



De 11 a 14 - NOVEMBRO DE 2024

**Inteligência Artificial
na Gestão de Operações:
Limitações e possibilidades**



OTIMIZAÇÃO DE TRÁFEGO EM SEMÁFOROS DE TRÊS TEMPOS: UM ESTUDO DE CASO

JUSICLEITON SANTOS PEREIRA – jusicleiton@mx2.unisc.br
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC

BÁRBARA RUANNA LOEBENS GARCIA – brloebens@mx2.unisc.br
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC

ANDRÉ LUIZ DOS SANTOS – andresantos@mx2.unisc.br
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC

KEMILY BRAZ RECH – kemilyrech@mx2.unisc.br
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC

LIANE MAHLMANN KIPPER – liane@unisc.br
UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL - UNISC

ÁREA: 3. PESQUISA OPERACIONAL

SUBÁREA: 3.1 – MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

RESUMO: O CRESCIMENTO DAS CIDADES E DO NÚMERO DE VEÍCULOS IMPACTA O SISTEMA DE TRÁFEGO URBANO. A GESTÃO EFICIENTE DOS SEMÁFOROS TORNA-SE CRUCIAL NO GERENCIAMENTO DO TRÁFEGO E DA MOBILIDADE URBANA. A ADOÇÃO DE SISTEMAS DE TRÁFEGO INTELIGENTE, COMO OS SEMÁFOROS INTELIGENTES, É UMA FERRAMENTA QUE TEM POTENCIAL PARA A SOLUÇÃO COMO CONGESTIONAMENTOS, MAS O USO DE SEMÁFOROS COM TEMPOS FIXOS TAMBÉM PODE SER UMA ALTERNATIVA, QUANDO ENCONTRADO UM CENÁRIO EQUILIBRADO DE TEMPOS DE ABERTURA E FECHAMENTO DOS SEMÁFOROS. O ESTUDO APRESENTA UMA SÉRIE DE SIMULAÇÕES EM UM CRUZAMENTO DE FLUXO INTENSO NA CIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL (RS), ONDE, OS SEMÁFOROS FUNCIONAM COM A PROGRAMAÇÃO DE TRÊS TEMPOS. OS DADOS FORAM COLETADOS IN LOCO, COM OBJETIVO DE REALIZAR UMA ANÁLISE DE CENÁRIOS EM UMA VIA DE ALTO FLUXO DA CIDADE, UTILIZANDO O SOFTWARE FLEXSIM, VISANDO DIMENSIONAR A MELHOR O FLUXO DE TRÁFEGO PARA O HORÁRIO DE MAIOR TRÁFEGO QUE É ENTRE ÀS 17:00 HORAS E 18:00 HORAS DA TARDE, EM DIAS ÚTEIS. FORAM REALIZADAS 7 SIMULAÇÕES E IDENTIFICADOS OS MELHORES CENÁRIOS QUANDO ANALISADO O STAYTIME (TEMPO MÉDIO DOS VEÍCULOS NO TRAJETO) E UMA EQUIDADE QUANDO COMPARADO O AVERAGE WIP (QUANTIDADE MÉDIA DE VEÍCULOS NO TRAJETO), REDUÇÃO DE 13,88% E DE 22,78%, RESPECTIVAMENTE. A SIMULAÇÃO DEMONSTROU QUE É POSSÍVEL MELHORAR O TRÁFEGO URBANO NO LOCAL QUANDO A CONFIGURAÇÃO DE TEMPOS DE SEMÁFOROS FOR ADEQUADAMENTE IMPLEMENTADA.

PALAVRAS-CHAVES: FLUXO DE VEÍCULOS. SEMÁFORO. GESTÃO DE TRÁFEGO. SIMULAÇÃO DE TRÁFEGO.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento contínuo das cidades, juntamente com o aumento da frota de veículos, gera impacto significativo no sistema de tráfego urbano e como estratégia para minimizar esses efeitos, a gestão eficiente dos semáforos torna-se crucial no gerenciamento do tráfego e da mobilidade urbana (WANG *et al.*, 2018).

Junto com o crescimento dos grandes centros urbanos surgem novos problemas. Um exemplo são os problemas de tráfego, estes necessitam de uma solução em um reduzido espaço de tempo e o uso de técnicas de simulação se mostram boas alternativas para a solução de diversos problemas, dentre eles, os de gerenciamento de tráfego (JÚNIOR, 2023).

O intenso tráfego urbano provoca impactos negativos. Castro, Hirakawa e Martini (2017), destacam o aumento do nível de estresse em situações de engarrafamento. Os mesmos autores também destacam que o Produto Interno Bruto (PIB) e o meio ambiente sofrem efeitos provocados pelas obstruções nas vias de tráfego, como o custo dos combustíveis, o custo de oportunidade relacionado ao tempo que os cidadãos consomem no trânsito e a emissão de CO₂. Eles complementam que uma alternativa economicamente viável para melhorar a eficiência do sistema, é a gestão inteligente dos semáforos, com potencial para ampliar a capacidade das vias utilizando a mesma infraestrutura urbana.

