ISSN 2527-2675 https://10.25061/2527-2675/ReBraM/2025.v28i2.2197

REBRAM
REVISTA BRASILEIRA MULTIDISCIPLINAR

Microssimulação aplicada à determinação da capacidade e do Nível de Serviço de vias: um estudo de caso para o Viaduto da "Curva do S" em Praia Grande-SP (Brasil)

Lucas Rodrigues de Amorim Medina*; Fernando Hideki Hirosue*; Marcelo Monari* ; Thais de Cassia Martinelli Guerreiro*.

*Universidade Federal de São Carlos- UFSCAR, Brasil.

*Autor para correspondência e-mail: sorriso@ufscar.br

Palavras-chave
Nível de Serviço
Capacidade
Engenharia de Tráfego
Microssimulação
VISSIM.
Mobilidade

Resumo: A atual expansão urbana e o incremento contínuo no número de veículos em circulação ressaltam o papel da engenharia de tráfego na busca por soluções sustentáveis para a mobilidade urbana. Entretanto, esse campo do conhecimento dedicado ao estudo e gerenciamento do fluxo veicular enfrenta desafios crescentes, decorrentes da complexidade do tráfego. A microssimulação, ferramenta computacional avançada, oferece a oportunidade de analisar detalhadamente o comportamento do tráfego e avaliar a eficácia de projetos de infraestrutura e políticas de mobilidade. Nesse contexto, o objetivo do presente artigo é analisar a capacidade e o Nível de Serviço (NS) do Viaduto da "Curva do S" (Praia Grande-SP, Brasil) e de seu entorno, considerando modificações operacionais relativas às características viárias e ao fluxo de veículos em distintos períodos de análise. As microssimulações de tráfego foram realizadas utilizando-se o software VISSIM, examinando-se quatro modelos para duas épocas distintas: a atual (2023) e aquela ao fim de um horizonte de projeto de 20 anos (2043). No primeiro modelo, analisou-se a operação anterior do viaduto; nos segundo e terceiro modelos, avaliou-se a operação atual, diferindo apenas a prioridade de acesso à Rodovia SP-055; e no quarto modelo, considerou-se a duplicação prevista para o viaduto. Os resultados indicam que apenas o quarto modelo resultaria em condições operacionais satisfatórias para o tráfego atual (2023). Quanto ao tráfego projetado (2043), todos os modelos sugerem algum nível de congestionamento, embora esses resultados menos satisfatórios possam estar associados à sobrecarga do sistema no processamento das informações. Trabalhos futuros são encorajados a calibrar os parâmetros do software, investigando mais a fundo as tendências da região.

Keywords
Level of Service
Road Capacity
Traffic Engineering
Microsimulation
VISSIM
Mobility

Microsimulation applied to determine road capacity and Level of Service: a case study for the "S Curve" Viaduct in Praia Grande-SP (Brazil)

Abstract: The current urban expansion and the continuous increase in vehicles on the road system make traffic engineering crucial in modeling sustainable solutions for urban mobility. However, this field of knowledge dedicated to the study and management of vehicular flow faces increasing challenges arising from the complexity of road traffic. Traffic microsimulation, an advanced computational tool, offers the opportunity to evaluate traffic behavior in detail and the effectiveness of infrastructure projects and mobility policies. In this context, the objective of this paper is to assess the road capacity and the Level of Service (LOS) of the "S Curve" Viaduct (Praia Grande-SP, Brazil) and its surroundings, considering operational changes related to road characteristics and the vehicle flow in different periods of analysis. Traffic microsimulations were carried out using the VISSIM software, in which four models were applied for two distinct periods, the current one (2023) and the end of a 20-year time horizon (2043). In the first model, the previous operation of the viaduct was evaluated; the second and third models addressed the current operation, differing only in the access priority to the SP-055 Highway; and in the fourth model, the duplication already planned for the viaduct was considered. The results indicate that only the fourth model would result in satisfactory operational conditions for current traffic (2023). As for predicted traffic (2043), all models suggest some level of congestion, although these less satisfactory results may be associated with system overload in information processing. Future work is encouraged to calibrate the software parameters, and further investigate trends in the region.

Recebido em: 04/2024
Aprovação final em: 06/2024

Introdução

O setor dos transportes é um dos mais importantes da sociedade moderna, pois viabiliza as atividades cotidianas e garante o acesso à educação, à saúde, ao trabalho e à habitação. A infraestrutura de transporte deve ser projetada para suprir a demanda existente e acomodar o tráfego futuro de veículos e pedestres de forma segura e eficiente. Além disso, especial atenção deve ser dada às interseções, onde a redução da velocidade e o entrelaçamento dos veículos para execução dos movimentos as configuram como pontos críticos do sistema de trânsito no que diz respeito às restrições de capacidade e ocorrência de sinistros de trânsito (NERIS, 2014).

A capacidade de um componente viário pode ser entendida como a máxima taxa de fluxo de veículos que ele pode suportar dentro de um conjunto bem estabelecido de condições geométricas e operacionais (TRB, 2010). Já o Nível de Serviço (NS) é interpretado como uma medida da qualidade operacional na corrente de tráfego, que pode ser associada a variáveis como velocidade e tempo de viagem, liberdade de manobras, interrupções no fluxo etc. (SETTI, 2011). Normalmente, os manuais de maior relevância para a análise da capacidade das vias, como o *Highway Capacity Manual* (HCM) (TRB, 2010) e o seu equivalente alemão (HBS) (FGSV, 2012), estabelecem 6 diferentes NS (sendo A o melhor e F o pior), além de fornecerem métodos analíticos para estimar o NS em função da relação entre a demanda (volume de tráfego) e a oferta (capacidade).

Em situações em que os métodos analíticos anteriormente mencionados não podem ser aplicados, como quando as características do próprio componente viário ou relacionadas à população de motoristas não são endereçadas pelos procedimentos descritos nos manuais, simulações devem ser utilizadas (FGSV, 2012; GEISTEFELDT *et al.*, 2014). Por essa razão, o planejamento e a tomada de ações visando o desenvolvimento e soluções dos problemas apresentados pelo crescimento da demanda por transporte têm, cada vez mais, se beneficiado da utilização dos *software* de microssimulação, embora correspondências numéricas exatas não devam ser esperadas devido às diferenças entre as metodologias: os métodos analíticos são baseados em equações determinísticas, enquanto as microssimulações, como as no *software* VISSIM, são de natureza estocástica (TRB, 2010; JOLOVIC *et al.*, 2016).

O VISSIM é um *software* alemão de microssimulação de tráfego que possui submodelos comportamentais (PTV, 2018), como *car-following* (comportamento dos veículos ao seguirem outros em uma via), *lane-changing* (mudanças de faixa em uma via) e aqueles relacionados à aceitação de brechas e desempenho veicular (SILVA *et al.*, 2023). Assim, apesar de existirem diversos *software* comerciais de microssimulação, o VISSIM permite a modelagem das condições reais de tráfego com alto nível de precisão (JOLOVIC *et al.*, 2016), tornando-se especialmente útil na avaliação de projetos em ambientes complexos, onde o tráfego é altamente intermitente e as mudanças de velocidade e de direção dos veículos são constantes.

