



University of
Texas Libraries



e-revist@s



Centro Unversitário Santo Agostinho

revistafsa

www4.fsnet.com.br/revista

Rev. FSA, Teresina, v. 17, n. 7, art. 11, p. 219-238, jul. 2020

ISSN Impresso: 1806-6356 ISSN Eletrônico: 2317-2983

<http://dx.doi.org/10.12819/2020.17.7.11>

DOAJ DIRECTORY OF
OPEN ACCESS
JOURNALS

WZB
Wissenschaftszentrum Berlin
für Sozialforschung



Impacto de um Polo Gerador de Viagens no Nível de Serviço de Rotatória em uma Capital Nordeste

Impact of a Travel Generator Polo in the Rotating Service Level in a Northeast Capital

André Saker de Moraes

Especialista em Mobilidade Urbana e Trânsito pela Faculdade Futura
Gerente de Engenharia do Departamento Municipal de Trânsito e Transporte de Timon/MA
E-mail: andresaker76@gmail.com

Francisco de Tarso Ribeiro Caselli

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Piauí
Professor Universidade Federal do Piauí
E-mail: tarso.caselli@ufpi.edu.br

Anderson Mendes Andrade

Bacharel em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Piauí
E-mail: anderson@ufpi.edu.br

Endereço: André Saker de Moraes

Prefeitura Municipal de Timon - Pça. São José, S/N -
Centro, CEP 65630-000, Brasil.

Endereço: Francisco de Tarso Ribeiro Caselli

Universidade Federal do Piauí - UFPI Campus
Universitário Ministro Petrônio Portella Bairro Ininga -
Teresina - PI - CEP: 64049-550, Brasil.

Endereço: Anderson Mendes Andrade

Universidade Federal do Piauí - UFPI Campus
Universitário Ministro Petrônio Portella Bairro Ininga -
Teresina - PI - CEP: 64049-550, Brasil.

Editor-Chefe: Dr. Tonny Kerley de Alencar Rodrigues

Artigo recebido em 14/04/2020. Última versão
recebida em 29/04/2020. Aprovado em 30/04/2020.

Avaliado pelo sistema Triple Review: a) Desk Review
pelo Editor-Chefe; e b) Double Blind Review
(avaliação cega por dois avaliadores da área).

Revisão: Gramatical, Normativa e de Formatação



RESUMO

O presente trabalho busca analisar como uma rotatória numa metrópole do Nordeste é afetada pelo aumento do tráfego gerado por alocação de um polo gerador de viagens em sua área. O trabalho contou com levantamento bibliográfico sobre o tema e utilizou amostragem e observação *in loco* obedecendo à metodologia do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes -DNIT, realizando a contagem do número de veículos nos quatro pontos da rótula, conforme mostra, anotando as placas dos veículos que entravam e saíam da rotatória fazendo uma linha de segmentação a cada 15 minutos. Os dados foram tabulados e analisados com auxílio do MS Excel ®. Os resultados mostraram que, em se mantendo a taxa de crescimento atual de 7% para frota, o nível de serviço em horário de pico irá cair de forma acentuada chegando ao pior nível em 2022. Também se observou que o não respeito às regras de condução também causa atrasos e conflitos reduzindo a segurança no tráfego da rotatória. As propostas sugeridas são a alocação de mecanismos auxiliares de redução de tempo como semáforos e campanha educativa para manter o nível de serviço.

Palavras-chave: Tráfego. Rotatória. Nível de Serviço.

ABSTRACT

The present work seeks to analyze how a roundabout in a metropolis in the Northeast is affected by the increase in traffic generated by the allocation of a pole that generates trips in its area. The work included a bibliographic survey on the subject and used sampling and observation *in loco*, following the methodology of the National Department of Transport Infrastructure - NDIT, counting the number of vehicles in the four points of the spine, as shown by noting the license plates of the vehicles that they entered and left the roundabout making a segmentation line every 15 minutes. The data were tabulated and analyzed with the aid of MS Excel ®. The results showed that if the current growth rate of 7% for the fleet is maintained, the service level during peak hours will drop sharply reaching the worst level in 2022. It has also been observed that failure to respect driving rules also causes delays and conflicts reducing traffic safety at the roundabout. The suggested proposals are the allocation of auxiliary time-saving mechanisms such as traffic lights and an educational campaign to maintain the level of service.

Keywords: Traffic. Roundabout. Service Level.

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios no desenvolvimento das cidades é o planejamento da mobilidade dentro desta, uma vez que ela diz respeito ao deslocamento de pessoas e recursos necessários para o funcionamento social. Nesse sentido, os grandes centros urbanos que possuem maior concentração de pessoas enfrentam maiores dificuldades na gestão deste. Segundo Machado e Piccinini (2018), a concentração cada vez maior da população e a utilização do transporte individual são um problema na formulação das políticas públicas de mobilidade no mundo.

Segundo dados da Associação Nacional dos Detrans/ADN, o Brasil apresentou um considerável crescimento em sua frota total de veículos automotores, apresentando uma média de 4,4 habitantes por automóvel na década de 2010 contra 4,7 na década anterior (AND,2020). Incluindo nessa realidade estão as grandes cidades brasileiras como Teresina/PI e, segundo dados do IBEG (2020), temos uma frota estimada em 492.946 veículos com uma proporção aproximada de um veículo para cada 1,8 habitante, ou seja, maior que a média nacional, constituindo um enorme desafio para os governos e organismo de gestão. Este fato aliado ao crescimento horizontal das cidades ocasionam um maior número de deslocamentos de pessoas que utilizam seu veículo particular para obter acesso aos serviços que a cidade oferece.