Os tempos de liberação dos semáforos desempenham um papel fundamental na regulação do fluxo de veículos em uma interseção semaforizada (CAVALCANTE *et al.*, 2023). Dessa forma, Lira *et al.* (2023) implementaram um sistema inteligente para controle dos semáforos por meio de um modelo de aprendizagem por reforço, de modo que ele seja capaz de ajustar os tempos dos semáforos com base na intensidade do tráfego da via.

A cidade de Santa Cruz do Sul, localizada no estado do Rio Grande Sul, não é exceção a este cenário, enfrentando questões de congestionamentos em horários de pico e tempos de deslocamento prolongados devido à inadequada temporização de semáforos, em especial nas vias de tráfego intenso. Diante disso, este artigo tem como objetivo realizar uma análise de cenários em uma via de alto fluxo na referida cidade, utilizando o *software* FlexSim, visando dimensionar a melhor o fluxo de tráfego para o horário de maior tráfego que é entre às 17:00 horas e 18:00 horas da tarde, em dias úteis. Além disso, este estudo visa contribuir para a literatura científica relacionada ao dimensionamento de tempos de semáforos em vias urbanas. Ao compreender os padrões de tráfego e as necessidades da cidade em estudo, pode-se expandir os resultados para outras cidades com o mesmo perfil e com desafios semelhantes.

As seções seguintes estão organizadas da seguinte forma: a Seção 2 é dedicada ao referencial teórico; a Seção 3 está descrita a metodologia utilizada no estudo de caso; a Seção

4, estão dispostos os resultados obtidos na simulação; a Seção 5 apresenta a conclusão e sugestões de trabalhos futuros e referências.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A revisão teórica do presente estudo aborda o estado da arte em duas seções. A primeira seção consiste no entendimento das técnicas e conceitos em relação a semaforização e a segunda aborda os sistemas de gerenciamento de tráfego inteligente.

2.1 Semaforização

Segundo Yu *et al.* (2023) a semaforização pode ser entendida como um processo de instalação, controle e operação de semáforos, que são dispositivos de controle de tráfego utilizados em vias públicas para regular o fluxo de veículos e pedestres. Esses dispositivos são compostos por luzes coloridas (geralmente vermelha, amarela e verde) que indicam aos usuários da via quando devem parar, quando devem proceder com cautela e quando podem prosseguir com segurança. Além disso, semaforização também pode se referir ao planejamento urbano (TOKUNOVA; RAJCZYK, 2020) e à engenharia de tráfego envolvidos na escolha dos locais adequados para instalação de semáforos, visando melhorar a fluidez do trânsito, a segurança viária e a organização do espaço urbano como um todo.

Já os primeiros estudos relacionados a semáforos remetem ao século passado, período de desenvolvimento dos primeiros sistemas de semaforização (KULKARNI, KUMAR e RAMACHANDRA RAO, 2023). Atualmente existem inúmeros tipos distintos de sistemas, normalmente divididos em duas categorias, pré-temporizados e responsivos ao tráfego (WANG *et al.* 2022). No sistema de controle pré-temporizado, cada etapa do controlador é executada em uma ordem predefinida que se repete ao longo do dia (PAIVA, 2012). Já o sistema responsivo ao tráfego utiliza mecanismos de feedback para monitorar o estado do tráfego e, assim, possibilitam atender às necessidades de fluxo de veículos (FARHI, 2015).

Castro *et al.* (2017) complementam dizendo que o aprimoramento da parametrização dos sistemas de controle do tráfego pode ser feito pela construção de redes bioneurais adaptativas, que permitem incorporar métodos de controle adaptativo para os fluxos da via e a temporização dos estágios dos semáforos de acordo com os fluxos de veículos.

A utilização de sistemas computacionais é peça chave no desenvolvimento de sistemas semaforizados de controle ativo (CA), que segundo Leal *et al.* (2017) um modelo de CA para aprimoramento do tráfego, requer três módulos, uma rede ou corredor de tráfego somada a um

modelo matemático e um sistema de otimização com base em algoritmos evolutivos

2.2 Sistemas de Gerenciamento de Tráfego

De acordo com Ravish e Swamy (2021), o Sistema de Gerenciamento de Tráfego (Traffic Management System - TMS) tem como finalidade a organização, orientação e o controle de tráfego, seja ele parado ou em movimento. Ainda segundo os autores, o TMS objetiva garantir a segurança, a ordem e a eficiência durante a movimentação e melhorar a qualidade do ambiente ao redor das vias. Nesmachnow *et al.* (2019), falam que o Sistema de Transporte Inteligente (Intelligent Transport System - ITS) integra tecnologia, inteligência computacional e conceitos de engenharia com o objetivo de melhorar o transporte. Os autores reforçam que o ITS tem por finalidade fornecer inovação nos serviços de transporte e gerenciamento de tráfego visando a melhoria da segurança e mobilidade dos transportes.

