

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS E ELEMENTOS GEOMÉTRICOS DAS ROTATÓRIAS DE PALMAS-TO

Thiago Cabral de Souza
Marcus Vinicius Ribeiro e Souza
Salmo Moreira Sidel
Universidade Federal do Tocantins
Curso de Engenharia Civil

RESUMO

O presente trabalho trata da avaliação das características e elementos geométricos das rotatórias situadas no plano diretor de Palmas-TO, tendo base as recomendações dos manuais e literaturas que tratam sobre o dimensionamento desse tipo de interseção. Foram investigadas as rotatórias com maiores índices de acidentes na cidade, para então selecionar as que seriam estudadas em campo. Sobre o projeto geométrico das rotatórias, objetivou-se avaliar os diâmetros dos círculos inscritos, largura da faixa de circulação, largura das faixas de entrada e saída, e raios de entrada e saída, a partir do levantamento destas dimensões. Fazendo uma análise das rotatórias selecionadas (ROT1, ROT2, ROT4, ROT5 e ROT8), pode-se afirmar que os raios e larguras de entrada e saída foram as características geométricas mais relevantes e passíveis de serem relacionados aos problemas de fluxo e mobilidade aos usuários da malha viária da cidade.

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

Dentre os tipos de interseções viárias, a popularidade das rotatórias tem crescido principalmente nas cidades de pequeno e médio porte, pela razão de ser uma alternativa relativamente econômica e eficiente para ordenamento do aumento de tráfego. Elas têm ganhado destaque no planejamento urbano por serem determinantes na ordenação da dinâmica do tráfego, atuando como reguladoras de velocidade em pontos de conflito, o que conseqüentemente melhora o fluxo, capacidade e a segurança da via.

A malha viária da cidade de Palmas-TO, na sua maioria, é constituída por rotatórias nos encontros das vias secundárias, totalizando cerca de 164 rotatórias, uma a cada aproximadamente 600 metros. Estas são de classificação do tipo circular, caracterizadas pela existência de ilha central de diâmetro de 60 e 80 m e formato circular, com raios de reversão nos bordos externos.

Visto que o processo de urbanização acelerado de Palmas já demonstra reflexos significativos na malha viária da cidade, principalmente nas rotatórias, por meio de congestionamentos em horários específicos e percentual significativo do número de acidentes, este estudo apresenta a avaliação das principais características das rotatórias de Palmas por meio da análise comparativa entre os elementos encontrados em campo, recomendações de fontes bibliográficas e normas que tratam de especificações para esse tipo de interseção. Este processo de avaliação é de grande importância para o planejamento urbano e tem como objetivo colaborar com o processo de mobilidade urbana sustentável no desenvolvimento da cidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Segurança no trânsito e o traçado geométrico

A segurança viária é fundamentada na interação entre os usuários da via, os veículos, a infraestrutura e o meio ambiente. Branco (1999) e Fortes (2005), argumentam que fatores humanos são grandes responsáveis pelas causas dos acidentes de trânsito, porém, uma estrada bem projetada e com sinalização adequada consegue reduzir consideravelmente o erro humano.

Para Fortes (2005) as interseções devem facilitar a tomada de decisões por parte dos usuários com o objetivo de diminuir a ocorrência de erros, “Quanto mais simples a tarefa do usuário, menor a probabilidade dos erros acontecerem”. Problemas no traçado geométrico podem induzir os usuários dessas interseções a várias situações de risco, podendo ser relacionadas desde problemas de visibilidade na travessia à prática de altas velocidades nas entradas e saídas pelos motoristas. Outros elementos e características relacionados ao projeto geométrico que pode ser influenciador na presença de acidentes são: ângulos de convergência pequenos, rotatórias não circulares, sinalização insuficiente, problemas relacionados a derrapagens na via, dentre outros (DNIT, 2005).

