

A STUDY ABOUT THE URBAN TRANSIT IN THE CARUARU CITY, PERNAMBUCO***UM ESTUDO SOBRE O FLUXO DE TRÂNSITO EM UMA VIA DO MUNICÍPIO DE
CARUARU – PERNAMBUCO**

Marcos Felipe Falcão Sobral ¹
Lúcia Maria Góes Moutinho²
Romilson Marques Cabral³
Camila Gabriela Silva de Barros⁴

ABSTRACT

This paper puts forwards an analysis of traffic in Caruaru City, Pernambuco. This is an observational study of descriptive nature that initially collected data on vehicle arrival rate of opening and closing cycles of the traffic light. The data were modeled using Queuing Theory, considering the M/M/1 system, at intervals of 20 minutes. As a result, it was possible to analyze the utilization of traffic lights, risk of collapse of the system, number of clients on system and time range and gaps in the system. Furthermore, based on the extension of the track and in the estimation of the average size of a vehicle, it was possible to indicate the maximum number of waiting vehicles, what influences the time that the lights are closed. The information in the paper may be use as a basis for intervention in the region, as well as a reference for future applications in similar contexts.

KEYWORDS: Urban Mobility. Queuing Theory. City Logistics.

¹ Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Pernambuco - UFPE. Professor Adjunto do Mestrado em Administração e do Departamento de Administração da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco/Brasil. E-mail: marcos_sobral@bol.com.br

² Doutora em Administração pela FGV-SP. Professora Associada do Mestrado em Administração da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco/Brasil. E-mail: luma121@hotmail.com

³ Doutor em Administração pela UFBA. Professor Adjunto do Mestrado em Administração da Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco/Brasil. E-mail: romilsonmarquescabral10@gmail.com

⁴ Bacharel em Administração de Empresas pela Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife, Pernambuco/Brasil. E-mail: camila.ufpecaa@gmail.com

RESUMO

O presente artigo trata da análise do trânsito em uma via de grande movimentação do município de Caruaru, Pernambuco. Trata-se de uma pesquisa observacional de cunho descritivo. Inicialmente coletou dados sobre taxa de chegada de veículos e dos ciclos de abertura e fechamento do semáforo. Os dados foram modelados utilizando Teoria das Filas, considerando o sistema M/M/1, em intervalos de 20 minutos. Como resultado, foi possível analisar a taxa de utilização dos semáforos, probabilidades de colapso do sistema, número de clientes aguardando por faixa de horário e folgas/gargalos no sistema. Além disso, com base na extensão da via e na estimação da dimensão média de um veículo, foi possível indicar a capacidade máxima de veículos aguardando, o que exerce influência sobre o tempo em que o semáforo está fechado. A metodologia empregada e resultados obtidos podem servir de base para uma intervenção na região, assim como um referencial para futuras aplicações em contextos similares.

PALAVRAS-CHAVE: Mobilidade Urbana; Teoria das Filas; Logística Urbana.

INTRODUÇÃO

As dificuldades de movimentação nas grandes metrópoles brasileiras se tornaram um problema comum. Ações governamentais para melhorar o fluxo de movimentação de veículos nas vias das cidades envolvem um conjunto de atividades, que demandam pesquisa e investimento. Entretanto, muitos dos investimentos públicos ainda não são suficientes para reverter à demanda social pelos serviços básicos de movimentação de pessoas e cargas.

A demanda por vias de acesso rápido não é exclusividade de poucos usuários que possuem veículos. Mesmo quem não faz uso intensivo de carros particulares, sofrem as consequências de um trânsito caótico em sem fluidez. Isto porque a estrutura de transporte público, em muitos casos, também utiliza espaço de vias, sofrendo igualmente quando existem engarrafamentos.

Os pedestres necessitam de pontos de travessia e semáforos específicos, o que também interfere diretamente no planejamento de trânsito. Além disso, até a qualidade dos serviços de emergência médica e policial são influenciados pela taxa de fluidez da

via, fazendo com que os congestionamentos sejam um problema social de todos que vivem nos centros urbanos.

