



26° Encontro Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR) 49ª Reunião Anual de Pavimentação (RAPV)

ANÁLISE COMPARATIVA DE SOFTWARES DE MODELAGEM DE TRÁFEGO APLICADO EM AMBIENTE URBANO

Marcelo Franco Porto ¹, Cleide Maria Martins ¹, Rafael Augusto Santos de Souza ¹, Marina Vasconcelos de Paula e Silva ¹, Bruna Cristina Beltrão Silva Beleigoli ¹

RESUMO

Este estudo destaca a importância do planejamento urbano eficiente e da infraestrutura urbana para a implementação de cidades inteligentes. Ele se concentra na utilização de softwares de simulação de trânsito – InfraWorks, Aimsun e PTV Vissim – como ferramentas importantes para a tomada de decisões e planejamento de transporte urbano. A pesquisa foi realizada no Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, em Belo Horizonte/Minas Gerais, com o objetivo de apoiar um novo planejamento urbano na via. O estudo permitiu identificar padrões de circulação, tempos de viagem, congestionamentos e outros aspectos relevantes para a gestão do tráfego urbano. Os softwares foram avaliados em termos de eficiência e os resultados foram comparados. As simulações permitiram antecipar os impactos futuros na rede urbana viária e gerar gráficos comparativos dos resultados. Essas informações são determinantes para a elaboração de políticas de planejamento de transporte e infraestrutura viária na região estudada. O PTV Vissim se destacou como o mais completo, enquanto o Aimsun tem qualidade semelhante, mas com limitações. A vantagem do InfraWorks é sua integração com o Building Information Modeling (BIM). Isso permite uma interação mais eficiente e detalhada com modelos de construção e planejamento, possibilitando uma melhor visualização e análise das infraestruturas urbanas. O InfraWorks apresenta outra vantagem: sua facilidade de uso, que proporciona uma visão detalhada do projeto em etapas importantes, como concepção e planejamento, tornando-o extremamente útil para projetos de infraestrutura, garantindo um fluxo eficiente, evitando erros e economizando tempo ao longo do ciclo de vida do projeto.

PALAVRAS-CHAVES: Softwares; Simulação; InfraWorks, Aimsun e PTV Vissim.

ABSTRACT

This study highlights the importance of efficient urban planning and infrastructure for implementing smart cities. It focuses on using traffic simulation software, InfraWorks, Aimsun, and PTV Vissim, as crucial tools for decision-making and urban transportation planning. The research was conducted in the Celso Mello Azevedo Ring Road, in Belo Horizonte/Minas Gerais, aiming to support new urban planning on the road. The study identified traffic circulation patterns, travel times, congestion, and other relevant aspects for urban traffic management. The software was evaluated for efficiency, and results were compared, enabling anticipation of future impacts on the urban road network and generating comparative graphics. This information is crucial for developing transportation and road infrastructure policies in the studied region. PTV Vissim stood out as the most comprehensive, while Aimsun had similar quality but with limitations. InfraWorks' advantage lies in its integration with Building Information Modeling (BIM). This allows for a more efficient and detailed interaction with construction and planning models, enhancing visualization and analysis of urban infrastructures. InfraWorks has another advantage: it is easy to use. This provides a detailed view of the project at important stages, such as conception and planning, making it extremely useful for infrastructure projects, ensuring an efficient flow, avoiding errors and saving time throughout the project lifecycle.

KEY WORDS: Software; Simulation; InfraWorks, Aimsun, and PTV Vissim.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG: marcelo@etgufmg.br; cmengenheiracivil@yahoo.com, ra2361982@ufmg.br, marinavps@yahoo.com.br beltrao.bruna@gmail.com



1 INTRODUÇÃO

Simuladores de tráfego urbano são ferramentas computacionais utilizadas para modelar e analisar o fluxo de veículos, pedestres e outras formas de transporte em ambientes urbanos. Esses softwares são projetados para reproduzir o comportamento dinâmico dos agentes de trânsito, permitindo simular diversas situações e cenários para a análise e otimização do sistema de transporte. A análise do tráfego urbano envolve a compreensão de como o fluxo de veículos interage com as vias, interseções, semáforos, faixas exclusivas, estacionamentos e outras infraestruturas urbanas. Com os simuladores de tráfego, é possível modelar essas estruturas em um ambiente virtual e simular o movimento dos veículos ao longo do tempo (BARCELÓ, 2010).