2.2. Caracterização do sistema viário de Palmas

Palmas, como uma cidade concebida e planejada, teve o projeto do sistema viário idealizado a ter quatro vias arteriais, sendo três no sentido norte-sul e uma no sentido leste-oeste, cada um com uma função diferente no planejamento urbano. São as três vias no sentido norte sul que desenvolvem as funções mais importantes na articulação da cidade: A TO-050 conecta Palmas com as outras cidades do Estado; a Avenida Teotônio Segurado funciona como a principal via da cidade, ligando as regiões norte e sul; e a Avenida Parque que se orienta pelo contorno do lago, e se destina principalmente às zonas de lazer e cultura (IPUP, 2017).

Paralelamente a Avenida Juscelino Kubitschek e a Teotônio Segurado, onde está localizado a região comercial da cidade, com lojas, bancos, prédios do poder público e serviços, estão as avenidas secundárias, as Avenidas NSs e LOs, com papel complementar a mobilidade da cidade, uma vez que dá acesso às quadras do plano diretor. O encontro de vias LOs com NSs, consequentemente pelo traçado quase perpendicular, foram concebidos em interseções do tipo rotatórias. Segundo Carvalhêdo e Lira (2009), os cruzamentos em rotatórias pretendiam controlar o tráfego e diminuir os acidentes de trânsito, porém o que se observa é que parte significativa dos acidentes ocorrem justamente nestas interseções.

2.3. As rotatórias

Segundo o Manual de projeto de interseções (DNIT, 2005), a rotatória é um dispositivo de circulação de mão única em volta de uma ilha central, orientado por sinalização horizontal ou vertical. Elas apresentam comportamento diferente quando comparadas a outros tipos de interseções em nível, obedecendo a cadência de prioridade na entrada e no contorno da rotatória, resultando na redução e homogeneização da velocidade. Não só isso, mas também tem o intuito de organizar o fluxo de tráfego e reduzir os pontos de conflitos frontais e laterais, os quais por vezes são associados aos tipos de acidentes mais graves (Silva e Seco, 2004).

As rotatórias modernas são classificadas como interseções de características rotatórias, e classificadas segundo o DNIT (2005) em quatro tipologias quanto a geometria: simétricas, assimétricas, de acesso direto e circulares. Estas são dimensionadas levando em consideração elementos físicos a serem instalados a fim de melhorar o fluxo e garantir a segurança dos motoristas (DNIT, 2005).

No Brasil, apesar de existirem manuais de projeto geométrico, como os do DNIT, DAER/RS, e antigo DNER, que trazem recomendações para o projeto de interseções, faz-se necessário a consulta de manuais de outros países para o melhor entendimento e aprofundamento sobre o tema. Um destes manuais é o *Roundabouts: An Informational Guide* (FHWA, 2000), desenvolvido pela Administração Federal de Rodovias dos Estados Unidos (*Federal Highway*

Administration, FHWA). Na Figura 1 é apresentado os principais elementos físicos de uma rotatória, segundo a FHWA (2000).

