

# ESTUDOS DE CENÁRIOS PARA A OTIMIZAÇÃO DE TRÁFEGO EM SEMÁFOROS DE TRÊS TEMPOS: UM ESTUDO DE CASO UMA CIDADE DE MÉDIO PORTE

Liane Mahlmann Kipper<sup>1</sup>; Barbara Ruanna Loebens Garcia<sup>2</sup>, André Luiz dos Santos<sup>3</sup>, Jusicleiton Santos Pereira<sup>4</sup>, Júlio César Padilha Kaufmann<sup>5</sup>, João Carlos Furtado<sup>6</sup>

## Resumo

O crescimento simultâneo das cidades e do número de veículos impacta significativamente 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. A adoção de sistemas de tráfego inteligente, como os semáforos inteligentes, se apresenta como uma ferramenta que tem potencial para a solução de problemas 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 lógica de programação de três tempos. Os dados foram coletados *in loco* e em seguida tratados no software flexSim, com o objetivo de realizar uma análise de cenários em um cruzamento de vias de alto fluxo na cidade de Santa Cruz do Sul-RS visando dimensionar a melhor fluência de tráfego para o horário de maior fluxo. Foram realizadas 7 simulações de cenários e identificados os que apresentaram redução e consequentemente melhora 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, em uma via de intenso tráfego. A simulação demonstrou que é possível melhorar o tráfego urbano no local quando a configuração de tempos de semáforos for adequadamente implementada.

**Palavras-chave:** Fluxo de veículos; semáforo; gestão de tráfego; simulação de tráfego.

## Abstract

The simultaneous growth of cities and the number of vehicles significantly impacts the urban traffic system, and as a strategy to minimize these effects, efficient traffic signal management becomes crucial in urban traffic and mobility management. The adoption of intelligent traffic systems, such as smart traffic signals, emerges as a tool with the potential to solve issues like congestion. However, the use of fixed-time traffic signals can also be an alternative when a

<sup>1</sup> Doutora em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC; professora titular da Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC. E-mail: liane@unisc.br.

<sup>2</sup> Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais (PPGSPI) pela Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC. E-mail: mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais (PPGSPI) pela Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC.

<sup>3</sup> Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais (PPGSPI) pela Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC. E-mail: andresantos@mx2.unisc.br.

<sup>4</sup> Mestrando pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais (PPGSPI) pela Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC. E-mail: jusicleiton@mx2.unisc.br.

<sup>5</sup> Graduado em Engenharia de Produção da pela Universidade de Caxias do Sul-UCS. E-mail: jcpkaufmann@gmail.com.

<sup>6</sup> Doutor em Computação Aplicada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE; professor Adjunto da Universidade de Santa Cruz do Sul-UNISC nos cursos de Ciência da Computação, Engenharia de Computação, Engenharia de Produção, Licenciatura em Computação e no Programa de Pós-Graduação em Sistemas e Processos Industriais - PPGSPI. E-mail: jcarlosf@unisc.br.

balanced scenario of signal opening and closing times is found. The study presents a series of simulations at a busy intersection in the city of Santa Cruz do Sul (RS), where the traffic signals operate with a three-phase programming logic. Data was collected on-site and then processed using flexSim software with the aim of optimizing traffic flow by increasing its smoothness and reducing the average travel time through scenario analysis. Seven scenario simulations were conducted, and those that showed a reduction and consequently improvement in terms of "staytime" (average vehicle time on the route) and equity when compared to "average wip" (average number of vehicles on the route) were identified. There was a reduction of 13.88% and 22.78%, respectively, on a heavily trafficked road. The simulation demonstrated that it is possible to improve urban traffic at the location when signal timing configurations are properly implemented.

**Keywords:** Flow of vehicles; semaphore; traffic management; traffic simulation.

## 1 Introdução

O crescimento contínuo das cidades, juntamente com o aumento da frota de veículos, tem gerado um 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). Silva *et al.* (2022) realizaram um estudo na cidade de Guimarães em Portugal para buscar a otimização do ciclo do semáforo e para isto utilizaram uma estratégia de otimização baseada em simulação. Já Andrade e Bessa Júnior (2022) propuseram um método para determinação da capacidade e de medidas de desempenho em zonas de obras de rodovias de pista simples utilizando simulação de cenários aleatórios. Este estudo mostram a importância do uso da simulação em sistemas complexos como são os sistemas de tráfego.