Alguns dos componentes de maior impacto são os Polos Geradores de Viagens (PGV's), empreendimentos que geram um aumento substancial do tráfego na sua região (MENDES; SORRATINI, 2014). Este aumento de tráfego pode ocasionar um impacto negativo para a qualidade de vida da população se a malha viária de acesso ao empreendimento não apresentar capacidade para atender a esse aumento de demanda sem diminuição da qualidade de serviço.

As alterações no fluxo do trânsito decorrentes dos PGV's que afetam as vias e suas intersecções tornam necessária a utilização de mecanismos de orientação, direcionamento e controle do trânsito como sinalizações horizontais e verticais, sinais semafóricos, intersecções, entre outros. Na classe intersecção, temos as rótulas ou rotatórias urbanas.

As rótulas têm sido amplamente empregadas em todo mundo devido à sua praticidade e resultados satisfatórios (SORRATINI, *et al.*, 2002). Entretanto, a opção de utilizar uma rótula deve ser tomada baseada em um estudo do comportamento do fluxo atual e futuro para que esta cumpra aquilo para que foi concebida a curto e longo prazo.

Diante do exposto, o presente trabalho propõe-se analisar a capacidade de uma rótula de recebimento de um empreendimento comercial caracterizado como um PGV em suas intermediações, a fim de classificar o nível de serviço atual e fazer uma projeção no decorrer dos anos com o aumento de frota. De forma a alertar sobre a necessidade da utilização de medidas mitigadoras previamente à instalação do PGV.

A necessidade de deixar ciente a Prefeitura de Teresina- Piauí para obtenção de licenciamento do empreendimento junto ao Departamento de Trânsito Municipal, sobre a qualidade de serviço oferecido por uma rótula, possibilita inferir medidas que minimizam os impactos negativos futuros, (como congestionamento) que a construção de um PGV na sua área de influência ocasionará ao nível de serviço oferecido por ela.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gestão do Tráfego

A Engenharia de Tráfego é uma ciência cujo objeto de estudo é a mobilidade, possuindo como objetivo garantir que pessoas e mercadorias cheguem ao seu destino em tempo hábil com um nível de segurança adequado (FERREIRA; LEITE, 2017)

A depender do volume de trânsito em determinados pontos como intersecções, são necessárias medidas de justes para manter a qualidade e segurança como semáforos, viadutos, rotatórias, entre outros. As rotatórias apresentam a vantagem na redução de filas e atrasos por facilitar a conversão por evitar conflitos entre os veículos que trafegam em sentidos opostos (NERIS; FERRAZ; LAROCCA, 2019).

Os projetos de sistemas de regulação do trânsito devem atender à demanda atual e futura dentre parâmetros estipulados de forma a garantir que uma alteração no projeto não seja necessária a curto e médio prazo. Para atingir esse objetivo, é preciso conhecer o nível de serviço de uma via, essencial para garantir que o projeto seja capaz de atender à demanda mantendo a qualidade do tráfego, assegurando segurança e economia aos usuários (ESPINDOLA; TEIXEIRA, 2018).

Em geral, essas estimativas são baseadas em metodologias determinísticas da quantidade de veículos que fazem uso de uma via de circulação, bem como o estudo das leis básicas do estudo de tráfego (PEREIRA *et al.*, 2013).

De acordo com DNIT (2005), as pesquisas de tráfego viário possibilitam o conhecimento da quantidade de veículos que trafegam em um determinado segmento de uma via, em um determinado período, nas condições atuais.

2.2 Rótulas de Trânsito

Segundo Neris e Ferraz (2014), uma rotatória/rótula contribui para a segurança viária utilizada em intersecções onde os veículos se movem, contornando uma ilha central e podem realizar as ações de passagem direta; conversão à direita ou à esquerda e retorno. Trueblood e Dale (2003) apontam que este dispositivo também pode melhorar a fluidez do tráfego por permitir o escoamento mais rápido que outros tipos.

Tecnicamente as rotatórias são mecanismos de intersecção onde os veículos transitam em torno de uma linha central em sentido anti-horário com uma ilha central em formato circular e tem um tempo de fluxo menor que os semáforos (DA SILVA *et al.*, 2019)

Estas também apresentam desvantagens como necessidade de maior espaço físico para serem implantadas e têm maior custo de implantação. Coelho (2012) destaca que um dos pontos críticos em sua implantação é o dimensionamento do projeto que deve ser previsto com base na previsão futura final, porque devido à sua natureza muito dificilmente podem ser alteradas depois de construídas.

A escolha pelo tipo de intersecção irá depender de um rigoroso estudo de viabilidade e, optando-se por esta modalidade, pode apresentar mais de uma tipologia.

2.3 Tipologia das Rótulas

Para o *Roundabouts: an Informational Guide* / Rotatórias: um guia de informações - RIG (2010), as rotatórias são classificadas de acordo com o tamanho e o ambiente para determinar as especificações de desempenho e design, sendo subdivididas em seis categorias levando em consideração o ambiente, número de faixas e tamanho sendo eles:

Minirrotatórias: possuem canteiro central transitável e são utilizadas principalmente em ambientes urbanos de baixa velocidade, média de 50km/h, possuem menores custos, projeto e implantação. Elas possuem ilha central totalmente transitável, mas seu desenho visa que os veículos não precisem atravessar a linha central. São recomendadas quando não há caminho para alocar uma rotatória tradicional de pista única.