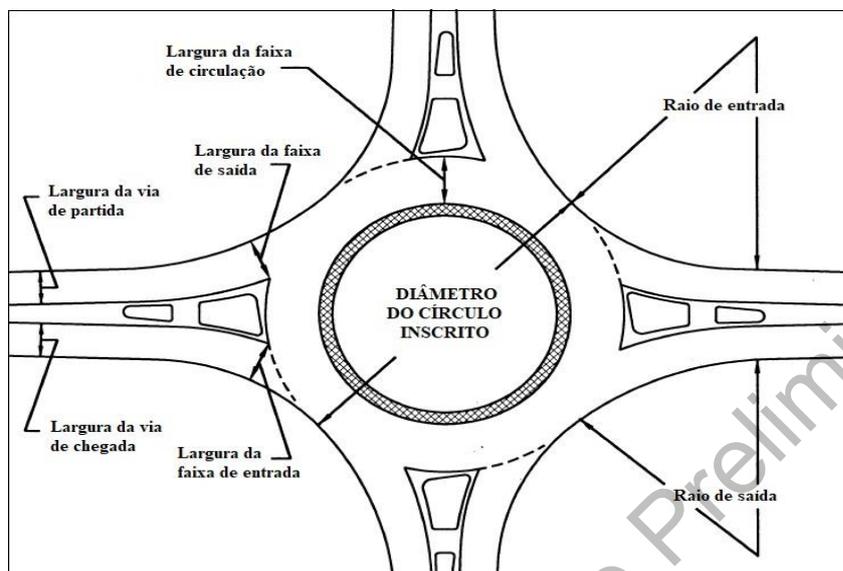


Figura 1: Ilustração dos principais elementos de uma rotatória.
Fonte: Adaptado de *Roundabouts: An Informational Guide* (FHWA, 2000).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Pelo grande número de rotatórias na cidade de Palmas buscou-se uma forma de seleção dessas, de modo que fossem interessantes para o estudo de seus elementos e características. Logo, foi desenvolvida uma metodologia de seis passos, como apresentada na Figura 2, e teve como fator preponderante para a seleção o número de incidência de acidentes de trânsito nessas interseções.

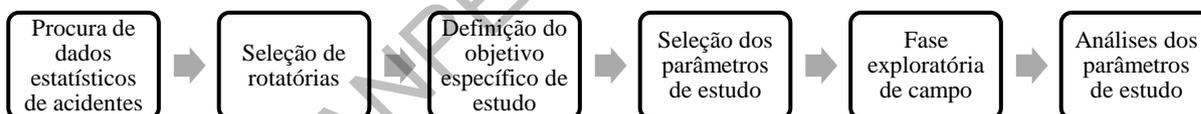


Figura 2: Estrutura metodológica de estudo.

Com base no trabalho de Souza e Sidel (2018), a partir da coleta de dados de 2014 a 2017 de acidentes extraídos de Boletins de Acidentes de Trânsito (BATs) cadastrados no Sistema Integrado da Polícia (SIOP) da polícia militar do Tocantins, 23% de todos os acidentes registrados ocorrem nas rotatórias. Essas foram ranqueadas pelos autores a partir do número de acidentes registrados, conforme apresentado na Figura 3. Dentre estas, três delas (ROT3, ROT9 e ROT10) possuem características geométricas diferentes às encontradas no plano diretor da cidade (diâmetros de ilha central diferentes de 60 ou 80 m), sendo descartadas para este trabalho.

Após a coleta e análise dos dados obtidos, estes foram estudados e mapeados com o intuito de identificar as rotatórias críticas e selecionar as que estatisticamente apresentarem maiores números de acidentes e estarem localizadas em regiões com alto fluxo de veículos.

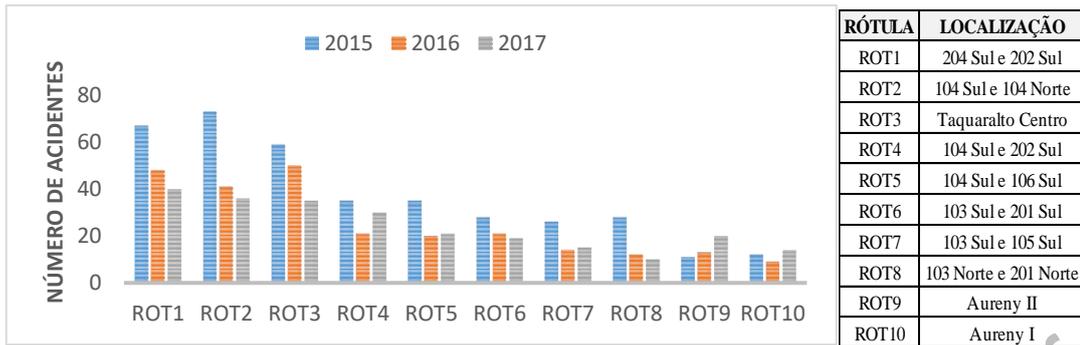


Figura 3: Rotatórias com maiores incidências de acidentes em Palmas-TO (2014-2017).
 Fonte: Souza e Sidel (2018)

Com base nos dados ilustrados na Figura 4 foram selecionados cinco rotatórias (ROT1, ROT2, ROT4, ROT5 e ROT8), e com base nas recomendações da FHWA (2000) foram selecionados os seguintes elementos para avaliação, a saber: diâmetro dos círculos inscritos, largura da faixa de circulação, largura das faixas de entrada e saída, raios de entrada e saída. Após a medição e validação dos dados obtidos em campo, estes foram tabulados e analisados a luz das recomendações encontradas na literatura nacional e internacional. A Figura 4 apresenta o mapeamento das rotatórias avaliadas.