A aplicação de sistemas ITS requer a adoção de tecnologias avançadas de sensoriamento, suporte computacional e eletrônica para comunicação. Estes sistemas integrados fornecem a base para a criação de um ITS contribuindo com o desenvolvimento de cidades inteligentes (RADOVIC *et al.*, 2022).

Um exemplo de ITS são as rodovias inteligentes conforme a Figura 1.

Figura 1 - Conceito de Smart Roads



Fonte: Adaptada de Pompigna e Mauro (2022).

Os autores Pompigna e Mauro (2022) acrescentam que o gerenciamento de tráfego pode ser realizado com o conceito de rodovia inteligente (*Smart Roads*) que integra quatro

dimensões: interação de informações, autoconsciência, auto-adaptação e captação de energia (Figura 2).

3. METODOLOGIA

Segundo Yin (2015), o estudo de caso é um tipo de pesquisa a investigação de um fenômeno real, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto ainda não são claramente evidentes e o pesquisador tem pouco controle sobre os acontecimentos. Assim, no estudo foram utilizados dados quantitativos. Cauchick (2018) reforça esse conceito e acrescenta que equivale a criar um registro do fenômeno, obtido a partir de diversas fontes de evidência, onde qualquer evento relevante contribua para a sequência de acontecimentos que delineiam o fenômeno, sendo considerado um elemento importante para a pesquisa de estudo de caso, enfatizando assim a importância do contexto.

Dentre os tópicos abordados nesta seção, estão o software utilizado para a simulação e seus parâmetros e uma breve abordagem sobre o local da simulação.

3.1 Contexto do estudo

O local de estudo foi o cruzamento da Rua Coronel Oscar Rafael Jost com a Avenida João Pessoa, duas vias de intenso tráfego existentes na cidade de Santa Cruz do Sul/RS. Foram coletados os tempos de passagens dos veículos entre às 17:00 horas e 18:00 da tarde em 5 dias úteis (segunda-feira à sexta-feira). A Figura 2 representa as vias estudadas e foi obtida por meio do Google Earth e editada no Canva.

Figura 2 - Representação das vias estudadas



Fonte: Adaptada do Google Earth (2024).

3.2 Coleta de dados

Os tempos foram coletados nos dois estados do semáforo - aberto e fechado - para os três cenários de ciclo semaforico, ou seja, para cada um dos sentidos da via. Por mais que sejam quatro pontos de semáforos, o semáforo C é composto por dois semáforos, mas consideramos ele como sendo um semáforo, pois ele tem funcionamento simultâneo com o quarto semáforo.

Os dados foram coletados por um período de uma hora em horário de pico (17:00 às 18:00 horas) com o uso de um cronômetro. Foi definido um ponto de referência que ficava a cerca de 100 metros do semáforo para que fosse possível coletar os tempos sem interferência de filas por conta dos carros parados. Para cada via, foram coletados os tempos por um período de 10 minutos em cada sentido. E durante a coleta dos tempos foi realizada a contagem dos veículos que utilizam o “siga livre”. Esse percentual de veículos que foi para o “siga livre” foi utilizado também como parâmetro no *software* FlexSim, para não interferir nos resultados das simulações.

3.3 Simulação e *software* FlexSim

Foi utilizado o *software* FlexSim para a realização da simulação do tráfego em um semáforo de três tempos existente no encontro das vias estudadas. O FlexSim é um *software* de simulação 3D que modela, simula, prevê e visualiza sistemas de negócios em vários setores: manufatura, manuseio de materiais, saúde, armazenamento, mineração, logística e outros (FLEXSIM, 2024). Neste caso, ele foi utilizado para a simulação do fluxo de veículos em um cruzamento de tráfego intenso, com o objetivo de simular os cenários *AS-IS* e *TO-BE* de acordo com os dados coletados.

Para a criação do modelo de simulação, foram adicionados os componentes do modelo (veículos, ruas e semáforos). Em seguida, foram inseridos os parâmetros para os veículos (aceleração/desaceleração, velocidade máxima, distância entre veículos, tamanho médio do veículo) e para os semáforos foram inseridos os parâmetros relacionados ao tempo de permanência dos estados aberto e fechado. Por fim, foi definido o tempo de simulação.

