

USO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DO MODELO DE KIMBER COMO INDICADORES DE CAPACIDADE EM ROTATÓRIA: O CASO DE PALMAS-TO

Thiago Cabral de Souza
Marcus Vinicius Ribeiro e Souza
Roberta Mara de Oliveira Vergara
Salmo Moreira Sidel

Universidade Federal do Tocantins
Engenharia Civil

Jonathan Pereira Rabêlo
Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Tocantins
Área de Infraestrutura

RESUMO

O uso de interseções rotatórias tem aumentado, principalmente por se tratar de um dispositivo eficiente de controle e moderação de tráfego. O problema está na falta da normalização e parametrização do seu uso, principalmente em ambientes urbanos, onde projetos existentes são adaptações de normas rodoviárias, ou manuais internacionais. Este trabalho objetiva-se apresentar a estimativa de capacidade e o uso dos parâmetros geométricos do Modelo de Kimber como indicadores de capacidade e avaliação do projeto geométrico de rotatórias. O estudo foi aplicado em Palmas-TO, esta possui sistema viário composto por rotatórias nas vias secundárias, e apresenta problemas de formação de filas e atraso nos acessos. Foi possível concluir que a aplicação do método é eficaz por estimar a capacidade com menos recursos e identificar as características geométricas mais significativas, que caso sejam otimizadas, impactariam positivamente na capacidade e na mobilidade dos usuários, prolongando o uso desse tipo de interseção.

ABSTRACT

The popularity of roundabouts intersections has increased, mainly because it's an efficient traffic control and moderation device. The problem is the lack of standards and specifications of its use, especially in urban environments, where existing projects are adaptations of road standards or international manuals. This paper aims to investigate the roundabout capacity and Kimber Model's geometric parameters, as capacity indicators and analysis of the geometric design these intersections. The study was conducted in Palmas-TO, which has a street network with roundabouts in the secondary ways, presenting problems of queuing traffic and access delays. Therefore, it can be concluded that the application of the method is effective for estimating the capacity with fewer resources and identifying the most relevant geometric features, and by its optimization, it may impact positively the capacity and mobility of the system, extending the lifetime of this type of intersection.

1. INTRODUÇÃO

A escolha do tipo de interseção depende de características locais de tráfego, como volume, velocidade e composição, aliadas a considerações sobre aspectos topográficos, disponibilidade de espaço físico, recursos e segurança viária. No Brasil, para a escolha do tipo de interseções são geralmente utilizadas as recomendações do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), Departamento Autônomo de Estradas e Rodagens do Rio Grande do Sul (DAER/RS), antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER), Manuais e Boletins Técnicos da Companhia de Engenharia de Tráfego de São Paulo (CET-SP), dentre outros. Onde a maioria destes têm como base as recomendações das Normas Suecas e Inglesas como parâmetro de adoção de um tipo de interseção pelo outro, a partir de gráficos e ábacos que apresentam as condições de adoção em relação ao volume diário e velocidade diretriz.

As interseções são consideradas como os pontos mais críticos de um sistema viário, uma vez que nesses locais se encontram os gargalos do tráfego, exercendo influência direta sobre características como a segurança e a fluidez das vias (NERIS, 2014). De acordo com Crisalli

(2011) o dimensionamento de uma rotatória é um processo interativo cujas escolhas devem realizar o compromisso correto entre segurança e regularidade da circulação, ou capacidade, aspectos que são, no entanto, opostos. Na verdade, a segurança se traduz em um projeto e traçado geométrico que induza a baixa velocidade de entrada e circulação na rotatória, enquanto, infelizmente, essa redução de velocidade pode afetar negativamente a capacidade (CRISALLI, 2011).

Este trabalho propõe a utilização dos parâmetros geométricos do Modelo Inglês (ou modelo de Kimber) para a utilização como indicadores de capacidade e avaliação geométrica. Sendo este um modelo empírico de estimativa que tenta reconstruir a curva da capacidade, relacionando as características geométricas e o fluxo do tráfego. O estudo ocorreu na cidade de Palmas-TO. Possuindo pouco mais de 30 anos de idade, a cidade foi concebida e planejada com interseções rotatórias nas vias secundárias, possuindo mais de 164 deste tipo, e podendo ser classificadas como rotatórias modernas normais, tipo circular, com diâmetros variando de 60 a 80 metros de ilha central, e já apresenta problemas pontuais de atrasos e formação de filas nos acessos dessas interseções.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Planejamento e gerenciamento de interseções

Segundo o DNIT (2005), os princípios básicos para um bom projeto de interseção é permitir a passagem de veículos, de uma via para a outra, com o mínimo de demora e o máximo de segurança. Este deve oferecer um bom entendimento e fácil operação, além de evitar custos exorbitantes de implantação e manutenção.

Segundo os manuais do DAER/RS (1991) e o DNIT (2005) não existem condições específicas para a adoção de um ou outro tipo de interseção, o que ocorre é a análise de fatores que podem conduzir para o critério de seleção. Os critérios da escolha do tipo de interseção constituem um processo mais complexo que envolve fatores desde o volume de tráfego, disponibilidade de física e de recursos financeiros até o estudo mais aprofundado dos polos geradores de tráfego de uma região (DAER/RS, 1991). No Brasil são geralmente adotados os procedimentos de projetos de outros países, adaptados à realidade nacional, destacando-se o uso das Normas Suecas e Inglesas de interseções. Pelas Normas Suecas as rotatórias estão classificadas em interseções do tipo D, tendo normalmente uma ou duas faixas nos acessos, e sendo divididas em rotatórias convencionais ou modernas.

