

ANÁLISE DA SINCRONIZAÇÃO SEMAFÓRICA DA AVENIDA RIO BRANCO, NO TRECHO DA AV. NOSSA SRA. DA PENHA À PONTE AYRTON SENNA EM VITORIA, ES

ANALYSIS OF THE TRAFFIC LIGHT SYNCHRONIZATION OF RIO BRANCO AVENUE, IN THE SECTION OF AV. OUR LADY FROM PENHA TO THE AYRTON SENNA BRIDGE IN VITORIA, ES

Bruno Gomes Rangel ¹

Pablo Rafael Neves Marciano ²

RESUMO: O rápido crescimento urbano no Brasil, motivado pela busca de uma melhor qualidade de vida e desenvolvimento econômico, resultou na necessidade de um planejamento adequado para a mobilidade urbana, especialmente com o aumento dos números de veículos. A sincronização semafórica surge como uma solução eficiente para reduzir os congestionamentos, melhorar a fluidez do tráfego e aumentar a segurança viária. Este estudo realizado na Avenida Rio Branco, em Vitória/ES, analisou o fluxo de veículos e pedestres em diferentes horários utilizando simulações no software VISSIM, e o conceito dos semáforos binários para testar cenários de sincronização semafórica. Os resultados mostram uma redução significativa no tempo médio de deslocamento e quantidades de paradas, bem como uma redução nas emissões de gases poluentes e no tempo de espera nos semáforos. A implementação de ondas verdes e estágios dedicados para o pedestre, proporciona uma maior segurança e eficácia no trânsito. O estudo revelou que a sincronização semafórica é crucial para aprimorar o fluxo de tráfego, assegurando uma mobilidade mais fluida e segura para os motoristas, pedestres e ciclistas, além de promover um ambiente mais sustentável. A pesquisa auxilia nos desenvolvimentos de soluções práticas e fundamentadas em evidências que podem ser implementadas em outras áreas urbanas, com o objetivo de aprimorar continuamente a mobilidade e a qualidade de vida nas cidades.

Palavras-chave: Sincronização; Semafórica; Mobilidade.

ABSTRACT: Rapid urban growth in Brazil, driven by the pursuit of a better quality of life and economic development, has highlighted the need for effective urban mobility planning, particularly with the increasing number of vehicles on the road. One efficient solution that has emerged is traffic light synchronization, which can help reduce congestion, improve traffic flow, and enhance road safety. This study was conducted on Avenida Rio Branco in Vitória, ES. We analyzed vehicle and pedestrian flow at different times using simulations in VISSIM software. We also explored various traffic light synchronization scenarios using binary traffic lights. The results indicate a notable reduction in average travel times and the number of stops, decreased pollutant emissions and reduced waiting times at traffic lights.

¹ Centro Universitário Salesiano - Unisales. Vitória/ES, Brasil. Rangelbruno10@hotmail.com

² Centro Universitário Salesiano - Unisales. Vitória/ES, Brasil. pablo.marciano@salesiano.br

Implementing green waves and dedicated pedestrian phases has increased safety and efficiency in traffic management. Overall, the study underscores the importance of traffic light synchronization in enhancing traffic flow and ensuring smoother, safer mobility for drivers, pedestrians, and cyclists. Additionally, it contributes to a more sustainable urban environment. This research provides practical, evidence-based solutions that can be applied to other urban areas, aiming to improve mobility and the quality of life in cities continually.

Keywords: Synchronization; traffic lights; mobility.

1 INTRODUÇÃO

A partir da metade do século XX, o Brasil tem passado por uma significativa urbanização, impulsionada pelo progresso e pela busca por uma melhor qualidade de vida. Historicamente, o transporte sempre desempenhou um papel fundamental no crescimento econômico do país. A criação de estradas e rotas seguras e eficientes é essencial para a mobilidade urbana. Com a chegada dos automóveis, houve a necessidade da expansão de vias pavimentadas e sinalizações que visem garantir a segurança de motoristas e pedestres e a fluidez do tráfego urbano.

Uma dessas soluções de promover a harmonia no trânsito, melhorando a mobilidade urbana é a sincronização semafórica que consiste em ajustar os tempos e das fases dos semáforos em um modal rodoviário, de forma para garantir a fluidez e a segurança do tráfego. Esse processo é fundamental nas áreas urbanas, pois pode reduzir os congestionamentos, os atrasos, as paradas, os acidentes, e o consumo de combustível dos veículos.

Com isso, o estudo é baseado em um trecho da Avenida Rio Branco em Vitória ES, que fica entre a Av. Nossa Sra. da Penha à Ponte Ayrton Senna que é um dos importantes corredores de tráfego localizada no Município de Vitória. Ela está localizada no bairro Praia do Canto. Esse trecho possui uma ciclovia de aproximadamente 01 (um) quilômetro de comprimento, e é conhecida por abrigar diversos estabelecimentos comerciais, residenciais e de serviços. No entanto, essa via enfrenta muitos desafios relacionados ao alto volume de veículos, e um grande fluxo de pessoas na região. Logo, a sincronização semafórica contribui como uma solução necessária para garantir uma mobilidade bastante eficiente e segura e deixando o trânsito mais vertiginoso.

É necessário o estudo da densidade do tráfego existente na faixa de rolamento para verificar a quantidade de veículos que ocupam a extensão da via, isso serve como um indicativo, avaliando a capacidade e eficiência para evitar possíveis congestionamentos, visando a fluidez do tráfego evitando que os cruzamentos fiquem bloqueados simultaneamente.

A sincronização dos semáforos nesta avenida poderia potencialmente melhorar o fluxo, contribuindo para uma melhor locomoção de pedestres, ciclistas e motoristas além de reduzir o tempo de viagem e melhorar a segurança geral da via que é um dos principais desafios das cidades modernas.

Neste sentido, o principal objetivo desta pesquisa, é entender os padrões de circulação ao longo da via para ajustar adequadamente os tempos dos semáforos,

identificando os momentos com maior intensidade de tráfego para adaptar a sincronização conforme a demanda. Assim, assegurar a harmonia com os semáforos vizinhos para manter o trânsito fluente, evitando o congestionamento da via e mais segurança as pedestres e ciclistas que transitam nessa região.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTROLES DE TRÁFEGO URBANO E SEGURANÇA VIÁRIA.

A sinalização de trânsito consiste em um conjunto de sinais e equipamentos instalados nas vias públicas, seu propósito principal é facilitar a circulação de veículos e a segurança dos condutores. Uma boa sinalização é aquela capaz de chamar a atenção do motorista, transmitir claramente sua mensagem e evitar interpretações erradas, sendo visível a longas distâncias para permitir manobras seguras. Além de orientar os motoristas e ajudá-los na direção, a sinalização viária deve garantir uma boa visibilidade tanto de dia quanto à noite, contribuindo para a segurança nas ruas (DNIT, 2017).

O transporte rodoviário controla o mercado nacional, tanto nas zonas rurais como urbanas. Estima-se que no Brasil 96% das viagens das pessoas e 64% das mercadorias transportadas ocorram em rodovias. Portanto, o transporte rodoviário consome muito mais energia do que qualquer outro tipo de transporte. O número de automóveis no país cresceu rapidamente nas últimas décadas, passando de 430 mil em 1950 para 3,1 milhões em 1970 e atingindo 25 milhões em 1995. Atualmente, a frota conta com cerca de 29 milhões de veículos, segundo (PNT: Política Nacional de Trânsito) e (GARCIA, 1995).

Conforme apontado na Conferência de Roma (OMS, 1984), a conduta do condutor é o principal fator que influencia o Trânsito (observação de sinais, velocidade e escolhas ao ultrapassar outro veículo ou atravessar uma rua). O evento concluiu que para compreender as atitudes dos motoristas é essencial um melhor entendimento das culturas locais e das condições de vida, aproveitando esse conhecimento em iniciativas educacionais, programas de capacitação e reabilitação que visem promover um comportamento mais adequado.

Após a Segunda Guerra Mundial, o automóvel pessoal se tornou um fenômeno global. Ele passou a ser um objeto de consumo e símbolo de status social, impulsionado pela intensa publicidade das economias capitalistas, que ressaltavam a mobilidade individual e a prosperidade material sem precedentes. A frota de veículos aumentou consideravelmente em nível mundial, porém muitas vezes infraestrutura viária e planejamento urbano não acompanharam esse crescimento. Além dos problemas como ruídos e poluição do ar, o aumento nos tempos de deslocamento e os congestionamentos contribuíram para uma maior agressividade entre os condutores e uma diminuição da qualidade de vida nas áreas urbanas. (MARÍN; QUEIROZ, 2000).

É importante notar que muitas pessoas que dão entrada nos hospitais após acidentes não são oficialmente catalogadas como vítimas de incidentes de trânsito, mas sim de acidentes em geral. Esse fato explica por que o número de mortes no trânsito registrado oficialmente, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil, não reflete a realidade. (BRAGA; SANTOS, 1995).