O intenso tráfego urbano provoca vários impactos negativos. Segundo Castro *et al.* (2017) são grandes os impactos do tráfego urbano na saúde humana, destacando o aumento do nível de estresse em situações de engarrafamento. Já os autores Castro *et al.* (2017) comentam que foram examinados os efeitos das obstruções no tráfego sobre o Produto Interno Bruto (PIB) e o meio ambiente, apontando como suas principais origens o custo dos combustíveis, o custo de oportunidade relacionado ao tempo que os cidadãos consomem no trânsito e a emissão de CO<sub>2</sub>. Eles complementam que uma alternativa economicamente viável para otimizar a eficácia do sistema é a gestão inteligente dos semáforos, com potencial para ampliar a capacidade da cidade 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. Um sistema de três tempos compreende liberar um sentido da via por vez, mantendo os outros dois sentidos parados. Esta alternância

pode gerar congestionamento de veículos de determinado sentido, em contrapartida, em outro sentido pode não haver congestionamento (Cavalcante, 2023).

Este estudo foi realizado na cidade de Santa Cruz do Sul, localizada no estado do Rio Grande Sul (RS). Conta com uma população, conforme estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2021, de 132 271 habitantes, sendo o 15º município mais populoso do RS. Ela 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. Com base no exposto, este artigo tem como objetivo realizar uma análise de cenários em um cruzamento de vias de alto fluxo na cidade de Santa Cruz do Sul-RS visando dimensionar a melhor fluência de tráfego para o horário de maior fluxo, que por sua vez se concentra entre às 17:00 horas e 18:00 da tarde em dias úteis. Além disso, este estudo visa também 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.

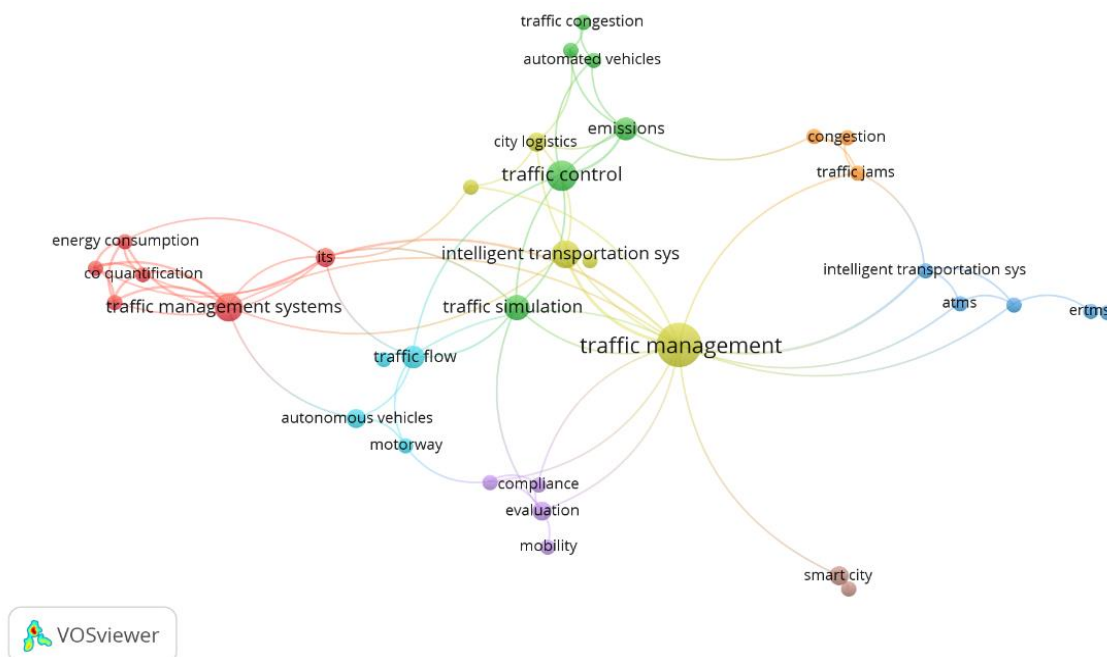
Através da aplicação de simulação no software FlexSim em diferentes cenários, foi possível embasar decisões de planejamento de fluxos do tráfego da via, e do uso de semáforos buscando a melhoria da mobilidade. Para isso, a introdução abordou a problemática e contextualizou a necessidade de estudo sobre o tráfego urbano, problemas e possíveis melhorias. A seção 2 é dedicada ao referencial teórico sobre o tema. Na seção 3 está descrita a metodologia que foi um estudo de caso. Já na seção 4, estão dispostos os resultados a partir dos estudos utilizando simulação. O artigo finaliza com a seção 5 da conclusão e sugestões de trabalhos futuros seguidos pelos agradecimentos 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.