Rotatória de Faixa Única: se caracteriza por ter uma faixa única de entrada e saída de veículos. Possui diâmetros maiores que a mini e permite velocidades um pouco maiores nas vias de entradas, circulação e saída e, em geral, sua ilha central é intransponível e ilhas divisórias elevadas. O tamanho desta rotatória é muito influenciado pela escolha do design veículo e faixa de passagem disponível.

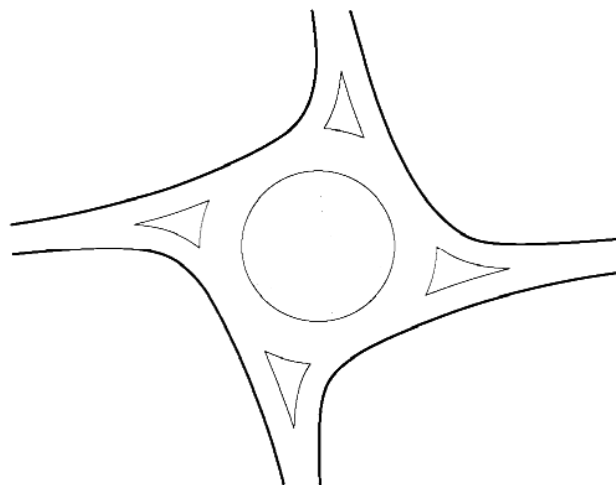
Multi Faixas: estas possuem pelo menos uma entrada com duas ou mais faixas e podem ter números diferentes de faixas e necessitam de vias circulatórias mais amplas para acomodar os veículos que transitam lado a lado no trajeto circular. As demais características são similares ao de pista única, sendo que as velocidades médias iguais ou mais altas que as mais simples. A Tabela 1 mostra um resumo das características destes projetos.

Tabela 1- Características das rotatórias segundo RIG (2010)

Itens do Projeto	Tipologia da Rotatória		
	Mini	Faixa Única	Multi Faixas
Velocidade máx. de acesso (km/h)	25 a 30	30 a 40	40 a 50
Quantidade máx. de faixa de acesso por ramo de aproximação	1	1	≥2
Diâmetro interno padrão (m)	13 a 27	27 a 55	45 a 90
Configuração ilha central	totalmente transponível	elevada não transponível	elevada não transponível
Volume de serviço diário padrão para intersecções de até 4 ramos. (veículos/dia)	≤15 mil	≤25 mil	≤45 mil (caso duas faixas)

Fonte: Adaptado de Souza (2012)

No Brasil a classificação adotada é do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT (2005) em dois tipos: Rótula Convencional, quando a prioridade do tráfego são os do ramo de acesso e Rótula Moderna, quando a prioridade do tráfego é de quem circula na rotatória. Quanto à estrutura, ambas apresentam *design* similar como mostra a Figura 1:

Figura 1 – Design de Rotatória

Fonte: Adaptado de DNIT (2005)

A diferença entre as classificações reside no fato de que o DNIT (2005) considera o sentido do fluxo para diferenciação do tipo e a do RIG (2010) considera o design do projeto. Desta forma, elas não se contradizem. Deste modo, teremos seis classificações no geral: são as três (3) do RIG que podem assumir uma das duas (2) do DNIT para efeito de estudo. Conhecendo as tipologias, é preciso saber quais critérios são necessários para avaliação do tipo e implantação de uma rótula viária que pode ser definida como rotatória moderna.

2.4 Critérios para Implantação de Intersecções

A implantação das intersecções deve obedecer a critérios técnicos de estudo para se estimar seu tamanho e tipo escolhido, entre os principais critérios que são descritos pelo *Highway Capacity Manual* /Manual de Capacidade de Rodovias – HCM (2010) em conjunto com o Manual de Projeto de Intersecções (DNIT, 2005) que é uma adaptação do HCM. Segundo estes manuais, são estes os principais critérios:

Contagens Volumétricas: têm como objetivo quantificar e diferenciar cada tipo de veículo que passa por um determinado segmento de uma via, em uma determinada unidade de tempo, no sentido de seu movimento.

Pesquisas de Origem e Destino: esse tipo de pesquisa em rotatória permite a identificação dos mesmos elementos da contagem volumétrica, além de possibilitar o conhecimento de origem e destino de um veículo em uma rotatória.

A capacidade de uma via é um parâmetro que mede o quanto de tráfego ela suporta. De acordo com Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT (2005), a capacidade de uma rótula está relacionada com a ilha central, entradas e saídas da intersecção, pista para tráfego circulatório e travessias de pedestres.

Capacidade Básica de Entrada (G_i)

Segundo DNIT (2005), a capacidade básica de cada entrada (i) da rotatória pode ser encontrada pela seguinte equação 1:

$$G_i = 3600 \times \left(1 - \frac{t_{\min} \times k_i}{n_k \times 3600} \right) \times \frac{n_{\text{E}}}{t_f} \times \exp \left[-\frac{k_i}{3600} \times \left(t_g - \frac{t_f}{2} - t_{\min} \right) \right] \quad (1)$$

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

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

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

n_{E_i} = número de faixas de tráfego na entrada;