2.2 SINALIZAÇÕES DE TRÂNSITO.

No Brasil, o sistema viário progrediu rapidamente com a chegada dos primeiros veículos. Logo de início, houve o cuidado de estabelecer regras para garantir a segurança dos pedestres e demais usuários das estradas. Desde os primórdios da humanidade, o trânsito está presente, tornando-se mais organizado com o avanço das antigas civilizações, que viram a necessidade de normas para regular a circulação nas vias. Foi somente a partir da revolução industrial, com a popularização dos veículos, que se fez necessário revisar as leis de trânsito com o objetivo de proporcionar maior fluidez e proteção aos usuários. (FRANZ; SEBERINO, 2012).

Com a crescente quantidade de veículos nas ruas devido ao aumento do tráfego, o DENATRAN (2016) estabeleceu que a segurança no trânsito é um direito de todos, e que os órgãos do Sistema Nacional de Trânsito têm a responsabilidade de adotar medidas para garantir esse direito. Assim, a sinalização viária é utilizada para assegurar que motoristas e pedestres possam chegar aos seus destinos de forma organizada e segura, além de regular suas obrigações, limitações e proibições, conforme mencionado por CASTILHO (2009).

A sinalização de trânsito é um dos elementos mais cruciais do sistema viário, pois é responsável por orientar os usuários sobre o correto uso das vias, visando garantir a segurança, eficiência e conforto (FERRAZ, 2012).

2.3 SINALIZAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL.

A sinalização horizontal inclui linhas, símbolos e legendas para organizar o tráfego de pessoas, guiar e controlar movimentos em situações complexas, complementar as placas vertical e em alguns casos, regular o trânsito na rua. De acordo com o DENATRAN (2016).

A sinalização horizontal estabelece diversos padrões de formatos e colorações que identificam os distintos tipos de sinais. Quanto aos formatos, são utilizadas linhas contínuas, pontilhadas ou segmentadas em áreas específicas da estrada. Além disso, setas, símbolos e legendas são empregados para indicar uma situação ou complementar a sinalização vertical já existente. Segundo o DENATRAN (2016), a sinalização horizontal é classificada em cinco tipos de cores: amarelo, vermelho, branco e azul.

O sistema de sinalização horizontal pode ser dividido em diversas categorias: marcas longitudinais, marcas transversais, marcas de canalização, marcas de delimitação e controle de estacionamento e/ou parada, e inscrições no pavimento. Todas essas formas de sinalização são detalhadas no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito- Volume IV- Sinalização Horizontal, de acordo com o DENATRAN (2016).

As marcas longitudinais têm a função de organizar o fluxo de tráfego e estabelecer normas de ultrapassagem e mudança de faixa. Por outro lado, as marcas transversais são responsáveis por guiar os movimentos frontais dos veículos, garantir a integração com outros usuários da via, alertar os condutores para reduzir a velocidade quando necessário, e indicar áreas de travessia de pedestres e locais de parada.

Conforme o DNIT (2010), as marcações no chão têm a finalidade de guiar e alertar os condutores sobre as condições de operação da via, sendo classificadas em: setas direcionais, que orientam a posição correta dos veículos; símbolos, que sinalizam alertas específicos; e legendas, que informam sobre situações especiais na operação da via.

Quanto aos materiais utilizados na sinalização horizontal, os mais comuns são tintas, massas termoplásticas e películas pré-fabricadas, todos devendo ser retro refletivos. Ao escolher o material, é importante considerar se o serviço é temporário ou permanente, o volume e a composição do tráfego, além do tipo, estado de conservação e vida útil do pavimento (DNIT, 2010).

O autor Ferraz (2012), diz que em comparação com as placas de trânsito verticais, a sinalização no pavimento destaca-se por ser mais visível aos motoristas, por estar posicionada no centro do campo de visão, facilitando a transmissão de informações sem desviar a atenção da estrada.

Em linhas gerais, o CONTRAN classifica as placas de sinalização vertical em três grupos: regulamentação, advertência e indicação.

2.4 SINCRONIZAÇÃO SEMAFÓRICA.

Segundo Vasconcelos (1982), uma das principais necessidades da engenharia de tráfego é compreender o volume e o comportamento dos veículos nas vias. Para atingir esse objetivo é fundamental aprofundar a análise do trânsito no local estudado, por meio de pesquisas de campo ou em análise de sistema. O objetivo é coletar informações sobre os cinco pilares essenciais do trânsito, nomeadamente: o condutor, o pedestre, o veículo, a via, o meio ambiente e a inter-relação entre eles.

A regulação dos semáforos estabelece quem pode passar na via, controlando o fluxo de veículos e pedestres por meio das cores utilizadas, transmitindo mensagens distintas para cada um. Quando o veículo se depara com a luz verde, é sinalizado o direito de passagem, enquanto a luz vermelha indica a proibição de seguir adiante, sendo obrigatório parar. Já a luz amarela funciona como um alerta de que o direito de passagem está prestes a encerrar, exigindo que o condutor pare, a menos que o veículo já esteja no meio do cruzamento e seja arriscado parar com segurança. Nesse caso, deve-se continuar a trajetória, mesmo diante da luz amarelo (CONTRAN, 2014).

A coordenação de semáforo através da sincronização é o principal método utilizado. Ela consiste na conexão de todos os semáforos por meio de um controlador central, possibilitando que cada sinal opere em ciclos sincronizados, com tempos de luz verde e intervalos específicos para manter um fluxo de tráfego uniforme em todos os sinais coordenados (DENATRAN, 1984, p 91)

Conforme os autores Joner e Volpi (2013), a sincronização refere-se à diferença de tempo entre os ciclos dos semáforos em uma região específica, de modo a permitir que os sinais verde e vermelho sejam ajustados para que os usuários possam atravessar um maior trecho de vias sem interrupções.

O sistema de semáforos faz parte da sinalização de trânsito, que inclui luzes alternadas ou intermitentes, acionadas por sistema elétrico ou eletrônico. Essa sinalização é dividida em dois tipos: sinalização de alerta, utilizada para alertar sobre

situações particulares, e sinalização regulatória, que organiza o tráfego de pedestres e veículos conforme especificado (CTB, 2017; ARAUJO, 2024).

2.5 CONTAGEM DE TRÁFEGO.

De acordo com o Manual do DNIT (2006), as contagens volumétricas visam quantificar, direção e composição do tráfego de veículos em um local específico da via, durante um intervalo de tempo, a fim de coletar dados para analisar potenciais congestionamentos, índices de acidentes, necessidades de melhorias em vias e pavimentos, proporcionando uma experiência melhor para os usuários.

A contagem volumétrica é uma técnica de pesquisa que pode ser utilizada para identificar o fluxo de veículos em circulação em uma área específica da estrada, durante um período determinado. A partir desses dados, é possível avaliar o nível de atendimento em uma via, analisar as principais razões para congestionamentos ou acidentes, dimensionar pavimentos e planejar a adequação de dispositivos de controle de tráfego (BRASIL, 2006).

A contagem de tráfego é realizada para quantificar o fluxo de veículos em uma estrada, permitindo assim diversas aplicações de transporte, como a avaliação das condições atuais, o planejamento e a previsão da demanda dos sistemas de transporte (Suh et al., 2015). Logo, a precisão dos dados coletados durante essas contagens é crucial para garantir resultados satisfatórios nessas aplicações.

A contagem de tráfego é fundamental para calcular e modelar o tráfego, o que possibilita a supervisão das vias e a previsão dos efeitos de mudanças na infraestrutura de transporte (MENG, 2016; XIA, 2016; SAVRASOVIS e PTCINA, 2017).

2.6 MODELAGEM DE TRÁFEGO.

A modelagem de tráfego teve seu início na década de 30 nos Estados Unidos, no entanto, foi a partir da década de 90 que o tema começou a ganhar destaque devido ao crescimento da demanda por tráfego, à disponibilidade de mais dados e ao maior acesso a capacidade de processamento (TREIBER; KESTING, 2013).

Por meio da modelagem do comportamento do tráfego nas vias, é viável examinar seu desempenho e entender o efeito de políticas e estratégias de controle. (PORTUGAL, 2005).

Para realizar estudos de tráfego em áreas extensas com foco em planejamento, é comum empregar o Volume Médio Diário (VMD), representando o total de veículos que circulam em um dia. O VMD anual, chamado VMDa, é frequentemente utilizado e é calculado dividindo-se o total de veículos que passam durante um ano por 365. Nas análises que levam em conta as flutuações do tráfego ao longo das horas do dia e buscam identificar o horário com maior movimento, recorre-se ao Volume Horário (VH), que corresponde ao número total de veículos registrados em uma hora específica (DNIT/IPR, 2006).

3 METODOLOGIA

O estudo utiliza uma metodologia quantitativa e um estudo de caso, focando na análise da sincronização semaforica e nas dinâmicas do trânsito urbano na Avenida

Rio Branco, situada na área da Praia do Canto, em Vitória, ES. Esta metodologia possibilita uma avaliação detalhada das percepções dos usuários e dos elementos que afetam a fluidez do tráfego na região. Para assegurar uma avaliação completa e imparcial, além da avaliação quantitativa, será realizada uma modelagem com o software VISSIM, juntamente com a implementação da teoria dos Semáforos Binários.