As seções foram definidas com base em análise realizada nas palavras-chave ("*flow of vehicles*" AND "*semaphore*" AND "*traffic management*" OR "*traffic management system*" OR "*traffic control*" AND "*traffic simulation*") que foram analisadas no software VOSViewer que tem como finalidade a construção e visualização de redes bibliométricas e a visualização de redes de coocorrência de termos importantes extraídos de um corpo de literatura científica (Van Eck e Waltman, 2011).

**Figura 1** - Rede bibliométrica de termos



Fonte: VOSviewer (Van Eck e Waltman, 2011).

Na Figura 1 é possível observar a existência de 08 agrupamentos, sendo a palavra “gerenciamento de tráfego” (agrupamento amarelo) a integradora de todos os demais agrupamentos. Ela tem relação com as cidades inteligentes e com sistemas de transporte inteligente e sistemas de gerenciamento de tráfego. No agrupamento verde observa-se que a simulação tem relação com o controle e fluxo do tráfego.

## 2.1 Semaforização

Os primeiros estudos relacionados a semáforos remetem ao século passado, período de desenvolvimento dos primeiros sistemas de semaforização (Kulkarni, 2023). Nos dias atuais 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 (de 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 *et al.*, 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 bionerálicas 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. Este trabalho apresentou uma metodologia para o tratamento de dados TMS-ANPR para geração de séries temporais diárias de volumes trafic e OD lows em redes urbanas. Fernandes Barroso *et al.* (2021) realizaram um estudo que indica os sistemas TMS como estratégia para a geração de séries temporais que permitem avaliar a variabilidade da trajetória urbana, o que revela a importância de estudos nesta área.

Já 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). Os autores Pompigna e Mauro (2022) acrescentam ainda que o gerenciamento de tráfego pode ser realizado com o conceito de rodovia inteligente (*Smart Roads*) que integra quatro dimensões como mostrado na Figura 2.

**Figura 2** - Conceito de *Smart Roads*



Fonte: Adaptado de Pompigna e Mauro (2022).

Autores como Mota e Barroso (2021) indicam que estudos sobre rodovias inteligentes devem avançar e no estudo desenvolvido os autores apresentam um protótipo que transforma a energia mecânica transmitida pelos veículos em energia elétrica exemplo de captação de energia por este tipo de rodovia. Chuerubim *et al.* (2020) utilizaram Redes Neurais Artificiais (RNA) que aprimoram o processo de classificação da severidade de acidentes rodoviários fator importante na interação de informações e geração de base de conhecimento em sistemas de gerenciamento de tráfego. Estudos demonstram que estudos sobre rodovias inteligentes estão ocorrendo de forma consistente.

### 3 Metodologia

Esta seção apresenta a metodologia utilizada para a realização do estudo de caso. Segundo Yin (2015), este tipo de pesquisa possibilita 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. Portanto, a estratégia metodológica escolhida para poder alcançar o objetivo deste estudo foi o Estudo de Caso com a utilização de dados quantitativos. A pesquisa de estudo de caso envolve uma abordagem empírica que procura explorar um fenômeno atual dentro do contexto da vida real. Geralmente, as fronteiras entre o próprio fenômeno e o ambiente em que ocorre não são nitidamente definidas. Desta forma, isso 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 é considerado um elemento importante para a pesquisa de estudo de caso, enfatizando assim a importância do contexto (Dresch *et al.* 2015). Dentre os tópicos abordados, está o *software* utilizado para a simulação e seus parâmetros e uma breve abordagem sobre o local da simulação.