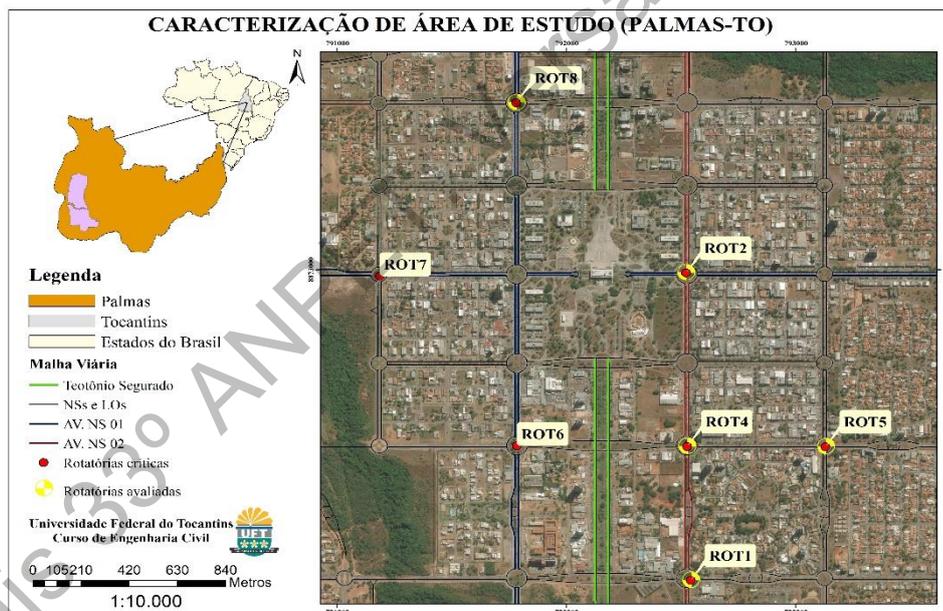


Figura 4: Mapeamento das rotatórias com maiores incidências de acidentes.

Para isso fez se necessário o levantamento em campo desses elementos, por não ter sido localizado o projeto geométrico modelo, assim como o projeto executivo, junto à Prefeitura Municipal de Palmas. As medições foram registradas por dois operadores, com o auxílio de uma trena de fibra de vidro aberta, de comprimento igual a 50 m, graduação de 1 mm, da LUKFIN modelo Y1750CM. Em situações onde era impraticável a medição por questões de segurança (*i.e.*: volume de tráfego grande na via ou limitações do equipamento de medida) utilizou-se o *software* Google Earth de forma a complementar e validar as determinações de medida de campo.

4. ANÁLISES E RESULTADOS

Um traçado geométrico inconsistente pode vir a estimular maiores velocidades, assim como uma direção menos uniforme, este pode vir a causar acidentes aos motoristas que não estão habituados as imperfeições da rotatória. Sendo assim, nesse tópico são avaliados os elementos físicos e suas características, das rotatórias selecionadas, a partir da comparação entre as recomendações dos manuais e literatura.

4.1. Diâmetro dos círculos inscritos (ilhas centrais)

Apesar de não haver muita variação no padrão das ilhas centrais das rotatórias (a maioria de formatos geométricos circulares com raios de 30 e 40 metros), nas regiões mais periféricas do plano diretor onde o macroparcelamento das quadras teve que se adequar aos limites da TO-050 e da Av. Parque, é possível encontrar rotatórias com formato ovais ou elipsoidais de pequena excentricidade, resultado da falta de espaço na implantação.

4.2. Largura da faixa de circulação

Uma das grandes inconsistências encontradas no traçado é a largura da faixa de circulação nas rotatórias, pois nota-se que não existe um padrão. Não existe uma padronização nas dimensões, e existe uma grande variância entre os valores encontrados, esta observação foi identificada independentemente do tamanho do raio da ilha.