O VISSIM é um software amplamente usado para a simulação de tráfego, capaz de modelar cruzamentos, faixas exclusivas e diversas configurações semaforicas, oferecendo uma simulação visual e quantitativa do fluxo na área em análise. Entretanto, a abordagem dos Semáforos Binários consiste em ajustar os tempos dos semáforos de forma coordenada para melhorar o fluxo, diminuindo as paradas e melhorando a eficiência no trânsito. Essa combinação de abordagens proporcionará uma análise completa, integrando observações qualitativas, simulações e modelos matemáticos.

3.1 COLETAS DE DADOS.

A coleta de dados será realizada por meio de observações diretas em campo, complementadas por registros de tráfego coletados em pontos estratégico da Avenida Rio Branco. Os dados incluirão:

- Fluxo de veículos e pedestres;
- Tempos de espera e ciclos semaforicos;
- Ocorrências de congestionamento e suas causas;
- Movimentos permitidos e proibidos em cada cruzamento.

Esses dados serão inseridos no VISSIM para mostrar uma representação dos cruzamentos na Avenida Rio Branco. O software possibilita uma análise detalhada de cada interseção, incluindo rotas de veículos e tempos de ciclo semaforico. Dessa forma, será possível simular as condições reais dos cruzamentos e obter uma visão precisa das dinâmicas atuais de tráfego.

3.2 ANÁLISES DOS DADOS COM VISSIM E SEMÁFOROS BINÁRIOS.

Após de coletar os dados quantitativos serão analisados tanto no VISSIM quanto através da aplicação da teoria dos Semáforos Binários, com o objetivo de detectar padrões, dificuldades e possibilidades de melhoria no trânsito.

Esses resultados será utilizado para simular o fluxo de veículos e pedestres em diferentes horários e condições, ajudando a identificar pontos críticos de congestionamento e a definir as melhores configurações semaforicas. A sincronização dos semáforos será ajustada com o modelo de semáforos binários, buscando coordenar os tempos de sinalização para reduzir os tempos de espera e melhorar o fluxo de tráfego.

As métricas de desempenho, como a eficácia das mudanças implementadas, serão avaliadas por meio de indicadores quantitativos e gráficos. A análise comparativa entre os resultados do VISSIM e do modelo binário permitirá identificar a abordagem mais eficaz, culminando em recomendações para otimizar a circulação de veículos e pedestres na Avenida Rio Branco.

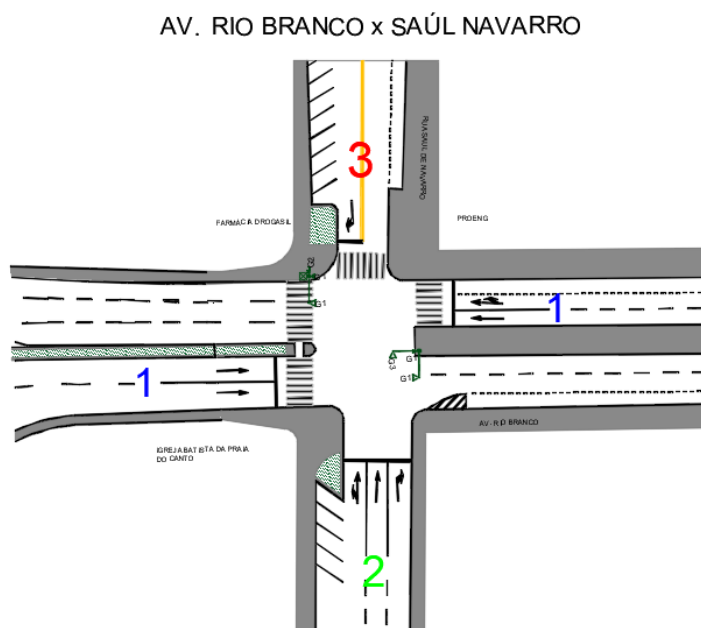
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Padrões de circulação de cruzamentos do tráfego.

O primeiro resultado da pesquisa diz respeito a uma análise detalhada da atual situação do trânsito na Avenida Rio Branco, com o objetivo de ilustrar como está a fluidez do tráfego no presente momento. Para isso, foram examinados fatores essenciais, como a sincronização dos semáforos e a eficácia dos períodos de sinalização. Esta investigação inicial trouxe a tona informações valiosas sobre o impacto do tráfego.

No trecho da Avenida Rio Branco em análise, existem cinco cruzamentos semaforizados, cada um com três movimentos distintos. A estrutura e os movimentos desses cruzamentos estão ilustrados nas imagens, que será apresentada a seguir, começando com a Avenida Rio Branco com a Rua Saul Navarro como mostra na figura 01.

Figura 01 - Cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Saul Navarro.

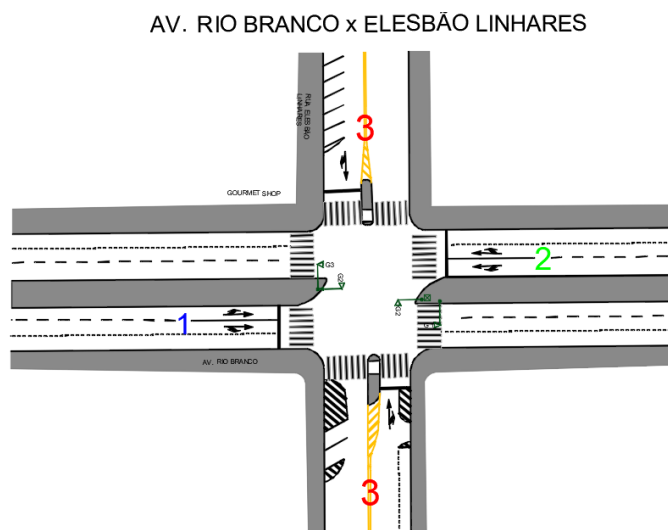


Fonte: Acervo pessoal (2024).

Pode-se notar que o cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Saul Navarro como mostra na figura 01, o movimento principal é priorizado inicialmente como indica o número 1 da imagem. Em seguida, todos os semáforos são fechados como, permitindo apenas o funcionamento do movimento da lateral direita como mostra o número 2 na imagem. Após esse período, o semáforo para o movimento à esquerda é acionado como mostra o número 3 da imagem.

Em seguida na figura 02 será mostrada o funcionamento do cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Elesbão Linhares.

Figura 02 - Cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Elesbão Linhares.

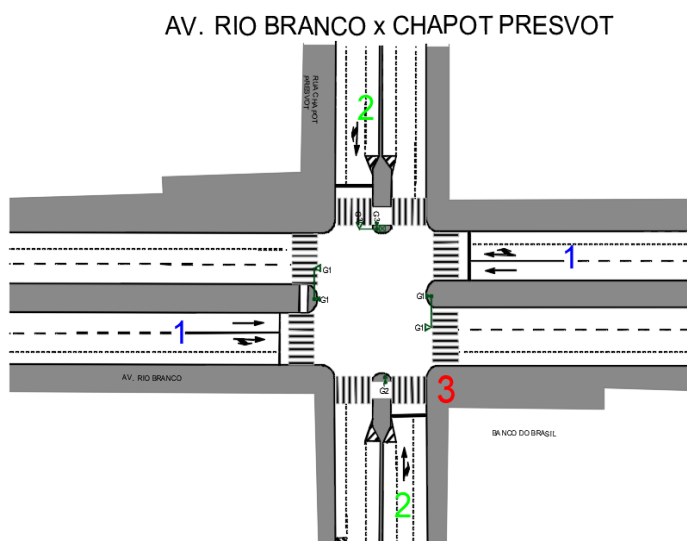


Fonte: Acervo pessoal (2024).

Como pode se ver, a operação dos semáforos é a seguinte: o semáforo da via principal de um lado (número 1 da imagem) permite todos os movimentos, tanto para a direita quanto para a esquerda, enquanto a via principal do lado oposto permanece parada. Posteriormente, a via principal do lado oposto (número 2 da imagem) pode realizar todos os movimentos. Por fim, ambos os semáforos principais são desativados, permitindo apenas o fluxo dos movimentos das ruas laterais (número 3 da imagem).

Nota-se que já não tem uma coordenação dos cruzamentos, em seguida veremos na figura 03 o funcionamento do cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Chapot Presvot.

Figura 03 - Cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Chapot Presvot.