Os simuladores de tráfego urbano são amplamente utilizados por planejadores de transporte, engenheiros de tráfego, pesquisadores e autoridades de transporte para tomar decisões informadas e otimizar o sistema de transporte de uma cidade. Por meio da modelagem computacional, eles permitem a simulação do comportamento dos agentes de trânsito e a geração de análises precisas e detalhadas, auxiliando na tomada de decisões informadas para a melhoria da mobilidade urbana (ANTONIOU *et al.*, 2014).

De acordo com Delaneze *et al.* (2014), a modelagem urbana se baseia em conceitos fundamentais que orientam a representação e a simulação do sistema de transporte urbano. Esses conceitos envolvem a compreensão dos padrões de comportamento dos usuários, a interação entre os elementos do sistema e a captura dos processos e fenômenos relevantes. Alguns princípios comuns da modelagem urbana são comportamento dos usuários, interação entre os diferentes elementos do sistema de transporte urbano e representação espacial e temporal.

Existem três tipos de simulação: microscópica, macroscópica e mesoscópica. Na simulação microscópica de transporte urbano, os veículos são tratados de forma individualizada. Os modelos são detalhados e consideram características específicas de cada veículo, como tamanho, localização, velocidade, aceleração e comportamento do motorista. Essa abordagem permite uma representação minuciosa das interações entre os veículos e a análise de eventos individuais, como mudanças de faixa, manobras, frenagens e acelerações (KAWAMOTO, 2010).

Segundo Barceló (2012), na simulação macroscópica, o fluxo de tráfego é concebido de forma agregada, sem levar em consideração a individualidade dos veículos. O modelo é baseado na descrição do fenômeno de ondas de choque, utilizando conceitos da hidrodinâmica. Nessa abordagem, os veículos são considerados como um fluxo contínuo e são analisados em termos de densidade, velocidade média, taxa de fluxo e congestionamento. A simulação mesoscópica busca fazer uma abordagem dos veículos de forma agrupada com características semelhantes, como tamanho, localização, velocidade e aceleração. Esses grupos são tratados como modelos únicos, permitindo uma simulação mais eficiente analisando o comportamento coletivo dos veículos e os efeitos de interações entre grupos de veículos.

Para essa pesquisa, foi utilizado o modelo de análise microscópica para analisar a região dos viadutos sobre o Anel Rodoviário para acesso à BR-040 sentido Brasília, observando os períodos da manhã e da tarde e dois dias específicos. Os dados foram obtidos a partir do banco de dados do Departamento de Estradas de Rodagem (DER).



O presente estudo tem como objetivo a comparação entre três softwares de simulação de tráfego (Aimsun, PTV Vissim e InfraWorks), apresentando os pontos positivos e pontos de melhoria de cada um e explorando as funcionalidades presentes em cada um deles. O estudo foi motivado pelo crescente uso de simuladores de tráfego em projetos para ambientes urbanos.

2 SIMULADORES DE TRÁFEGO

Os simuladores de tráfego utilizam algoritmos e modelos matemáticos para representar o comportamento dos agentes de trânsito, como aceleração, desaceleração, mudança de faixa, escolha de rota, interação com semáforos e outras decisões relevantes para a análise do tráfego urbano. No processo de geração da análise de tráfego, os simuladores consideram diversos fatores, tais como modelagem da rede viária, comportamento do motorista, dados de entrada, simulação temporal e avaliação de resultados. Para Portugal (2005), é importante ressaltar que a qualidade e precisão dos resultados gerados pelos simuladores de tráfego dependem da qualidade dos dados de entrada, da calibração adequada dos modelos e da representação fiel do comportamento dos agentes de trânsito. A capacidade de processamento computacional e a velocidade de simulação também são fatores importantes a serem considerados ao selecionar um simulador de tráfego adequado para cada contexto.