As microssimulações de tráfego com o uso do VISSIM têm se popularizado no Brasil, em especial na última década. Araújo e Castro Neto (2018), por exemplo, utilizaram o *software* para propor um método de modelagem do processo de aceitação de brechas e aplicá-lo em uma interseção urbana de Fortaleza-CE. Silva *et al.* (2021), por sua vez, beneficiaram-se de microssimulações para avaliar o efeito de faixas adicionais de subida em segmentos de rodovias de pista simples. Já Favero e Setti (2021) utilizaram o VISSIM para a obtenção de dados sintéticos a serem utilizados para avaliar os impactos de veículos autônomos na capacidade de uma autoestrada brasileira.

No contexto supracitado, o objetivo do presente artigo é analisar, através de microssimulações de tráfego, a capacidade e o NS da seção homogênea do dispositivo popularmente conhecido como Viaduto da "Curva do S" (Praia Grande-SP, Brasil). A justificativa para isso reside na frequente saturação do tráfego observada para o viaduto, que é decorrente do aumento contínuo da frota de veículos que por ele trafega. Assim, sugere-se que quatro cenários sejam simulados no *software* VISSIM, considerando-se tanto a demanda atual (2023) quanto aquela projetada para um horizonte de 20 anos (2043): i) operação anterior do viaduto; ii) e iii) operação atual, com diferentes prioridades de acesso à Rodovia SP-055; e iv) duplicação do viaduto.

Materiais e Método

Nesta seção, são apresentados os materiais e o método da pesquisa, contemplando uma descrição do objeto de estudo e o detalhamento dos estudos de tráfego, do tratamento dos resultados desses estudos e das microssimulações no *software* VISSIM.

Viaduto da "Curva do S"

O objeto de estudo da pesquisa é o viaduto popularmente conhecido como "Curva do S", localizado no km 291 da Rodovia Padre Manuel de Nóbrega (SP-055), no município de Praia Grande-SP. Esse dispositivo é responsável pela conexão da Via Expressa Sul à SP-055, sendo parte do Sistema Anchieta-Imigrantes (SAI), principal ligação entre a região metropolitana de São Paulo e o Porto de Santos. Na Figura 1, é apresentada a localização do viaduto e sua infraestrutura local.

Figura 1 - Mapa de localização da "Curva do S".

Fonte: Google Earth (2023).

O problema evidenciado é a formação frequente de congestionamentos, especialmente nos horários de pico. Os usuários que transitam na pista oeste (vindos da Via Expressa Sul) enfrentam congestionamentos frequentes no ponto de entrada do viaduto. Essa situação de tráfego intenso resulta da existência de um acesso tipo "agulha" da Avenida Ministro Marcos Freire, localizado muito próximo a um trecho onde a Via Expressa Sul se reduz de duas faixas de tráfego para uma única, culminando no aumento significativo do volume de veículos em uma seção com capacidade limitada e, consequentemente, prejudicando a fluidez do tráfego no acesso ao viaduto (levando à formação de filas e atrasos). Na Figura 2, apresenta-se a aproximação ao viaduto pela Via Expressa Sul, com o acesso do tipo "agulha" vindo da avenida.

Figura 2 - Localização do acesso da Av. Min. Marcos Meire à Via Expressa Sul.

Fonte: Google Earth (2023).

Outro fato importante é que a SP-055 atua como uma barreira física entre três setores da cidade. A rodovia é duplicada e possui segregação física, o que estimula o deslocamento entre a região periférica e o centro da cidade através do viaduto. Isso resulta na concentração de um grande fluxo

urbano no dispositivo, especialmente nas horas de pico, relacionado às viagens pendulares por motivo de trabalho.

A configuração original de operação do viaduto consistia em uma faixa de tráfego por sentido, com acostamento em ambos os lados (Figura 3). Diante da persistência dos problemas supracitados e da pressão contínua da população e dos representantes políticos do município, medidas mitigatórias foram adotadas. Essas medidas incluíram a alteração da sinalização existente e o aumento do número de faixas em um sentido, com o objetivo de reduzir as retenções frequentes no trecho.

Figura 3 - Configuração original da operação do Viaduto da "Curva do S".

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Testes que objetivavam aliviar os congestionamentos foram realizados com sinalização provisória, utilizando-se o acostamento como uma segunda faixa de tráfego no sentido Peruíbe-SP (Figura 4a). Os resultados desses testes mostraram-se promissores e, finalmente, em outubro de 2022, ocorreu a alteração definitiva da sinalização horizontal, adotando-se o modo de operação atual, com uma faixa de tráfego no sentido Praia Grande-SP e duas faixas de tráfego no sentido Peruíbe-SP, sem a presença de acostamentos (Figura 4).

Figura 4 - Operação do Viaduto da "Curva do S".

a) Operação com sinalização provisória (faixa adicional sentido Peruíbe).

b) Configuração atual do viaduto da "Curva do S"

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Estudos e projeções do tráfego

A seguir, são apresentados os procedimentos metodológicos para o estudo e a projeção do tráfego, com base no Manual de Estudos de Tráfego do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2006), seguindo instruções normativas dos editais e órgãos responsáveis pela aprovação dos projetos da ARTESP (Agência de Transporte do Estado de São Paulo). Destaca-se que apesar do manual possuir caráter oficial no Brasil, o próprio DNIT entende que há a necessidade de pesquisas para calibração e validação de sua aplicação às rodovias nacionais (DNIT, 2006; OLIVEIRA, 2021). Entretanto, tímidos esforços têm sido direcionados nesse sentido (PAULA, 2006; MON-MA, 2008; OLIVEIRA, 2021), encorajando o embasamento teórico da pesquisa quase que exclusivamente no manual em questão (DNIT, 2006).

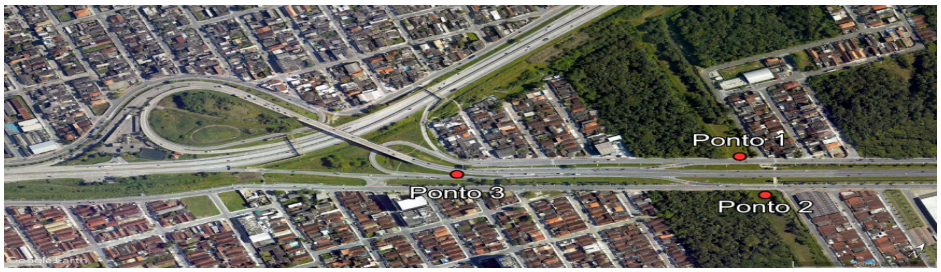
Contagens de tráfego

Com o intuito de analisar o fluxo de tráfego em momentos críticos do dia, contagens veiculares

foram conduzidas ao longo de três dias específicos para se estimar os horários de pico: 18 de março (sábado), 20 de março (segunda-feira) e 21 de março (terça-feira) de 2023. As contagens levaram em consideração a disponibilidade de gravações realizadas à época da pesquisa.

A abordagem temporal abrangente possibilitou uma profunda compreensão dos padrões de movimentação de veículos tanto de um dia útil convencional quanto do potencial impacto de atividades específicas do sábado, considerando o interesse turístico da região. Os pontos estratégicos dessas contagens foram criteriosamente escolhidos, conforme ilustrado na Figura 5, enfatizando os movimentos cruciais para a modelagem do objeto de estudo através da microssimulação.

Figura 5 - Localização dos pontos das contagens veiculares.



Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Nos pontos estratégicos, foram instaladas câmeras de vídeo com o propósito de registrar, de forma contínua e ininterrupta, os deslocamentos dos veículos ao longo das 24 horas do dia. Esse procedimento possibilita, além da contagem volumétrica, a identificação da composição de cada movimento na infraestrutura viária existente (DNIT, 2006).