### 3.1 O contexto da pesquisa: Sistemas de Gerenciamento de Tráfego

O local de estudo desta simulação 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 3 representa as vias estudadas e foi desenvolvida por meio do Google Earth e editada no Canva.

**Figura 3** - Representação das vias estudadas



Fonte: Adaptada do Google Earth (2023).

A Tabela 1 mostra os tempos de ciclos dos semáforos das vias. De acordo com Wei *et al.* (2019), estes ciclos atendem a um controle de sinal que implica em um padrão de repetição que permanece constante independentemente da condição atual do tráfego em tempo real.

**Tabela 1** - Tempos dos semáforos das vias (tempo em segundos).

Status do semáforo	Semáforo A*	Semáforo B**	Semáforo C***
Fechado	53	63	63
Aberto	30	20	20
<b>Total</b>	<b>83</b>	<b>83</b>	<b>83</b>

\* Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping

\*\* Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido rotatória

\*\*\* Av. João Pessoa sentido centro e sentido UNISC (dois semáforos abrem simultaneamente)

Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3.2 Coleta de dados

Os dados foram coletados por um período de 1 hora em horário de pico (das 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 utilizaram o “siga livre”. Esse percentual de veículos que foram para o “siga livre” foi utilizado também como parâmetro no *software* FlexSim, conforme Tabela 2, para não impactarem nos resultados das simulações.

**Tabela 2** - 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: Elaborada pelos autores.

### 3.3 Simulação e o *software* FlexSim

Após criar um modelo a simulação possibilitou a avaliação do 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). 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, 2023). Neste caso, ele foi utilizado para a simulação do fluxo de veículos em um cruzamento de tráfego intenso, gerando cenários AS-IS e TO-BE de acordo com os dados coletados. Foram considerados os seguintes parâmetros para a realização da simulação da via conforme mostrado na Tabela 3.



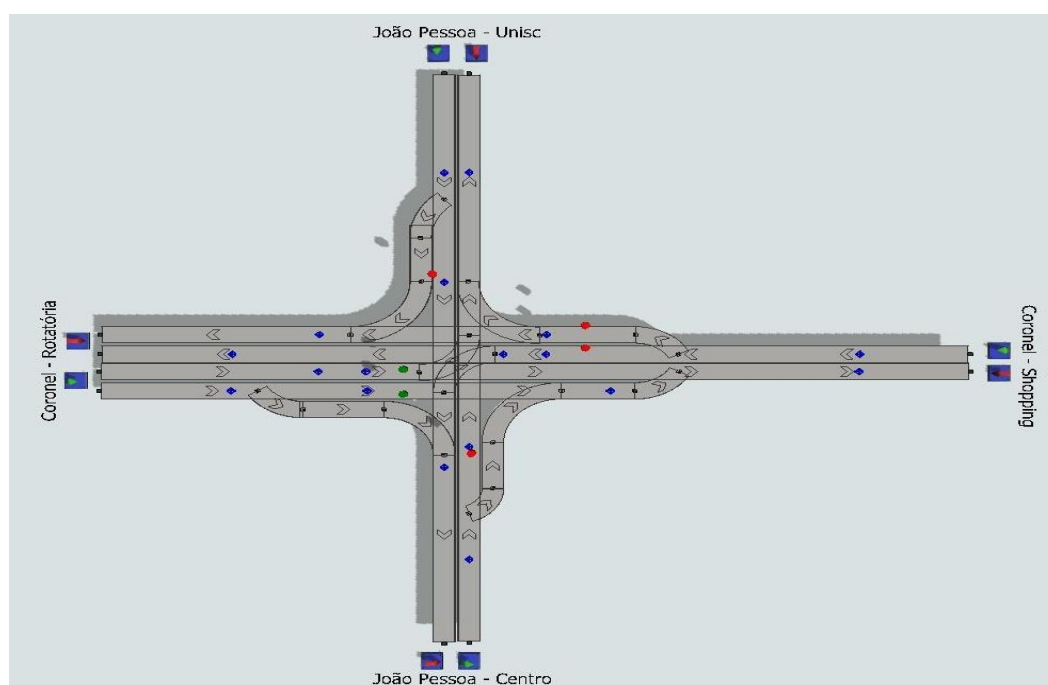
**Tabela 3** - Parâmetros utilizados para simulação

Aceleração/Desaceleração (m/s <sup>2</sup> )	2
Velocidade Máxima (km/h)	40
Distância entre Veículos (cm)	30
Tamanho Médio Veículos (m)	4,5
Tempo de Rodagem (simulado no software)	8 horas = 28800 segundos

Fonte: Elaborada pelos autores.