Foram considerados os seguintes parâmetros para a realização da simulação da via conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados para simulação

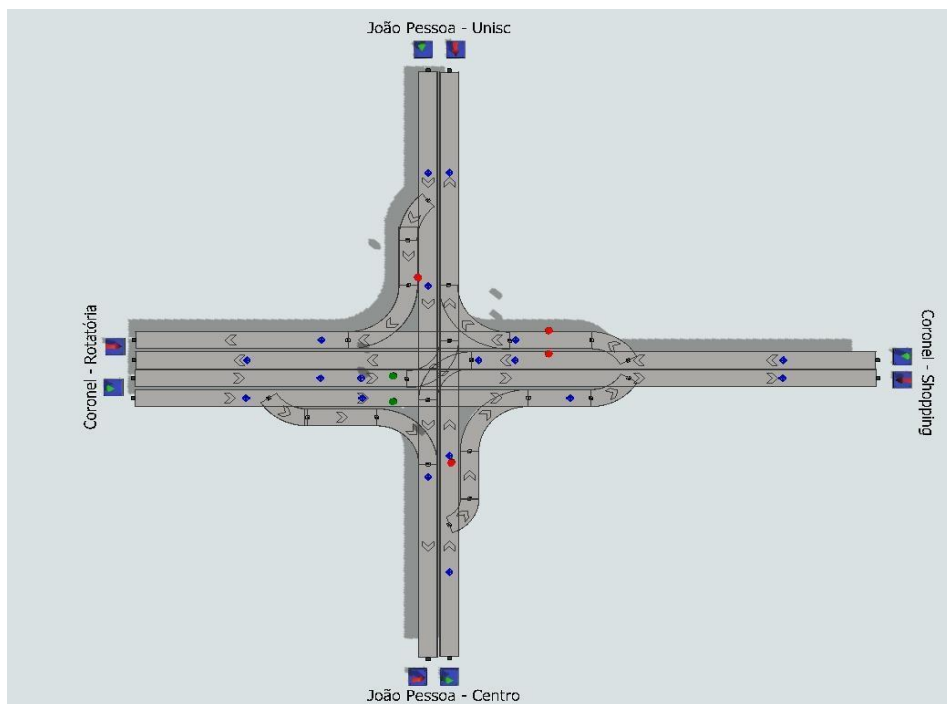
PARÂMETROS	VALOR DO PARÂMETRO
Aceleração / desaceleração (m/s ²)	2 m/s ²
Velocidade máxima (km/h)	40 km/h
Distância entre veículos	30 cm
Tamanho médio dos veículos	4,5 m **
Tempo de rodagem (simulação do programa)	8 horas (28.800 segundos)

Fonte: Os autores (2024).

Foi considerado um tamanho médio de veículo de 4,5 metros, em virtude da maioria do fluxo de veículos serem de carros, porém durante o período também foram constatados o fluxo de motos, caminhões e ônibus.

Na Figura 3, temos a representação gráfica do sistema desenvolvido no *software* FlexSim. Utilizamos uma nomenclatura mais simplificada das ruas para facilitar a representação. Ou seja, da nomenclatura Av. João Pessoa sentido Unisc foi para João Pessoa - Unisc; Av. João Pessoa sentido Centro, foi para João Pessoa - Centro; Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória, foi para Coronel - Rotatória; e Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping, foi para Coronel - shopping.

Figura 3 - Representação do sistema no *software* FlexSim



Fonte: Os autores (2024).

A Figura 3 representa uma visão gráfica das vias representadas no *software*. Os pontos nas cores verde e vermelha representam os semáforos no seu modo aberto e fechado, respectivamente. As setas indicam o sentido das vias. Os pontos na cor azul representam os veículos.

Após a criação do modelo de simulação, foi possível avaliar o seu desempenho diante de uma variedade de cenários e circunstâncias, contribuindo para a obtenção de soluções, resultando em cenários que forneceram suporte à tomada de decisões e *timing* apropriado (GREGÓRIO, LOZADA, 2019).

3.4 Simulação de cenários

Foram realizadas 7 simulações de cenários no *software* FlexSim a partir dos seguintes parâmetros exibidos respectivamente na Tabela 4. Vale ressaltar que a simulação foi realizada com tempos distintos do semáforo aberto e fechado e respeitando a correlação entre as três sinaleiras para não haver acidentes. Foi avaliado dois indicadores de controle, buscando assim o melhor cenário possível. Os indicadores de controle avaliados foram: tempo médio dos veículos no trajeto (nomenclatura no FlexSim: *Staytime*) e quantidade média de veículos no trajeto (nomenclatura no FlexSim: *Average WIP*).