O projeto de uma rotatória é um processo complexo que envolve aspectos urbanísticos, circulatórios e de infraestrutura. No viés urbanístico ela deve ser concebida como um elemento de conotação de lugar e de identificação de um espaço de transição. Como aspecto circulatório deve ser dimensionado e avaliado segundo as metodologias de projeto para interseções rotatórias e de infraestrutura, por levar em conta especificações geométricas, construtivas e de orientação de fluxo (CRISALLI, 2011).

2.2. Estudo de capacidade em interseções

As rotatórias (ou rótulas) são dispositivos de circulação de mão única em volta de uma ilha central, orientado por sinalização horizontal e/ou vertical (DNIT, 2005). No meio técnico, as rotatórias e as rótulas são diferenciadas pela disposição dos fluxos dos ramos, onde a rotatória é planejada para receber fluxos iguais nos ramos, a rótula possui um fluxo principal prioritário

e fluxos secundários convergentes/divergentes. Na disposição do fluxo das rotatórias modernas, os condutores que já estão desenvolvendo o percurso dentro da via têm prioridade sobre aqueles que pretendem entrar, desta forma, estes são obrigados a reduzir a velocidade.

A flexibilidade das rotatórias permite que mesmo na saturação, dos volumes médios de tráfego diários, seja mantido um bom nível de desempenho. Assim como a capacidade de absorver eventuais alterações nos movimentos direcionais, desde que haja espaço suficiente para aplicação, uma vez que suas características geométricas básicas não alterem significativamente o desempenho (PEREIRA, 2014).

O nível de desempenho das rotatórias pode ser quantificado em função da capacidade oferecida pelas entradas, definido como capacidade de entrada (Q_e). De acordo com Silva e Seco (2008) a capacidade é um parâmetro que reflete o nível de serviço oferecido pelo dispositivo ou sistema viário, podendo ser expresso em Unidade de Carros de Passeio (UCP) por unidade de tempo. Já a capacidade de uma rotatória é limitada pelo entrelaçamento do trecho mais crítico, e uma capacidade prática para o projeto variando entre 25.000 a 35.000 veículos por dia, tendo relação com o número de conversões para as saídas à direita (DNIT, 2005).

Diversos estudos vêm sendo desenvolvidos com o pressuposto de analisar e estimar a capacidade por análise de parâmetros geométricos ou pelo comportamento dos condutores (brechas críticas). A nível microscópico, por meio de simulação de computador, ou a nível macroscópico, por métodos estatísticos e probabilísticos, que distribuem pelo tempo o fluxo secundário ao fluxo principal da interseção (PEREIRA, 2014). Dentre as diversas metodologias de análise, a escolha de uma pela outra está diretamente relacionado aos recursos disponíveis (orçamento, equipe, mão de obra, tempo disponível, etc) e aos níveis de precisão e detalhamento esperados.

2.3. Modelo de Kimber

Dentre os modelos de estimativa de capacidade, destaca-se o Modelo Inglês desenvolvido em 1980, pelo antigo *Transport Road and Research Laboratory* (TRRL), também conhecido como Modelo de Kimber, teve como objetivo encontrar uma fórmula que permitisse calcular a capacidade de rotatórias de pequena e grandes dimensões por meio de parâmetros geométricos. A partir do teste de 35 diferentes parâmetros, apenas seis foram dados como significantes (largura de entrada, largura da via de chegada, largura efetiva do leque, raio de entrada, ângulo de entrada e diâmetro do círculo inscrito), com base na relação estatística destes com as observações em campo e as condições de saturação das rotatórias estudadas (VASCONCELOS, 2014). O modelo tem como base regressão múltipla não linear, e relaciona a capacidade de entrada com o fluxo da rotatória, incluindo coeficientes de ajuste como variáveis que são influenciadas pelas características geométricas (PEREIRA, 2014; SILVA; SECO, 2004).

O Modelo Inglês (Kimber, 1980) é composto por duas variáveis fundamentais, a primeira relacionada pelas características geométricas e a segunda, pelo tráfego conflitante. É considerado que, quando $Q_c = 0$, não existe tráfego circulante na pista rotatória, tendo como produto a capacidade máxima de entrada (produto da variável dependente F pelo fator de correção K), relativo à influência das características geométricas da rotatória (PEREIRA, 2014; SILVA; SECO, 2004). Os parâmetros geométricos são ilustrados na Figura 1, e o

modelo de cálculo e as variáveis são apresentados pelas formulas a seguir:

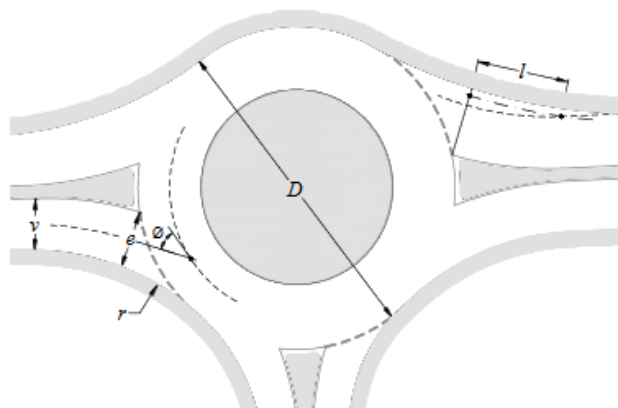


Figura 1: Parâmetros geométricos para aplicação do Modelo de Kimber
Fonte: Vasconcelos *et al*, 2013

$$Q_e = K (F - f_c \cdot Q_c) \quad \text{se } f_c \cdot Q_c < F \text{ ou,} \quad (1)$$

$$Q_e = 0 \quad \text{se } f_c \cdot Q_c > F \quad (2)$$

Onde, Q_e = capacidade de entrada (UCP/hora);