No caso de Palmas ainda existe um outro elemento que é uma faixa exclusiva para movimentos conversões à direita, esta demarcada por faixa de linha de fluxo (LMS-1). Apesar da literatura (FHWA, QDMR e DNIT) apresentar faixas canalizadores de fluxo (i.e *bypass*) em rotatórias, estas funcionam segregadas da pista de circulação, sendo previsto inclusive dispositivos de homogeneização de fluxo anterior e posterior ao conjunto da rotatória. Nas rotatórias de Palmas, esses dispositivos são agregados a pista de circulação, e são afetados pelas curvas reversas originadas do projeto geométrico, estas aliadas as faixas de tráfego estreitas e aos raios curtos provocam a ocupação de mais de uma faixa durante a manobra. Para este trabalho esses dispositivos não foram considerados como parte do conjunto da rotatória, e será referenciada como “faixa de movimento à direita” ($LF_{Mov-DIR}$).

A Tabela 1 apresenta os valores das larguras medidas em campo das cinco rotatórias, onde foram medidas a largura total das três faixas adjacentes a ilha central (LF_{ROT}), a largura apenas das duas faixas destinadas ao movimento de circulação (LF_{CIRC}) e a da faixa destinada ao movimento à direita ($LF_{Mov-DIR}$).

Tabela 1: Tabela de características com relação à largura da faixa de circulação

ROTATÓRIA	DILHA (m)	LF_{ROT} (m)	LF_{CIRC} (m)	$LF_{Mov-DIR}$	LF_{COELHO}
ROT1	80	10,25	6,90	3,35	12,15
ROT2	80	10,30	6,95	3,35	12,75
ROT4	80	10,40	6,90	3,50	14,05
ROT5	60	10,70	7,50	3,20	12,15
ROT8	80	10,50	7,30	3,40	13,70

Apesar de não haver normas ou sugestões específicas para o projeto de rotatórias no Brasil, o DNIT (2010) sugere que para vias com velocidades desejáveis inferiores a 50 km/h, faixas de tráfego de largura entre 3,30 a 3,60 m cada, além de um valor não inferior a 0,30 m entre os lados da faixa de rolamento e o meio-fio.

Silva e Seco (2008) apontam que para rotatórias com ilhas centrais de raios entre 29 a 51 m, a largura adequada seria de 13,0 a 12,6 m para se adequar melhor as deflexões e movimentos necessários a serem realizados. Já segundo o estudo de Coelho (2012), em rotatórias com apenas uma faixa de circulação, as dimensões são geralmente 1,2 vezes a maior largura de faixa de entrada na rotatória mais a adoção de bermas galgáveis, de forma a conseguir acomodar veículos de projeto do tipo “O” (ônibus, ônibus de turismo e caminhões urbanos). E para rotatórias com duas faixas, o sugerido seria a adoção do dobro da largura da faixa de circulação calculada para a de uma faixa (não sendo necessário bermas galgáveis).

4.3. Largura das faixas de entrada e saída

Desde da construção das rotatórias na cidade até o ano de 2014, só existiam duas faixas nas entradas das rotatórias de Palmas, sendo uma destinada ao acesso a pista de circulação e a outra demarcada com linha contínua, para o movimento à direita. Durante o ano de 2014 foi implantado o modelo de três faixas na entrada da maioria das rotatórias, com a intenção de melhorar o fluxo de veículos e evitar longas filas nas horas de pico. Porém, nem todos os ramos das rotatórias possuem o mesmo número de faixas de entrada e de saída, isso se deu por conta da falta de espaço para a ampliação da terceira faixa.

As variações nas larguras do canteiro central das avenidas refletem diretamente nas larguras úteis para a faixas de rolamento nas entradas e saídas das rotatórias. Segundo Silva e Seco (2008) a capacidade de entrada das rotatórias está relacionada diretamente com a largura úteis da entrada e não apenas relacionadas ao número de vias disponíveis. Logo, aumentar o número de vias e não levar em consideração os valores mínimos necessários de manobra seria um erro, uma vez que afetaria a operação.