Tabela 2 - Dados para simulação dos cenários

	Cenário atual		Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
Ruas	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado
Semáforo A	30	53	40	80	30	80	50	70
Semáforo B	20	63	40	80	30	80	50	70
Semáforo C	20	63	40	80	50	60	20	100
Obs.: Unidade de tempo: segundos	Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6		*** Cenário 7 + "Siga Livre"	
*** Cenário 7: foi utilizado o mesmo tempo do Cenário 6, porém adicionado uma via com opção de "Siga Livre".	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado	Aberto	Fechado
	60	60	40	80	40	60	40	60
	40	80	60	60	40	60	40	60
	20	100	20	100	20	80	20	80

Fonte: Os autores (2024).

A Tabela 2 apresenta os tempos utilizados em cada um dos cenários, com foco em diversas condições de operação dos semáforos. Os cenários são numerados de 1 a 7, com variações nos tempos de semáforo aberto e fechado. Para o cenário 7, foram considerados os mesmos tempos do cenário 6, mas com a adição de uma via de "Siga Livre".

4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através da simulação.

4.1 Simulação dos cenários

A amostragem de dados coletados referente a quantidade de veículos no cenário real está presente na Tabela 3. Estes dados foram utilizados para realizar as demais simulações de cenários. Não foi considerada a quantidade de veículos que passaram pelo “siga livre”, pois esta poderia influenciar no resultado.

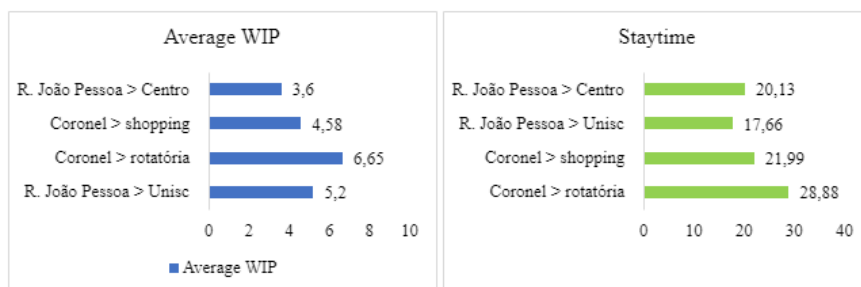
Tabela 3 - Percentual de "siga livre" utilizado na simulação

SIGA LIVRE	TOTAL DE VEÍCULOS	SIGA LIVRE	%
Rua Coronel Oscar Rafael Jost (sentido shopping)	140	15	10,71%
Avenida João Pessoa (sentido UNISC)	67	20	29,85%
Avenida João Pessoa (sentido centro)	48	13	27,08%

Fonte: Os autores (2024).

O cenário atual foi simulado para podermos realizar a análise de melhoria ou não dos cenários propostos, exibido na Figura 4.

Figura 4 - Resultado da simulação do cenário atual



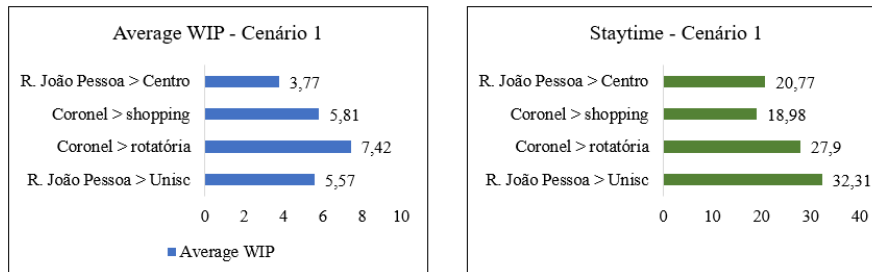
Fonte: Os autores (2024).

Observa-se que no cenário da simulação, a Avenida João Pessoa sentido UNISC possui uma quantidade média de veículos no trajeto (*Average WIP*) de 5,20 e um tempo médio dos veículos no trajeto (*Staytime*) de 17,66 segundos e a Avenida João Pessoa sentido Centro possui um (*Average WIP*) de 3,60 veículos e um (*Staytime*) de 20,13 segundos. Já a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória possui um (*Average WIP*) de 6,65 veículos e um (*Staytime*) de 28,88 segundos, por fim a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping possui um (*Average WIP*) de 4,58 veículos e um (*Staytime*) de 21,99 segundos.

4.2 Simulação dos cenários

Os resultados da primeira simulação estão apresentados na Figura 5.

Figura 5 - Resultados obtidos na simulação do cenário 1

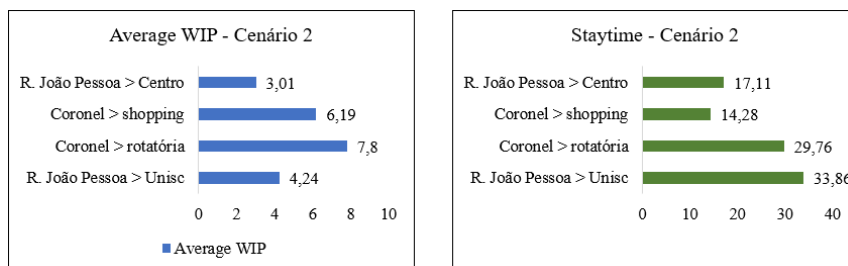


Fonte: Os autores (2024).