Q_c = fluxo do tráfego de circulação na pista rotatória (UCP/hora);

F e f_c = variáveis dependentes das características geométricas.

$$K = 1 - 0,00347 \cdot (\phi - 30) - 0,978 \cdot \left\{ \left(\frac{l'}{r} \right) - 0,05 \right\} \quad (3)$$

$$F = 303X_2 \quad (4)$$

$$f_c = 0,21t_p \cdot (1 + 0,2X_2) \quad (5)$$

Onde, ϕ = ângulo de entrada (em graus);

r = raio de entrada (m);

X_2 = parâmetro em função da largura e do leque;

K = fator de correção.

$$t_p = 1 + 0,5 / (1 + M) \quad (6)$$

$$M = \exp\{(DCI - 60) / 10\} \quad (7)$$

Onde, DCI : diâmetro do círculo inscrito (m);

M e t_p = parâmetros em função do diâmetro do círculo inscrito.

$$X_2 = v + (e - v) / (1 + 2S) \quad (8)$$

$$S = 1,6 \cdot (e - v) / l' \quad (9)$$

Onde, e = largura efetiva da entrada da rotatória (m);

v = largura da via de aproximação (m);

l' = comprimento efetivo médio do leque de abertura da rotatória (m);

S = fator de forma do leque.

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesse estudo foi dividida em duas partes: coleta de dados e aplicação do Modelo de Kimber. O estudo foi aplicado na cidade de Palmas-TO, peculiar pelas características do sistema viário, com rotatórias em suas vias secundárias, e por 23% dos acidentes de trânsito incidirem sobre as rotatórias da cidade (SOUZA; SIDEL, 2018).

Das rotatórias avaliadas como as mais críticas, em relação ao número de sinistros de trânsito, foi selecionada a rotatória da Avenida NS-02 com a LO-03, apontada por Souza e Sidel (2018) como a quarta rotatória com maior número de acidentes. O critério de seleção teve como base fatores como localização, uso em relação ao sistema de transporte da cidade, disponibilidade de dados de pesquisas anteriores e pelo projeto geométrico desta ainda não ter sofrido modificação, se assimilando à outras rotatórias de mesma concepção na malha viária da cidade. O objeto de estudo encontra-se em meio urbano, em região central e tem relativamente uma frequência baixa na passagem de caminhões e linhas de ônibus. Este é apresentado na Figura 2.