Como o presente artigo não tem como objetivo calcular o "número N" (número de solicitações equivalentes de um eixo simples de rodagem dupla com carregamento de 8,2 tf, denominado "eixo padrão"), as contagens foram direcionadas apenas à segregação dos seguintes tipos de veículos, para posterior conversão em unidades de carro de passeio (ucp): motocicletas, automóveis, ônibus e veículos comerciais (nesse último caso, sendo incluídos reboques e semirreboques).

As imagens foram processadas por um algoritmo de Inteligência Artificial (IA) fundamentado na linguagem de programação Python. Essa análise gerou tabelas para cada movimento, com as contagens agregadas em intervalos de 15 minutos.

Tratamento de dados

Os fatores de equivalência adotados para conversão dos distintos tipos de veículos em ucp foram aqueles sugeridos pelo DNIT (2006): 1,0, para motocicletas e automóveis; 1,5, para ônibus; e 2,0, para veículos comerciais. A seguir, é detalhado o procedimento utilizado para expansão do tráfego padronizado.

Expansão horária

Normalmente, em interseções onde a contagem é realizada em intervalos inferiores a 24 horas, é necessário expandir os resultados para o fluxo diário. Como as contagens no Viaduto da "Curva do S" abrangeram as 24 horas do dia, ao longo de três dias, o fator de correção para expansão horária foi de 1,00.

Expansão semanal

Segundo o DNIT (2006), os estudos de tráfego indicam que, independentemente da época do ano, as variações no tráfego por dia da semana podem ser consideradas constantes. Isso sugere que, para determinar um fator de expansão semanal, o ideal seria coletar dados de contagem ao longo de sete dias consecutivos. Esse método possibilita a obtenção da porcentagem relativa que cada dia da semana representa do fluxo semanal, permitindo, assim, a determinação dos fatores

médios diários de expansão.

Como os levantamentos não foram realizados ao longo dos sete dias consecutivos de uma semana e visto que existe um ponto de contagem na SP-055 operado pelo Departamento de Estradas de Rodagem (DER), com boletim detalhado diariamente ao longo do ano de 2023 para cada sentido rodovia, estudou-se a proporção do tráfego por dia na região, objetivando-se obter o fator de correção semanal para a expansão dos valores diários.

O cálculo do fator de expansão é dado pela Equação 1.

$$f_a = (\%_{Acumulada})^{-1} \times 100 \quad (1)$$

Em que:

•fator de expansão; e

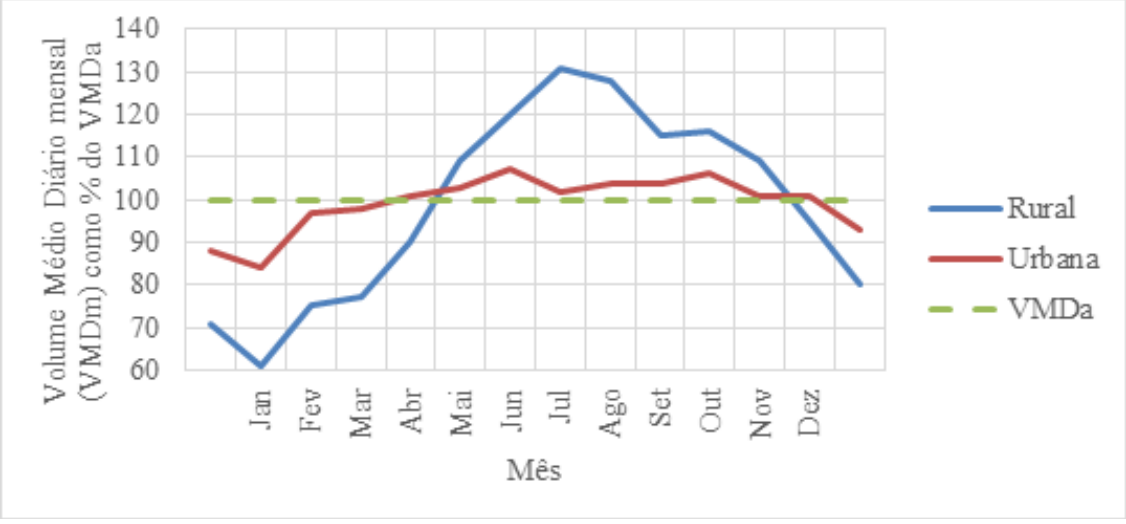
• % acumulada: somatório das porcentagens parciais de cada dia.

Expansão mensal

A oscilação no tráfego ao longo do ano, também conhecida como variação sazonal, está intrinsecamente ligada à natureza e às finalidades específicas de cada via. As estradas rurais, especialmente aquelas que servem a zonas turísticas e recreativas, manifestam uma flutuação significativamente maior em comparação com as vias urbanas. Durante os períodos de férias escolares, que coincidem com momentos propícios para atividades de lazer e descanso, observam-se volumes consideravelmente ampliados.

Em contrapartida, as vias urbanas, voltadas para o deslocamento diário ao trabalho, exibem um fluxo mais constante. A Figura 6, adaptada do DNIT (2006), ilustra a variação no tráfego de rodovias urbanas e rurais nos Estados Unidos, onde o verão ocorre na metade do ano.

Figura 6 - Variação mensal do tráfego em rodovias rurais e urbanas.



Fonte: Adaptado de DNIT (2006).

Dado que no Brasil não se observa tal condição apresentada, adotou-se um procedimento análogo à análise de expansão semanal. O fator de expansão mensal foi determinado com base nos dados detalhados do DER (2023).

Expansão sazonal

Conforme estabelecido pelo DNIT (2006), para se obter o Volume Médio Diário Anual (VMDa),

deve-se proceder com a análise de pesquisas já conduzidas, utilizando dados de uma mesma zona de tráfego, visto que esses dados podem estar relacionados às variações na atividade econômica da região. Assim, dado que o posto de contagem do DER está localizado próximo ao objeto de estudo, utilizou-se a média das contagens dos dois sentidos para ajustar todos os movimentos do viaduto, indiferenciados quanto ao sentido leste (Praia Grande-SP) ou oeste (Peruíbe-SP).

Projeção do tráfego

Conforme estabelecido pelo DNIT (2006), os projetos de infraestrutura devem ser concebidos de maneira a acomodar o tráfego ao longo de sua vida útil, assegurando aos usuários um NS aceitável. Nesse contexto, é essencial realizar a projeção do tráfego para estimar o volume durante esse período específico. Essa projeção tem dois objetivos fundamentais: fornecer dados para o dimensionamento do projeto e avaliar a viabilidade econômica do investimento.

É necessário estabelecer um período de análise, que deve ser definido com base nos objetivos específicos do estudo. Neste artigo, o objetivo é obter dados para o dimensionamento do projeto, sendo desejável considerar toda a vida útil. No entanto, essa abordagem pode não ser viável devido à diversidade de disciplinas envolvidas nos projetos de infraestrutura, cada uma com componentes de diferentes vidas úteis, como obras de arte e pavimentos.

Diante dessas considerações, utilizou-se como referência a vida útil do componente que geralmente apresenta a menor durabilidade, o pavimento, com uma média de 15 anos. Considerando que esse período se inicia com a abertura ao tráfego e o tempo demandado pelo estudo de viabilidade, elaboração de projetos e entrega da obra, adotou-se um horizonte de análise de 20 anos. A projeção, de caráter exponencial, foi estimada considerando-se uma taxa anual de 3% de crescimento econômico do país (DNIT, 2006).