Comparando o *Average WIP* (quantidade média de veículos no trajeto) do cenário atual com o cenário 1 proposto (Figura 5), observamos o aumento de 7,11% na Avenida João Pessoa sentido UNISC e aumento de 4,72% na Avenida João Pessoa sentido Centro. Já a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória teve aumento de 11,57% e a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping teve 26,85%. O indicador *Staytime* (tempo médio dos veículos no trajeto) também apresentou aumento quando comparado com o cenário atual.

Para o cenário 2, foram obtidos os seguintes resultados apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Resultados obtidos na simulação do cenário 1

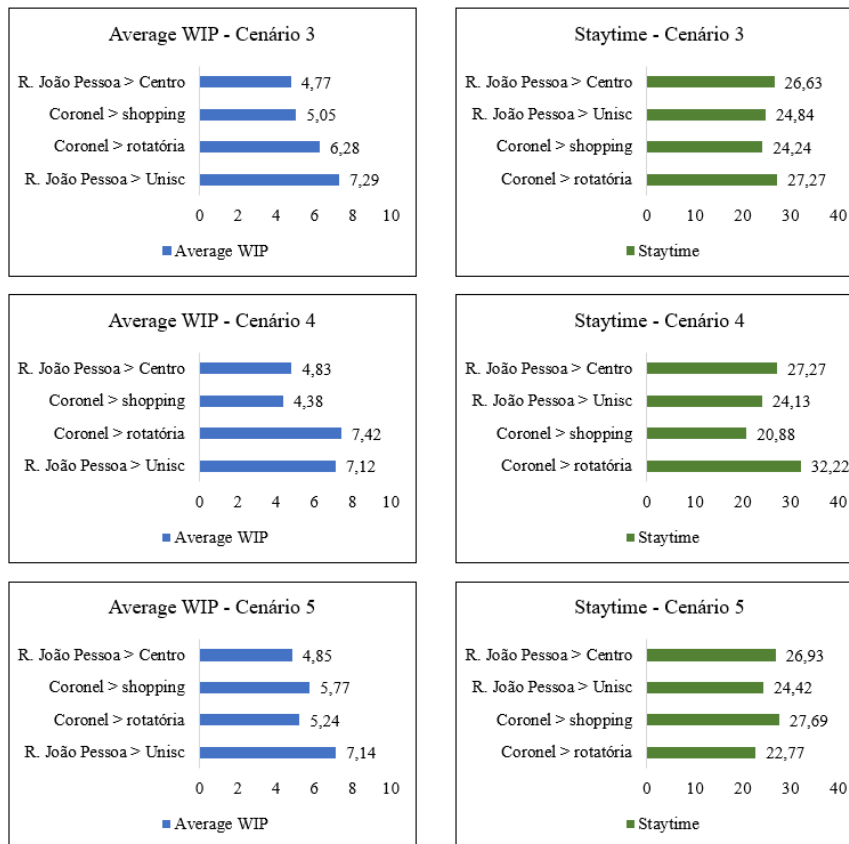


Fonte: Os autores (2024).

Comparando o *Staytime* do cenário atual com o cenário 2 (Figura 6) proposto e fazendo sua respectiva análise, observamos a diminuição de 19,14% na Avenida João Pessoa sentido UNISC e diminuição de 15% na Avenida João Pessoa sentido Centro. Já a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping rotatória teve aumento de 17,24% e a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping teve 35,33%. O indicador *Average WIP* não se mostrou satisfatório quando comparado com o cenário atual.

Os cenários 3, 4 e 5 apresentaram os resultados mostrados na Figura 7.