Atualmente existem diversas opções para melhoria dos sistemas de trânsito que, aparentemente, quando utilizadas individualmente possuem um impacto mínimos. Ao passo que ações planejadas e implantadas de forma integrada apresentam melhorias significativas em todo o sistema viário.

Estabelecendo uma ordem de prioridade entre as principais opções para intervenção no trânsito, uma das primeiras ações para balancear o fluxo de veículos está na sincronização de semáforos, seguindo pelo uso de semáforos inteligentes, criação de binários e, por fim, a realização de grandes obras de infraestrutura como a construção de viadutos, rodovias e elevados.

Como existem dificuldades técnicas na realização de sincronização de semáforos e análise de fluxos, é comum que muitas gestões municipais e estaduais brasileiras optem pela adoção direta de obras infraestruturais, o que demanda investimento e tempo. Com base nisto, o presente artigo descreve uma modelagem para análise de vias públicas, com base na Teoria das Filas.

O estudo foi conduzido no município de Caruaru, que é considerado um dos maiores centros urbanos do Estado e está localizado na região Agreste de Pernambuco. Na região, existe um comércio centenário, conhecido como a Feira da Sulanca, fazendo com que o tráfego de pedestres e veículos seja intenso. Além disso, os comerciantes locais também são atingidos pelos gargalos que o trânsito ocasiona interferindo no processo de reposição do estoque.

Por se tratar de uma pesquisa observacional descritiva, foi realizada a coleta local de dados relacionados à taxa de chegada de veículos e de atendimento do semáforo. O objetivo foi analisar as probabilidades de congestionamento e de colapso no sistema, bem como monitorar os gargalos e folgas existentes no sistema.

Adicionalmente foram estimados, com base no modelo, o número de veículos aguardando a cada ciclo, capacidade máxima de veículos da via e o tempo de espera por

faixa de horário. Os resultados permitiram observar novos horizontes para gestão do tráfego e para a melhoria da logística urbana na região.

O artigo está dividido em quatro seções, sendo a seguinte destinada a referenciar teoricamente a Teoria das Filas, Gestão de Tráfego e Logística Urbana. Em seguida foram descritos os procedimentos metodológicos e a modelagem do problema com as devidas análises sobre os indicadores de desempenho. Ao final seguem as conclusões e recomendações para futuros trabalhos.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Teoria das Filas

A teoria das filas trata do estudo sobre a espera. Usam-se modelos para representar os diversos sistemas de filas que surgem na prática (HILLIER e LIEBERMAN, 2013). Estes modelos são muito úteis para determinar quando operar um sistema de filas de forma mais eficiente e encontrar um equilíbrio apropriado entre custo do serviço e o tempo de espera (HILLIER e LIEBERMAN, 2013).

As preocupações com o sistema de filas e seus estudos estão presentes em diversos setores da economia, entretanto as primeiras aplicações da modelagem de fila se deram na área de telefonia por Erlang (1909). Na atualidade, a Teoria de Filas tem sido aplicada no controle de tráfego em sistemas de autoestrada (YANG e YAGAR, 1994), no planejamento e dimensionamento de terminais logísticos (TANIGUCHI, NORITAKE, *et al.*, 1999), na localização de veículos de emergência (MARIANOV e REVELLE, 1996) e na análise da gestão da capacidade em unidades de terapia intensiva (KIM, HOROWITZ, *et al.*, 1999) dentre outros.

O sistema de filas engloba um conjunto de usuários e atendentes, além de uma ordem pela qual estes usuários são processados (BRONSON, 1985). O processo de fila é caracterizado por três elementos (TORRES, 1966):

- a) Regime de chegada: especificação da população (finita ou infinita) e distribuição de probabilidades do intervalo de tempo entre chegadas.
- b) Regime de serviço: disponibilidade do serviço, capacidade do sistema e duração do tempo de serviço de cada cliente.
- c) Regime de Chegada: FIFO (first in, first out), LIFO (last in, first out), etc.