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

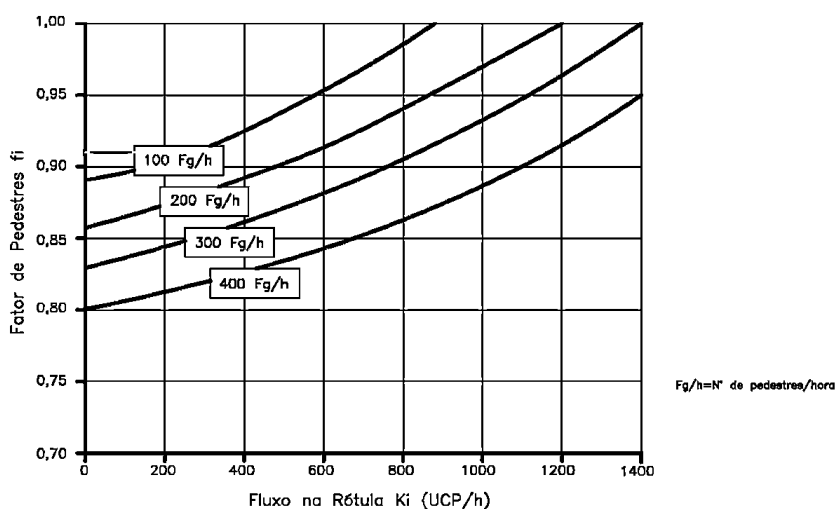
t_f = valor médio do intervalo entre dois veículos sucessivos da entrada, que entram no mesmo intervalo de veículos da rotatória, em segundos;

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

Os valores adotados de t_g , t_f , t_{\min} serão de 4,1; 2,9; 2,1 segundos. Valores recomendados para o Brasil.

Outros fatores importantes são: Fator pedestre, Capacidade de Entrada e Residual. De acordo com Marcusso e Solek (2018), para toda entrada (i) da rótula determina-se o Fator de Pedestre (f_i) tendo como unidade o número de pedestres por hora (F_g/h). O Fator de Pedestres redutor (f_i) leva em consideração o número de faixas da entrada e da pista de circulação da rotatória. Usam-se diferentes gráficos, por exemplo um gráfico para uma faixa de entrada e outro para duas faixas de entrada na rotatória. O gráfico (1) apresenta os valores do Fator de Pedestre para 2 faixas de tráfego.

Gráfico 1 – Fator de Redução (f_i) para duas faixas para entrada e tráfego na rótula



Fonte: Adaptado de Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005; p.197)

De posse dos valores da Capacidade Básica de Entrada e Fator de Pedestres, é possível calcular a Capacidade da Entrada (i), pela equação 2:

$$C_i = G_i \times f_i \quad (2)$$

Onde: C_i = capacidade de entrada i (ucp/h);

G_i = capacidade básica (ucp/h);

f_i = fator de pedestre.

Por fim, é possível calcular a Capacidade Residual que determina a capacidade da via. Se o valor for positivo, a via não está operando na sua capacidade máxima; se for negativo, a via está operando com um fluxo além da sua capacidade máxima, e, caso seja zero, está operando na sua capacidade máxima. A partir desse parâmetro, verifica-se o tempo médio de espera e o nível de serviço da rótula. A equação 3 demonstra o cálculo.

$$R_i = C_i \times Z_i \quad (3)$$

Onde: R_i = capacidade residual da entrada (i) (ucp/h);

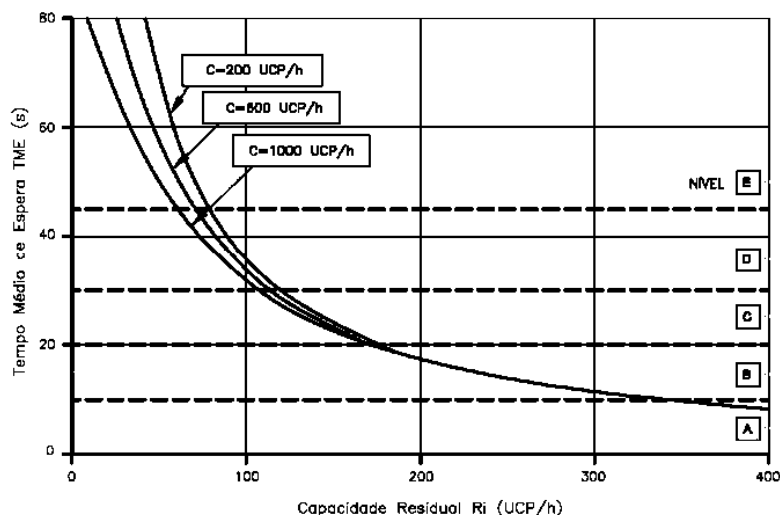
C_i = capacidade da entrada (i) (ucp/h);

Z_i = fluxo da entrada (i) (ucp/h).

Tempo Médio de Espera (TMS) e Nível de Serviço (NS)

O Tempo Médio de Espera é o tempo necessário para um veículo de uma entrada (i) se inserir no fluxo da pista de circulação da rotatória. O gráfico (2) é usado para se determinar o TMS.

Gráfico 2 – Tempo Médio de Espera



Fonte: Adaptado de DNIT (2005)

A Tabela 1 atribui valores mensurados em nível ordinal em categorias de qualidade do nível de serviço oferecido.

Tabela 1 – Nível de Serviço em função do TMS

Tempo Médio de Espera TME (s)	Nível de Serviço (NS)
≤ 10	A
≤ 20	B
≤ 30	C
≤ 45	D
> 45	E
$R_i < 0$	F

Fonte: Adaptado de DNIT (2005)

2.5 Polos Geradores de Viagens

Um dos fatores críticos no projeto de gestão dos trânsito são Polos Geradores de Viagem – PGV ou Polos Geradores de Tráfego – (PGT), empreendimentos que produzem

grande quantidade de viagens rotineiras ou não, causando reflexos negativos, como congestionamentos na circulação viária ao entorno ou até mesmo de toda a região, segundo a definição do Departamento Nacional de Trânsito – DENATRAN e Faculdade Getúlio Vargas – FGV (2001).