Determinação do VHP (Fator K)

O Volume Horário de Projeto (VHP) serve como base para os parâmetros de dimensionamento em projetos de infraestrutura viária. Ele é geralmente definido com base nas "curvas da enésima hora". Através dessas curvas, determina-se o fator K para a hora escolhida do projeto, que, no Brasil, comumente corresponde à 50ª hora mais demandada do ano (DNIT, 2006). Assim, ajusta-se o VMDa para um valor correspondente de VHP para cada ramo da interseção ou movimento estudado.

Neste artigo, foram analisadas medidas mitigatórias e alternativas de ampliação para atender à instrução de projeto IP-00.000.000-0-A23/001 de 2004 da ARTESP, que estabelece que o NS em interseções não deve ultrapassar o nível D por mais de 50 horas anuais. Assim, adotou-se o fator K da 50ª hora do ano. No entanto, como os dados disponíveis da SP-055 apenas remetem a volumes diários, não foi possível elaborar uma curva específica para a rodovia ligada ao objeto de estudo. Portanto, utilizou-se como referência o fator K de 9,1% para vias em áreas urbanas (DNIT, 2006). Apesar de o viaduto ser um dispositivo da rodovia, ele atende a um fluxo altamente urbano devido à segregação dos setores do município.

Análise do Nível de Serviço (NS)

Para a condução dos estudos, foram obedecidas as normas e diretrizes vigentes da ARTESP, do DER-SP e do DNIT. Assim, nos pontos críticos de aproximação do objeto de estudo, foram conduzidas análises baseadas nas áreas de interesse modeladas no *software* VISSIM, visando a extração desses parâmetros.

A classificação do NS de A a F baseia-se na densidade do tráfego. Esse nível é determinado pelo valor médio de atraso observado e o intervalo de valores de atraso (podendo ser mensurados em segundos ou minutos), que definem como cada nível de serviço varia conforme o tipo de interseção estudada em cada nó (semaforizada ou não), conforme a Tabela 1. O NS reportado pelo VISSIM alinha-se às diretrizes do HCM 2010 (TRB, 2010).

Os dados também se alinham às diretrizes de projetos da ARTESP, em que são utilizados o manual do DNIT (2006) e as 5ª e 6ª edições do manual do HCM (TRB, 2000, 2010). Entretanto, tal

fato pode gerar limitações metodológicas, pois há uma defasagem dessas publicações com relação à sétima e mais recente edição do HCM, publicada em 2022 (TRB, 2022).

Tabela 1 - Valores de referência para o intervalo de cada Nível de Serviço.

Nível de Serviço (NS)	Atraso (s) (Interseção semaforizada)	Atraso (s) (Interseção não-semaforizada)
A	< 10	< 10
B	> 10 a 20	> 10 a 15
C	> 20 a 35	> 15 a 25
D	> 35 a 55	> 25 a 35
E	> 55 a 80	> 35 a 50
F	> 80	> 50

Fonte: Adaptado de PTV (2023).

Microssimulações no software VISSIM

A seguir, são descritos com maiores detalhes os quatro modelos (cenários) simulados no VISSIM.

Primeiro modelo

No primeiro modelo, recriou-se a operação do viaduto quando esse funcionava com apenas uma faixa por sentido e com a existência de acostamentos. Foi incluída, também, a conexão com a SP-055 no sentido oeste, sem uma faixa dedicada à aceleração, e com sinalização indicando a preferência do fluxo já existente na rodovia. Essa configuração é representada na Figura 7, onde ocorreu a mudança operacional com a adição da terceira faixa na SP-055.

Figura 7 - Mudança de operação no acesso à SP-055 pelo sentido oeste.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Segundo modelo

Em comparação com o primeiro modelo, a primeira mudança operacional do objeto de estudo envolveu o rearranjo da sinalização horizontal do viaduto. Nessa nova configuração, o viaduto passou a ter duas faixas de tráfego no sentido de Peruíbe-SP (oeste, acesso à Rodovia SP-055) e uma única faixa no sentido de Praia Grande-SP (leste, acesso à Via Expressa Sul). É importante destacar que essa configuração opera sem acostamento e com uma faixa de segurança mínima separando a linha de bordo da faixa de tráfego das barreiras *New Jersey* presentes no viaduto. Caso ocorra algum imprevisto, como pane veicular, isso poderia ocasionar um cenário de congestionamento.

Outro ponto importante a se destacar na opção estudada é o estrangulamento de tráfego no final do viaduto, onde duas faixas se reduzem a uma única, pouco antes da conexão com a SP-055. Essa situação atual, ilustrada na Figura 8, se dá com a sinalização horizontal de Mudança Obrigatória de Faixa (MOF), conforme definido no manual de sinalização horizontal do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2022).

Figura 8 - Sinalização horizontal de estrangulamento das faixas do viaduto sentido oeste.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Terceiro modelo

No terceiro modelo, a única variação com relação ao segundo consiste na implementação de uma faixa de aceleração exclusiva na saída do viaduto. A extensão dessa faixa é restrita pela existência de uma passarela e uma baia de ônibus. As barreiras *New Jersey*, que protegem a estrutura da passarela, limitam a largura disponível para a faixa de aceleração, e a posição inicial da baia de ônibus resulta na sobreposição dos *tapers* (faixa de largura variável, utilizada como deslocamento para uma faixa paralela) de transição.

Considerando ainda o estrangulamento de duas faixas para uma única no final do viaduto, o terceiro modelo simula uma faixa exclusiva de aceleração, garantindo assim um espaço maior para garantir uma brecha de inserção na rodovia.

Quarto modelo

O quarto modelo consiste na duplicação do viaduto, sendo o único em que se considera mudanças operacionais tanto para o tráfego de 2023 quanto para a projeção de 2043. As alterações ocorrem no final do novo viaduto, sentido Praia Grande-SP (leste), na conexão entre o retorno da Av. Min. Marcos Meire e o acesso direto da SP-055, pista leste. Para 2023, o modelo prevê apenas duas faixas de tráfego no entrelaçamento da região mencionada. Já para 2043, prevê-se a adição de uma terceira faixa para a inserção direta dos movimentos de retorno e da SP-055.

Outra mudança implementada no projeto foi a remoção do estrangulamento no acesso à SP-055, sentido oeste. O modelo manteve o comprimento da faixa de aceleração do terceiro cenário, mas, desta vez, possibilitou a inserção direta do fluxo de ambas as correntes de tráfego na rodovia, estabelecendo prioridade para o fluxo da SP-055.

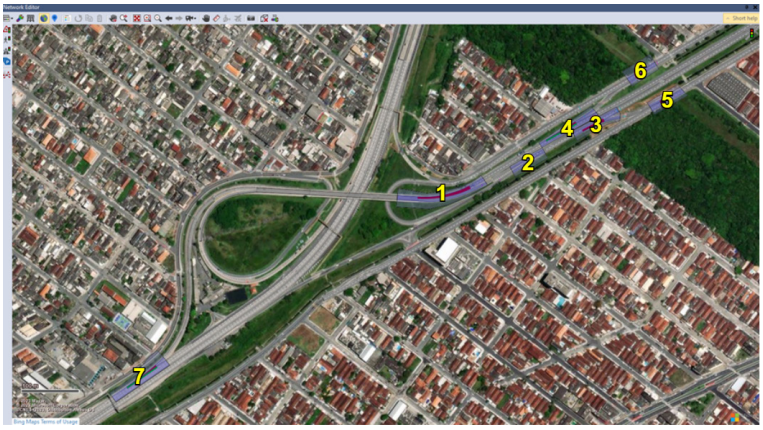
Resultados e Discussão

A análise dos resultados é baseada nos relatórios gerados pelo VISSIM para cada simulação e

nas observações realizadas durante elas, com o objetivo de compreender os gargalos do sistema e verificar se eles reagiram conforme esperado.