Os sistemas de filas podem caracterizar vários tipos de estrutura, partindo da mais simples com um servidor até estruturas mais complexas com várias filas e servidores (ANDRADE, 1994), (HILLIER e LIEBERMAN, 2013), (KRAJEWISKI, RITZMAN e MALHOTRA, 2009):

- a) Uma fila e Um Servidor: pressupõe a população de clientes infinita, aleatória e em abandono por parte dos clientes. Os clientes chegam a uma distribuição de Poisson e o atendimento ocorre exponencialmente. Utiliza do sistema FIFO (first in, first out) e a extensão da fila é indefinida.
- b) Uma Fila e N Servidores: é composta por uma única fila que será distribuída pelo número de servidores disponíveis. Também utiliza o sistema FIFO e tem extensão indefinida.
- c) Preferenciais: Interfere sobre o sistema FIFO e pode ser com ou sem preempção.

As notações genéricas dos parâmetros da Teoria das Filas são (DUARTE, LEMES e PINTO, 2009):

λ = taxa média de chegadas

μ = taxa média de atendimento

s = número de atendentes

n = número de clientes no sistema

A taxa média de atendimento é a média das taxas de atendimentos ocorridas nas faixas de tempo determinadas para a coleta de dados em um determinado intervalo de tempo. Estas definem uma distribuição de frequência, que geralmente podem ser

suficientemente ajustadas a uma curva teórica de distribuição de frequência (DUARTE, LEMES e PINTO, 2009).

Todo sistema de filas possui uma taxa de utilização dos servidores, sendo indicada como ferramenta de desempenho que objetiva analisar o grau de comprometimento dos atendentes. A taxa de utilização é dada por:

$$\rho = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (1)$$

Considerando que o intervalo de tempo bem como o número de clientes que chegam no sistema de filas ocorre aleatoriamente, será necessário definir o tipo de distribuição. Para o modelo proposto se considerará a Distribuição de Poisson, com chegadas e partidas markovianas para um servidor ($M/M/1$). Uma vez definido que as filas estão em um sistema $M/M/1$, é possível encontrar a probabilidade de vários estágios do sistema (HESS, KOS e HESS, 2007).

As características operacionais dos sistemas de filas são determinadas, em grande parte, por duas propriedades estatísticas: distribuição probabilística dos tempos de atendimento e distribuição probabilística dos tempos entre atendimentos (HILLIER e LIEBERMAN, 2013). Segundo Hillier e Liberman (2013), em sistemas de filas reais, estas distribuições podem assumir praticamente qualquer forma, tendo como única restrição a não ocorrência de valores negativos. Em função disto, a distribuição probabilística mais importante para a Teoria das Filas é a distribuição exponencial.

Diversas medidas de desempenho podem ser facilmente computadas admitindo-se que o sistema esteja em equilíbrio, tais como a utilização média dos servidores (ρ), o número médio de consumidores no sistema (L_s), o tamanho médio da fila (L_q) e o tempo médio de espera em fila (W_q) e no sistema (W_s) (MORABITO e LIMA, 2000).

$$L_s = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (2)$$

$$L_q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (3)$$

$$W_q = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (4)$$

$$W_s = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (5)$$

Para Krajewisky, Ritzman & Malhotra (2009) é necessário que os gestores das filas observem e monitorem fatores que possam influenciar no desempenho e atendimento dos clientes. Os mesmos autores também apontam que as filas podem ser influenciadas por desequilíbrios sazonais entre demanda e oferta, o que pode causar retenção e perda de clientes e congestionamentos. No trânsito, além destes fatores, as filas causam aumento dos custos, aumento do consumo de combustíveis fósseis e aumento das emissões de gases poluentes. Nesta ótica, fica clara a importância do uso das medidas de desempenho, no sentido de intervir e acompanhar o comportamento do processamento de clientes no sistema.

1.2 Gestão de Tráfego e Logística Urbana

Os conflitos gerados pelo uso dos transportes tem registro na história da humanidade desde o primeiro século D.C., onde Roma já proibia a circulação das carruagens durante o dia, pelo centro da cidade (ANDRADE, 1994).

Na atualidade, no espaço intraurbano, os incentivos para a aquisição do meio de transporte individual, por meio de marketing ou da redução de impostos, fazem com que parte da população veja o automóvel como a melhor escolha para locomoção

(POLIDORO, LOLLO e BARROS, 2012). Desta forma, os veículos têm se tornado indispensáveis às pessoas, pois estas dependem destes para sua locomoção (BRAIDO e MARTENS, 2012).