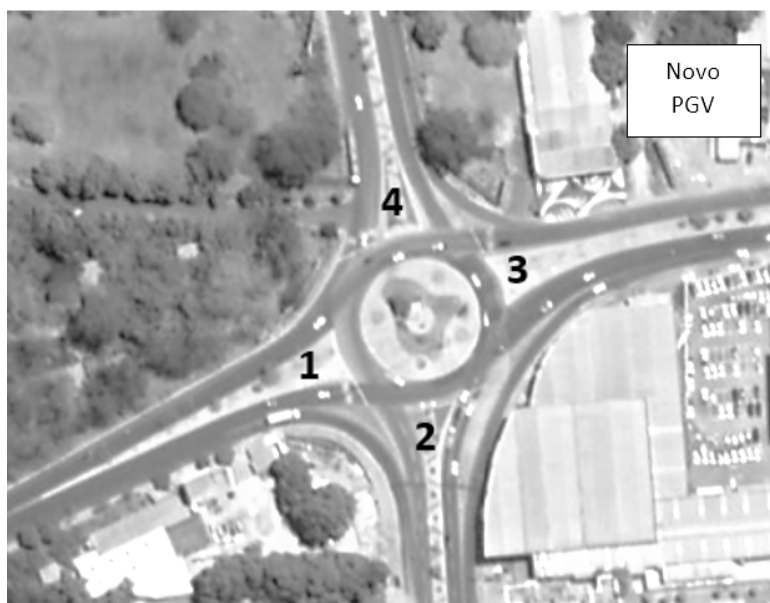
Neste sentido, o trabalho tem com foco analisar o impacto da construção de um novo empreendimento na Zonal Leste da Cidade que se enquadra como PGT.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O projeto em análise é um edifício comercial situado na Av. Universitária, ZC6 / 139, Bairro Ininga, Zona Leste, próxima à interseção entre a referida Avenida e a Av. Raul Lopes. As características funcionais do projeto (grande atrator de pessoas para suas atividades – com necessidade de mais de 80 vagas de estacionamento).

A coleta de dados ocorreu na última semana de julho de 2019, nos horários de 06:00 às 20:00 na rótula da interseção da Avenida Universitária com Avenida Raul Lopes, dividida em três picos (manhã, tarde, noite). Os observadores estão locados posicionalmente conforme a Figura 01.

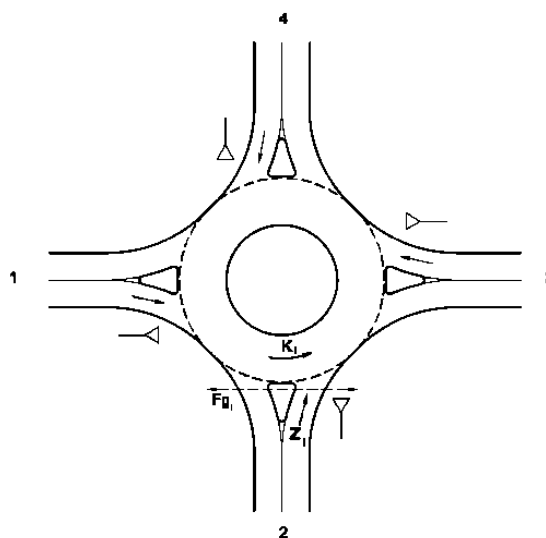
Figura 01 – Rótula com posicionamento novo PGV



Fonte: Elaborada pelos autores a partir do Google Earth® sem escala (2020)

A contagem foi feita nos quatro pontos da rótula, conforme mostra a Figura 01. Em cada ponto situaram-se 2 observadores que anotavam as placas dos veículos que entravam na rotatória e dela saíam, fazendo uma linha de segmentação a cada 15 minutos. A Figura 2 mostra o esquema demonstrativo dos movimentos analisados.

Figura 2 – Fluxo de tráfego em uma rótula moderna



Fonte: Adaptado de DNIT (2005)

Com o auxílio do software computacional MS Excel®, foi possível quantificar os movimentos do fluxo de tráfego (K_i) os veículos que estão na rotatória e passam em frente ao respectivo acesso i e " Z_i " os veículos que usam o acesso i para adentrar ao tráfego da rotatória. Com base nos dados coletados, foram estimados: Capacidade Básica de Entrada (G_i), Fator pedestre (f_i) Tempo Médio de Espera (TMS), Nível de Serviço (NS) e, a partir destes, foram realizadas simulações matemáticas com ajuda da função Solver do MS Excel®.

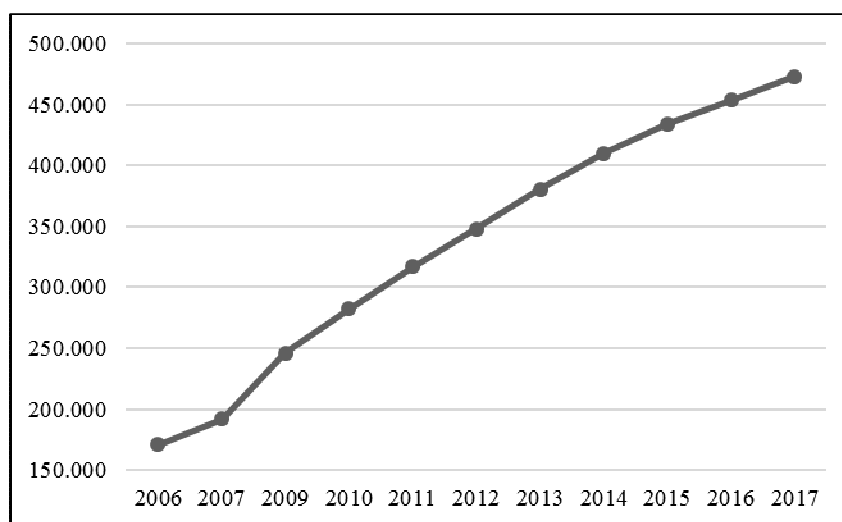
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Frota Veicular de Teresina/PI

A capital do estado do Piauí apresentou um enorme crescimento de sua frota, pois esta saltou de 17.1012 para 49.2946 veículos entre os anos de 2006 e 2017, um aumento na ordem de 65%, segundo dados do IBGE (2020). O destaque fica para os ciclomotores que segundo

Brasil (2003) são os veículos de duas ou três rodas, cujo motor não exceda 50cc que tiveram um aumento de mais de duzentas vezes em seu número. O Gráfico 3 mostra o crescimento do número total de veículos em Teresina ao longo do tempo.