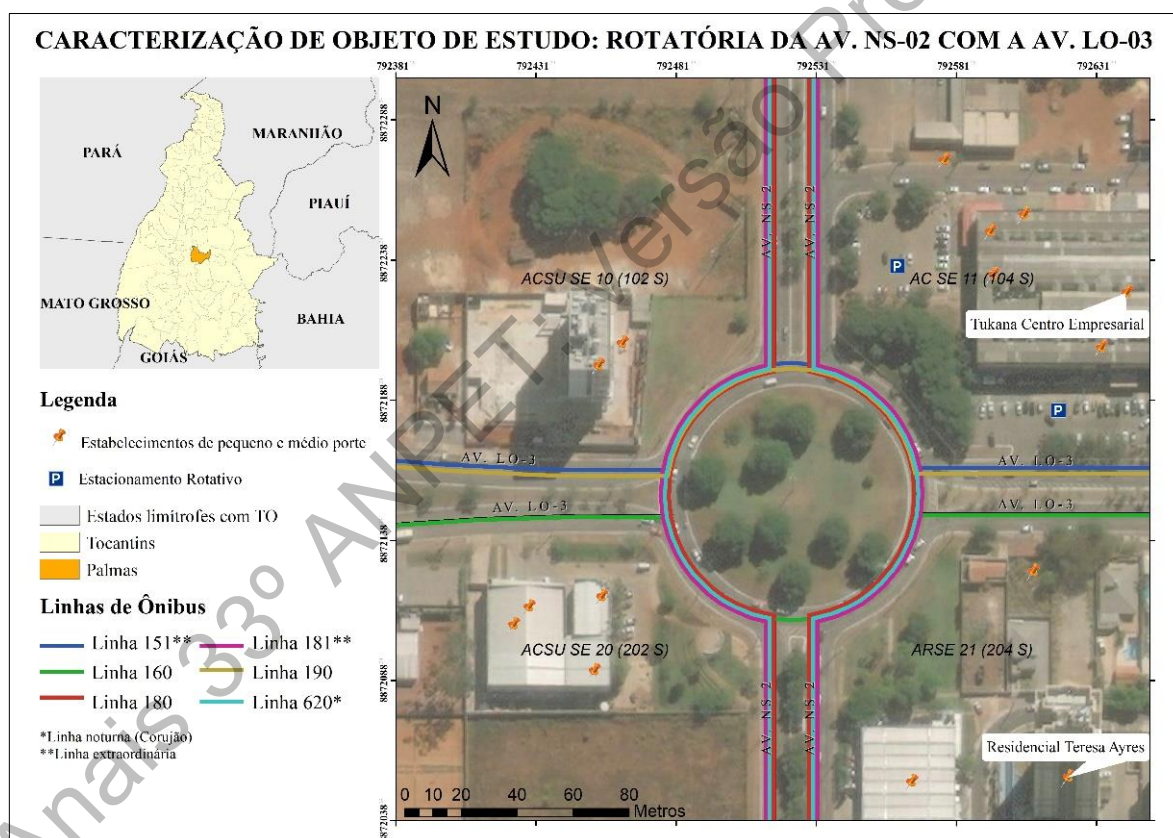


Figura 2: Caracterização do objeto de estudo

A coleta de dados para o estudo se dividiu em duas etapas, sendo a primeira a coleta de dados da geometria da rotatória e a segunda a coleta de dados do volume e fluxo de veículos, coletados a partir de contagem volumétrica classificatória.

3.1. Coleta de dados geométricos

Pela ausência do projeto executivo (*as-built*) junto à Prefeitura Municipal de Palmas, se fez necessário o levantamento planimétrico dos elementos geométricos da rotatória selecionada,

com o objetivo de se obter as características do projeto geométrico existente. O levantamento foi realizado pela tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*), por posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*), método escolhido pela precisão na coleta dos dados. A utilização do método foi condicionada a solução do vetor de ambiguidades como inteiro (fixed).

Para o desenvolvimento do levantamento foram utilizados os seguintes equipamentos:

- 4 (quatro) receptores GPS GNSS Topcon HiPer II de recepção L1/L2 com C/A com 72 canais universais e com precisão horizontal de 3mm + 0,5ppm para levantamentos L1/L2 em estático e rápido-estático e de 10mm + 1ppm para levantamentos cinemáticos.
- 4 (quatro) coletoras de dados FC25.
- 4 (quatro) bastões extensíveis de 3,60 / GPS;
- 4 (quatro) tripés extensíveis para os bastões.

Após o levantamento dos pontos topográficos pelas coletoras, os dados foram armazenados nas controladoras dos receptores, para em seguida serem descarregados em um computador e processados pelo *software* fornecido pelo fabricante do receptor, o TOPCON. Posteriormente ao processamento dos dados, estes foram analisados de acordo com a precisão esperada (menor que 2 cm), e então exportados para o *software* AutoCAD, tratados, avaliados e tabulados os dados referentes as dimensões para a posterior análise.

3.2. Coleta de dados de tráfego

Os dados de tráfego foram coletados segundo as recomendações do DNIT (2010). Foi realizada contagem volumétrica classificatória manual, e teve como objetivo a classificação em carros de passeio, motocicletas, caminhões e ônibus. A contagem ocorreu durante os dias 19 a 21 de fevereiro de 2019, durante 6 horas por dia, nos intervalos de 07hrs às 09hrs da manhã, 11:30hrs às 13:30hrs da tarde e de 17hrs às 19hrs da noite, nas quatro entradas da rotatória, estas nomeadas de Oeste, Sul, Leste e Oeste. A contagem buscou caracterizar a maior hora de pico diária no período estudado.

As medições de capacidade foram divididas em intervalos de 5 minutos, com o objetivo de obter uma base significativa de valores representativos dos fluxos de entrada de cada ramo e os de conflito.

4. ANÁLISE E RESULTADOS

4.1. Análise de situação geométrica

Segundo Arndt (1994) e Coelho (2012), a geometria das vias são fatores determinantes na gestão de riscos que os condutores podem assumir, ou seja, dependendo das informações visuais da geometria das vias o usuário terá maior ou menor controle da velocidade e posição do veículo na pista. Com base nisso, um traçado geométrico inconsistente pode vir a estimular maiores velocidades, assim como uma direção menos uniforme, o que pode vir a causar acidentes aos motoristas que não estão habituados as imperfeições da rotatória. Na Tabela 1 é avaliado brevemente as principais condições elementos geométricos das rotatórias utilizados como indicadores, levando em considerações fatores como segurança viária e capacidade.

Tabela 1: Situação geométrica da rotatória com base na avaliação dos indicadores propostos

Parâmetro geométrico	Situação encontrada
Largura de chegada (v)	<ul style="list-style-type: none"> Muito ortogonais, com base na concepção urbanística da cidade; Não existe indução, a partir do traçado geométrico da via, de redução de velocidade na transição para a rotatória.
Largura de entrada (e)	<ul style="list-style-type: none"> Valores médios próximos de 7,0 metros Não há consideração de valores de superlargura para curvas horizontais; Dimensões restritivas para manobra de veículos rígidos e semirrígidos; Dimensões menores do que as da via de chegada (v)
Largura efetiva do comprimento do leque (l')	<ul style="list-style-type: none"> Encontrada em apenas em dois dos quatro acessos; Devido à ausência, ou de valores insuficientes, são responsáveis junto as larguras de entrada (e) do estrangulamento do acesso.
Raio de entrada (r)	<ul style="list-style-type: none"> Possui grande variabilidade; Valores limitadores da manobra de veículos, por não atender aos raios mínimos do giro de veículos; Estão ligados a tipologia da rotatória, tipo circular; Composição de raios curtos e reversos;
Ângulo de entrada (ϕ)	<ul style="list-style-type: none"> Não existe padronização;
Diâmetro do Círculo Inscrito (DCI)	<ul style="list-style-type: none"> Largura média do anel de circulação de 7,0 metros; Possui influência na sensação de conforto do usuário; Raio grande da ilha central promove a adoção de velocidade elevadas pelos usuários.