Figura 7 - Resultados obtidos na simulação dos cenários 6, 7 e 8

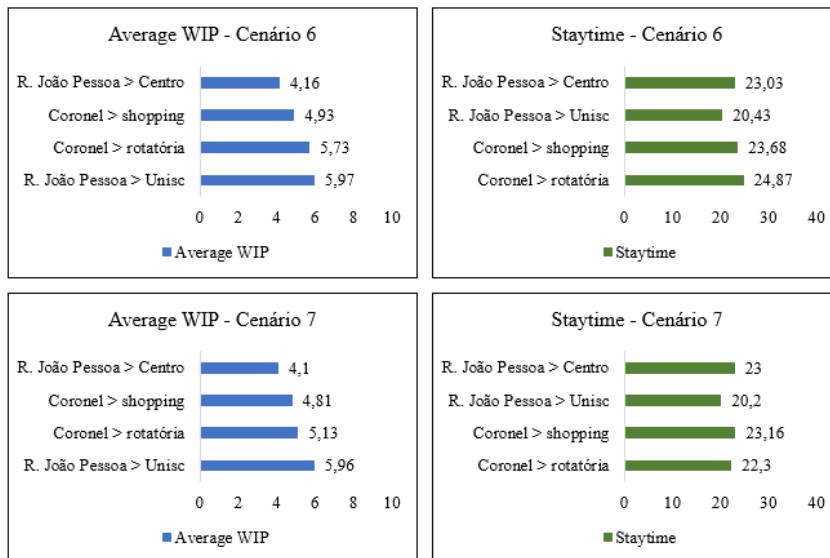


Fonte: Os autores (2024).

Os cenários 3 e 4 (Figura 7), não se mostraram satisfatórios quando comparados ao cenário atual. Já o cenário 5 quando analisado o *Staytime* ocorreu a diminuição somente na Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória 21,16%, o outro sentido da rua e os dois sentidos da Avenida João Pessoa não apresentaram melhora quando comparados com o cenário atual. O indicador *Average WIP* não se mostrou satisfatório quando comparado com o cenário atual.

Os resultados dos cenários 6 e 7 foram apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Resultados obtidos na simulação dos cenários 6 e 7

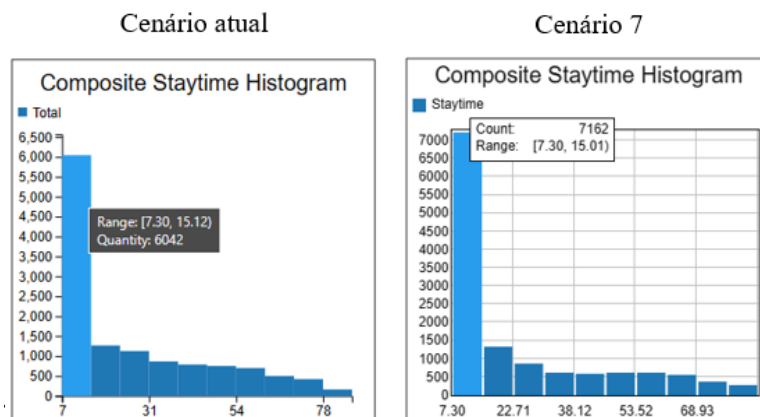


Fonte: Os autores (2024).

Os cenários 6 e 7 (Figura 8), apresentaram redução e consequentemente melhora quando analisado o *Staytime*, e uma equidade quando comparado ao *Average WIP* nas duas ruas e nos 4 sentidos. Vale ressaltar que os cenários 6 e 7 possuem o mesmo tempo cometido para simulação: Semáforo A (40 segundos aberto e 60 segundos fechado), Semáforo B (40 segundos aberto e 60 segundos fechado) e Semáforo C (20 segundos aberto e 80 segundos fechado), porém o cenário 7 foi adicionado a opção de “siga livre” na Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória. O cenário 6 apresentou redução de 13,88% e o cenário 7 de 22,78% para a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória, e o que foi observado na coleta de dados, foi confirmado na simulação, sendo essa rua com maior fluxo de veículos.

Foi realizada uma comparação utilizando os histogramas da Figura 10 gerados pelo *software* em relação à quantidade média de veículos por faixa de tempo no cenário atual com o cenário que apresentou melhor resultado de redução (cenário 7).

Figura 9 - Quantidade de veículos por faixa de tempo do cenário atual e cenário 7



Fonte: Os autores (2023).

O gráfico da Figura 9 evidencia que passaram em média 6.042 carros no período de 7.30 e 15.12 segundos correspondendo ao cenário atual. Já o cenário 7, passaram em média 7.162 carros no mesmo período citado anteriormente, resultando em um aumento de 1.120 carros passados no mesmo período, apresentando a possibilidade de uma maior fluidez de trânsito.

5. CONCLUSÃO

O crescimento contínuo das cidades vem acompanhado do aumento da frota de veículos, gerando impacto significativo no sistema de tráfego urbano. Estratégias podem ser adotadas para minimizar esses efeitos, como exemplo a gestão eficiente dos semáforos (WANG *et al.*, 2018).

O intenso tráfego urbano provoca impactos negativos. Para Castro, Hirakawa e Martini (2017), o aumento do nível de estresse em situações de engarrafamento, impactos no PIB e no meio ambiente, são exemplos de reações oriundas desta problemática.