A modelagem do objeto de estudo envolveu 7 nós (Figura 9), que são áreas de controle criadas e configuradas no VISSIM para extrair resultados das simulações dos eventos nelas ocorridos. Isso abrange parâmetros como NS, extensão de filas, tempos de atraso, número de paradas, entre outros.

Figura 9 - Representação e posição dos nós utilizados para extração dos resultados dos cenários avaliados.



Fonte: Autores (2024).

As simulações foram realizadas em um período de 4.500 segundos, sendo os primeiros 900 segundos utilizados para estabilizar o sistema. Após esse período, iniciou-se a extração dos dados nos nós, abrangendo um total de 3.600 segundos, visando levantar os parâmetros na hora de pico. Os resultados das simulações dos 4 modelos para o ano de 2023 são apresentados no Quadro 1. Já o Quadro 2 apresenta os resultados para 2043.

Quadro 1 - Resultados das simulações feitas pelo *software* VISSIM para o ano de 2023.

Nó	Movimento	Primeiro modelo		Segundo modelo		Terceiro modelo		Quarto modelo	
		NS	Atraso (min)	NS	Atraso (min)	NS	Atraso (min)	NS	Atraso (min)
1	Via Expressa Sul para Viaduto - Sentido Oeste	F	5	F	6,1	E	0,6	A	0
1	Viaduto para Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	A	0
1	**Resultado para o primeiro nó**	**F**	**1,4**	**F**	**1,8**	**C**	**0,3**	**A**	**0**
2	SP-055 Leste + Retorno Av. Min. Marcos Meire para Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	A	0
2	Viaduto para Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	A	0
2	**Resultado para o segundo nó**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**
3	Via Expressa Sul segue na Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	A	0
3	Via Expressa Sul para Av. Dr. Roberto de Almeida Vinhas	A	0	A	0	A	0	A	0
3	**Resultado para o terceiro nó**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**
4	Via Expressa Sul segue na Via Expressa Sul - Sentido Oeste	F	5,6	F	5,4	A	0,2	A	0
4	Av. Min. Marcos Meire para Via Expressa Sul - Sentido Oeste	F	1,3	F	1,6	B	0,2	A	0,1
4	**Resultado para o quarto nó**	**F**	**5,2**	**F**	**5**	**A**	**0,2**	**A**	**0**
5	Av. Dr. Roberto de Almeida Vinhas Segue - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	A	0
5	Via Expressa Sul para Av. Dr. Roberto de Almeida Vinhas	A	0	A	0	A	0	A	0
5	**Resultado para o quinto nó**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**
6	Av. Min. Marcos Freire segue na Av. - Sentido Oeste	A	0	A	0	A	0	A	0
6	Av. Min. Marcos Freire para Via Expressa Sul - Sentido Oeste	A	0	A	0	A	0	A	0
6	**Resultado para o sexto nó**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**
7	SP-055 segue SP-055 - Sentido Oeste	A	0	A	0	A	0	A	0
7	Viaduto da Curva do S para SP-055 - Sentido Oeste	F	1,2	F	1,2	C	0,4	B	0,2
7	**Resultado para o sétimo nó**	**B**	**0,2**	**B**	**0,2**	**B**	**0,2**	**A**	**0,1**

Fonte: Autores (2024)

Quadro 2 - Resultados das simulações feitas pelo *software* VISSIM para o ano de 2043.

Nó	Movimento	Primeiro modelo		Segundo modelo		Terceiro modelo		Quarto modelo	
		NS	Atraso (min)	NS	Atraso (min)	NS	Atraso (min)	NS	Atraso (min)
1	Via Expressa Sul para Viaduto - Sentido Oeste	F	18,2	F	18,2	F	4,1	F	1,1
1	Viaduto para Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	C	0,3
1	**Resultado para o primeiro nó**	**F**	**1,5**	**F**	**1,7**	**F**	**1,2**	**E**	**0,6**
2	SP-055 Leste + Retorno Av. Min. Marcos Meire para Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	E	0,8
2	Viaduto para Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	B	0,2
2	**Resultado para o segundo nó**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**	**C**	**0,4**
3	Via Expressa Sul segue na Via Expressa Sul - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	B	0,2
3	Via Expressa Sul para Av. Dr. Roberto de Almeida Vinhas	A	0	A	0	A	0	C	0,4
3	**Resultado para o terceiro nó**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**	**B**	**0,2**
4	Via Expressa Sul segue na Via Expressa Sul - Sentido Oeste	F	18,5	F	18,7	F	3,8	F	1
4	Av. Min. Marcos Meire para Via Expressa Sul - Sentido Oeste	F	16,9	F	22,6	F	1,5	E	0,7
4	**Resultado para o quarto nó**	**F**	**18,1**	**F**	**19,7**	**F**	**3,6**	**F**	**1**
5	Av. Dr. Roberto de Almeida Vinhas Segue - Sentido Leste	A	0	A	0	A	0	A	0
5	Via Expressa Sul para Av. Dr. Roberto de Almeida Vinhas	A	0	A	0	A	0	A	0
5	**Resultado para o quinto nó**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**	**A**	**0**
6	Av. Min. Marcos Freire segue na Av. - Sentido Oeste	A	0	A	0,1	A	0	A	0
6	Av. Min. Marcos Freire para Via Expressa Sul - Sentido Oeste	F	0,9	F	3,6	A	0	A	0
6	**Resultado para o sexto nó**	**A**	**0,2**	**E**	**0,6**	**A**	**0**	**A**	**0**
7	SP-055 segue SP-055 - Sentido Oeste	A	0	A	0	A	0,1	A	0
7	Viaduto da Curva do S para SP-055 - Sentido Oeste	F	5,6	F	4,5	F	1,6	F	1,1
7	**Resultado para o sétimo nó**	**B**	**0,2**	**B**	**0,2**	**C**	**0,3**	**C**	**0,4**

Fonte: Autores (2024)

Análise do primeiro modelo

No primeiro modelo, durante as simulações para o tráfego atual e o projetado para 2043, identificou-se a situação de congestionamento já esperada. O principal gargalo do sistema situava-se na área abrangida pelo primeiro nó, especificamente na entrada do viaduto pela Via Expressa Sul. Nesse ponto, a redução de duas faixas para uma única, exacerbada pela proximidade da "agulha" de acesso da Av. Min. Marcos Meire e pela conexão com o viaduto, gerava um congestionamento completo (NS F). Ao analisar os parâmetros do quarto nó, também foi possível evidenciar que a fila se estendia pela Via Expressa Sul. Durante as simulações, observou-se a formação de filas causadas pelo conflito gerado pelo estrangulamento das faixas. Essa situação está ilustrada na Figura 10.

Figura 10 - Situação de congestionamento evidenciada no primeiro modelo.

Fonte: Autores (2024)

Outro ponto que registrou um NS F no primeiro modelo foi o sétimo nó, localizado na região de acesso à Rodovia SP-055 para usuários vindos do viaduto. A então existente situação de "dar a preferência" ao fluxo da rodovia, combinada com um alto volume e a necessidade de garantir uma brecha segura para inserção na mesma, também causava filas nesse ponto. Essa situação, observada durante a simulação, é apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Surgimento de filas para inserção na SP-055 (primeiro modelo).