No entanto, os simuladores de tráfego urbano possuem algumas limitações. Eles dependem de suposições e simplificações para representar o comportamento dos agentes de trânsito, o que pode levar a desvios em relação à realidade. Além disso, a precisão dos resultados pode ser afetada pela qualidade dos dados de entrada e pelas configurações escolhidas durante a modelagem. Para cada software de simulação de tráfego urbano, é essencial considerar diversos fatores, como a capacidade de modelagem e simulação dos elementos específicos da infraestrutura viária da região de interesse, a facilidade de uso, a escalabilidade do software, a disponibilidade de suporte e as atualizações (SENNA, 2014).

2.1 Características dos Simuladores

As seções seguintes apresentam as principais características dos três simuladores de tráfego escolhidos para essa pesquisa: Aimsun, PTV Vissim e InfraWorks. Esses três simuladores foram escolhidos por serem amplamente utilizados na literatura estudada.

2.1.1 Aimsun

Aimsun é um software de modelagem de transporte comercial desenvolvido e comercializado pela Transport Simulation Systems (TSS), com sede em Barcelona, na Espanha. O software pode ser utilizado para diferentes tipos de redes de tráfego: redes urbanas, rodovias, rododanéis, vias arteriais e quaisquer combinações entre elas (RONALDO E ISMAIL, 2012).

De acordo com os desenvolvedores do Aimsun, o software pode ser utilizado em todo o ciclo de vida dos sistemas de transportes. O Aimsun combina análise de dados, previsão e simulação para apoiar projetos de qualquer tamanho, escopo, cronograma e orçamento (AIMSUN, 2024).

Suas principais funcionalidades são modelagem de redes viárias, simulação de tráfego em tempo real, análise de capacidade e desempenho de vias, estimativa de tempos de percurso e atrasos, análise de



impacto de projetos de infraestrutura, análise de gestão de semáforos, integração com sistemas inteligentes de transporte e avaliação de cenários de planejamento.

2.1.2 PTV Vissim

PTV Vissim é um simulador microscópico baseado no comportamento individual dos veículos e é amplamente utilizado por engenheiros de tráfego na prática, bem como por pesquisadores para desenvolvimentos relacionados ao tráfego rodoviário. O VISSIM oferece uma interface gráfica amigável através da qual é possível projetar a geometria de qualquer tipo de rede rodoviária e definir simulações de maneira simples (TETTAMANTI E VARGA, 2012).

De acordo com PTV Group (2024), o PTV Vissim reproduz digitalmente os padrões de tráfego de todos os usuários da via em escala microscópica. Suas principais funcionalidades incluem avaliação do desempenho de infraestrutura de transportes, avaliação de sistemas inteligentes de transporte, simulação com pedestres e avaliação de emissões de poluentes e gases com efeito estufa.

2.1.3 Autodesk InfraWorks

O InfraWorks é um software de infraestrutura desenvolvido pela Autodesk. Ele permite modelagem, análise e visualização de conceitos de projeto de infraestrutura no contexto do ambiente natural e construído (AUTODESK, 2023a). O software oferece ferramentas para a criação de modelos detalhados de infraestruturas como estradas, pontes, edifícios, e redes de água e esgoto. Os usuários podem importar dados geoespaciais, como imagens de satélite, dados topográficos e informações de sistemas de informações geográficas (AUTODESK, 2023b).

O InfraWorks permite ainda que o usuário compartilhe projetos e modelos com outros usuários e computadores através de recursos em nuvem. Ele também é compatível com o AutoCAD Civil 3D. Dessa forma, é possível a troca de dados entre os dois programas, o que permite que o projeto seja iniciado no InfraWorks e finalizado no AutoCAD Civil 3D. Edifícios, árvores e outros elementos urbanos podem ser adicionados ao modelo 3D para criar uma visualização realista (AVRAMOVIC E JOHNSSON, 2017).