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 e caminhões. Na Figura 4 temos a representação gráfica do sistema desenvolvido no *software* FlexSim. Utilizamos uma nomenclatura mais simplificada das ruas para facilitar a representação.

**Figura 4** - Representação do sistema no software FlexSim



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 4 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.

### 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*).

Quantidade média de veículos no trajeto (Nomenclatura no FlexSim: *Average WIP*).

**Tabela 4** - Dados para simulação dos cenários

Ruas	Cenário atual		Cenário 1		Cenário 2		Cenário 3	
	A	F	A	F	A	F	A	F
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
	Cenário 4		Cenário 5		Cenário 6		Cenário 7 + “Siga	
	A	F	A	F	A	F	A	F
Semáforo A	60	60	40	80	40	60	40	60
Semáforo B	40	80	60	60	40	60	40	60
Semáforo C	20	100	20	100	20	80	20	80

Obs.: Unidade de tempo: segundos; A= Semáforo aberto; B = Semáforo fechado

\* **Cenário 7:** foi utilizado o mesmo tempo do Cenário 6, porém adicionado uma via com opção de “Siga Livre”.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Tabela 4 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”.

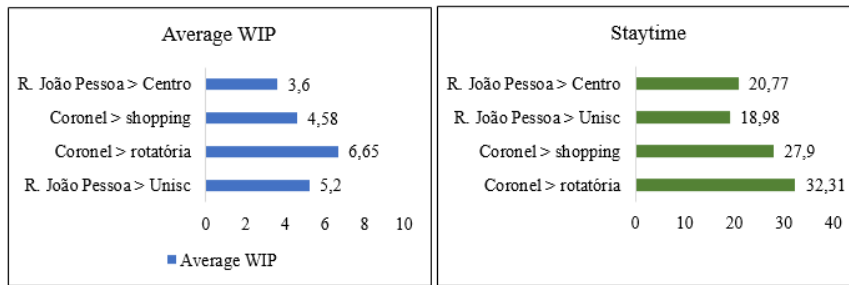
## 4 Resultados e discussões

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos através da simulação e suas discussões.

### 4.1 Simulação de Cenários

O cenário atual foi simulado para podermos realizar a análise de melhoria ou não no tempo médio dos veículos no trajeto e na quantidade média de veículos no trajeto comparando com os demais cenários. A Figura 5 apresenta os resultados de simulação do cenário atual.

**Figura 5** - Resultado da simulação do cenário atual



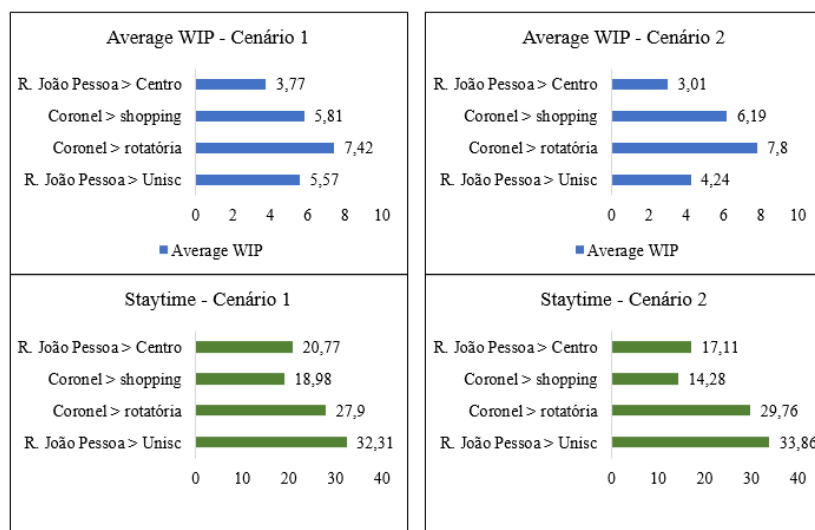
Fonte: Elaborada pelos autores.