De acordo com Coelho (2012) a largura da faixa de entrada deve ser compatibilizada com as larguras das faixas da via de chegada acrescidas do espaço entre a faixa canalizadora e o meio fio, recomendando que para rotatórias de duas faixas os valores mínimos devem ser de 6,0 m. Para as faixas de saída, Coelho recomenda que em situações de duas faixas seja adotado valores entre 8,0 e 9,0 m, afim de permitir a passagem, de dois veículos em paralelo, com segurança e conforto.

A Tabela 2 apresenta os valores das larguras de entrada (LF_{ENT}) e saída (LF_{SAI}), medidas entre a menor distância a partir da demarcação da sinalização horizontal ao meio-fio adjacente da entrada/saída da rotatória.

Tabela 2: Características das larguras das faixas de entrada e saída

ROTATÓRIA	Sentido	Ramo A	Ramo B	Ramo C	Ramo D
ROT1	Entrada	8,6	10,1	9,9	9,3
	Saída	7,5	7,8	7,7	7,5
ROT2	Entrada	9,1	10,6	8,8	10,1
	Saída	8,2	8,4	8,5	10,1
ROT4	Entrada	8,0	7,7	11,7	11,2
	Saída	7,4	7,7	9,2	9,8
ROT5	Entrada	9,4	8,1	10,1	10,1
	Saída	9,3	8,2	9,7	7,5
ROT8	Entrada	10,0	11,4	11,0	11,3
	Saída	9,3	11,3	10,7	10,5

De acordo com Silva e Seco (2004) é princípio do dimensionamento das rotatórias “dificultar as entradas e facilitar as saídas”, no que diz respeito dificultar velocidades de entrada altas e

facilitar a saída das rotatórias com uma velocidade adequada. Para isso características como as larguras de entrada e saída devem estar dimensionadas adequadamente, pois refletem na percepção que o usuário tem de confinamento na pista, e consequentemente da sua segurança.

4.4. Raios de entrada e saída

Os raios de entrada e de saída não são dimensionados para garantir o conforto de seus movimentos. Eles são adotados a partir do *off-set* (equidistância) do contorno da faixa canalizadora de movimento à direita. Esta última geralmente é em função de raios de esquinas pequenas. A Figura 5 apresenta uma das rotatórias da cidade com raios de giro com valores insuficientes para os usuários realizarem o movimento com o conforto de direção adequado.



Figura 5: (a) vista superior e frontal (b) da saída de rotatória com raios pequenos.
Fonte: Google Earth (2015)

Os raios das esquinas são feitos por meio da concordância entre a interseção do traçado das avenidas com a faixa de circulação. Esses possuem valores aproximados entre 5 a 10 m, sendo insuficientes mesmo para o desenvolvimento de curvas horizontais (entre 60° a 90°), as quais o DNIT (2010), estabelece valores mínimos de raios iguais à 7,30 e 12,80 m para veículos de passeio e rígidos.

O recomendado para os raios de entrada são valores entre 10 e 30 m, com o intuito de não induzir os motoristas a entrarem nas rotatórias com velocidades elevadas, porém não comprometer o movimento de giro de veículos maiores (Coelho, 2012). O raio apropriado na entrada das curvas incentivam os motoristas a diminuírem a velocidade antes de entrarem na rotatória. As curvas de entrada devem ser dimensionadas levando em consideração parâmetros de curvas de transição, já que ligarão elementos de velocidades mais elevadas à curvas de raios mais abertos (QDMR, 2006).

A partir do desconforto gerado pela existência de raios pequenos e das curvas reversas de entrada e saída, os usuários costumam invadir a faixa destinada ao movimento à direita afim de ajustar a trajetória de saída ou entrada na faixa de circulação. Os veículos de projeto do tipo “O” são os que mais são influenciados por essa característica, uma vez para a conversão ocupam mais de uma faixa de tráfego, além da faixa destinada ao fluxo contínuo de veículos a direita, o que influencia na parada momentânea do fluxo dos veículos, além do risco de colisões com outros veículos.