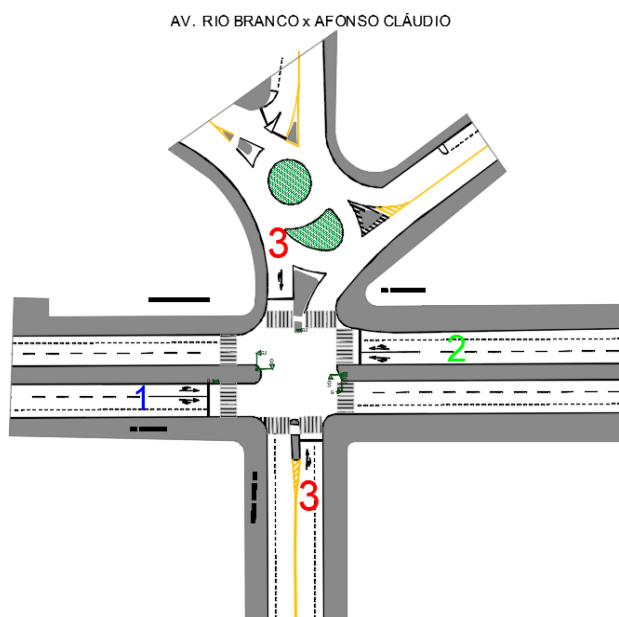


Fonte: Acervo pessoal (2024).

Nesse cruzamento, o semáforo opera da seguinte forma: inicialmente, os movimentos das vias principais são permitidos (número 1 da imagem). Em seguida, os semáforos das vias fecham e as laterais são abertos (número 2 da imagem). Por fim, todos os semáforos param, e é disponibilizado um tempo para a travessia de pedestres (número 3 da imagem).

Após será mostrada o funcionamento do cruzamento da Avenida Rio Branco com Avenida Afonso Cláudio como mostra a figura 04.

Figura 04 - Cruzamento da Avenida Rio Branco com a Avenida Afonso Cláudio.

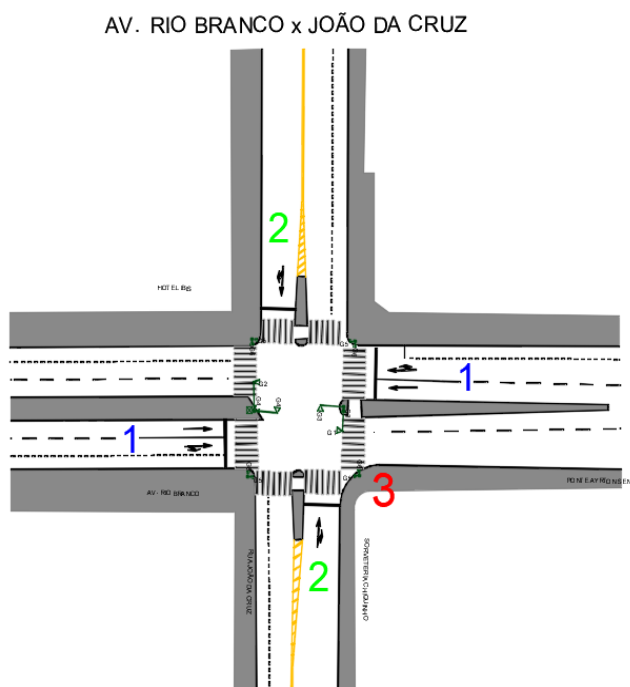


Fonte: Acervo pessoal (2024).

Este cruzamento segue um padrão semelhante ao do cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Elesbão Linhares. O semáforo da via principal de um lado permite todos os movimentos (número 1 da imagem), tanto para a direita quanto para a esquerda, enquanto a via principal do lado oposto permanece parada. Posteriormente, a via principal do lado oposto pode realizar todos os movimentos (número 2 da imagem). Por fim, ambos os semáforos principais são desativados, permitindo apenas o fluxo dos movimentos das ruas laterais, que compreendem três movimentos distintos (número 3 da imagem).

E por fim na figura 05 será mostrada o funcionamento do cruzamento da Avenida Rio Branco com Rua João da Cruz, que é o último cruzamento da avenida.

Figura 05 - Cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua João da Cruz.



Fonte: Acervo pessoal (2024).

No cruzamento da Avenida Rio Branco com Rua João da Cruz: O semáforo neste cruzamento segue um padrão semelhante ao do cruzamento da Avenida Rio Branco com a Rua Chapot Presvot, inicialmente os movimentos das vias principais são permitidos, cada uma em um sentido. Em seguida, os semáforos das vias fecham e as laterais são acionadas. Por fim, todos os semáforos param, e é disponibilizado um tempo para a travessia de pedestres no semáforo destinado a pedestres.

Observa-se que, nos cruzamentos do trecho da Avenida Rio Branco, os movimentos semaforicos são realizados de forma descoordenada, o que compromete a eficiência do fluxo de trânsito. Cada cruzamento apresenta um padrão específico de operação, com fases distintas para as vias principais e laterais, além da inclusão de tempos para a travessia de pedestres.

Desse modo, uma implementação eficaz da sincronização semaforica requer um estudo detalhado das condições do tráfego, visando a mobilidade urbana trazendo consequências significativas para o transporte, tornando a criação de um ambiente urbano mais seguro, eficaz e habitável.

4.1 CONTAGEM DE VEÍCULOS E PEDESTRES

E para avaliar o fluxo de veículos na avenida, foram realizadas contagens em diferentes horários ao longo do dia.

Dado que calcular o fluxo de tráfego em cada um dos cruzamentos de forma isolada é bastante complicado, adotou-se um método alternativo que envolveu a observação do fluxo de veículos em dois pontos estratégicos na Avenida Rio Branco.

Na primeira semana de coleta de dados, foram contados os veículos que passavam pelo início da avenida, ocorrendo nas terças, quartas e quintas-feiras. Essa estratégia permitiu a avaliação do volume de tráfego que entrava na via.

Na semana seguinte, também nos dias de terça, quarta e quinta-feira, foram registrados os veículos que saíam da avenida. Essa abordagem possibilitou um panorama mais abrangente do tráfego, oferecendo informações sobre a quantidade de veículos que se dirigiam para fora da avenida.

Foi escolhido esse método devido à complexidade de monitorar e calcular o fluxo em cada cruzamento de forma isolada. Ao examinar o fluxo total de entrada e saída da avenida, foi possível observar os horários de maior fluxo como foram mostrados na tabela 01.

Tabela 01 - Resultados da contagem de entrada e saída de veículos na avenida.

PERÍODO	NÚMERO DE VEÍCULOS (POR HORA)	TOTAL PARA O PERÍODO	TOTAL DIÁRIO (MÍNIMO)	TOTAL DIÁRIO (MÁXIMO)
Pico da Manhã (07:00 - 09:00)	400 a 600	2 horas	800	1200
Pico de Meio Dia (11:00 - 13:00)	300 a 500	2 horas	600	1000
Pico da Tarde (16:00 - 18:00)	400 a 600	2 horas	800	1200
Pico da Noite (20:00 - 22:00)	250 a 400	2 horas	500	800
Total Diário			2700	4200

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Como pode ser visto, foram mostrados a quantidade de veículos registrados em diferentes horários do dia, proporcionando uma visão geral do fluxo.

A Tabela 02 apresenta o cálculo da distância, da velocidade máxima permitida no trecho e a distância da avenida, que é de 1 km. Tudo isso para mostrar o tempo que leva para atravessar a avenida.

Tabela 02 – Resultado de tempo de travessia da avenida.

CÁLCULO DO TEMPO DE TRAVESSIA	VALOR
Velocidade permitida na Avenida	50 km/h
Distância	1 km
Tempo para atravessar 1km	1,2 minutos (72 segundos)

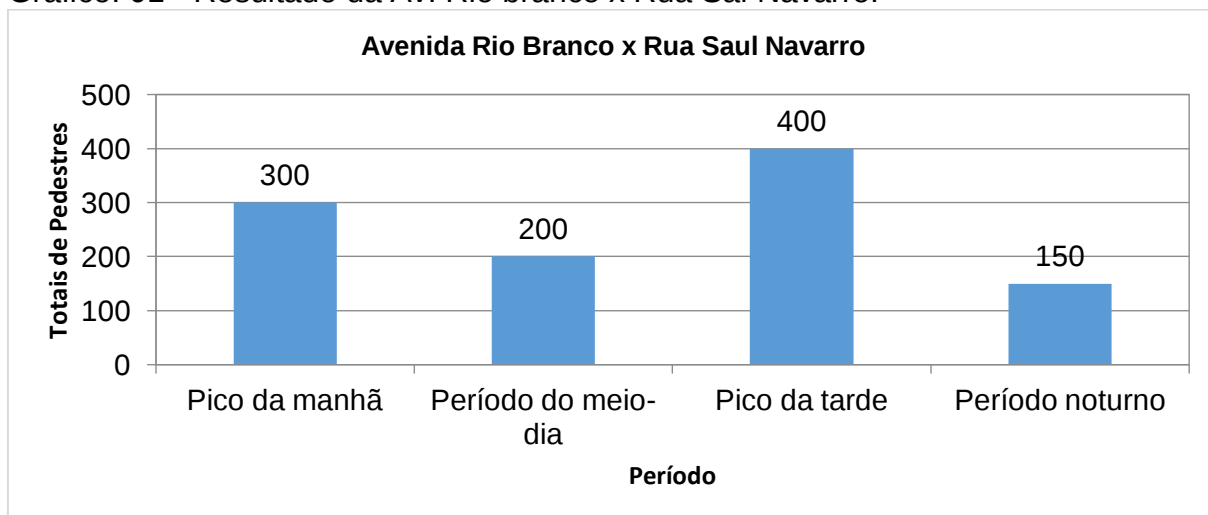
Fonte: Acervo pessoal (2024).

