. Caracterização e análise dos acidentes em interseções: um estudo de caso em rodovias de Santa Catarina, no Brasil. *In: PAN AMERICAN CONGRESS ON TRAFFIC ENGINEERING, TRANSPORT & LOGISTICS*, 17, Santiago, 2012. **Proceedings...** Barranquilla: Panamerican Society for Transport and Research, 2012.

REDAÇÃO. Motociclista morre no 'trevo da morte', na PR-423, após colisão com caminhão. **Estradas – O Portal de Rodovias do Brasil**, Rio de Janeiro, 15 mai. 2019. Disponível em: <https://estradas.com.br/motociclista-morre-no-trevo-da-morte-na-pr-423-apos-ser-atingido-por-caminhao/>. Acesso em: 01 abr. 2022.

RENCELJ, M.; TOLLAZZI, T. Modern and alternative types of roundabouts – state of the art. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ENVIRONMENTAL ENGINEERING*, 9, Vilnius, 2014. **Proceedings...** Vilnius: VGTU Press, 2014. doi: 10.3846/enviro.2014.137.

REGINALDO, B. G. **Microssimulação de tráfego de uma interseção no bairro Pantanal no município de Florianópolis**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

RPC CURITIBA. Moradores dizem que acidentes são frequentes em trevo onde táxi, ônibus e caminhão bateram na PR-423, em Campo Largo. **G1 – O portal de notícias da Globo**, Seção Paraná, Curitiba, 14 abr. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/pr/parana/noticia/2021/04/14/moradores-dizem-que-acidentes-sao-frequentes-em-trevo-onde-taxi-onibus-e-caminhao-bateram-na-pr-423-em-campo-largo.ghtml>. Acesso em: 19 mai. 2022.

SEIXAS, I. M. **Política de atração de investimentos estrangeiros diretos no contexto do plano de metas do governo Juscelino Kubitschek**. 2019. Monografia (Especialização em Relações Internacionais) – Instituto de Relações Internacionais, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SILVA, A. M. C. B; SECO, A. J. M. **Dimensionamento de rotundas**: documento síntese. Lisboa: Instituto de Infra-Estruturas Rodoviárias, 2004.

\_\_\_\_\_. **Manual do planejamento de acessibilidades e transportes**: 06 – rotundas. Porto: Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Norte, 2008.

SILVA, M. D. A. **Estudo da rotatória da praça José Américo em Campina Grande-PB**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

SOLEK, M. J.; MARCUSSO, L. G. **Proposta de remodelação de uma interseção rodoviária na cidade de Curitiba/PR com foco na segurança dos usuários e na capacidade de tráfego.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

SOUSA, L. A. P.; RIBEIRO, P. C. M. Tempo de percepção e reação dos motoristas em interseções semaforizadas. *In*: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 27, Belém, 2013. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2013.

SOUSA, R. R. **Caracterização do fluxo e apontamento de alternativas para melhoria do tráfego em cruzamentos por rotatória: estudo da rotatória da AV. NS-02 com a LO-05 na cidade de Palmas-TO.** Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas, 2018.

SOUZA, T. C.; SOUZA, M. V. R.; SIDEL, S. M. Avaliação das características e elementos geométricos das rotatórias de Palmas/TO. *In*: CONGRESSO DE ENSINO E PESQUISA EM TRANSPORTES, 33, Balneário Camboriú, 2019. **Anais...** Rio de Janeiro: Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, 2019. p. 3404-3411.

SOUZA, J. V. **Segurança de pedestres em rotatórias urbanas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