Através dessa revisão bibliográfica, é possível observar que o InfraWorks não é um software desenvolvido para simulação de tráfego, mas pode ser utilizado com esse propósito.

3.0 METODOLOGIA

Para melhor compreensão do método utilizado, foi construído um framework do estudo em questão, com as etapas de coleta, compilação dos dados, calibração dos parâmetros, validação de hipóteses e análises de cada um dos quatro softwares supramencionados e selecionados para o trabalho. A Figura 1 elucida este framework.

FRAMEWORK

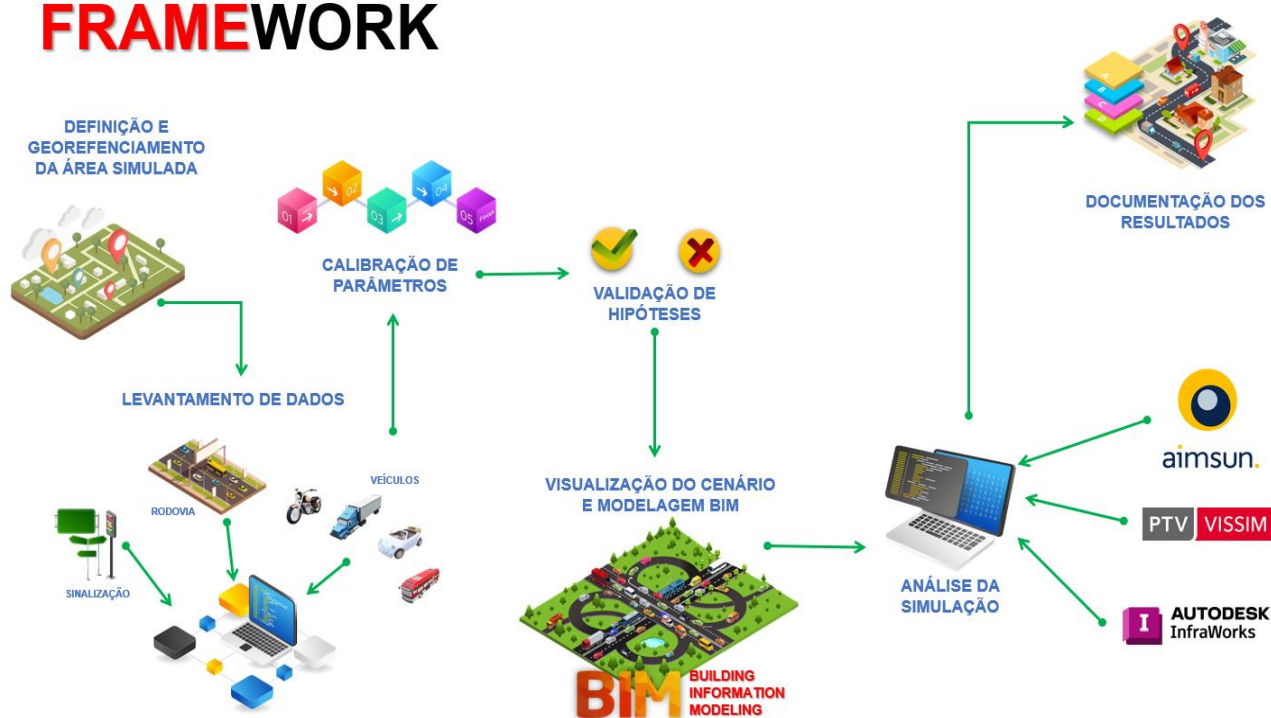
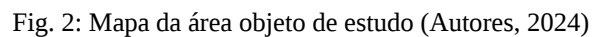


Fig. 1: Framework da pesquisa (Autores, 2024)

Primeira etapa: Determinação da área de estudo. O objeto de estudo escolhido foi o Anel Rodoviário Celso Mello Azevedo, em Belo Horizonte, Minas Gerais, em sua interseção com a Avenida Amazonas. O Anel Rodoviário é um importante instrumento de mobilidade da capital mineira, que dá vazão à porção de carga e transporte que, na década de 1950 passava pelo centro da cidade e causava aumento no trânsito e diversos tipos de transtornos.

