

Área: Sustentabilidade | Tema: Cidades Sustentáveis e Inteligentes

**APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS PARA O PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL DA RODOVIA DE
ACESSO À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA - CAMPUS CACHOEIRA DO SUL**

**APPLICATION OF THE QUEUING THEORY FOR SUSTAINABLE PLANNING OF THE ROAD OF
ACCESS TO THE FEDERAL UNIVERSITY OF SANTA MARIA - CACHOEIRA DO SUL**

Letícia Oestreich, Raquel Cristina Ferreira Silva, Fernando Pires Da Silva, Alejandro Ruiz-Padillo e Carmen

Brum Rosa

RESUMO

O aumento da frota veicular motorizada individual e seu uso provocou a dispersão das atividades no ambiente urbano, tornando os deslocamentos mais frequentes e longos, deteriorando as condições de operação do transporte público. Esse processo de expansão urbana, na grande maioria das cidades do Brasil, ocorreu sob um planejamento estático, não democrático, setorial e desarticulado das demais políticas de públicas, dentre as quais, destaca-se a mobilidade urbana. Segundo o Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana (Plan-Mob), o termo mobilidade urbana traz em si uma mudança de paradigma, uma nova forma de tratar o que tradicionalmente era visto de forma isolada: trânsito, logística e infraestrutura viária. Mobilidade agrega uma visão ampla sobre a movimentação de pessoas e bens na cidade, chamando à responsabilidade dos polos geradores de viagens ao reunir, no seu conceito, "todos os modos e todos os elementos que produzem as necessidades desses deslocamentos". Diante disso, o principal objetivo desta pesquisa foi oportunizar ações de mobilidade urbana pautadas por resultados técnicos a fim de garantir um planejamento sustentável da rodovia de acesso ao Campus da Universidade Federal de Santa Maria em Cachoeira do Sul. Para isso, o presente estudo propôs a utilização dos conceitos da Teoria das Filas para calcular o tempo de saturação da capacidade da via de acesso ao Campus da UFSM-CS. O estudo identificou que em 2026 a rodovia estará 97% ocupada no horário de maior deslocamento dos alunos do centro da cidade ao Campus. Ao avaliar o principal resultado do estudo, o crescimento da taxa de utilização da via, percebe-se que nos próximos seis anos ações de mobilidade urbana deverão ser implementadas a fim de garantir uma operação sustentável da rodovia

Palavras-Chave: Pesquisa Operacional, Mobilidade Urbana, Sustentabilidade, Pólos Geradores de Viagens

ABSTRACT

The increase of the individual motor vehicle fleet and its use caused the dispersion of activities in the urban environment, making the displacements more frequent and longer, deteriorating the operating conditions of public transport. This process of urban expansion, in the vast majority of cities in Brazil, occurred under a static, undemocratic, sectoral and disjointed planning of other public policies, among which urban mobility stands out. According to the Urban Mobility Plan Design Reference Book (Plan-Mob), the term urban mobility brings with it a paradigm shift, a new way of dealing with what was traditionally viewed in isolation: traffic, logistics and road infrastructure. . Mobility adds a broad view of the movement of people and goods in the city, calling the responsibility of the travel-generating hubs by bringing together, in its concept, "all modes and all elements that produce the needs of these displacements". Therefore, the main objective of this research was to provide opportunities for urban mobility actions based on technical results in order to ensure sustainable planning of the access road to the Campus of the Federal University of Santa Maria in Cachoeira do Sul. To this end, the present study proposed to use of Queue Theory concepts to calculate the saturation time of the UFSM-CS Campus access capacity. The study found that by 2026 the highway will be 97% busy at the busiest time for students from downtown to Campus. In assessing the main result of the study, the growth of the road use rate, it is clear that over the next six years urban mobility actions should be implemented to ensure a sustainable operation of the highway.

Keywords: Operational Research, Urban Mobility, Sustainability, Travel Generating Poles

APLICAÇÃO DA TEORIA DAS FILAS PARA O PLANEJAMENTO SUSTENTÁVEL DA RODOVIA DE ACESSO À UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA – CAMPUS CACHOEIRA DO SUL

1 INTRODUÇÃO

O trânsito e o transporte urbano desempenham um papel vital na estrutura sociopolítica das sociedades e formam uma base para a vida urbana moderna e as necessidades sociais dos indivíduos (KAMRAN, 2015). Contudo, o aumento da frota veicular motorizada individual e seu uso provocou a dispersão das atividades no ambiente urbano, tornando os deslocamentos mais frequentes e longos, deteriorando as condições de operação do transporte público (NADRIAN et al., 2019). Esse processo de expansão urbana, na grande maioria das cidades do Brasil, ocorreu sob um planejamento estático, não democrático, setorial e desarticulado das demais políticas de públicas, dentre as quais, destaca-se a mobilidade urbana.