Os dados geométricos correspondentes aos indicadores são apresentados na Tabela 2, estes foram coletados utilizando a metodologia de mensuração de geometria de rotatórias apresentada no Manual Português (INIR, 2009). Os dados resumidos foram aplicados no modelo de capacidade de Kimber, onde o resultado será apresentado no tópico a seguir.

Tabela 2: Tabela resumos dos principais dados geométricos da rotatória

Símbolo	Elemento Geométrico	Ramo				Média	Desvio Padrão
		Leste	Sul	Oeste	Norte		
-	Diâmetro da Ilha Central (m)			80,4		-	-
DCI	Diâmetro do Círculo Inscrito (m)			93,9		-	-
v	Largura de chegada (m)	7,0	6,7	7,0	6,9	6,9	0,124
e	Largura de entrada (m)	7,0	7,5	7,0	7,9	7,3	0,460
-	Largura de saída (m)	6,9	7,0	7,3	6,9	7,0	0,156
r	Raio de entrada (m)	13,0	14,8	13,1	13,8	13,7	0,829
l'	Largura do comprimento do leque (l')	-	4,1	-	3,8	2,0	2,280
ϕ	Ângulo de entrada ($^\circ$)	41,0	62,0	43,0	58,0	51,0	10,55

4.2. Determinação do tráfego existente

Pela grande significância de motocicletas, estas foram consideradas como parte do estudo de capacidade, porém com um valor de minoração para Unidades de Carro de Passeio. Os valores de conversão foram baseados nas recomendações do CONTRAN (2014) e DNIT (2006), foram considerados 1,0 para carros de passeio e utilitários, 0,33 para motocicletas, 1,5 para ônibus e 2,0 para caminhões. A caracterização do tráfego é apresentada na Figura 3.

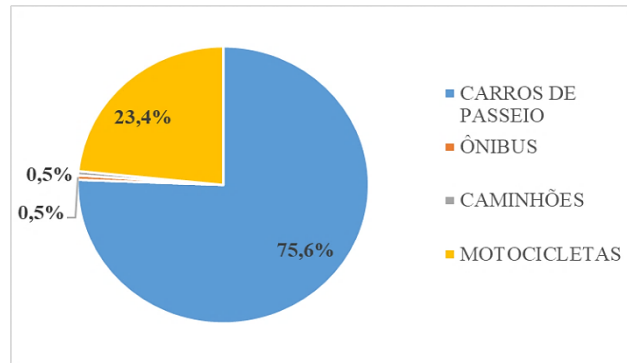


Figura 3: Caracterização do tráfego

Para a caracterização do fluxo por movimento foi utilizado o estudo de Souza (2017), o qual classificou os movimentos direcionais na mesma rotatória. Com as estimativas de movimento, foi estimado a partir do fluxo de entrada (D), o fluxo da faixa canalizadora (Q_{canal}), o fluxo de saída (Q_u) e o fluxo circulante no anel (Q_c). A estimativa foi necessária uma vez que foi desconsiderado o fluxo de veículos que utilizam a faixa canalizadora, esta funcionaria conceitualmente como um *bypass*, porém a faixa de tráfego é agregada a pista de circulação, sendo ordenada apenas por uma linha de fluxo (LMS-1), com o intuito de proibir a mudança de faixa e, teoricamente, separar da dinâmica de conflito da pista de circulação.

Os Volumes Hora Pico (VHP) foram encontrados por meio da média da contagem (de 5 em 5 minutos) dos três dias de todos os movimentos, considerando a hora mais crítica em relação a soma de todas as entradas da interseção. Os valores podem ser encontrados na Tabela 3.

Tabela 3: Dados de fluxo e volumes de tráfego coletados

Ramo	Tipo de veículo (veic/h)				VHP	Volume do fluxo (UCP/h)			
	Carro de Passeio e Utilitário	Ônibus	Caminhões	Motos	Total (UCP/h)	D	Q _{canal}	Q _c	Q _u
LESTE	1205	6	7	352	1343	1167	176	898	623
SUL	839	6	6	302	958	668	290	853	1061
OESTE	812	4	6	184	891	639	252	1275	980
NORTE	947	10	5	340	1084	888	196	1366	699

4.3. Aplicação do Modelo de Kimber

A partir dos dados da geometria (v , e , r , l' , ϕ e DCI) e dos dados estimados dos volumes na hora pico nos acessos e no anel de circulação (Q_c), estes foram aplicados no Modelo de Kimber, a fim de se calcular os parâmetros geométricos, capacidade em fluxo livre (F pelo fator K) de cada acesso, e capacidade (Q_e) em relação ao fluxo circulante (Q_c). Os resultados destes podem ser encontrados na Tabela 4.