Fonte: Autores (2024)

Um aspecto importante a destacar é que, ao término da simulação do período escolhido, o congestionamento foi tão severo que, para a simulação tanto com o tráfego atual quanto projetado, o volume esperado para o movimento Via Expressa Sul – Sentido Oeste não pôde ser totalmente computado. Isso resultou em um total de 958 veículos fora da área de simulação aguardando uma oportunidade para se inserirem no modelo, para a simulação com tráfego atual; e 3.097 veículos, para simulação com tráfego previsto para 2043.

A simulação do primeiro modelo para o tráfego previsto em 2043 apresentou o mesmo aviso de movimentos não totalmente computados para o movimento Viaduto da "Curva do S" – Sentido Leste. Durante a simulação, observou-se que a situação modelada, com apenas uma faixa para esse sentido, não suportava a inserção do volume total previsto (pela configuração *default* do *software*, evidenciou-se a inserção com um padrão constante do início ao fim da simulação), resultando em

dados que não seriam fidedignos. Isso fez com que restassem 850 veículos aguardando inserção no modelo ao término do período simulado.

Análise do segundo modelo

O segundo modelo representa a operação atual do viaduto, que inclui duas faixas no sentido oeste e uma única no sentido leste, sem os acostamentos do modelo anterior. Essa mudança elimina o estrangulamento na área do primeiro nó, mas cria um ponto de estrangulamento no final do viaduto, antes do acesso à Rodovia SP-055.

Durante a simulação, notou-se, inicialmente, que o problema anteriormente localizado no primeiro nó, relacionado ao conflito na redução de faixas para inserção no viaduto, não ocorreu mais. Entretanto, constatou-se uma mudança do ponto crítico, com o novo local de estrangulamento situando-se pouco antes do acesso à SP-055. Esse fator deu início a uma situação de congestionamento que se estendeu até a Via Expressa Sul, resultando em NS F para o primeiro, quarto e sétimo nós. A Figura 12 representa o novo ponto crítico observado nos momentos iniciais da simulação, caracterizado pela redução para uma única faixa devido a uma sinalização de MOF.

Figura 12 - Situação próxima ao sétimo nó nos momentos iniciais da simulação do segundo modelo.

Fonte: Autores (2024).

De maneira semelhante ao primeiro modelo, o segundo modelo não conseguiu processar completamente o volume esperado para o Movimento Via Expressa Sul – Sentido Leste no tráfego atual. Apenas no tráfego projetado para 2043, a capacidade limitada para inserção dos veículos do movimento Viaduto da "Curva do S" – Sentido Leste foi constatada. Consequentemente, restaram 857 veículos fora do Movimento Via Expressa Sul – Sentido Oeste para o ano de 2023; 3.004 veículos fora do Movimento Via Expressa Sul – Sentido Oeste para o ano de 2043; e 850 veículos fora do Movimento Viaduto da "Curva do S" – Sentido Leste para o tráfego esperado em 2043.

Análise do terceiro modelo

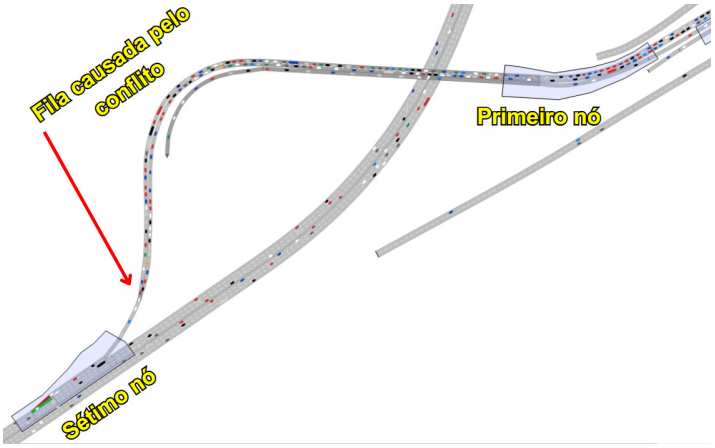
No terceiro modelo, tem-se praticamente a mesma proposta do segundo, porém, com a eliminação da sinalização de "dar a preferência" para a conexão com a Rodovia SP-055. Assim, simulou-se a existência de uma faixa de aceleração exclusiva para os veículos que vêm do viaduto, mantendo o estrangulamento causado pela sinalização MOF antes da faixa de aceleração. Observou-se uma melhoria na inserção na SP-055, devido ao aumento do tempo disponível para garantir uma brecha e realizar a mudança de faixa. Essa melhoria resulta da condição de aceleração até a velocidade regulamentada, o que leva a uma diferença menor entre as velocidades daqueles que entram na rodovia e os que já estão nela. A situação da região do sétimo nó nos momentos iniciais da simulação, contendo a faixa de aceleração, é apresentada na Figura 13.

Figura 13 - Situação próxima ao sétimo nó nos momentos iniciais da simulação do terceiro modelo.

Fonte: Autores (2024).

Na simulação com o tráfego atual, no terceiro modelo, observou-se o NS E no primeiro nó para o movimento Sentido Oeste (acesso à SP-055). Isso ocorreu devido à formação de fila causada pelo estrangulamento de duas faixas para uma única no final do viaduto. Por outro lado, o sétimo nó demonstrou um NS C para o movimento de inserção na SP-055, indicando resultados significativamente melhores em comparação aos primeiros modelos estudados. Na Figura 14, são apresentadas as filas geradas pelo movimento em conflito no final do viaduto, que afetaram até mesmo a região do primeiro nó, justificando os resultados obtidos na simulação e, ao mesmo tempo, sendo constatada uma melhoria na condição de acesso à SP-055.

Figura 14 - Filas geradas pelo estrangulamento próximo ao sétimo nó no terceiro modelo.



Fonte: Autores (2024).

Na simulação com o tráfego atual, não ocorreram problemas na inserção de veículos no modelo para nenhum dos movimentos estudados. No entanto, para a simulação com o tráfego previsto para 2043, persistiram os problemas de capacidade para a inserção do volume esperado no Movimento Viaduto da "Curva do S" – Sentido Leste. Isso ficou novamente evidente, pois 850 veículos continuaram aguardando para entrar no modelo ao final da simulação. Já para o Movimento Via Expressa Sul – Sentido Oeste, registrou-se um total de 2.350 veículos aguardando devido ao congestionamento ocorrido.

Análise do quarto modelo

No último modelo (duplicação do viaduto), projetado para atender aos NS estabelecidos, são propostas mudanças na operação tanto para o tráfego atual quanto para o previsto em 2043. O objetivo é atender à demanda do Movimento Viaduto da "Curva do S" – Sentido Leste, que nos outros modelos não puderam ser analisadas devido à falta de capacidade para a inserção de todo o volume esperado, uma vez que a composição do Viaduto – Sentido Leste operava com apenas uma faixa.

De forma semelhante à terceira simulação e considerando o tráfego atual, todos os veículos de todos os movimentos foram processados com êxito na simulação. Essa opção apresentou predominantemente NS A, exceto pelo NS B no movimento de entrada do viaduto sentido SP-055, pista oeste, localizado no sétimo nó.