Segundo o Caderno de Referência para Elaboração de Plano de Mobilidade Urbana (Plan-Mob), o termo mobilidade urbana traz em si uma mudança de paradigma, uma nova forma de tratar o que tradicionalmente era visto de forma isolada: trânsito, logística e infraestrutura viária. Mobilidade agrega uma visão ampla sobre a movimentação de pessoas e bens na cidade, chamando à responsabilidade dos polos geradores de viagens ao reunir, no seu conceito, “todos os modos e todos os elementos que produzem as necessidades desses deslocamentos” (BRASIL, 2007).

A partir desse conceito tem-se como exemplo um Campus Universitário em uma cidade, o qual é convertido em um polo gerador de viagens que, ao atrair uma grande demanda de deslocamentos causam impactos significativos em seu entorno. Dentre eles, a disputa por espaços urbanos e os congestionamentos, que afetam a qualidade de vida das pessoas e sensibilizam as questões de sustentabilidade nas cidades (GOLDNER, L. G.; BEPLER, F.; PRIM, 2012). Uma das motivações parte da necessidade de promoção de cidades mais sustentáveis, conforme uma das ações propostas pela agenda *Sustainable Development Goals* da qual deve ser atingida até 2030 (UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY, 2015).

Desde a última década, existe uma crescente preocupação em assegurar eficientemente a mobilidade a determinados espaços urbanos, em especial as Universidades. Nesse contexto, encontra-se Universidade Federal de Santa Maria – Campus Cachoeira do Sul (UFSM-CS), localizada na região do Vale do Jacuí, estado do Rio Grande do Sul. O polo da universidade oferta atualmente cinco cursos da área tecnológica, sendo estes: Arquitetura e Urbanismo, Engenharia Agrícola, Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica e Engenharia de Transportes e Logística, totalizando 830 alunos. A UFSM-CS completa em 2019 cinco anos desde o ingresso dos primeiros acadêmicos, em 2014. No entanto, os primeiros prédios do Campus de Cachoeira do Sul, localizados a 8 km do centro da cidade, foram entregues no início deste ano, exigindo uma reestruturação do sistema de mobilidade da cidade para atender a demanda, em especial na área de transportes e logística.

Diante disso, o principal objetivo desta pesquisa é oportunizar ações de mobilidade urbana pautadas por resultados técnicos a fim de garantir um planejamento sustentável da rodovia de acesso ao Campus da Universidade Federal de Santa Maria em Cachoeira do Sul. Para isso, o presente estudo propõe a utilização dos conceitos da Teoria das Filas para calcular o tempo de saturação da capacidade da via de acesso ao Campus da UFSM-CS.

2 PROCEDIMENTOS PARA O ESTUDO

Para consolidação deste estudo e execução dos cálculos faz-se necessário conceituar a Teoria das Filas, delimitar as condições de estudo e enunciar a coleta de dados.

2.1 TEORIA DAS FILAS

A Teoria das Filas é um ramo da probabilidade que estuda a formação de filas, através de análises matemáticas e propriedades mensuráveis das filas. Ela provê modelos para demonstrar previamente o comportamento de um sistema que ofereça serviços cuja demanda cresce aleatoriamente, tornando possível dimensioná-lo. O sistema de filas é caracterizado, principalmente, por três componentes: processo de chegada, processo de atendimento e disciplina da fila (WINSTON, 2004). Segundo Fogliatti e Mattos (2007), o processo de chegada dos clientes é representado pelo o ritmo de chegada (λ) de clientes por unidade de tempo; o processo de atendimento, também pode ser quantificado à semelhança do processo de chegada, pelo ritmo de atendimento (μ) ao cliente, e, a disciplina das filas, que se refere à regra que os servidores escolhem o próximo cliente a ser atendido. Na prática adota-se: *First in First Out* (primeiro a chegar primeiro a ser atendido – FIFO), *Last in First Out* (último a chegar primeiro a ser atendido – LIFO) e Prioridade.

Ainda de acordo com segundo Fogliatti e Mattos (2007), um sistema de filas compõe elementos que esperam por um atendimento em um local que se ofereça determinado serviço e que precisam esperar até que haja disponibilidade de atendimento. Para o caso de uma rodovia, os parâmetros processo de chegada dos clientes e processo de atendimento são, respectivamente, os veículos que entram na rodovia e os veículos que saem da rodovia, ambos representados por veículos/minuto. A partir destes valores é possível analisar a taxa de utilização da via (ρ) que se refere a fração média do tempo em que a via está ocupada, calculada pela equação (1).

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

A taxa de utilização é o conceito mais importante da Teoria das Filas, este valor deve estar entre 0 e 1 para o sistema funcionar. Isto é, para este estudo uma taxa de utilização, também denominada por grau de congestionamento, superior a 1 representa uma rodovia com a capacidade saturada.