O aumento do volume de veículos nas vias urbanas exerce direta influência no trânsito. De acordo com a Pan American Health Organization (2005) o crescimento da frota de veículos exerce um impacto direto sobre a capacidade de fluidez do trânsito, gerando congestionamentos.

O planejamento dos transportes, desde os modais até a infraestrutura para apoiar o serviço logístico urbano, não é uma atividade simples, uma vez que este canal de serviço é uma atividade intermediária e devem ser estudadas a fim de possibilitar uma melhor flexibilização (ANDRADE, 1994). Ballou (2006) ressalta a importância de se planejar e executar um plano de gestão de tráfego, considerando intrinsecamente a rota ou o plano de viagem.

O planejamento e controle do sistema de transportes é uma atividade interdisciplinar, pois envolve especialistas de várias áreas. Por tratar-se de um campo relativamente novo, não se pode afirmar que o estudo do planejamento de tráfego seja considerado completo para a solução de todos os problemas de transporte e tráfego (Andrade, 1994). Porém, a falta de equilíbrio ou planejamento adequado resulta em zonas urbanas problemáticas (CARVALHO, RIBEIRO e SILVA, 2009).

É notório que o uso de ferramentas de gestão podem auxiliar no fluxo urbano de veículos. O ramo de estudo que se dedica ao estudo da movimentação nos centros urbanos de forma ampla é conhecido como *City Logistics*. Este processo visa otimizar as atividades logísticas em áreas urbanas, levando em consideração o aumento do tráfego e o consumo de combustível (TANIGUCHI, THOMPSON, *et al.*, 2001). Sua área de atuação engloba (CARVALHO, RIBEIRO e SILVA, 2009): sistemas de informação, terminais logísticos públicos, uso compartilhado de veículos de carga e aspectos ambientais, dentre outros.

City Logistics se difere das logísticas industriais e agrícolas, visto que o requisito de tempo é bem mais rigoroso, já que atrasos em qualquer processo, muitas vezes significa insatisfações dos consumidores (LIU, HE, *et al.*, 2008).

Para Andrade (1994), embora os transportes não sejam atividades fins para a efetividade da economia, nem por isso tem sua importância rebaixada para a tomada de decisão. Como instrumento de auxílio da mesma, os modais aéreo, ferroviário e aquaviário e dutoviário necessitam da estrutura que o modal rodoviário oferece para finalizar de forma eficiente suas estratégias de atuação no mercado. Por isso, é de suma importância que o município esteja preparado, ou pelo menos perceba essa necessidade de atendimento dessa demanda, como forma de desenvolvimento econômico para a própria localidade, obviamente.

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa é de natureza observacional, visto que não existiu intervenção no ambiente. Segundo Almeida Filho & Rouquairol (1990) a pesquisa observacional pode ser dividida em analítica ou descritiva. Para a presente pesquisa, optou-se pelo método descritivo, que tem por objetivo registrar a frequência de um determinado agravo e verificar sua distribuição no tempo (ALMEIDA FILHO e ROUQUAYROL, 1990).

O local de estudo foi o município de Caruaru, situado no estado de Pernambuco. A coleta de dados ocorreu de forma direta, através de medições e anotações realizadas no principal corredor de trânsito da cidade no mês de julho de 2011.

A coleta de dados para processamento das informações necessárias ocorreu nos turnos de maior movimentação da via, no horário que vai das 17h às 19h. Foram utilizados cronômetros para medir o tempo de abertura e fechamento dos semáforos e um sistema de contagem simples para determinar a taxa de chegada de veículos por ciclos de abertura/fechamento dos semáforos.

O eixo de maior lentidão está situado na região da Rua Duque de Caxias, haja vista que existe um cruzamento com a Avenida Rio Branco, ao leste, e outro cruzamento com a Rua Vidal de Negreiros a Oeste, conforme figura 2. A via possui apenas duas faixas, todas no mesmo sentido e existe um intenso comércio e movimentação de pedestres na região.