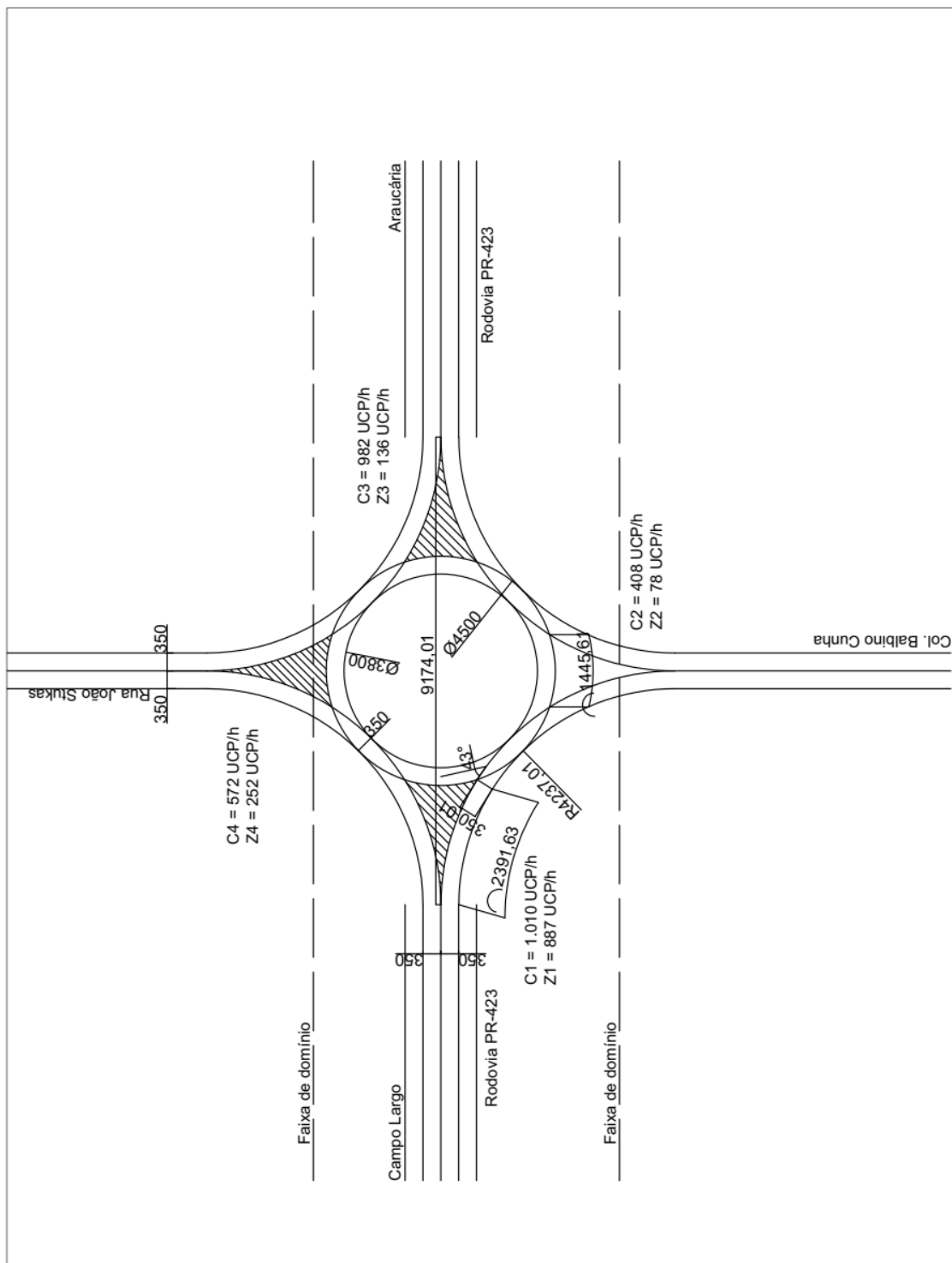
TAEKRATOK, T. **Modern roundabouts for Oregon.** Report No. OR-RD-98-17. Salem: Oregon Department of Transportation, 1998.

TRB. **Highway capacity manual 2000.** Washington (DC): Transportation Research Board, 2000.

WHO. **Global status report on road safety: time for action.** Geneva: World Health Organization, 2009.

\_\_\_\_\_. **Global status report on road safety 2018.** Geneva: World Health Organization, 2018.

**APÊNDICE A - Detalhamento do anteprojeto da rótula moderna proposta a  
interseção deste estudo**



**APÊNDICE B - Anteprojeto da solução proposta com sinalização vertical e horizontal**