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 de Cenários

Os valores encontrados de duas simulações (cenários 1 e 2) das 7 simulações realizadas estão exibidos na Figura 6.

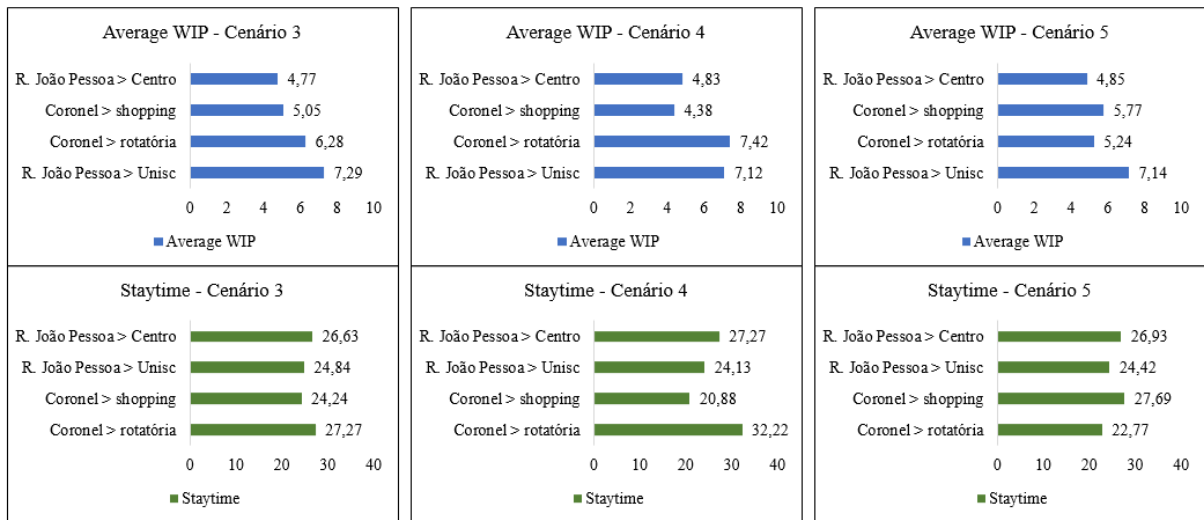
**Figura 6** - Resultados obtidos na simulação dos cenários 1 e 2



Fonte: Elaborada pelos autores.

Já na Figura 7 são expressos os valores encontrados nas simulações dos cenários 3, 4 e 5.

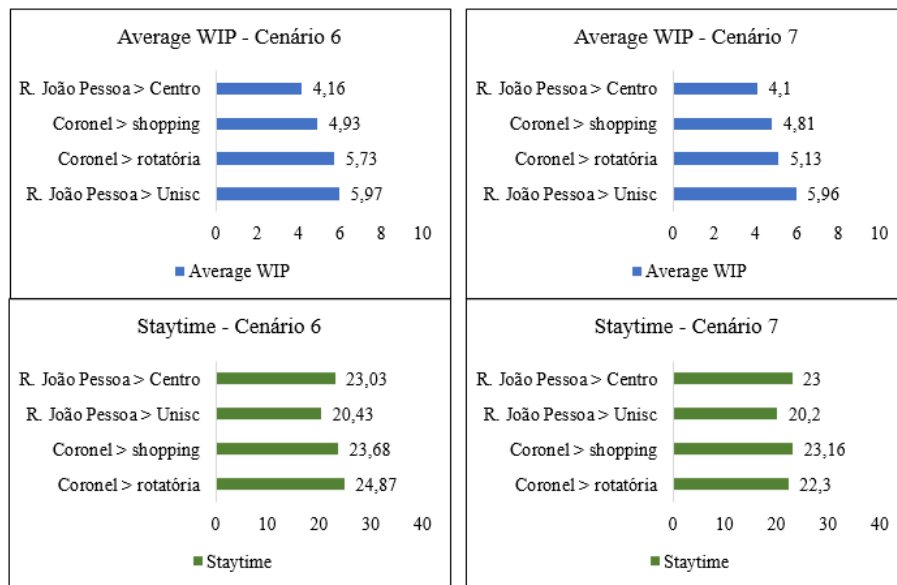
**Figura 7** - Resultados obtidos na simulação dos cenários 3, 4 e 5



Fonte: Elaborada pelos autores.