Diante disso, este artigo teve como objetivo realizar uma análise de cenários em uma via de alto fluxo na referida cidade, utilizando o *software* FlexSim, visando dimensionar a melhor o fluxo de tráfego para o horário de maior tráfego que é entre às 17:00 horas e 18:00 horas da tarde, em dias úteis.

A simulação foi realizada em sete cenários distintos e se mostrou ser uma ferramenta valiosa para testar diferentes configurações de semáforos em um ambiente controlado, permitindo observar como cada cenário se comporta de acordo com os parâmetros pré-estabelecidos.

Após a análise detalhada dos resultados, é evidente que os cenários 6 e 7 se destacaram como os mais promissores em termos de melhorias no tempo médio dos veículos no trajeto e equidade na quantidade média de veículos nas duas ruas e nos quatro sentidos. Porém, no cenário 7, foi adicionada a opção de “siga livre” na Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória, resultando no melhor cenário quando comparado com o cenário atual e os demais simulados.

No entanto, é importante ressaltar que a busca pela configuração ideal de semáforos é um processo contínuo e dinâmico. Como sugestão para pesquisas futuras, recomenda-se a exploração de outros cenários, que podem se mostrar promissores quando testados, deve-se considerar também variáveis como, horários de pico e importância da via analisada e utilizar Inteligência Artificial para análise de uma quantidade maior de cenários. Em suma, este estudo

demonstrou que a simulação desempenha um papel fundamental na análise de cenários de semáforos, fornecendo *insights* valiosos para planejadores urbanos.

REFERÊNCIAS

CAVALCANTE, Antônio Vitor Gomes *et al.* **Estudo técnico de viabilidade e projeto básico para implantação de conjunto semaforico no cruzamento das ruas Enaldo Torres e Severino Dutra no município de Patos–PB.** 2023.

CASTRO, Guilherme B. HIRAKAWA, André R.; MARTINI, José SC. Adaptive traffic signal control based on bio-neural network. **Procedia Computer Science**, v. 109, p. 1182-1187, 2017.

DE PAIVA, Lúcio Martins. **CONTROLE DISTRIBUÍDO DE TRÁFEGO COM FLUXOS HETEROGÊNEOS.** 2012. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

FARHI, Nadir *et al.* Uma estratégia de controle semi descentralizada para o tráfego urbano. **Processo de Pesquisa em Transporte**, v. 41-50, 2015.

KULKARNI, Ashish R.; KUMAR, Narendra; RAMACHANDRA RAO, K. **100 Years of the Ubiquitous Traffic Lights: An All-Round Review.** IETE Technical Review, p. 1-14, 2023.

LEAL, S. S.; DE ALMEIDA, P. E. M.; CHUNG, E. Active control for traffic lights in regions and corridors: an approach based on evolutionary computation. **Transportation Research Procedia**, 25, p. 1769-1780, 2017/01/01/ 2017.

NESMACHNOW, S.; MASSOBRIO, R.; ARRECHE, E.; MUMFORD, C. *et al.* Traffic lights synchronization for Bus Rapid Transit using a parallel evolutionary algorithm. **International Journal of Transportation Science and Technology**, 8, n. 1, p. 53-67, 2019/03/01/ 2019.

POMPIGNA, A.; MAURO, R. Smart roads: A state of the art of highways innovations in the Smart Age. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, 25, p. 100986, 2022/01/01/ 2022.

RADOVIĆ, R.; MARASOVIĆ, I.; ČAČKOVIĆ, V.; PLEŠTINA, D. *et al.* The concept of a data aggregation platform in the function of a decision-making system for urban mobility management. **Transportation Research Procedia**, 64, p. 53-59, 2022/01/01/ 2022.

TOKUNOVA, Galina; RAJCZYK, Marlena. Smart technologies in development of urban agglomerations (case study of St. Petersburg transport infrastructure). **Transportation Research Procedia**, v. 50, p. 681-688, 2020.

VOSVIEWER. **Welcome to VOSviewer.** 2023. Disponível em: <https://www.vosviewer.com/>. Acesso em: 01 fev. 2024.

WANG, H.; ZHU, M.; HONG, W.; WANG, C. *et al.* Optimizing Signal Timing Control for Large Urban Traffic Networks Using an Adaptive Linear Quadratic Regulator Control Strategy. **IEEE transactions on intelligent transportation systems**, 23, n. 1, p. 333-343, 2022.

WANG, Y.; YANG, X.; LIU, Y.; LIANG, H. Evaluation and Application of Urban Traffic Signal Optimizing Control Strategy Based on Reinforcement Learning. **Journal of Advanced Transportation**, 2018, p. 3631489, 2018/12/26 2018.

YU, Shanchuan et al. Understanding traffic bottlenecks of long freeway tunnels based on a novel location-dependent lighting-related car-following model. **Tunnelling and Underground Space Technology**, v. 136, p. 105098, 2023.