Além de examinar o tráfego de veículos, foi feita uma contagem de pedestres nos cinco cruzamentos em diferentes períodos do dia. Esse processo seguiu uma abordagem semelhante ao de veículos, contando os pedestres que atravessavam cada cruzamento por hora em diferentes períodos: pico da manhã, meio-dia, pico da

tarde e noite. Com isso levando em conta os fluxos durante os horários de maior e menor atividade. Desse modo, foram apresentados os dados coletados através de gráficos, que incluem o fluxo de pedestres de cada cruzamento, com a totalização a cada intervalo de duas horas.

4.1.1 cálculo das estimativas do cruzamento 01.

Gráfico: 01 - Resultado da Av. Rio branco x Rua Sal Navarro.

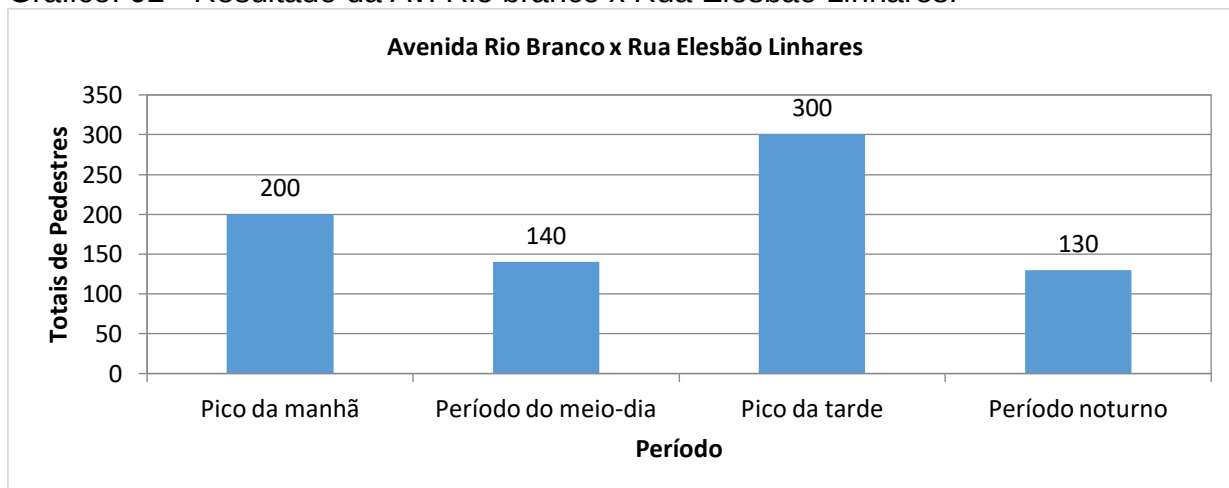


Fonte: Acervo pessoal (2024).

Com base no gráfico 01, observa-se que a circulação de pedestres na Saul Navarro se altera com o passar do dia, atingindo um pico maior no período da tarde.

4.1.2 cálculo das estimativas do cruzamento 02.

Gráfico: 02 - Resultado da Av. Rio branco x Rua Elesbão Linhares.

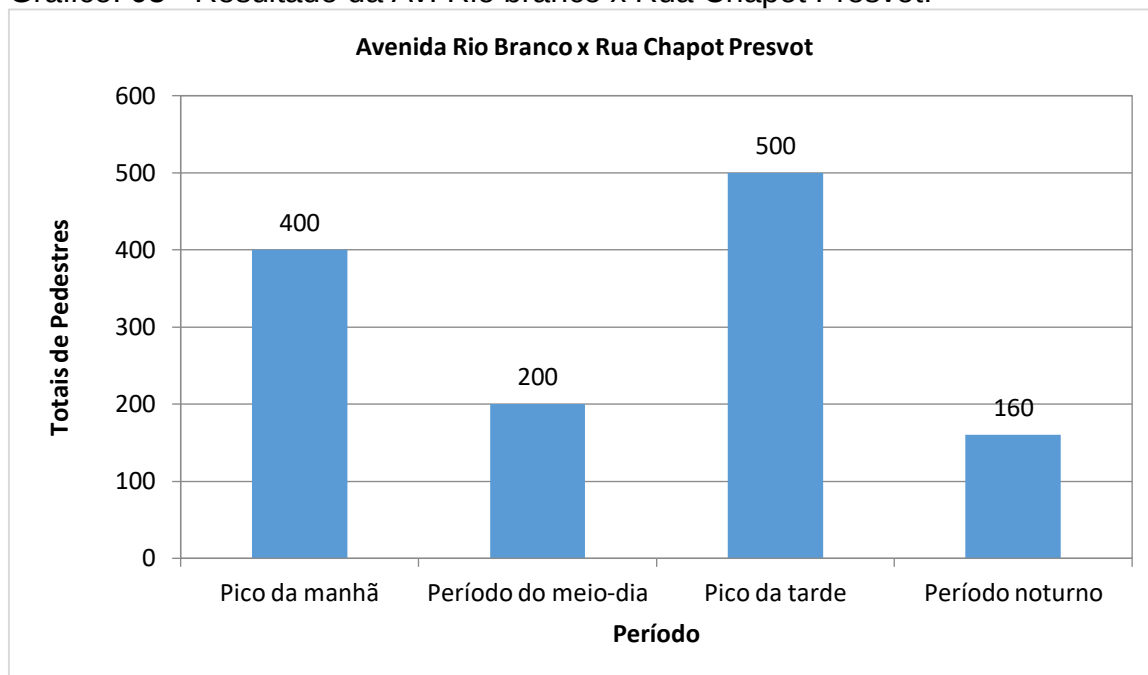


Fonte: Acervo pessoal (2024).

No gráfico 02, é possível perceber que o fluxo de pedestres no cruzamento de Elesbão Linhares também varia ao longo do dia, com um aumento significativo no período da tarde, similar ao observado no primeiro gráfico.

4.1.3 cálculo das estimativas do cruzamento 03.

Gráfico: 03 - Resultado da Av. Rio branco x Rua Chapot Presvot.

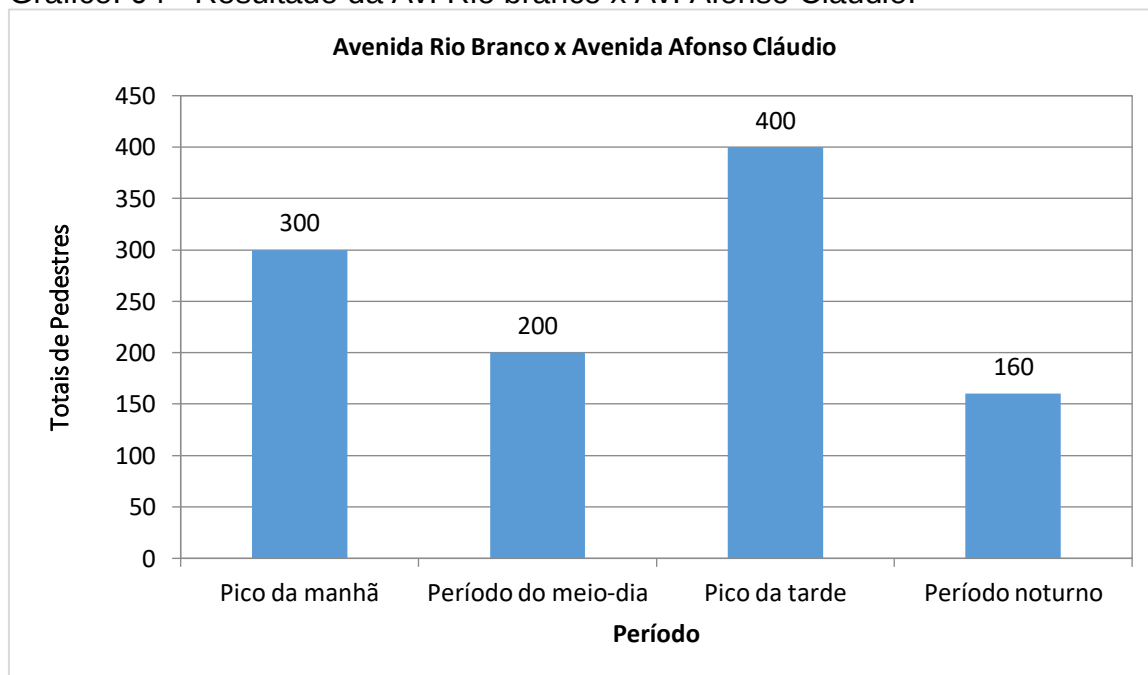


Fonte: Acervo pessoal (2024).

No gráfico 03, observa-se que a circulação de pedestres na Rua Chapot Presvot segue um padrão distinto, com picos de movimento mais acentuados no período da manhã e no final da tarde, refletindo variações no fluxo ao longo do dia.