Ao realizar as simulações do quarto modelo para o ano de 2043, observou-se a diferença no volume inserido no Movimento Viaduto da "Curva do S" – Sentido Leste devido ao aumento da capacidade pela ampliação do número de faixas desse movimento. Esse modelo gerou um problema inédito em relação aos demais, no entrelaçamento entre o segundo e o terceiro nós: nessa configuração, os movimentos vindos da SP-055 pista Leste e o retorno da Av. Min. Marcos Meire enfrentaram dificuldades para garantir uma brecha para mudança de faixa, a fim de permanecer na Via Expressa Sul. Essa situação, representada pela Figura 15, demonstra que, nas configurações *default*, o comprimento para o entrelaçamento nessas faixas é insuficiente.

Figura 15 - Nova seção crítica de entrelaçamento do quarto modelo.

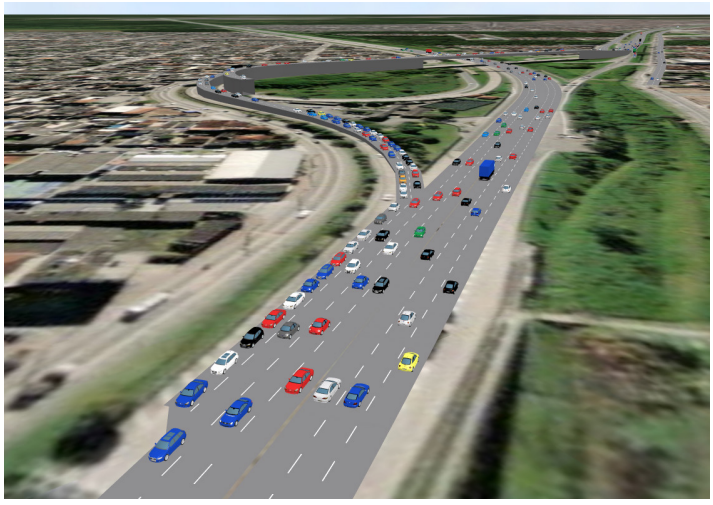
Fonte: Autores (2024).

Ao analisar especificamente essa região durante a simulação, evidenciou-se a dificuldade dos usuários na terceira faixa que tentavam prosseguir para a Via Expressa Sul. Com a ampliação das faixas no Sentido Leste do viaduto, foi possível inserir um volume mais próximo do esperado para o ano de 2043. Isso resultou em pelotões mais agrupados, criando uma seção mais carregada na região de entrelaçamento.

As configurações para tomada de decisão de mudança de faixa e a brecha aceitável não foram calibradas, o que pode ter contribuído para a criação desse gargalo. Segundo Neris (2014), em situações de congestionamento, há um risco aumentado à segurança viária, pois os usuários tendem a aceitar menores brechas para realizar os movimentos desejados.

Ao retomar a análise para o sétimo nó, que trata da área de acesso à SP-055, pista oeste, vinda do viaduto, observou-se, no quarto modelo, problemas para o tráfego previsto em 2043 nas áreas de conflito criadas. Com o fluxo intenso para a SP-055, também foram verificadas dificuldades em garantir uma brecha para mudança de faixa, dada a extensão disponível para a faixa exclusiva de aceleração. As complicações mencionadas estão ilustradas na Figura 16.

Figura 16 - Situação no sétimo nó para o quarto modelo.



Fonte: Autores (2024).

Ao analisar o entorno do sétimo nó, pôde-se identificar uma área bastante restrita, com espaço limitado para as interações de tráfego existentes. Nessa região, há uma faixa de aceleração para o 1° Batalhão da Polícia Militar Rodoviária pela SP-055, pista oeste, além do estreitamento da faixa de aceleração para o movimento vindo do viaduto, devido aos dispositivos de segurança que protegem a estrutura de uma passarela existente, bem como uma baia de ônibus. Qualquer proposta de extensão da faixa de aceleração do ramo do viaduto resultaria em sobreposição dos *tapers*.

Além disso, faz-se necessário também verificar a localização das demais baias de ônibus, de tal maneira que um remanejamento da baia verificada no nó em estudo não resulte em interferências no desempenho operacional das linhas de transporte coletivo em operação. Esse remanejamento também pode impactar nas distâncias de acessibilidade da população ao sistema de transporte coletivo, podendo prejudicar o seu acesso e, consequentemente, as condições de mobilidade dessa população.

A representação das situações descritas anteriormente é ilustrada na Figura 17.

Figura 17 - Conflitos presentes no sétimo nó dos modelos.

Fonte: Adaptado de Google Earth (2023).

Na conclusão da análise do quarto modelo, foram identificados pontos onde a calibragem dos parâmetros de mudança de faixa e aceitação de brechas pode resultar em dados que não necessariamente refletem a realidade, especialmente em situações de tráfego congestionado, onde os usuários tendem a aceitar menores brechas. O VHP para a SP-055, projetado para 2043 com um crescimento anual de 3%, gerou um fluxo intenso, impactando significativamente os resultados no sétimo nó.

Avisos sobre a impossibilidade de inserir o volume total foram registrados apenas na simulação com o tráfego projetado para 2043, deixando de processar 2.201 veículos para o Movimento Via Expressa Sul – Sentido Oeste; e 211 veículos para o Movimento Viaduto da "Curva do S" – Sentido Leste. Além disso, essa foi a única entre as oito simulações que apresentou o aviso para o Movimento SP-055 pista Leste + Retorno da Av. Min. Marcos Meire, não registrando 289 veículos.

Considerações finais

Este trabalho teve como objetivo analisar diferentes cenários para a operação do dispositivo localizado no km 291 da Rodovia Padre Manuel de Nóbrega (SP-055), popularmente conhecido como viaduto da Curva do "S". Isso foi realizado com o auxílio do *software* VISSIM de microssimulação de tráfego, sendo calculado o NS da seção homogênea considerando tanto a demanda atual quanto a demanda projetada para um horizonte de 20 anos.

A análise se concentrou nas alternativas empregadas até o momento, como medidas mitigatórias para a operação do dispositivo, e na proposição de novas alternativas. Também foram avaliados os impactos das mudanças na composição, incluindo alterações na geometria e na sinalização com o objetivo de aumentar a fluidez no tráfego, aprimorar a segurança para os usuários e atender ao critério de NS mínimo preconizado na instrução de projeto IP-00.000.000-0-A23/001 de 2004 da Agência de Transporte do Estado de São Paulo (ARTESP, 2004).

As microssimulações realizadas possibilitaram a análise dos impactos sobre a capacidade de tráfego e o NS operacional em diferentes arranjos operacionais do Viaduto da "Curva" do S de seu entorno. Inicialmente, confirmaram-se as situações esperadas para os modelos que replicam a operação prévia e atual do viaduto. Esses demonstraram uma capacidade insuficiente para o tráfego atual, resultando em diversos NS F, o que justifica a necessidade de um estudo de ampliação do dispositivo viário.

As mudanças operacionais propostas foram examinadas, levando à conclusão de que o modelo que simula a duplicação do viaduto (quarto modelo), para o tráfego atual, demonstra uma condição ideal de capacidade. Esse modelo gera, na maioria dos nós, um NS A, alcançando o objetivo inicial, melhorando a fluidez do tráfego e as condições de segurança na operação.

Entretanto, nas análises com projeção do tráfego para o ano de 2043, nenhum dos modelos, incluindo a situação mais favorável com a duplicação do viaduto, atingiu NS alinhados às diretrizes da instrução de projeto da ARTESP. Os resultados observados durante as simulações decorrem dos conflitos gerados pela necessidade de mudança de faixas. A ausência de uma calibração que reflita os comportamentos reais em campo pode ter contribuído para resultados que não retratam bem a realidade. Além disso, grande parte dos métodos e o próprio manual do DNIT (2006) baseia-se em parâmetros norte-americanos compilados no HCM, o que não reflete com exatidão as características dos veículos, a composição do tráfego e até mesmo o comportamento dos condutores do Brasil.