Figura 2 - Intersecções da Rua Duque de Caxias



Fonte: Google Maps

O trânsito nas três vias se intensifica em horários de pico e também na proximidade de datas festivas, onde o número de turistas aumenta na região, em especial, nas festas de São João e em dias da Feira de Caruaru.

A via é servida por um semáforo que está localizado na intersecção da Rua Vidal de Negreiros. Os tempos de médios de abertura e fechamento do semáforo, que foram apurados nas observações são descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Descrição dos tempos médios de abertura e fechamento observados

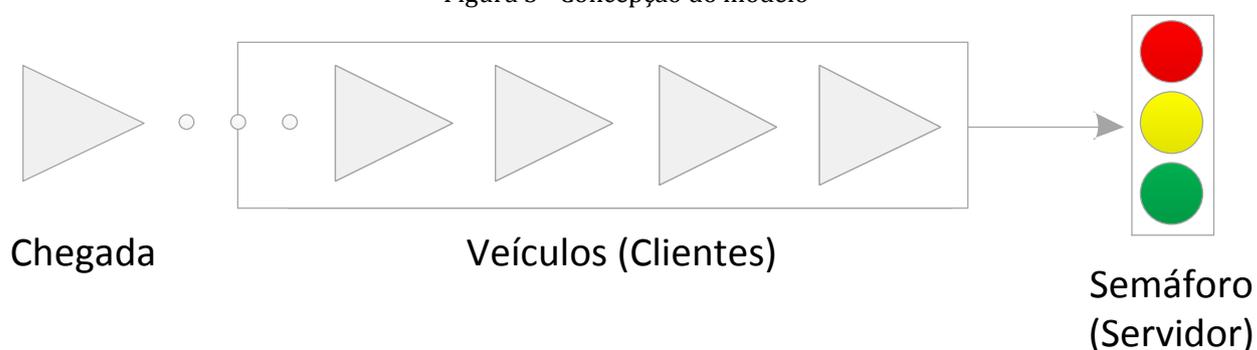
Abertura	Fechamento
51"	49"

Determinou-se, por meio de mapas, que a Rua Duque de Caxias possui 200 metros de extensão. Para fins de análise, estimou-se que os veículos possuíam uma dimensão média de 5,0 metros, onde foi acrescida uma distância adicional de 2 metros entre carros, gerando um espaço ocupado por veículo de 7,0 metros. Com base nestes valores, cada faixa da via possui capacidade de 25 veículos parados, totalizando 50, em função de existirem duas faixas de circulação no mesmo sentido.

Qualquer ciclo de abertura do semáforo que não seja capaz de atender 50 veículos deixará valores residuais para a próxima abertura de semáforo, aumentando o risco de engarrafamento. De igual forma, sempre que a taxa de chegada, superar a de atendimento ocorrerá congestionamento.

Seguindo as variáveis do modelo o semáforo é capaz de atender 42 veículos por minuto, nos horários observados. A concepção do modelo de filas adaptado para análise de trânsito considera o semáforo como servidor e os veículos como clientes, conforme a figura 3.

Figura 3 - Concepção do modelo



Formalmente, partiu-se do pressuposto que a via possui de um sistema de filas tipo $M/M/1$, ou seja, com apenas um servidor (semáforo), com chegadas obedecendo a uma distribuição de Poisson e serviço exponencial. As taxas de chegada (λ) foram definidas

por observação em períodos de 20 minutos no intervalo de 17h às 19 horas e são demonstradas na tabela 2.