Gráfico 3 – Evolução da frota veicular de Teresina/PI (2006-2017)



Fonte: Autores baseado em IBGE (2020)

Entre 2006 e 2011 a taxa de crescimento foi igual ou superior a 10% tendo destaque para o ano de 2007 com crescimento de 28% da frota. A partir de 2006, o crescimento médio da frota ficou em torno de 6%. Apesar da redução da taxa de crescimento, esta ainda apresenta uma tendência positiva ao longo dos anos, indicando que estudos de mobilidade e planejamento do tráfego da cidade devem ser realizados constantemente.

No caso da intersecção em estudo, a implantação de um novo PGV nas proximidades pode elevar a circulação de veículos, levando a redução do nível de serviço e, para averiguar esta hipótese, foram realizados os estudos técnicos.

4.2 Circulação na rótula na situação atual

Com os dados obtidos, usou-se uma adaptação de uma planilha proposta pelo Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005), que considera valores como origem e destino para os movimentos “Z” e “K” na hora pico (hora com maior volume de unidade de carro passeio) na rotatória que foi no intervalo de 18:00h às 19:00h. A Tabela 4 apresenta os valores.

Tabela 4 – Matriz origem destino para movimentos “Z” e “K”

	Destino				Total do acesso z_i	Total do arco k_i	
	1	2	3	4			
Origem	1	0	262	719	50	1031	700
	2	367	0	533	450	1350	800
	3	249	599	0	152	1000	867
	4	100	70	31	0	201	1215

Fonte: Autores (2020)

Os volumes de tráfego na rótula antes de cada entrada, K_1 , K_2 , K_3 , K_4 foram obtidos pelas expressões:

$$K_1 = O_3D_2 + O_4D_2 + O_4D_3$$

$$K_2 = O_4D_3 + O_1D_3 + O_1D_4$$

$$K_3 = O_1D_4 + O_2D_4 + O_2D_1$$

$$K_4 = O_2D_1 + O_3D_1 + O_3D_2$$

Os movimentos de retorno (O_iD_i) foram desconsiderados por seu baixo volume.

Com os dados obtidos e com a observação *in loco* que tanto a pista circulação quanto as interseções de acesso à rotatória possuíam duas faixas, usou-se uma adaptação de uma planilha proposta pelo Manual de Projeto de Interseções do DNIT (2005), para o cálculo de valores da Capacidade Básica, Capacidade Residual, Tempo Médio de Espera. Para efeito simplificador de cálculos, cada veículo foi considerado como uma unidade de carro passeio (ucp) e para o Fator Pedestre o valor tomado foi 1.

Tabela 5 – Cálculo do TMS

Acesso ou Arco	Acesso Z_i (ucp/h)	Arco K_i (ucp/h)	Fator Pedestre (f)	Capacidade C_i (ucp/h)	Capacidade Residual R_i (ucp/h)	Tempo Médio de Espera (s)
1	1031	700	1	1413	382	≤ 10
2	1350	800	1	1291	-59	> 45
3	1000	867	1	1214	214	≤ 20
4	201	1215	1	860	659	≤ 10

Fonte: Autores (2020)

Com o tempo médio de espera e capacidade residual calculados, chega-se ao nível de serviço de cada acesso ou arco dos pontos da rótula. A Tabela 6 apresenta a classificação de cada ponto no período.

Tabela 6 – Níveis de serviços dos pontos da rotatória

Acesso ou arco	Nível de Serviço
1	A
2	F
3	B
4	A

Fonte: Autores (2020)

4.3 Previsão Circulação na rótula no futuro

Para as Análises de capacidade da rótula, foram consideradas as projeções de tráfego para um horizonte de 3 anos (2022). Adotou-se um crescimento anual da frota de 7% (média utilizada nas metodologias) assumido para o cálculo dos volumes de tráfego no ano horizonte. A Tabela 7,8,9 apresenta os valores para o TMS com o acréscimo da frota com seus respectivos níveis de serviço pelos seguintes anos, caso as condições de funcionamento continuem da rótula sem alterações.

Tabela 7 – Cálculo do TMS 2020 com nível de serviço

Acesso ou Arco	Acesso Z_i (ucp/h)	Arco K_i (ucp/h)	Fator Pedestre (f)	Capacidade C_i (ucp/h)	Capacidade Residual R_i (ucp/h)	Tempo Médio de Espera (s)	Nível de Serviço NS
1	1103	749	1	1353	249	≤ 20	B
2	1445	856	1	1226	-218	> 45	F
3	1070	928	1	1146	76	≤ 45	D
4	215	1300	1	785	569	≤ 10	A

Fonte: Autores (2020)

Conforme esperado, o nível de serviço vai caindo com o aumento gradativo da frota conforme mostra a Tabela 8.