Por fim na Figura 8 são expressos os valores encontrados nas últimas simulações de cenários 6 e 7.

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



Fonte: Elaborada pelos autores.

Comparando o *Average WIP* (quantidade média de veículos no trajeto) do cenário atual com o cenário 1 proposto e fazendo sua respectiva análise, 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.

Comparando o *Staytime* do cenário atual com o cenário 2 proposto e fazendo sua respectiva análise, observamos a diminuição de 19,14% na Avenida João Pessoa sentido

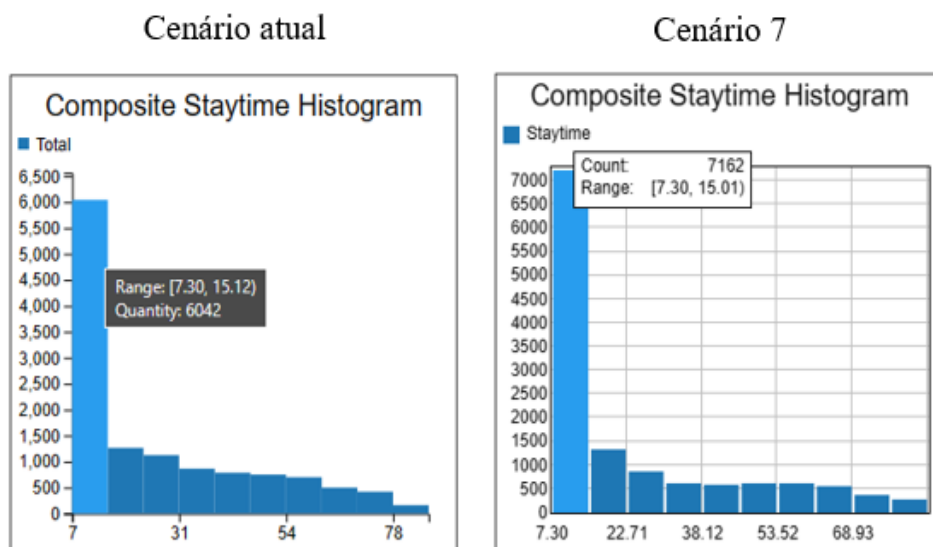
UNISC e diminuição de 15% na Avenida João Pessoa sentido Centro. Já a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping rotatória teve aumento de 17,24% e a Rua Coronel Oscar Rafael Jost sentido shopping teve 35,33%. O indicador *Average WIP* não se mostrou satisfatório quando comparado com o cenário atual.

O cenário 3 e 4 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 cenários 6 e 7 apresentaram redução e consequentemente melhora quando analisado o *Staytime*, e uma equidade quando comparado o *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 9 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: Elaborada pelos autores.



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

No decorrer deste estudo de caso, foi realizada uma simulação para a análise de cenários em um cruzamento de vias de alto fluxo na cidade de Santa Cruz do Sul-RS visando dimensionar a melhor fluência de tráfego para o horário de maior fluxo. Foram analisados 7 cenários e a simulação 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 4 sentidos. 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. Em suma, este estudo demonstrou que a simulação desempenha um papel fundamental na análise de cenários de semáforos, fornecendo insights para planejadores urbanos que atuam em sistemas de gerenciamento de tráfego.

## Referências

ANDRADE, R. Q.; BESSA JÚNIOR, J. E. Método para determinação da capacidade e de medidas de desempenho em zonas de obras de rodovias de pista simples. **Transportes**, v. 30, n. 2. P. 1-19, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/transportes.v30i2.2685>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CASTRO, G. B.; HIRAKAWA, A. R.; MARTINI, J. S. Adaptive traffic signal control based on bio-neural network. **Procedia Computer Science**, v. 109, p. 1182-1187, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.05.394>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CAVALCANTE, A. V. G. **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. 116 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, Campina Grande, 2023. Disponível em

<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/bitstream/handle/riufcg/31145/ANT%C3%94NIO%20VITOR%20GOMES%20CAVALCANTE%20-%20TCC%20-%20ENGENHARIA%20CIVIL%202023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 10 jul. 2024.