Tabela 2: Taxas de chegada da via em estudo

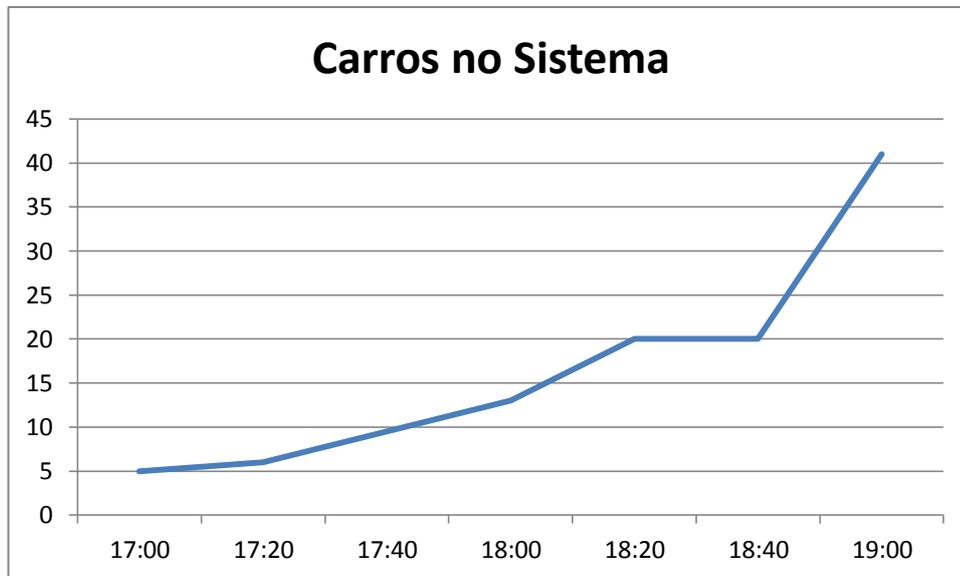
Horário	λ
17:00	35
17:20	36
17:40	38
18:00	39
18:20	40
18:40	40
19:00	41

Inicialmente foram calculadas as taxas de utilização do semáforo por horário, seguido pelo número de clientes da fila e a probabilidade de possuir zero clientes na fila, conforme a tabela 3. O ρ pode também ser interpretado como a intensidade de tráfego existente na via. Pode-se observar que, no horário das 19 horas, a via está muito próxima da sua capacidade máxima de trânsito.

Tabela 3: Taxas de Utilização (ρ), Clientes no Sistema (L_s) e Probabilidade de zero veículos.

	ρ	L_s	$P(n=0)$
17:00	83,30%	5	16,70%
17:20	85,70%	6	14,30%
17:40	90,50%	9,5	9,50%
18:00	92,90%	13	7,10%
18:20	95,20%	20	4,80%
18:40	95,20%	20	4,80%
19:00	97,60%	41	2,40%

Figura 4: Carros no sistema de acordo com os horários.



A probabilidade de possuir zero cliente no sistema de fila presta uma informação importante já que indica o “risco” de não existir clientes no sistema. É natural que, na medida em que o sistema aumenta o volume, as chances de não existirem clientes caiam. Na verdade, a probabilidade de possuir zero cliente é exatamente o valor complementar da taxa de atendimento para utilização.

O número de clientes no sistema (L_s) deve ser analisado conjuntamente com a capacidade máxima da via. Neste caso, foi definido o volume-limite de 50 veículos. Observa-se que, no horário de pico, o valor chega muito próximo à capacidade da via, o que pode causar riscos de colapso no sistema. Acrescenta-se a possibilidade de existirem carros residuais de ciclos anteriores que não foram atendidos e que permaneceram no sistema.

O risco de, em apenas um ciclo de semáforo e sem resíduo anterior, se obter um a quantidade superior a 49 carros, exaurindo sua capacidade é dada na tabela 4. Se o limite da via está em 50 veículos, qualquer valor que seja igual ou superior a este simbolizará também que o existirá engarrafamento e o sistema entrará em colapso.

Tabela 4: Probabilidade de existir mais de 49 veículos na via em estudo.

	$P(n \geq 50)$
17:00	0,01%
17:20	0,04%
17:40	0,67%
18:00	2,46%
18:20	8,72%
18:40	8,72%
19:00	29,97%

Outra possibilidade de congestionamento, que pode conduzir para um eventual colapso ocorre quando os carros residuais dos ciclos anteriores são somados às chegadas do ciclo atual do semáforo. O semáforo não conseguirá atender todos os veículos em apenas um ciclo, se existir 42 ou mais clientes no sistema. Nesta situação, os restantes ficarão para o próximo ciclo. Este risco é expresso na tabela 5.

Tabela 5: Probabilidade de existir mais de 41 veículos na via em estudo.