Tabela 8 – Cálculo do TMS 2021

Acesso ou Arco	Acesso Z_i (ucp/h)	Arco K_i (ucp/h)	Fator Pedestre (f)	Capacidade C_i (ucp/h)	Capacidade Residual R_i (ucp/h)	Tempo Médio de Espera (s)	Nível de Serviço NS
1	1180	801	1	1290	109	≤ 30	C
2	1546	916	1	1159	-386	> 45	F
3	1145	993	1	1077	-68	> 45	F
4	230	1391	1	709	479	≤ 10	A

Fonte: Autores (2020)

Por meio da Tabela 9 podemos observar que há uma degradação rápida do nível de serviço onde apenas a entrada 4 permanece inalterada.

Tabela 9 – Cálculo do TMS 2022

Acesso ou Arco	Acesso Z_i (ucp/h)	Arco K_i (ucp/h)	Fator Pedestre (f)	Capacidade C_i (ucp/h)	Capacidade Residual R_i (ucp/h)	Tempo Médio de Espera (s)	Nível de Serviço NS
1	1263	858	1	1225	-38	> 45	F
2	1654	980	1	1090	-564	> 45	F
3	1225	1062	1	1006	-219	> 45	F
4	246	1488	1	633	387	≤ 10	A

Fonte: Autores (2020)

Prevista a degradação do nível de serviço entre os anos de 2020 e 2022 no acesso 1 que respectivamente caem de B onde os tempos de espera são pequenos para C, onde os tempos de espera começam a ser consideráveis até F, onde acontecem demoras e há sobrecarga da rotatória que só é aliviada com a redução do trânsito. Situação similar tem o acesso 3 que inicialmente tem classe D em que mesmo com paradas para entrada, o fluxo de veículos permanece estável e cai para F.

Uma explicação para a manutenção do nível de serviços da entrada 4 está relacionada à natureza desta que liga os bairros ao Campus da Universidade Federal do Piauí. Essa entrada apresenta baixo fluxo porque não se apresenta como opção prioritária para outros pontos, apresentando elevação do tráfego apenas nos horários de pico.

Com os resultados obtidos, é possível afirmar que a rotatória está com o nível de serviço aquém do desejado na entrada 2, tendo nível de saturação já presente nos horários de

pico. O tempo de espera elevado para o acesso à rótula devido ao congestionamento causa irritação aos usuários motoristas, diminuindo a qualidade de vida.

O relatório ainda demonstra que na projeção de tempo com as condições atuais a rótula apresentará congestionamento nos horários de pico em todas as entradas, com exceção da saída 4. O aumento da espera nos horários de pico e o crescimento da frota são problemas esperados, segundo o HCM (2010). Essa informação é muito importante para o planejamento do tráfego, porque durante o projeto é possível estabelecer um maior limite de saturação da rotatória, de forma a evitar que haja essa redução do nível de serviço e também estabelecer previamente as medidas de mitigação que podem ser tomadas quando isso acontecer de forma a solucionar de modo mais eficiente o problema.

O estudo de Neris e Ferraz (2014) aponta a possibilidade de uso de semáforos nas proximidades das entradas da rotatória, de forma a gerar atrasos programados para gerar intervalo de tempo para que os demais condutores concluam o movimento de forma a aumentar a segurança e fluidez.

Outro fator que contribui para reduzir o nível de serviço na rotatória detectado na observação *in loco* foi que alguns motoristas não respeitam as regras de uso da rotatória, em especial nos horários de maior movimento: início da manhã, meio dia e final da tarde. Tal fenômeno também foi observado em estudo de Carlesso *et al* (2019). O aumento do tempo de espera leva a que os condutores desobedeçam às normas de condução com intuito de reduzir o tempo de viagem. Uma proposta para atenuar esses problemas são campanhas educativas aliadas à fiscalização do trânsito.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de intersecções são um importante instrumento de controle e orientação do tráfego, sendo as rótulas ou rotatórias um tipo empregado amplamente em zonas urbanas devido sua eficiência no controle de prioridade e promoção de segurança. Independente do tipo de intersecção, estas sofrem influência do aumento ou não do fluxo de veículos, o que implica redução do nível de serviço oferecido.

O estudo analisou o impacto de um novo polo gerador de viagens – PGV, alocado nas proximidades de uma rotatório na Zona Leste da cidade de Teresina/PI. Os resultados indicaram que há uma redução gradativa do nível de serviço ao longo do tempo, devido ao incremento do fluxo de veículos devido o PGV aliado à taxa de crescimento da frota com base nos dados levantados.

Como uma proposta de mitigação e correção, foi levantada a possibilidade de implantação de dispositivos de controle auxiliares, como mostrados pela literatura e manuais técnicos estudados. Para superar o comportamento de desrespeito às normas de trânsito, são sugeridas ações de educação no trânsito e agentes de fiscalização no local.

REFERÊNCIAS

AND, Associação Nacional dos Detrans Brasil já tem 1 carro a cada 4 habitantes, diz Denatran. Março 2020. Disponível em: <http://www.and.org.br/brasil-ja-tem-1-carro-a-cada-4-habitantes-diz-denatran> Acesso em: 26 mar. 2020.

BRASIL. CÓDIGO DE TRÂNSITO DE TRÂNSITO. Lei N. ° 9.503, de 23 de setembro de 1997. 2003.

CARLESSO, G. C *et al.* Diagnóstico do trânsito na área central de xanxerê/sc e estudo da capacidade da rotatória instalada na interseção entre a rua olavo bilac e a avenida brasil. **Seminário de Iniciação Científica, Seminário Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão e Mostra Universitária.** Disponível em: <https://portalperiodicos.unoesc.edu.br/siepe/article/view/22616> Acesso em: 15 de mar. de 2020.