A Avenida Amazonas, por sua vez, conecta o centro a outras cidades da Região Metropolitana, como Contagem e Betim. São duas vias com alto fluxo de veículos que têm um aumento significativo no seu fluxo durante o horário de pico, principalmente de pessoas que vêm de outras cidades para trabalhar em Belo Horizonte. A área é apresentada na Figura 2.



2 - Escolhas dos dias/horários: Com base nos registros de contagem e na classificação viária do DER-MG, foram escolhidos os 2 dias da semana com maior demanda e comportamento expressivo do tráfego de trânsito. Os dias escolhidos foram terça-feira na parte da manhã e no fim de tarde e quarta-feira na parte da manhã e no fim da tarde. Segundo o DER-MG, os horários foram determinados devido à hipótese de que durante a manhã as pessoas estão se deslocando para escolas e para o trabalho.



No fim da tarde, as pessoas estão voltando para casa, o que aumenta o fluxo de veículos. É importante ressaltar que, por questões de complexidade e tempo de realização das simulações, foi determinado um recorte do objeto de estudo. Dessa forma, foi escolhido o horário de pico, terça-feira à tarde, devido à hipótese de que seria o horário mais crítico.

Quarta etapa: Desenvolvimento da modelagem. As vias foram modeladas aplicando o conceito Building Information Modeling (BIM) e utilizando as ferramentas BIM do software InfraWorks, para aperfeiçoar a análise e a modelagem digital tridimensional. Esse processo reúne informações gráficas e não gráficas para criar modelos 3D e integrar as informações em um ambiente de compartilhamento de dados acessível, transparente e intuitivo para o gerenciamento digital das informações do projeto. Em seguida, realizaram-se efetivamente as análises de testagem das hipóteses nos softwares de simulação de tráfego. Foi realizada uma simulação de tráfego com código aberto, priorizando flexibilidade e personalização.

O segundo software escolhido foi o Aimsun, que consegue fazer uma análise e modelagem avançada de transporte com integração de dados em tempo real.

O terceiro simulador utilizado foi o PTV Vissim, que é conhecido por sua precisão na simulação de interseções e controle de semáforos e recursos de modelagem avançada, tanto de pedestres como de vias urbanas.

Por fim, foi utilizado o Autodesk InfraWorks, que se destaca pela sua abordagem integrada BIM para planejamento urbano e design de infraestrutura, favorecendo a colaboração entre equipes multidisciplinares. Em síntese, os resultados da simulação de tráfego da via, obtidos por meio da utilização conjunta desses quatro softwares, oferecem uma visão abrangente e detalhada do comportamento do tráfego, permitindo análises precisas e embasadas para tomadas de decisão no planejamento e gestão de infraestruturas viárias.

4. ANÁLISE COMPARATIVA DOS SOFTWARES

Após as análises, foram gerados os documentos que contribuíram para identificar os resultados de melhoria de fluxo das hipóteses testadas. O resultado esperado é a análise de pontos positivos e pontos limitantes ou de evolução de cada software, e não efetivamente os dados extraídos. O objetivo principal foi analisar se todos trariam resultados efetivos e questões acerca de interface, opções, ferramentas e interoperabilidade. As Figura 3 e 4 mostram análise realizada pelos 3 softwares no viaduto no dia mais crítico, terça-feira de manhã com as 3 alças.