	$P(n \geq 42)$
17:00	0,05%
17:20	0,15%
17:40	1,49%
18:00	4,45%
18:20	12,88%
18:40	12,88%
19:00	36,35%

Computar os valores residuais em um sistema retroalimentado não foi objeto direto deste artigo, entretanto, é possível definir a taxa de recuperação do sistema. Ou seja, se em algum ciclo existir mais de 41 veículos no sistema, serão necessários x períodos para que o sistema volte ao normal. Uma segunda forma é analisar a tolerância máxima de veículos residuais para que o sistema se recupere em apenas um ciclo. Desta forma, para que o sistema se recupere em até um ciclo, deverá existir uma quantidade máxima tolerada de clientes na via, conforme a tabela 6.

Tabela 6: Veículos residuais máximos para recuperação em um ciclo

Horário	Veículos
17:00	6
17:20	5
17:40	3
18:00	2
18:20	1
18:40	1
19:00	0

Observa-se que, em função de λ estar muito próxima de μ , o sistema não conseguirá recuperar os veículos residuais, gerando acúmulo de veículos na avenida até que a taxa de chegada diminua.

O período em que o semáforo está fechado faz com que exista um acúmulo de veículos aguardando a sua abertura. Desta forma, o semáforo não pode ficar fechado por mais que a capacidade da via. No caso estudado, para fins de capacidade da via, o tempo de semáforo fechado se mostrou adequado uma vez que o mesmo foi dimensionado em 49 segundos, o que gerou o acúmulo de veículos bem abaixo do limite de 50 carros.

Tabela 7: Veículos acumulados e folga na via para cada ciclo de fechamento de semáforo

Horário	Veículos Acumulados	Veículos Limite	Folga
17:00	29	50	21
17:20	29	50	21
17:40	31	50	19
18:00	32	50	18
18:20	33	50	17
18:40	33	50	17
19:00	33	50	17

Caso seja necessário, o órgão gestor do trânsito dispõe de mais tempo de fechamento de semáforo. Em geral, é possível manter o semáforo fechado por até 70 segundos na faixa de horário das 17 horas e por até 60 segundos na faixa de horário das

19 horas. Como o estudo não se estendeu a Rua Vidal de Negreiros, não foi possível analisar um balanceamento entre as duas vias com base no tempo de fechamento e abertura.

Por fim, foi analisado o tempo em que o veículo permanecerá no sistema (W_s), ou seja, o tempo decorrido desde a entrada do cliente na via até sua passagem pelo semáforo. No horário das 17 horas, o tempo médio de sistema fica abaixo de 9 segundos, enquanto que no horário de pico das 19 horas os veículos leva quase sete vezes mais tempo, levando 60 segundos para cruzar a via.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os congestionamentos nos centros urbanos são cada vez mais comuns, principalmente em horários de pico. Entretanto, é possível obter melhorias significativas através do uso adequado de ferramentas de gestão. Com as informações apropriadas é possível a tomada de decisão com maior grau de acerto.

A proposta de uso de Teoria de Filas se mostrou adequada e ofereceu indicadores sobre o estado observado do trânsito da via. O estudo apontou que existe uma proximidade crítica entre a taxa de chegada de veículos e a taxa de atendimento do semáforo, principalmente no horário das 19 horas. Neste turno, qualquer carro residual será acumulado no sistema, aumentando o risco de colapso e reduzindo a capacidade da via.

Também foram calculadas as probabilidades de se existir mais do que 41 veículos em um determinado horário. Caso isto ocorra, existe um risco de não ser possível processar todos os clientes, uma vez que se a taxa de chegada supera a de atendimento, a fila tende ao infinito. A maior probabilidade acumulada neste caso foi também às 19 horas, ficando na casa dos 36%.

Como a via em estudo possui uma intersecção com outra rua de grande fluxo, também foi analisado o tempo máximo em que o semáforo pode permanecer fechado. Esta informação foi convertida em uma folga equivalente a veículos. Como a taxa de chegada varia em função do horário, as menores folgas foram observadas no horário de 18h às 19h. Entretanto, mesmo em horários críticos ainda é possível dispor de um tempo maior de fechamento do semáforo, desde que isto seja compensado no tempo de abertura.