4.1.4 cálculo das estimativas do cruzamento 04.

Gráfico: 04 - Resultado da Av. Rio branco x Av. Afonso Cláudio.

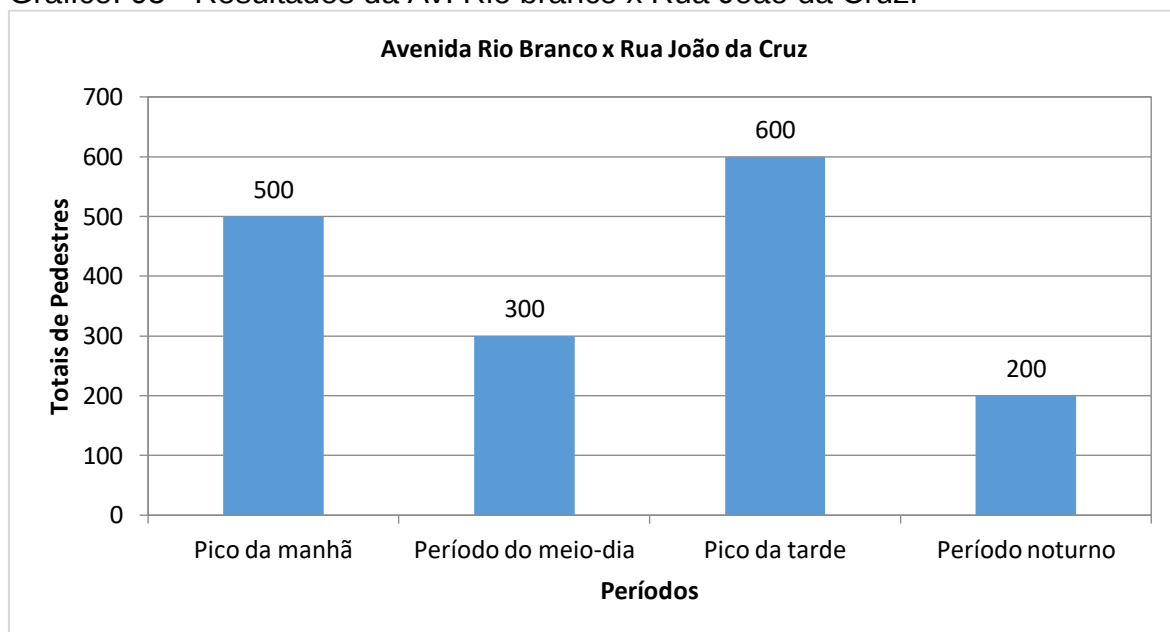


Fonte: Acervo pessoal (2024).

Já no gráfico 04, observa-se que a circulação de pedestres na Av. Afonso Cláudio também apresenta picos de movimento mais acentuados no período da manhã e no final da tarde, refletindo variações no fluxo ao longo do dia.

4.1.5 cálculo das estimativas do cruzamento 05.

Gráfico: 05 - Resultados da Av. Rio branco x Rua João da Cruz.



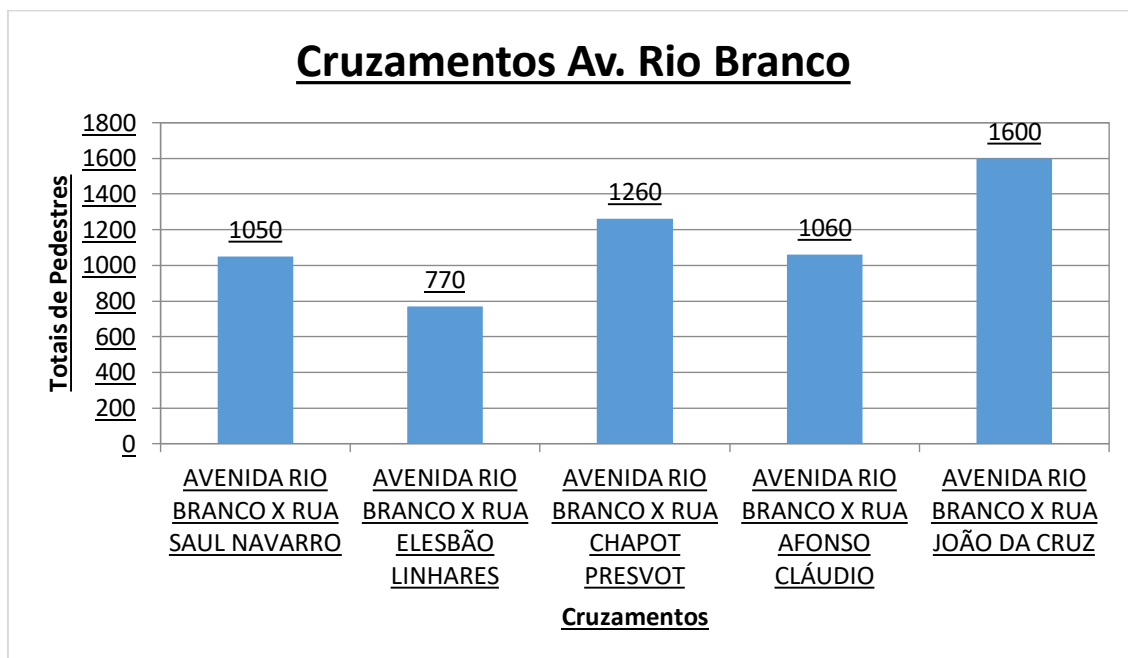
Fonte: Acervo pessoal (2024).

E no gráfico 05, observa-se que a circulação de pedestres no João da Cruz se altera com o passar do dia, atingindo também um pico maior no período da tarde.

4.1.6 resumo das estimativas dos cruzamentos.

Foi elaborado um texto com o total de pedestres registrados em cada cruzamento, conforme apresentado na Tabela 08. O total geral considera a soma do fluxo de pedestres de todos os cruzamentos analisados, oferecendo uma visão consolidada do movimento diário em cada ponto da área estudada.

Gráfico: 06 - Resultados gerais de pedestres na Av. Rio branco.



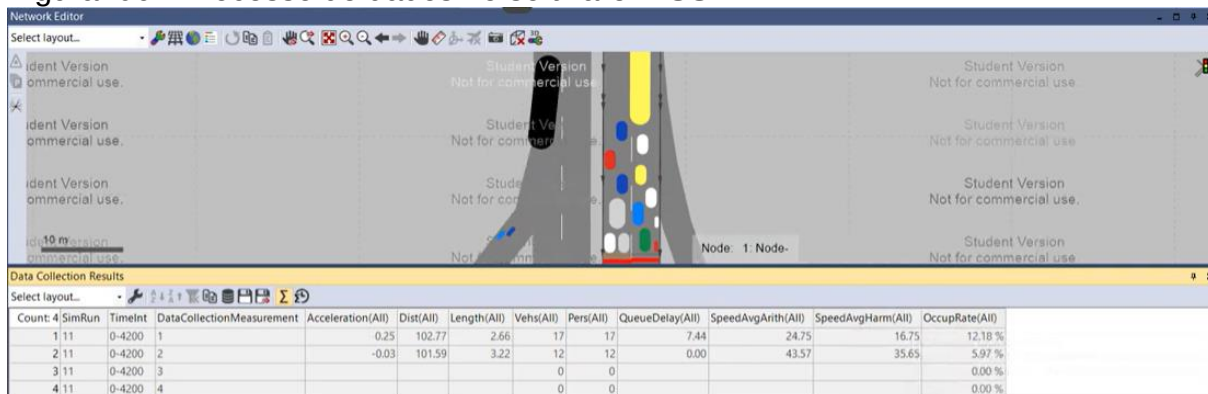
Fonte: Acervo pessoal (2024).

Nota-se que no resumo das estimativas de fluxo de pessoas de todos os cruzamentos destacado na Tabela 08, pode-se observar que o cruzamento da Av. Rio Branco com a Rua João da Cruz apresenta o maior número de fluxo de pedestres, sendo bem superior aos demais. Este estudo é fundamental para entender as variações no fluxo de pedestres ao longo de diferentes cruzamentos, permitindo identificar os pontos com maior movimentação e os horários de pico.

4.2 RESULTADO UTILIZANDO O SOFTWARE VISSIM.

Utilizou-se o software VISSIM para modelar o fluxo de tráfego e testar diferentes cenários de sincronização semafórica como mostrado na figura 06. Todos os cinco cruzamentos foram modelados com base nos dados coletados, incluindo variáveis como volume de tráfego, tipos de veículos, fluxo de pedestres e tempos de ciclo semafórico. Foram simulados quatro cenários: cenário atual - sem coordenação semafórica, tempos de ciclo entre 90 e 120 segundos, cenário 1 - redução dos tempos de ciclo para 60 a 90 segundos, cenário 2 - implementação de "ondas verdes" para permitir que veículos passem por múltiplos cruzamentos sem parar e cenário 3 - criação de fases dedicadas para pedestres nos cruzamentos críticos).