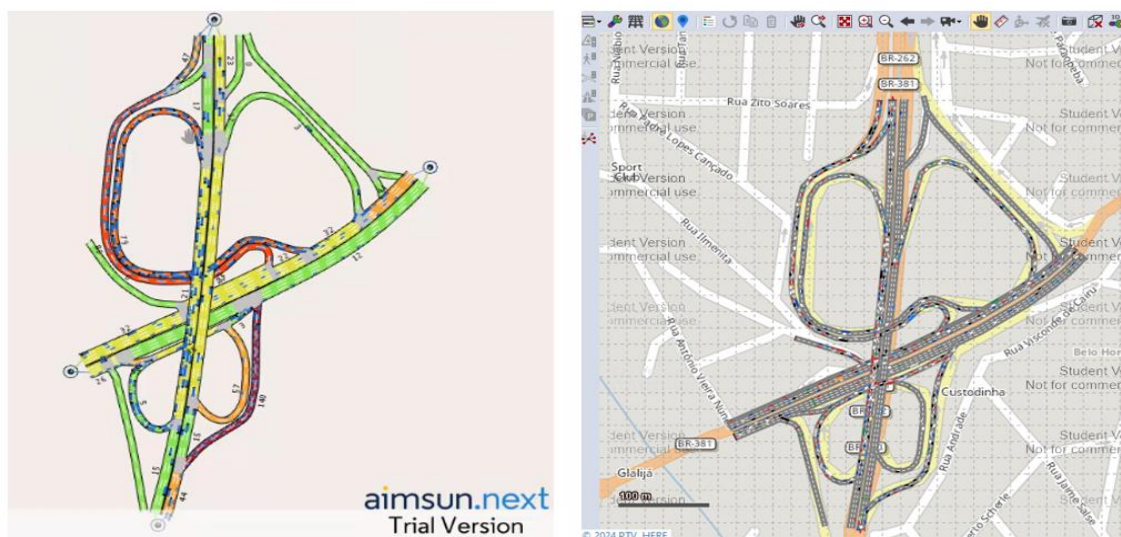


Fig. 3: Análise de terça-feira de manhã com as 3 alças com softwares Aimsun e Ptv Vissim (Autores, 2024)



Fig. 4: Análise de terça-feira de manhã com as 3 alças com software Autodesk InfraWorks 2024 (Autores, 2024)

4.2 Simulação no PTV Vissim, no Aimsun e no Autodesk InfraWorks

Conforme demonstrado na figura 7, foi aplicada regressão linear com intuito de destacar duas análises, velocidade média e tempo de congestionamento. Nesse cenário, os softwares PTV Vissim, Aimsun e Autodesk InfraWorks foram submetidos ao mesmo problema no pior cenário de fluxo viário intenso. Considerou-se as variáveis velocidade média em relação ao tempo de congestionamento e, a partir da simulação de 3 alças no viaduto, os 3 softwares apresentaram o mesmo desempenho com relação a velocidade. Porém, na análise de tempo de congestionamento, os softwares demonstram resultados diferentes com relação ao tempo de congestionamento médio variável. O PTV Vissim e o Aimsun tiveram resultado de tempo de congestionamento de 27 minutos, enquanto o Autodesk Infraworks apresentou um tempo de congestionamento entre 24 a 27 minutos, não sendo tão preciso.



No PTV Vissim e no Aimsun é possível obter mais dados relevantes sobre o tempo de congestionamento, enquanto o Autodesk Infracworks apresenta limitações na quantidade de informações.