Tabela 4: Cálculo dos parâmetros do Modelo de Kimber

RAMO	M	S	X ₂	tp	fc	K	F	F•K (UCP/h)	Q _c (UCP/h)	Q _e (UCP/h)
Leste	29,786	0,000	6,970	1,016	0,511	0,935	2111,9	1976	898	1547
Sul	29,786	0,318	7,211	1,016	0,521	0,872	2185,1	1905	853	1517
Oeste	29,786	0,000	6,970	1,016	0,511	0,898	2111,9	1962	1275	1357
Norte	29,786	0,452	7,407	1,016	0,530	0,881	2244,2	1977	1366	1340

Pode-se observar que os valores do Fator de Forma do Leque (S) nos ramos Leste e Oeste não foram calculados pela razão da ocorrência de estrangulamento dessas entradas (largura de entrada menor que largura de chegada). Logo, considerou-se, para a realização dos cálculos, o valor mínimo para S, igual a zero. A exemplificação do encontrado é apresentada na Figura 4.

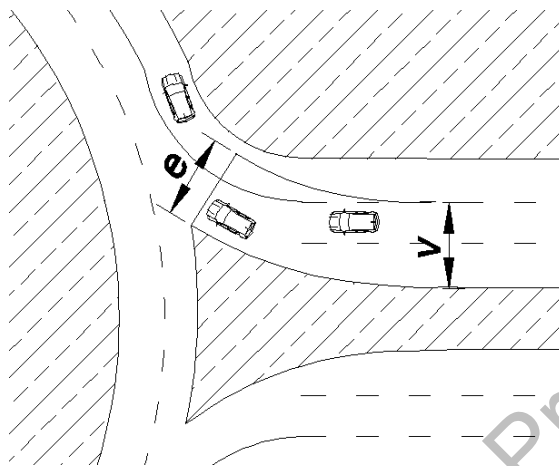


Figura 4: Exemplo observado do estrangulamento nos acessos

4.4. Análise de situação de capacidade

Na Figura 5 é ilustrado os dados calculados (em UCP/h) da capacidade dos ramos e os dados da demanda de tráfego na hora pico. Onde pode se destacar principalmente os ramos Leste e Norte, que possuem uma relação entre a demanda e a capacidade de 0,75 e 0,66 respectivamente. Segundo Silva e Seco (2004), para ambientes urbanos, taxas de até 0,85 são valores aceitáveis.

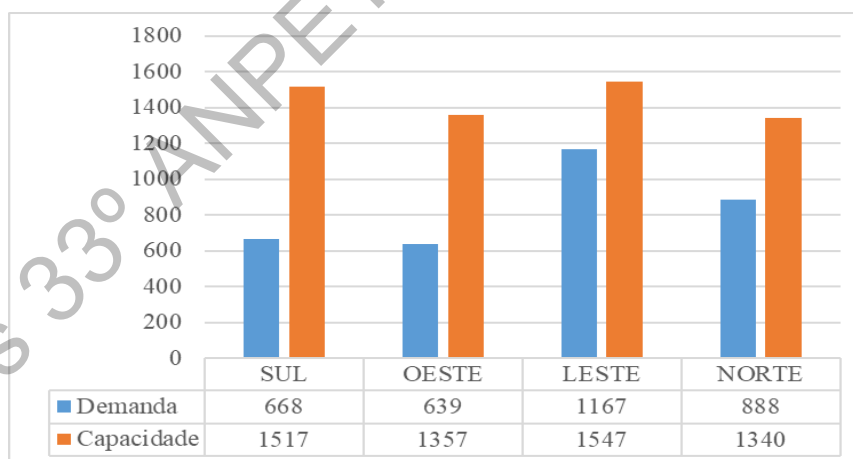


Figura 5: Representação das relações de capacidade e demanda observada

A capacidade de entrada (Q_e) em função do fluxo circulante (Q_c) dos dados coletados em campo são apresentados na Figura 6, estes estimados a partir da consolidação dos dados da contagem volumétrica agrupados em 15 em 15 minutos (média aritmética dos dias contados). A Figura 6 também ilustra as condições de saturação de cada acesso, em contraste à “curva de capacidade” do modelo do TRL, fenômeno observado principalmente no período do fim do dia, entre às 18:30hrs e 19:30hrs.