2.2 DELIMITAÇÕES

O cenário de estudo limitou-se aos 2,5 km de rodovia de acesso ao Campus da UFSM-CS, denominada por Estrada da Ferreira (VRS-809) conforme identificada na Figura 1.

Figura 1 – Localização do cenário de estudo.



Fonte: autores adaptado do Google Earth.

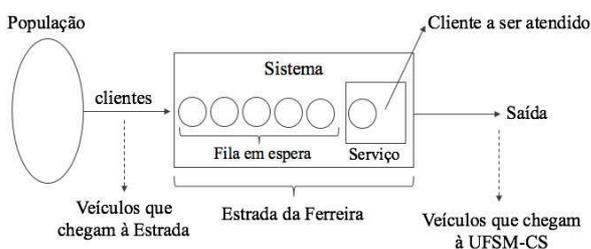
A dinâmica de comportamento da rodovia equipare-se a um modelo M/M/1 na Teoria das Filas. Uma fila M/M/1 é o modelo mais simples dentre os existentes, que configura um processo de início e fim, no qual as chegadas em um intervalo de tempo $(0, T]$ seguem um processo de Poisson com taxa λ , e os tempos de serviço seguem uma distribuição exponencial de parâmetro μ . Algumas hipóteses e delimitações para o estudo foram definidas, são elas:

1. Foram considerados os dados de viagens dos alunos matriculados nos cursos noturnos da UFSM-CS, por ser o período onde se verifica maior uso do veículo privado;
2. O deslocamento ao Campus dar-se-nos 15min antes do início das aulas do turno da noite, ou seja, das 17h45min às 18h00;
3. Foram consideradas viagens em veículos leves realizadas individualmente pelos alunos, por apresentarem um maior impacto na rodovia;
4. O tráfego local foi desprezível em função do baixo volume existente;
5. O padrão de viagem foi invariável, variando somente a demanda com o tempo.

2.3 COLETA DE DADOS

A estrutura do sistema de fila em espera do problema de pesquisa está representado na Figura 2.

Figura 2 – Estrutura da Teoria das Filas para o problema de pesquisa.



Fonte: autores

A taxa de serviço (μ), isto é, a capacidade da rodovia em atender os veículos ao destino final, foi estabelecida de acordo com os dados do *Highway Capacity Manual*, o qual estabelece que a capacidade de uma rodovia de uma pista simples é de, aproximadamente, 28 veículos por minuto (HCM, 2010).

A taxa de chegada de veículos na rodovia (λ) foi determinada através dos resultados de um questionário de pesquisa aplicado a uma amostra de 385 alunos da UFSM-CS. Neste questionário 36% dos alunos do período da noite declararam que usariam o carro para se deslocar até o Campus Universitário e 15% declararam que usariam às vezes este modo de transporte. Com base nessas porcentagens, fez-se a estimativa da quantidade de alunos que fariam o uso de automóveis como principal meio de transporte de deslocamento ao Campus. Atualmente os cursos noturnos da UFSM-CS contam com um total de 322 alunos, considerando que 36% mais 7,5% (equivalente à metade dos alunos que declararam a preferência por se deslocar “às vezes” de automóvel), representando 43,5% do total de alunos matriculados nos cursos noturnos usariam o carro de forma individual em suas viagens ao Campus, com isso têm-se:

$$0,435 \times 322 \text{ alunos} = 140 \text{ veículos}$$

Conforme estimado nas hipóteses a chegada dos alunos ao sistema determinado pela Estrada da Ferreira ocorrerá 15 minutos antes do início da primeira aula do turno da noite, portanto, a taxa de chegada será:

$$\text{Taxa de chegada } (\lambda) = \frac{140}{15} = 9,3 \text{ veículos/minuto}$$

Sabe-se que a taxa de chegada variará de acordo com número de alunos matriculados nos cursos noturnos. A partir disso, fez-se a estimativa de número de alunos para os próximos anos. Considerando o número atual de alunos matriculados, o número de vagas por semestre, a taxa de evasão da UFSM-CS e o número estimado de formandos (UFSM, 2019), o Quadro 1 apresenta a demanda futura de alunos para os próximos 10 anos.

Quadro 1 – Demanda futura dos alunos da UFSM-CS nos próximos 10 anos.