O estudo considerou distribuições exponenciais e de Poisson para realização das análises. É recomendável a realização, em um estudo adicional, de testes para verificar a variância dos dados e os formatos das distribuições, de forma a identificar formas mais adequadas a cada tipo de demanda e atendimento.

Dada a complexidade de construir um modelo comendo diversas vias, tanto em termos de processamento quanto em termos de coleta de dados, este estudo se limitou a uma única via. Como sugestão para futuros trabalhos, recomenda-se uma ampliação do raio de estudo e a intervenção experimental com base nos indicadores calculados.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, N.; ROUQUAYROL, M. Z. **Introdução à Epidemiologia Moderna**. Salvador/Rio de Janeiro: Apce Produtos do Conhecimento e ABRASCO, 1990.

ANDRADE, J. P. **Planejamento dos transportes**. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 1994.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos**: Logística Empresarial. [S.l.]: Bookman Companhia, 2006.

BRAIDO, G. M.; MARTENS, C. D. P. A GESTÃO LOGÍSTICA EM UMA EMPRESA VAREJISTA DE AUTOPEÇAS: proposição de melhorias com base em conceitos de tecnologia da informação (TI) e gestão da informação. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa (RECADM)**, Jan/Jun 2012. 26-47.

BRONSON, R. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

CARVALHO, E. F.; RIBEIRO, R. B.; SILVA, H. F. Estudo da Logística Urbana no Município de Lorena – SP. **Cadernos UNIFOA**, Abril 2009. 35-40.

DUARTE, S. L.; LEMES, S.; PINTO, K. C. R. INTEGRAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS AO TIME-DRIVEN ABC MODEL: UMA ANÁLISE DA CAPACIDADE OCIOSA. **Enfoque: Reflexão Contábil**, janeiro / abril 2009. 40-53.

ERLANG, A. The theory of probabilities and telephone conversations. **Nyt Tidsskrift for Matematik B 20**, 1909. 33-39.

HESS, M.; KOS, S.; HESS, S. Queuing System in Optimization Function of the Port's Bulk Unloading Terminal. **Promet - Traffic & Transportation**, 2007. 61-70.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução À Pesquisa Operacional**. São Paulo: AMGH, 2013.

KIM, S.-C. et al. Analysis of capacity management of the intensive care unit in a hospital. **European Journal of Operational Research**, 1999. 36-46.

KRAJEWISKI, L. J.; RITZMAN, L.; MALHOTRA, M. **Administração de Produção e Operações**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

LIU, Y. et al. Analysis of the Concept of Urban Rail Transit Based City Logistics System. **International Conference on Smart Manufacturing Application**, 2008. 288-292.

MARCONI, M. D. A.; LAKATOS, E. M. **Técnicas de Pesquisa**: planejamento e execução de pesquisas, amostragens e técnicas de pesquisa, elaboração, análise e interpretação dos dados. 5ª. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

MARIANOV, V.; REVELLE, C. The queueing maximal availability location problem: A model for the siting of emergency vehicles. **European Journal of Operational Research**, 1996. 110-120.

MORABITO, R.; LIMA, F. C. R. D. UM MODELO PARA ANALISAR O PROBLEMA DE FILAS EM CAIXAS DE SUPERMERCADOS: UM ESTUDO DE CASO, Janeiro / Junho 2000. 59-71.

PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION. **An assessment of health effects of ambient air pollution in Latin America and the Caribbean**. Washington D.C. 2005.

POLIDORO, M.; LOLLO, J. A.; BARROS, M. V. F. Sprawl e o modal de transporte motorizado: impactos na cidade de Londrina, PR. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2012. 33-46.

TANIGUCHI, E. et al. Optimal size and location planning of public logistics terminals. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 1999. 207-222.

TANIGUCHI, E. et al. **City logistics - network modelling and intelligent transport systems**. Oxford: Pergamon, 2001.

TORRES, O. F. Elementos da teoria das filas. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, 6, n. 20, 1966. 111-127.

YANG, H.; YAGAR, S. Traffic assignment and traffic control in general freeway-arterial corridor systems. **Transportation Research, Series B: Methodological**, 1994. 463-486.

* Artigo submetido em 30 de maio de 2014 e aceito para publicação em 30 de agosto de 2014.