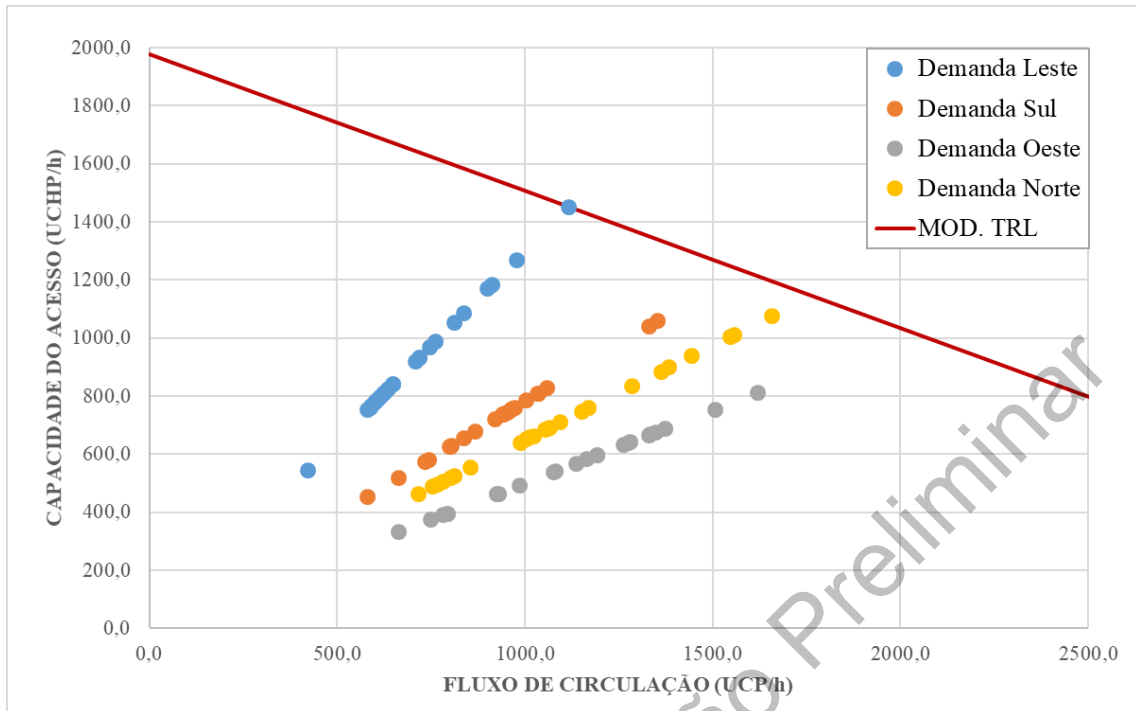


Figura 6: Comparação entre capacidade do acesso e fluxo de circulação

Segundo Johnson e Lin (2018), dos seis parâmetros geométricos principais do Modelo de Kimber, três deles possuem grande significância (largura de entrada, largura e número de vias de chegada, e o comprimento efetivo da largura do leque) e três de impacto menos significativo (raio de entrada, ângulo de entrada e diâmetro) na capacidade da rotatória. A influência dos parâmetros geométricos na capacidade apontada por Johnson e Lin está representada graficamente na Figura 7, dividido nos elementos de maior e menor significância, a partir das formulações do Modelo de Kimber.

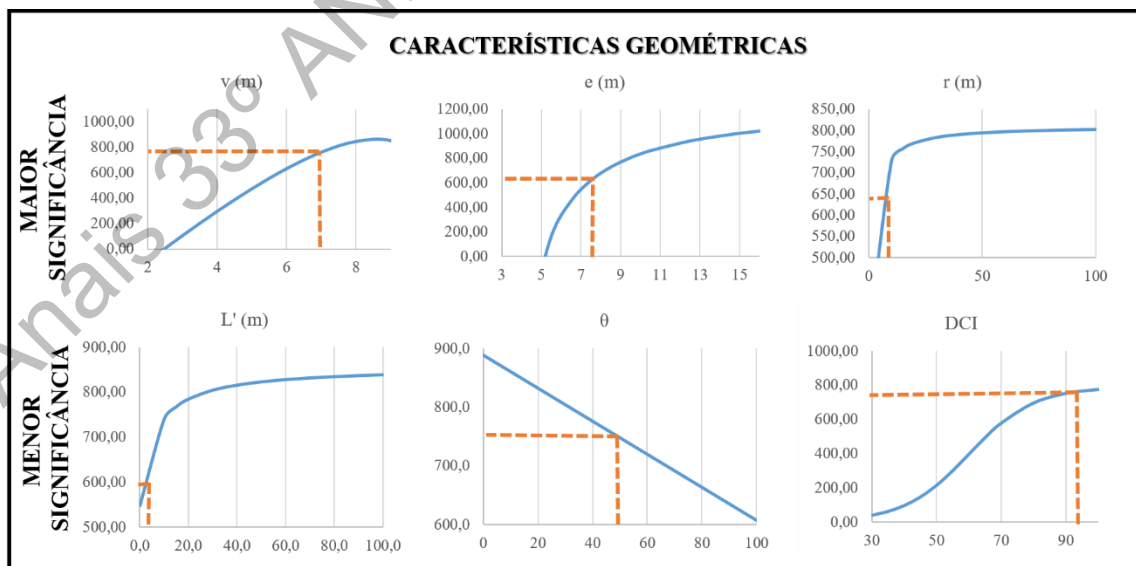


Figura 7: Parâmetros geométricos por significância, em relação ao Modelo de Kimber

A Figura 7 também apresenta a relação das dimensões médias encontradas neste estudo com a capacidade teórica do acesso. A partir desta, e das considerações de Johnson e Lin (2018) é

possível observar que em teoria a capacidade dos acessos pode ser beneficiada a partir da melhora nas dimensões do raio de entrada (r), largura de entrada (e) e do fator de forma de leque, aqui avaliado pelo comprimento efetivo do leque (l'). Estes, podem ser indicados como os pontos críticos de gargalo da capacidade na rotatória estudada, podendo servir como indicadores de otimização da capacidade existente.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso das rotatórias tem se popularizado em pequenas e médias cidades brasileiras pela facilidade na instalação (em comparação a outros tipos de interseção), manutenção e pela eficiência na melhoria na dinâmica do tráfego. Porém, o uso indiscriminado, aliado a falta de recomendações no dimensionamento do projeto geométrico, tem posto em risco a eficiência desse tipo de interseção.

Apesar de ser um modelo estatístico, o Modelo Inglês prova-se um método simplificado de estimativa e dimensionamento de rotatórias, visto que consegue relacionar as características mais significativas do projeto geométrico com os fluxos de entrada. Este pode ser estimado a partir de contagens volumétricas simplificadas, obtendo os fluxos totais de entrada e de saída, simplificando a contagem de 16 movimentos para apenas 8.