COELHO, D. M. **Análise e sugestões para projetos geométricos de rótulas modernas em vias urbanas.** 2012. 109 f. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_m/MarceloDanielCoelho.pdf Acesso em 08 de jan. de 2020.

DA SILVA, O. H *et al.* Análise De Capacidade De Fluxo De Rotatória Na Cidade De Maringá, Paraná. **Revista Tecnológica**, v. 28, n. 1, p. 1-13, 2019. Disponível em: <http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/34097/751375148956> Acesso em 10 de mar. de 2020.

DENATRAN/FGV. **Manual de procedimentos para o tratamento de pólos geradores de tráfego.** 1. ed. Brasília: [s.n.], 2001.

Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT. **Manual de projeto de interseções.** 2.ed. - Rio de Janeiro, 2005.

ESPINDOLA, A. C; OLIVEIRA TEIXEIRA, M. A. Análise da capacidade viária e determinação do nível de serviço do trecho norte da rodovia al-101 pelo método do hcm 2010. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 10, n. 3, p. páginas 171-182, 2018. Disponível em: <https://revistas.apps.uepg.br/index.php/ret/article/view/12401/209209210465> Acesso em 15 de jan. de 2020.

FERREIRA, L; LEITE, A. **Logística empresarial e engenharia de tráfego**, 1. ed. Londrina: [s.n.], 2017.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. IBGE Cidades. <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pi/teresina/pesquisa/22/28120> Acesso em: 15 de mar. de 2020.

MACHADO, L; PICCININI, L. S. Os desafios para a efetividade da implementação dos planos de mobilidade urbana: uma revisão sistemática. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 10, n. 1, 2018. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S2175-33692018005001104&script=sci_abstract&tlng=pt Acesso em 30 de fev. De 2020.

MANUAL, Highway Capacity. Highway capacity manual. **Washington, DC**, v. 2, 2010.

MARCUSSO, L. G; SOLEK, M. J. **Proposta de remodelação de uma interseção rodoviária na cidade de Curitiba/PR com foco na segurança dos usuários e na capacidade de tráfego**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11279> Acesso em 20 de dez. de 2019.

MENDES E. O; SORRATINI, J. A. Polo gerador de viagens: análise de um terminal urbano de passageiros anexo a um centro comercial. **Journal of Transport Literature**.vol.8no.3 Manaus July 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2238-10312014000300013&lng=en&nrm=iso&tlng=pt Acesso em 10 de fev. de 2020.

NERIS, D. F; FERRAZ, A. C. P. Análise operacional de fluxo em pelotão em interseções do tipo rotatória. **Ingeniería de Transporte**, v. 18, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.ingenieriadetransporte.org/index.php/sochitran/article/view/154> Acesso em 07 de jan. de 2020.

NERIS, D. F; FERRAZ, A. C.P; LAROCCA, A. P. C. Aplicação de métodos determinísticos para a obtenção de gap crítico em rotatórias urbanas brasileiras. **Transportes**, v. 27, n. 4, p. 201-210, 2019. Disponível em: <https://revistatransportes.org.br/anpet/article/view/1866/791> Acesso em 15 de jan. de 2020.

PEREIRA, D. M; RATTON, Eduardo; BLASI, Gilza Fernandes; *et al.* **Apostila de sistemas de transportes**. Curitiba: [s.n.], 2013. Disponível em: <http://www.dtt.ufpr.br/Sistemas/Arquivos/apostila-sistemas-2013.pdf> Acesso em 08 de dez. de 2019.

Research sponsored by the American Association of State Highway and Transportation Officials **Roundabouts: An informational guide**. Transportation Research Board, 2010. Disponível em: <https://nacto.org/docs/usdg/nchrprpt672.pdf> Acesso em 10 de dez. de 2019.

SORRATINI, J. A.; MACÊDO, M. H.; SILVA, A. R. Avaliação do desempenho e capacidade de rótulas urbanas – estudo de caso. **Ciência e Engenharia**, v. 11, n. 1, p. 19-26, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Jose_Sorratini/publication/286556920_Performance_measures_and_capacity_analysis_of_urban_roundabouts_-_Study_case/links/59a95f39a6fdcc239841605d/Performance-measures-and-capacity-analysis-of-urban-roundabouts-Study-case.pdf Acesso em 10 de fev. de 2020.

SOUZA, M. V. J. S. Análise de desempenho de uma interseção não semaforizada em nível (rotatória) utilizando microssimulação estudo de caso: anel viário da UFRJ 2012. 112 f. **Dissertação** (Mestrado em Transportes) Universidade Federal do Rio e Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10010049.pdf> Acesso em 10 fev. de 2020.

Trueblood, M; Dale, J. (2003) Simulating Roundabouts With VISSIM. **2nd Urban Street Symposium**. 28-30 Julho 2003, Anaheim, California.

Como Referenciar este Artigo, conforme ABNT:

MORAES, A. S; CASELLI, F. T. R; ANDRADE, A. M. Impacto de um Polo Gerador de Viagens no Nível de Serviço de Rotatória em uma Capital Nordestina. **Rev. FSA**, Teresina, v.17, n. 7, art. 11, p. 219-238, jul. 2020.

Contribuição dos Autores	A. S. Moraes	F. T. R. Caselli	A. M. Andrade
1) concepção e planejamento.	X	X	
2) análise e interpretação dos dados.	X	X	X
3) elaboração do rascunho ou na revisão crítica do conteúdo.	X	X	X
4) participação na aprovação da versão final do manuscrito.	X	X	X