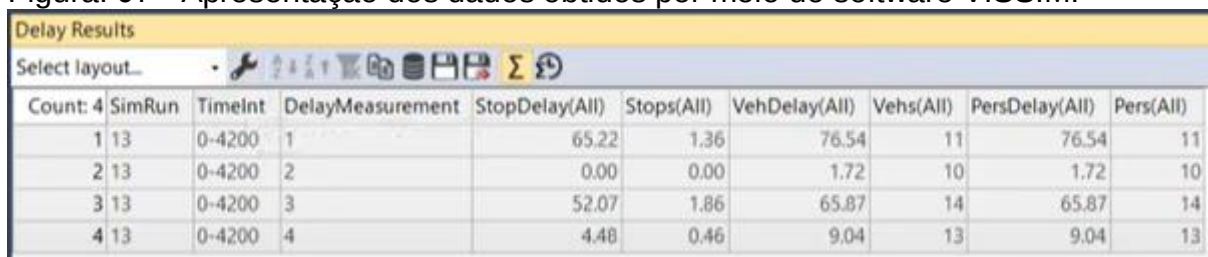
Figura: 06 - Processo de dados no software VISSIM



Fonte: Acervo pessoal (2024).

Os resultados da simulação indicam uma redução significativa no tempo médio de viagem, tempo de espera nos semáforos, número de paradas e emissões de poluentes. No cenário 2, por exemplo, o tempo médio de viagem foi reduzido para 10,5 minutos durante os horários de pico (redução de 25%) e para 8,8 minutos fora dos horários de pico (redução de 20%). O tempo de espera nos semáforos foi reduzido para 2,5 minutos por semáforo (redução de 30%) e o número médio de paradas ao longo do trecho foi reduzido para 5 paradas (redução de 35%). Estima-se que com a implementação de fases de sinalização dedicadas para pedestres, além da redução do número de incidentes com pedestres, redução das emissões de poluentes na ordem de 12%, contribuindo para um ambiente urbano mais saudável. Esses benefícios contribuirão para uma melhor qualidade de vida na região da Praia do Canto e em Vitória como um todo. Assim, os resultados da simulação e análise indicam que a sincronização semaforica proposta assim mostrado na figura 07, para os cruzamentos ao longo da resultará em melhorias significativas na mobilidade urbana e na segurança viária.

Figura: 07 - Apresentação dos dados obtidos por meio do software VISSIM.



Fonte: Acervo pessoal (2024).

A coordenação dos semáforos entre os cruzamentos permitirá uma redução dos tempos de viagem e de espera, além de diminuir o número de paradas e as emissões de poluentes. A implementação das fases de sinalização dedicadas para pedestres aumentará a segurança dos transeuntes, especialmente nas áreas de maior fluxo de pessoas.

Para os próximos passos, é essencial iniciar a implementação das soluções de sincronização semafórica e fases dedicadas para pedestres conforme planejado. Monitorar continuamente o desempenho dos semáforos e ajustar conforme necessário para manter a eficácia das soluções também será fundamental. Além disso, informar a comunidade local sobre as mudanças e os benefícios esperados, promovendo a conscientização e a colaboração, será crucial para garantir o sucesso a longo prazo das intervenções propostas.

INPUTS

Os cinco cruzamentos analisados são:

- Avenida Rio Branco com a Rua Saúl Navarro;
- Avenida Rio Branco com a Rua Elesbão Linhares;
- Avenida Rio Branco com a Rua Chapot Presvot;
- Avenida Rio Branco com a Rua Afonso Cláudio;
- Avenida Rio Branco com a Rua João da Cruz.

A contagem de veículos foi realizada em diferentes horários do dia, incluindo horários de pico (7h-9h e 17h-19h) e fora de pico (10h-12h e 14h-16h).

Nos horários de pico, os resultados indicam:

- Média de 1.200 a 1.500 veículos por hora em cada cruzamento.
- Fluxo intenso de pedestres, especialmente nas proximidades de áreas comerciais e residenciais.
- Presença significativa de transporte público e veículos de carga.

Fora dos horários de pico, os resultados indicam:

- Média de 800 a 1.000 veículos por hora.
- Menor fluxo de pedestres, mas ainda considerável devido à presença de serviços e comércios.

Os tempos de ciclo semafórico atuais foram observados e registrados:

- Variam entre 90 e 120 segundos.
- Sem coordenação clara entre os cruzamentos, resultando em "ondas vermelhas".
- Elevados para veículos e pedestres, com paradas frequentes e longas filas nos cruzamentos.

A observação dos padrões de tráfego revelou:

- Onda vermelha: veículos encontram semáforos fechados consecutivamente, aumentando o tempo de viagem e consumo de combustível.
- Faltam fases de sinalização dedicadas para pedestres em alguns cruzamentos, aumentando o risco de acidentes.

A configuração da simulação incluiu:

- Todos os cinco cruzamentos foram modelados com base nos dados coletados.
- Incluídas variáveis como volume de tráfego, tipos de veículos, fluxo de pedestres, e tempos de ciclo semaforico.

Foram simulados quatro cenários:

1. Cenário Atual: Sem coordenação semaforica, tempos de ciclo entre 90 e 120 segundos.
2. Cenário 1: Redução dos tempos de ciclo para 60 a 90 segundos.
3. Cenário 2: Implementação de "ondas verdes" para permitir que veículos passem por múltiplos cruzamentos sem parar.
4. Cenário 3: Criação de fases dedicadas para pedestres nos cruzamentos críticos.

Para as simulações, utilizou-se os seguintes indicadores de desempenho:

- Tempo Médio de Viagem: Tempo total necessário para percorrer o trecho entre a Rua Saúl Navarro e a Rua João da Cruz.
- Tempo de Espera nos Semáforos: Tempo médio de espera em cada semáforo.
- Número de Paradas: Número de vezes que os veículos precisam parar ao longo do trecho.
- Segurança dos Pedestres: Número de incidentes envolvendo pedestres.
- Emissões de Poluentes: Quantidade de poluentes emitidos pelos veículos devido à ociosidade.

4.2.1 resultados obtidos

Redução do Tempo Médio de Viagem

Cenário Atual:

- Tempo médio de viagem: 14 minutos durante os horários de pico.
- Tempo médio de viagem: 11 minutos fora dos horários de pico.

Cenário 1:

- Tempo médio de viagem reduzido para 12 minutos durante os horários de pico (redução de 14%).
- Tempo médio de viagem reduzido para 9,5 minutos fora dos horários de pico (redução de 14%).

Cenário 2:

- Tempo médio de viagem reduzido para 10,5 minutos durante os horários de pico (redução de 25%).
- Tempo médio de viagem reduzido para 8,8 minutos fora dos horários de pico (redução de 20%).

Cenário 3:

- Tempo médio de viagem reduzido para 11 minutos durante os horários de pico (redução de 21%).
- Tempo médio de viagem reduzido para 9 minutos fora dos horários de pico (redução de 18%).

Esses dados foram coletados através do software VISSIM, empregado na análise de tráfego, resultando em dados precisos e minuciosos. Essa ferramenta não apenas quantificou o fluxo de veículos e pedestres, mas também possibilitou a análise dos padrões de circulação em diferentes horários, oferecendo uma compreensão ampla e segura do comportamento do tráfego urbano. Com base nos resultados encontrados, a análise em geral ao longo da Avenida Rio Branco, indicou grandes melhorias na fluidez do tráfego e na segurança dos pedestres. A implementação de diferentes cenários, incluindo ondas verdes para carros e tempos aplicados para pedestres, resultou em uma redução considerável do tempo médio de viagem e tempo de espera nos semáforos. O resultado de tempo médio de viagem do software VISSIM registrou uma queda de 25% para o cenário ideal durante o horário de pico, junto com o aumento de 35% na redução de paradas.

4.3 RESULTADO UTILIZANDO O MODELO DOS SEMÁFOROS BINÁRIOS.

Para otimizar a sincronização semafórica na Avenida Rio Branco, foi utilizado o modelo de Semáforos Binários, no qual os estágios e movimentos dos semáforos são configurados de forma coordenada, visando reduzir os tempos de paradas e melhorar a fluidez do tráfego. Esse modelo prevê uma configuração onde cada semáforo ao longo da avenida tem apenas dois estágios: verde e vermelho, sem fases intermediárias, o que simplifica os ciclos e facilita o controle coordenado ao longo da via.

No contexto da Avenida Rio Branco, a aplicação dos Semáforos Binários exigiu uma adaptação na circulação dos veículos. Motoristas que precisavam realizar manobras de cruzamento pela avenida foram direcionados a fazer esses movimentos em quadras, utilizando giros em ruas paralelas ou perpendiculares, o que evita cruzamentos diretos. Esse modelo foi viável devido às características geográficas da

área e se mostrou essencial para manter o fluxo constante nas faixas principais da avenida, minimizando a interferência de veículos cruzando perpendicularmente o trânsito.