Adotando-se a taxa de crescimento anual de 3%, conforme recomendado pelo DNIT (2006) em situações sem um estudo mais aprofundado, observou-se um aumento significativo do fluxo para o ano de 2043, particularmente na SP-055. Não se deve descartar a opção de se utilizar uma taxa de crescimento mais conservadora, o que poderia reduzir os conflitos notados.

Ao examinar as tendências de tráfego, é essencial considerar alterações inesperadas, como as ocorridas na pandemia do novo Coronavírus (COVID-19). Flutuações, impulsionadas por fatores externos, destacam a necessidade de interpretar com cautela os dados de tráfego em períodos atípicos. É importante destacar também que, devido às flutuações na economia nacional, observam-se alterações anuais no padrão de tráfego. Essas mudanças são particularmente notáveis em

estradas rurais, como as que conduzem a zonas de lazer, evidenciando a necessidade de cautela ao interpretar dados antigos e avaliar a relevância da rodovia.

Para futuros estudos, é recomendável realizar um levantamento operacional das linhas de ônibus que servem a baia próxima ao sétimo nó dos modelos, visando entender o impacto de sua presença e propor mudanças adequadas para o acesso à SP-055, melhorando o atendimento ao tráfego previsto para os anos futuros. Também é sugerido efetuar contagens de tráfego durante 24 horas por sete dias consecutivos para uma correção e tratamento de dados mais precisos. Por fim, enfatiza-se a necessidade de calibrar parâmetros como *lane-changing* e *gap-acceptance*, a fim de garantir resultados mais fidedignos à realidade.

Referências

ARAÚJO, A. M.; CASTRO NETO, M. M. Calibração do modelo de aceitação de brechas em interseções urbanas com o microssimulador de tráfego VISSIM. **Transportes**, v. 26, n. 3, p. 25-37, 2018. DOI: 10.14295/transportes.v26i3.1603.

ARTESP. Agência de Transporte do Estado de São Paulo. **Procedimentos Práticos para Cálculo da Capacidade Viária e Determinação do Nível De Serviço:** IP-00. 000.000-0-A23 / 001. São Paulo: ARTESP. 2004. 48 p.

BARCELÓ, J. **Fundamentals of Traffic Simulation**. International Series in Operations Research & Management Science. Springer Science Business Media. 2010.

CHAVES, C. F. **Avaliação do desempenho de medidas de acalmia de tráfego através de microssimulação de tráfego.** 2017. 91f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Viseu, 2017. Disponível em: https://repositorio.ipv.pt/handle/10400.19/4487. Acesso em: 4 abr. 2023.

CONTRAN. Conselho Nacional de Trânsito. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito, Volume IV - Sinalização Horizontal.** Brasília, 2022. Disponível em: https://www.gov.br/transportes/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy_of___04___MBST_Vol._IV___Sinalizacao_Horizontal.pdf. Acesso em: 18 set. 2023.

DER-SP. Departamento de Estradas e Rodagem do Estado de São Paulo. **Volume Diário Médio das Rodovias (VDM).** DER-SP. São Paulo: DER, 2023. Disponível em: http://www.der.sp.gov.br/WebSite/MalhaRodoviaria/VolumeDiario.aspx. Acesso em: 8 jan. 2024.

DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de **Transportes. Manual de Estudos de Tráfego**. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2006. 388 p. (Publicação IPR-723).

FAVERO, R.; SETTI, J. R. A. Evaluating the impacts of autonomous cars on the capacity of freeways in Brazil using the HCM-6 PCE methodology. **Transportes**, v. 29, n. 2, 2021. DOI: 10.14295/transportes.v29i2.2444.

FGSV. **Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen**: Entwurf. Forschungsgesellschaft fur Strassen-und Verkehrswesen. Colonia, 2012.

GEISTEFELDT, J.; GIULIANI, S.; VORTISCH, P.; LEYN, U.; TRAPP, R.; BUSCH, F.; RASCHER, A.; CELIKKAYA, N. Assessment of Level of Service on Freeways by Microscopic Traffic Simulation. **Transportation Research Record**, n. 2461, p. 41-49, 2014. DOI: 10.3141/2461-06.

GOOGLE EARTH. Pro. Praia Grande: Google, 2020. **Plataforma de análise geoespacial.** Disponível em: https://earth.google.com/web/@-24.03136421,-46.50817166,5.44250524a,995.2807902d,35y,4.60736h,20.64532676t,360r/data=OgMKATA. Acesso em: 8 out. 2023.

JOLOVIC, D.; STEVANOVIC, A.; SAJJADI, S.; MARTIN, P. T. Assessment of Level-Of-Service for Freeway Segments Using HCM and Microsimulation Methods. **Transportation Research Procedia**, v. 15, p. 403-416, 2016. DOI: 10.1016/j.trpro.2016.06.034.

MON-MA, M. L. **Adaptação do HCM-2000 para rodovias de pista simples com faixas adicionais**

típicas do estado de São Paulo. 2008. Tese (Doutorado em Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008. Disponível em: doi:10.11606/T.18.2008.tde-31052022-092929. Acesso em: 20 jun. 2024.

NERIS, D. F. **Melhoria do desempenho do tráfego em rotatórias com o emprego de semáforos próximos na via principal.** 2014. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.11606/D.18.2014.tde-29042014-094454. Acesso em: 6 mar. 2023

OLIVEIRA, J. K. S. **Adaptação do HCM-6 para análise de rodovias de pista simples sem faixas adicionais no Brasil.** 2021. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2021.

PAULA, F. S. M. **Proposta de adaptação da metodologia do *Highway Capacity Manual 2000* para análise de vias arteriais urbanas de Fortaleza.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transporte), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE. 2006. 158f.

PTV - Planning Transport Verkehr AG. **VISSIM 10 User Manual.** Karlsruhe, 2018.

PTV. Planung Transport Verkehr GmbH. **PTV VISSIM User Manual 2023.** Karlsruhe, 2023.

SETTI, J. R. A. **Tecnologia de Transportes.** São Carlos: EESC/USP, 2011.

SILVA, F. A.; BESSA JÚNIOR, J. E.; COSTA, A. L.; CUNHA, A. L. B. N.; ANDALÍCIO, A. F.; VELHO, D. M. C.; NAZARETH, V. S. Avaliação do efeito de faixas adicionais de subida em segmentos de rodovias de pista simples. **Transportes**, v. 29, n. 2, 2021. DOI: 10.14295/transportes.v29i1.2359.

SILVA, F. A.; BESSA JÚNIOR, J. E.; COSTA, A. L.; CUNHA, A. L. B. N.; VELHO, D. M. C.; ANDALÍCIO, A. F. Análise exploratória do modelo de simulação de rodovias de pista simples do VISSIM. **Revista de Engenharia Civil da Universidade de Minho**, n. 63, p. 6-17, 2023.

TRB. Transportation Research Board. **Highway Capacity Manual 2000.** Washington D.C., 2000.

TRB. Transportation Research Board. **Highway Capacity Manual 2010.** Washington D.C., 2010.

TRB. Transportation Research Board. **Highway Capacity Manual 2022.** Washington D.C., 2022.