CHUERUBIM, M. L. *et al.* Avaliação de técnicas de balanceamento de bases de dados para classificação da severidade de acidentes rodoviários empregando redes neurais artificiais. **Transportes**, v. 28, n. 5, p. 252–266. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/transportes.v28i5.2271>. Acesso em: 10 jul. 2024.

DE PAIVA, L. M. **Controle distribuído de tráfego com fluxos heterogêneos**. 2012. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas e Computação) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://www.cos.ufrj.br/uploadfile/1355332719.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; MIGUEL, P. A. C. A distinctive analysis of case study, action research and design science research. **Revista brasileira de gestão de negócios**, v. 17, n. 56, p. 1116-1133, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbgn/a/Tx8469yFmpqVxZWRyCMs5cw/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 jul. 2024.

FARHI, N. *et al.* A semi-decentralized control strategy for urban traffic. **Transportation Research Procedia**, v. 10, p. 41-50, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.09.054>. Acesso em: 10 jul. 2024.

FERNANDES BARROSO, J. M.; ALBUQUERQUE OLIVEIRA, J. L.; DE OLIVEIRA NETO, F. M. O uso de dados de sistemas de monitoramento automático de tráfego para obter séries temporais dia-a-dia de volumes de tráfego e fluxos origem-destino em redes urbanas. **Transportes**, v. 29, n. 2, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/transportes.v29i2.2385>. Acesso em: 10 jul. 2024.

KULKARNI, A. R.; KUMAR, N.; RAMACHANDRA RAO, K. 100 years of the ubiquitous traffic lights: An all-round review. **IETE Technical Review**, v. 41, n. 2, p. 212-225, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02564602.2023.2238664>. Acesso em: 10 jul. 2024.

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**, v. 25, p. 1769-1780, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.140>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MOTA, B. C.; BARROSO, S. H. A. O uso do pavimento para geração de energia e desenvolvimento sustentável de cidades inteligentes. **Transportes**, v. 29, n. 2, p. 1-15, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.14295/transportes.v29i2.2380>. Acesso em: 10 jul. 2024.

NESMACHNOW, S. *et al.* Traffic lights synchronization for Bus Rapid Transit using a parallel evolutionary algorithm. **International Journal of Transportation Science and Technology**, v. 8, n. 1, p. 53-67, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2018.10.002>. Acesso em: 10 jul. 2024.

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**, v. 25, p. 1-15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2021.04.005>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SILVA, G. O. *et al.* Traffic Light Optimization of an Intersection: A Portuguese Case Study. *In: International Conference on Optimization, Learning Algorithms and Applications*. Cham: Springer International Publishing, 2022. p. 202-214. Disponível em: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-23236-7\\_15](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-23236-7_15). Acesso em: 10 jul. 2024.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. **VOSviewer manual: version 1.3.0** Leiden: Leiden Universit, 2011. Disponível em: [https://www.vosviewer.com/documentation/Manual\\_VOSviewer\\_1.3.1.pdf](https://www.vosviewer.com/documentation/Manual_VOSviewer_1.3.1.pdf). Acesso em: 10 jul. 2024.

WANG, H. *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**, v. 23, n. 1, p. 333-343, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3010725>. Acesso em: 10 jul. 2024.

WANG, Y. *et al.* Evaluation and application of urban traffic signal optimizing control strategy based on reinforcement learning. **Journal of Advanced Transportation**, v. 2018, n. 1, p. 1-9, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2018/3631489>. Acesso em: 10 jul. 2024.

WEI, H.; ZHENG, G.; GAYAH, V.; LI, Z. A survey on traffic signal control methods. **arXiv preprint arXiv:1904.08117**, v. 1, n. 1. Disponível em: <https://doi.org/10.48550/arXiv.1904.08117>. Acesso em: 10 jul. 2024.

YIN, R. K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Porto Alegre: Bookman editora, 2015.