Para os raios de saída o problema é semelhante, haja visto que nem todas as saídas possuem larguras que favoreçam a saída em velocidade superior à de entrada nas rotatórias. Para Coelho (2012), os raios de saída devem ser superiores aos de entrada, sendo sugerido a adoção de

valores entre 20 e 40 m, desaconselhando a adoção de raios menores que 15 m e maiores que 50 m.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir deste trabalho é observado que a cidade de Palmas-TO apresenta problemas de traçado geométrico em suas interseções rotatórias, podendo estes serem relacionados aos acidentes nesses locais. A maioria dos problemas de traçado são oriundos dos raios e larguras de entrada e saída das rotatórias, estes relacionados as características dos veículos de projeto. Logo, percebe-se a importância de um bom entendimento das características físicas de uma rotatória e da influência que elas têm no conjunto da interseção.

A avaliação mais representativa para esse estudo foi análise comparativa entre as rotatórias com maiores índices de acidentes com as dimensões levantadas em campo, onde pode se constatar que quanto mais estreitas as faixas de circulação e faixas de entrada/saída dessas interseções, maiores foram os índices de acidentes encontrados. Mesmo que os acidentes relacionados aos problemas de infraestrutura das vias representem uma proporção pequena quando comparados ao total de acidentes, a avaliação realizada serve como indicador às autoridades responsáveis pela segurança viária, na necessidade do investimento em medidas voltadas a manutenção e correção das vias a fim de se reduzir o número de acidentes.

Espera-se que o trabalho aqui descrito possa sensibilizar novos trabalhos a respeito do traçado geométrico das rotatórias modernas no Brasil, mostrando a importância dos estudos que envolvem a segurança viária e mobilidade urbana. Ainda pode ser deixada a sugestão de um estudo estatístico aprofundado sobre a relação dos acidentes nas rotatórias com as características geométricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Branco, A. M. (1999) *Segurança Rodoviária*. Ed CL-A, São Paulo.
- DNIT (2005) *Manual de Projeto de Interseções* (2ª ed). Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2010) *Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas*. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.
- Carvalhêdo, W. dos S. e E. dos S. Lira (2009) *Palmas Ontem e Hoje: Do interior do Cerrado ao Portal da Amazônia*. Observatorium. *Revista Eletrônica de Geografia*, 1(2):51-73.
- Coelho, M. D. (2012) *Análise e sugestões para projetos geométricos de rotatórias modernas em vias urbanas*. Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Fortes, F. Q.; P. R. F. Blassioli e A. C. P. Ferraz (2005). *Interseções rodoviárias no Brasil: presente, passado e futuro*. In: XII Congresso Chileno de Ingeniería de Transporte. Valparaíso.
- FHWA (2000) Federal Highway Administration. *Roundabouts: An Informational Guide*, No. FHWA-RD-00-067, Virginia, EUA.
- Google Earth (2015) Google Earth 7.3.1.4507. Acesso em 30 abr. 2018.
- IPUP (2017) *Revisão do Plano Diretor Participativo de Palmas – Diagnóstico Municipal Preliminar: Relatório Técnico*. Prefeitura Municipal de Palmas, Tocantins, Palmas.
- QDMR (2006) *Roundabouts*, Chapter 14 of the Road Planning and Design Manual, Queensland Department of Main Roads, Brisbane, Australia.
- Silva, A. M. C. B. e A. J. M. Seco (2004) *Dimensionamento de Rotundas*. Documentos de Trabalho. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra, Departamento de Engenharia Civil. Coimbra, Portugal.
- Silva, A. M. C. B. e A. J. M. Seco (2008) *Manual de Acessibilidades e da Gestão Viária: Rotundas – Vol. 6*. 92p. Editado pela CCRDN em 2010.
- Souza, T. C e S. M. Sidel. (2018) *A relação entre os acidentes de trânsito e o traçado geométrico das rotatórias de Palmas/TO*. In: *Pluris 2018 – 8º Congresso Luso Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável – Cidades e Territórios: Desenvolvimento, atratividade e novos desafios*. Coimbra, Portugal.