A configuração dos semáforos binários também buscou assegurar que os veículos pudessem avançar por diversos quarteirões em uma "onda verde", ou seja, sincronizando os tempos de verde e vermelho em cada cruzamento de maneira a permitir o trânsito contínuo ao longo de trechos mais longos da via. Assim, os motoristas que respeitam a velocidade da via conseguem passar por vários cruzamentos sem necessidade de paradas adicionais, diminuindo o tempo de deslocamento e o congestionamento.

Essa abordagem coordenada de sincronização, alinhada com a circulação em quadras, proporcionou um fluxo mais previsível e constante, aumentando a eficiência dos tempos semaforicos e reduzindo o tempo de parada dos veículos. Os resultados obtidos abaixo indicaram melhorias em métricas de desempenho, como a diminuição dos tempos médios de viagem e redução das filas nos cruzamentos críticos, contribuindo para uma gestão mais eficaz do tráfego na região.

4.3.1 cálculo dos tempos da sincronização ideal.

Importante destacar que para o modelo apresentado, a definição de estágios que são ciclos de operação semaforica, precisam ser definidos, e para o presente modelo foram definidos desse modo:

- 1 - Primeiro Estágio: Todas as vias principais abertas simultaneamente.
- 2 - Segundo Estágio: Apenas as ruas laterais abertas.
- 3 - Terceiro Estágio: Tempo dedicado à travessia de pedestres.

4.3.2 cálculo dos tempos.

Tempo para atravessar 1 km

Velocidade: 50 km/h

Distância: 1 km

Tempo para atravessar = $1 \text{ km} / 50 \text{ km/h} = 72 \text{ segundos}$

4.3.3 tempo dos estágios.

Considerando o tempo total dos semáforos para cada estágio.

Primeiro Estágio: Quando todas as vias principais estão abertas, o tempo de travessia de 72 segundos é suficiente para atravessar o trecho.

Segundo Estágio: Após o primeiro estágio, haverá um tempo em que apenas as ruas laterais estarão abertas com o tempo médio de cerca de 30 segundos.

Terceiro Estágio: Para a travessia de pedestres considera-se 30 segundos.

Os dados sobre o tempo de travessia em diferentes estágios são apresentados na Tabela 09, a qual descreve os tempos de forma detalhada em cada fase do processo.

Tabela 09 – Resultado do tempo de travessia

ESTÁGIO	DESCRIÇÃO	TEMPO (SEGUNDOS)
Primeiro Estágio	Vias principais abertas simultaneamente	72
Segundo Estágio	Apenas ruas laterais abertas	30
Terceiro Estágio	Travessia pedestre	30
Tempo Total		132 segundos (2 min e 12seg)

Fonte: Acervo pessoal (2024).

Contudo a sincronização ideal onde todos os semáforos das vias principais estão abertos simultaneamente no primeiro estágio, as ruas laterais no segundo estágio, e o tempo pedestre no terceiro estágio, o tempo total necessário para atravessar os cinco cruzamentos é aproximadamente 2 minutos e 12 segundos.

Essa abordagem reduz significativamente o tempo total comparado à situação em que os semáforos não estão sincronizados mostra em melhora de 79% da fluidez do tráfego comparado ao cenário atual, isso mostra a eficácia das simulações estratégicas para um determinado local.

Essa aplicação dos Semáforos Binários mostrou-se mais eficiente na otimização do tráfego, possibilitando uma coordenação mais eficaz entre os sinais de trânsito, diminuindo os períodos de espera ao longo do percurso. Esses resultados destacam a importância de incorporar soluções que levem em consideração o funcionamento do tráfego e a segurança dos pedestres. Assim, a sincronização semafórica proposta é uma estratégia mais inteligente e eficaz para a condução do tráfego na Avenida Rio Branco, acompanhado de outras sugestões propostas e podendo servir de exemplo para outras áreas da cidade.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo proporcionou uma análise detalhada do fluxo de tráfego e da segurança viária na Avenida Rio Branco em Vitória, com foco na sincronização dos semáforos e na melhoria das condições de travessia de pedestres. Através de contagens de veículos e pedestres, simulação de diferentes cenários de sincronização de semáforos e da aplicação de um modelo de semáforos binários foi possível identificar soluções que pudessem reduzir significativamente o tempo de viagem, diminuir o número de paradas e melhorar a segurança dos pedestres, especialmente nas áreas de maior fluxo. Os resultados mostram que a implementação das fases dedicadas para pedestres e das ondas verdes pode ter um impacto positivo, não só

na mobilidade urbana, mas também na redução de emissões de poluentes e na qualidade de vida da população local.

O estudo apresentou importantes contribuições para o planejamento urbano, mas também destacou a necessidade de mais estudos para avaliar a eficácia a longo prazo das soluções propostas. Estudos futuros poderão explorar a implementação real das mudanças sugeridas e monitorar o desempenho dos semáforos em tempo real, realizando ajustes dinâmicos com base nas condições do tráfego. Por outro lado, é fundamental expandir a pesquisa para outras áreas da cidade, realizando comparações com avenidas e ruas com características semelhantes, para identificar melhores práticas e contribuir para soluções que promovam a mobilidade sustentável e a segurança viária em várias regiões urbanas.

REFERÊNCIAS

- ARAUJO, J. M. Artigo. 208 - **Sinalização semafórica**. 2014. Disponível em: <<http://www.ctbdigital.com.br/artigo-comentarista/361>> acesso em: 12 abril 2024.
- BRASIL. **Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Diretoria de Planejamento e Pesquisa**. Coordenação Geral de Estudos e Pesquisas. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de Estudos de Tráfego. - Rio de Janeiro, 2006.
- CASTILHO, Fábio F. A. **Entre a locomotiva e o fiel da balança**, a transição da mão de obra no Sul de Minas. Dissertação de Mestrado, UFJF. 2009.
- CNT- **Código Nacional de Trânsito**. LEI Nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997.
- CONTRAN - **Conselho Nacional de Trânsito. Serviços de Engenharia - Manual de Semáforos**, Brasília - DF, Brasil, 1979.
- CONTRAN – **Conselho Nacional de Trânsito. Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito – Volume V**. 2014. Brasília, DF.
- DAER-RS. **Instruções de Serviço para Projetos Finais de Engenharia**. Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem. Porto Alegre, 2013.
- DENATRAN - **Departamento Nacional de Trânsito. Coleção Serviços de Engenharia - Manual de Semáforos**. Volume 4. Brasília. DENATRAN. 2ª Edição. 1984.
- DENATRAN. **Manual de procedimentos para o tratamento de pólos geradores de tráfego**. Ministério da Justiça, Brasília - DF, 2001.
- DETRAN-DF, **Pesquisa de Respeito à Faixa de Pedestre** - Distrito Federal, 2010 (Inf. Nº 2/2011) 25 abr. 2024.
- DNIT – ES. Pavimentação – **Base estabilizada granulometricamente** – Especificação de serviço. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2010.
- DNIT. **Manual de Estudo de Tráfego**, Rio de Janeiro. 2006.
- BRAGA, MGC & SANTOS, N., 1995. **Educação de trânsito: Alterando as regras do jogo**. Revista de Administração Municipal, 214:81-100.

- DNIT – DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.** Diretoria Executiva. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Manual de sinalização rodoviária. 3ª.ed. Rio de Janeiro, 2017.
- FRANZ, C. M.; SEBERINO, J. R. V. **A história do trânsito e sua evolução.** 2012. Monografia (Pós-graduação em Gestão, Educação e Trânsito), Joinville, 2012.
- GARCIA, H. C. e GARAVELLO, T. M. **Geografia do Brasil, Dinâmica e Contrastes.** Editora Scipione, 6ª edição, São Paulo, 1995.
- JONER, S. e VOLPI, N. M. P. **Sincronização de semáforos: Modelo matemático para uma aplicação ao tráfego de Curitiba.** Holos, Rio Grande do Norte, abr. 2013.
- MARÍN, Letícia; QUEIROZ, Marcos S. **A atualidade dos acidentes de trânsito na era da velocidade,** uma visão geral. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v 16, n 1, jan. 2000.
- MENG, F.; WONG, S. C.; WONG, W; Li, Y. C. **Estimation of scaling factors for traffic counts based on stationary and mobile sources.** Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 2016.
- OMS (Organização Mundial da Saúde), 1984. **Acidentes de Tráfego nos Países no Desenvolvimento Série de Informações Técnicas 703.** Ginebra: OMS.
- SAVRASOVS, M. e PTICINA, I. **Methodology of OD matrix estimation based on video recordings and traffic counts.** Procedia Engineering, 2017.
- SUH, W.; Anderson, J.; Guin, A. e Hunter, M. **Evaluation of traffic data collection method.** Applied Mechanics and Materials. 2015.
- VASCONCELOS, Eduardo. A.-**1982 Pesquisas e levantamentos de tráfegos.** São Paulo, Companhia de Engenharia de Tráfego, 184p.
- DNIT/IPR. **Manual de Estudos de Tráfego.** Rio de Janeiro, 2006.
- PORTUGAL, L. da S. **Simulação de Tráfego: Conceitos e Técnicas de Modelagem.** Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2005.
- TREIBER, M.; KESTING, A. **Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation.** [S.I.]: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2013.