O Modelo de Kimber mesmo possuindo restrições quanto ao aprofundamento no estudo da capacidade em interseções, em razão de não abordar características locais de tráfego, como a calibração da brecha crítica e o *headway* em fila de entrada dos veículos, prova-se ser ainda um método eficaz, podendo ser utilizado em análises macroscópicas, onde a disponibilidade de recursos for limitada. No estudo de caso da rotatória de Palmas, mesmo com as limitações quanto ao estudo de tráfego em relação as estimativas do fluxo individual dos movimentos, o Modelo conseguiu atender as expectativas quanto a estimativa de capacidade.

Também se mostrou interessante o uso dos parâmetros geométricos do modelo como indicadores de capacidade, dado que permite observar, a partir de relações gráficas, quais características podem ser otimizadas com objetivo de melhorar a capacidade dos acessos. Estas devendo ser dimensionadas com vista as recomendações de segurança, intrínsecas as normas de traçado, projeto e homogeneização geométrica.

Os resultados obtidos apresentaram que globalmente a rotatória ainda possui um nível de serviço aceitável em relação a demanda pela capacidade, porém em períodos específicos, alguns acessos já se encontram próximo aos limites de saturação. Visto que a estimativa de capacidade pelo método estudado possui uma interação direta com os parâmetros geométricos, é possível concluir que melhorias na rotatória já podem ser recomendadas, posto que haveria impacto positivo quanto a melhora do tráfego nos acessos da interseção, o que consequentemente prolongaria sua serventia.

A eficácia e aplicação das rotatórias dependem de diversos fatores, desde de dimensionamento do projeto geométrico ao comportamento dos usuários frente as características do sistema viário existente. Uma vez que estes são desconhecidos é difícil avaliar sua eficiência. Isso reforça a necessidade de mais estudos quanto ao uso desses dispositivos viários não apenas em ambientes rodoviários, mas em ambientes urbanos, em virtude de possuírem características de uso e fluxo diferenciados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arndt, O. (1994) *Relationship Between Roundabout Geometry and Accident Rates*. Masters of Engineering Thesis. School of Civil Engineering. Faculty of Built Environment and Engineering, Queensland University of Technology, Australia.
- Coelho, M. D. (2012) *Análise e sugestões para projetos geométricos de rotatórias modernas em vias urbanas*. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- CONTRAN (2014) *Manual Brasileiro de Sinalização – Volume V Sinalização Semafórica*. Conselho Nacional de Trânsito, Brasília.
- Crisalli, U. (2011) *Corso di Teoria e Tecnica de circolazione: Intersezioni a rotatória – 2010-2011*. Notas de Aula, Roma, Itália.
- Cunha, L. C. S. (1978) *Projeto interseções em nível – canalizações*. São Paulo. Companhia de Engenharia de Tráfego, São Paulo.
- DAER/RS (1991) *Normas de Projetos Rodoviários*. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem, Porto Alegre, RS.
- DNIT (2005) *Manual de Projeto de Interseções (2ª ed)*. Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes, Rio de Janeiro, RJ.
- DNIT (2006) *Manual de Estudo de Tráfego*. 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.
- INIR (2009) *Dimensionamento de Rotundas – Documento Síntese. Disposições Normativas*. - Instituto de Infra-estruturas Rodoviárias - InIR, Lisboa, Portugal.
- Johnson, M. T e T. L. Lin (2018) *Impact of Geometric Factors on the Capacity of Single-Lane Roundabouts*. Transportation Research Board Record: Journal of the Transportation Research Board. Vol. 2672, ed. 34.
- Kimber, R. M. (1980) *The traffic capacity of roundabouts*. TRRL Laboratory, Report 942, Crowthorne, Berkshire, U.K.
- Neris, D. F. (2014) *Melhoria do desempenho do tráfego em rotatórias com o emprego de semáforos próximos na via principal*. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- Pereira, A. M. L. C. (2014) *Análise de desempenho de interseções giratórias*. Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- 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, M. (2017) *Simulação de Tráfego – Uso da rotatória como elemento organizador do fluxo de tráfego em cruzamentos da cidade de Palmas-TO*. Monografia (TCC) – Universidade Federal do Tocantins, Curso de Bacharelado em Ciência da Computação, Palmas, Tocantins.
- 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 Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável – Cidades e Territórios: Desenvolvimento, atratividade e novos desafios. Coimbra, Portugal.
- Vasconcelos, A. L. P., Santos, S. M. F., Silva, A. B., E Seco, Á. J. M. (2013) *Novos modelos de estimação de capacidades em rotundas*. 7º Congresso Rodoviário Português, Lisboa, Portugal.
- Vasconcelos, A. L. P. (2014) *Avaliação do desempenho operacional de rotundas: Modelos e aplicações*. Tese de Doutorado apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.

Thiago Cabral de Souza (thiogcabralsouza@gmail.com)
Marcus Vinicius Ribeiro e Souza (marcussouza@uft.edu.br)
Roberta Mara de Oliveira Verga (robertaoliveira@uft.edu.br)
Salmo Moreira Sidel (sidel@uft.edu.br)
Jonathas Pereira Rabêlo (jonathas.rabelo@ifto.edu.br)
Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Tocantins
Quadra 109 Norte, Avenida NS 15, ALCNO-14 – Plano Diretor Norte, Palmas, TO, Brasil.