Ano	Nº de alunos	Vagas por semestre	Novos alunos por ano	Evasão	Formandos por ano
2019	322	80	160	27,30%	0
2020	438	80	160	27,30%	34
2021	521	80	160	27,30%	34
2022	603	80	160	27,30%	34
2023	685	80	160	27,30%	34
2024	768	80	160	27,30%	34
2025	850	80	160	27,30%	34
2026	932	80	160	27,30%	34
2027	1015	80	160	27,30%	34
2028	1097	80	160	27,30%	34
2029	1179	80	160	27,30%	34

Fonte: autores.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base na coleta de dados e estimativas futuras dos alunos matriculados nos cursos noturnos na UFSM-CS, foi possível calcular o crescimento da taxa de chegada para os próximos anos, conforme apresenta o Quadro 2. A taxa de chegada crescente condicionada à mesma taxa de serviço da rodovia gera um fator de ocupação diferente para cada ano, e com isso, tem-se o tempo limite de saturação da rodovia, o que se traduz aos usuários da via como um grau elevado de congestionamento.

Quadro 2 – Taxa de utilização/Grau de congestionamento para a rodovia nos próximos anos.

Ano	Nº de alunos por ano	Taxa de serviço (veíc/min)	Taxa de chegada (veíc/min)	Taxa de utilização da rodovia (%)
2019	322	28	9,3	33%
2020	438	28	12,7	45%
2021	521	28	15,1	54%
2022	603	28	17,5	62%
2023	685	28	19,9	71%
2024	768	28	22,3	80%
2025	850	28	24,6	88%
2026	932	28	27,0	97%
2027	1015	28	29,4	105%
2028	1097	28	31,8	114%
2029	1179	28	34,2	122%

Fonte: autores.

Ao analisar os resultados apresentados no Quadro 2 verifica-se que em 2025 o sistema vai estar potencialmente saturado, considerando um grau de congestionamento da via de 88%.

Dois anos depois, a ocupação da via tornar-se-á plenamente saturada. Isso acontece porque o sistema estudado neste estudo não é estacionário e a fila aumenta indefinidamente com o passar do tempo, com isso ocorre o aumento da taxa de chegada. Em contrapartida o atendimento da fila, representado pela capacidade da via, é constante até que a capacidade da via seja aumentada.

Ao encontro destes dados está o aumento de 1,2% da frota de automóveis em 2017 no Brasil (DENATRAN, 2019) e associado a este número estão a necessidade de deslocamento em menor tempo, a baixa disponibilidade e qualidade do transporte público, ausência de ciclovias, falta de planejamento urbano relacionado a mobilidade. De modo geral, com o resultado deste estudo pretende-se mobilizar a comunidade acadêmica e as políticas públicas a fim de garantir um planejamento sustentável para acesso à UFSM-CS nos próximos anos.

4 CONCLUSÃO

Este estudo propôs a aplicação da Teoria das Filas para obter os parâmetros referentes à taxa de chegada, taxa de serviço e grau de congestionamento da rodovia de acesso ao Campus da UFSM-CS. O estudo identificou que em 2026 a rodovia estará 97% ocupada no horário de maior deslocamento dos alunos do centro da cidade ao Campus. Ao avaliar o principal resultado do estudo, o crescimento da taxa de utilização da via, percebe-se que nos próximos seis anos ações de mobilidade urbana deverão ser implementadas a fim de garantir uma operação sustentável da rodovia.

As ações de mobilidade urbana pretendidas devem priorizar o pedestre e o ciclista, valorizar o transporte público coletivo, racionalizar o uso do automóvel, com o objetivo de fazer um uso consciente e adequado dos veículos motorizados individuais e planejar as redes urbanas, de modo que haja compatibilidade entre as atividades urbanas e os sistemas de transporte. Tais princípios contribuem sobremaneira para uma cidade mais planejada, mais humana, com uma economia forte e um ambiente sustentável.

REFERÊNCIAS

- BRASIL, MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Caderno PlanMob: orientação aos órgãos gestores municipais na elaboração dos Planos Diretores de Mobilidade Urbana**, 2007.
- DENATRAN, DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Relatórios Estatísticos**. 2019.
- FOGLIATTI, M.; MATTOS, N. **Teoria de filas**. 2007.
- GOLDNER, L. G.; BEPLER, F.; PRIM, J. **Análise da mobilidade em um campus universitário**. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO E SUSTENTÁVEL 2012.
- HCM. **Highway Capacity Manual**. 5th ed ed. Washington, D.C. 2010.
- KAMRAN, N. **Transport and trac problems in Tehran and over suggestions**. In: THE SECOND CONSTRUCTION SEMINAR IN THE CAPITAL 2015.
- NADRIAN, H. et al. "I am sick and tired of this congestion": Perceptions of Sanandaj inhabitants on the family mental health impacts of urban traffic jam. **Journal of Transport & Health**, v. 14, p. 100587, 2019.
- UFSM, Universidade Federal de Santa Maria. **UFSM em Números - UFSM em Números**. 2019.
- UNITED NATIONS GENERAL ASSEMBLY. Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development. Sustainable Development Goal. United Nations, 2015.
- WINSTON, W. L. **Operations research**. 4ed. ed. 2004.