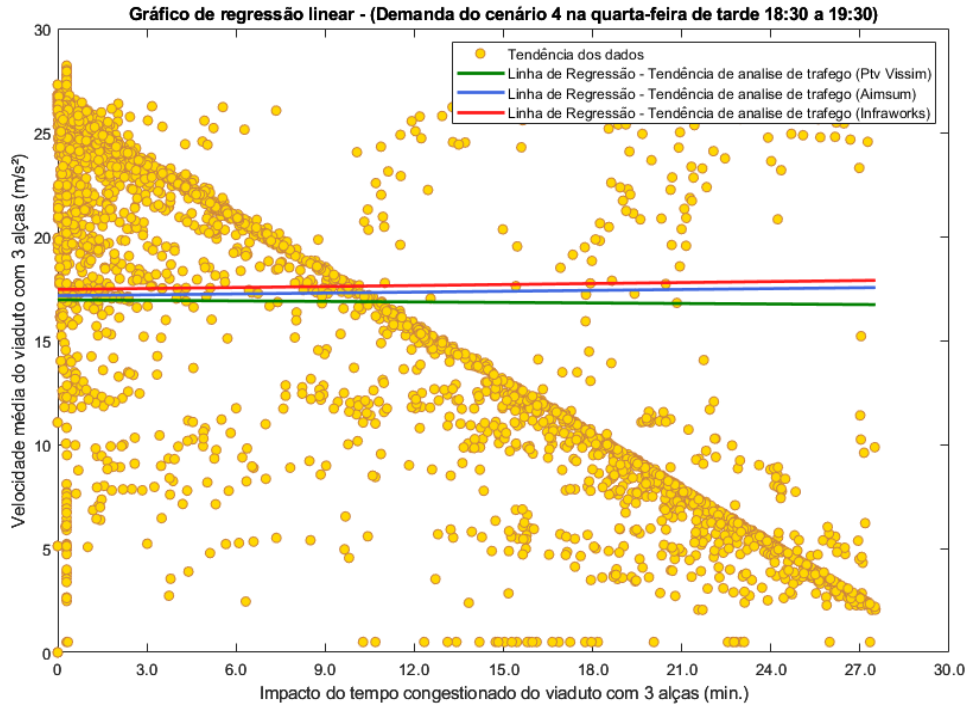


Fig. 7: Análise do pior caso cenário nos softwares PTV Vissim, Aimsun e Infracworks (Autores, 2024)

As principais características destacadas foram: capacidade de potencial de entrega e resultados possíveis de cada software; pontos positivos do software quando comparado com os demais e pontos de evolução que, na análise dos autores, poderiam ser alterados para melhorar a sua operabilidade por profissionais da área. A Tabela 1 mostra esses pontos em uma análise macro de cada um deles.

Tabela 1 – Análise macro de características dos simuladores de tráfego (Autores, 2024)

Software	Capacidade	Pontos Positivos	Pontos de Evolução
Aimsun	Simulação de tráfego urbano e rodoviário	Possui uma ampla gama de recursos para modelagem e análise de tráfego	Pode exigir um período de aprendizado inicial para utilizar todas as funções
PTV Vissim	Simulação de tráfego em áreas urbanas e rodovias	Oferece uma interface amigável e intuitiva	Pode ser menos flexível em comparação com outros softwares simuladores
Autodesk Infracworks	Simulação de tráfego em projetos de infraestrutura	Integração BIM com outros softwares da Autodesk para projetos de infraestrutura	Pode ser mais complexo para usuários inexperientes



A Tabela 2 apresenta uma análise das ferramentas e recursos que estão disponíveis dentro de cada um dos softwares, o que permite aos profissionais da área identificarem aquele que é mais aplicável para cada demanda no estudo de tráfego e mobilidade.

Tabela 2 – Funcionalidade dos simuladores de tráfego (Autores, 2024)

Funcionalidades	Aimsun	PTV Vissim	InfraWorks
Modelagem detalhada de redes viárias	Sim	Sim	Sim
Simulação de tráfego	Sim	Sim	Sim
Simulação de tráfego em tempo real	Sim	Sim	Não
Comportamento realista dos veículos	Sim	Sim	Sim
Análise de capacidade e desempenho das vias	Sim	Sim	Sim
Simulação de cenários de planejamento	Sim	Sim	Sim
Integração com sistemas de controle de tráfego	Sim	Sim	Não
Modelagem de transporte público	Sim	Sim	Sim
Análise de interseções e semáforos	Sim	Sim	Sim
Análise de emissões e impacto ambiental	Sim	Sim	Não
Simulação de comportamento de pedestres	Sim	Sim	Não
Importação de dados geoespaciais	Sim	Sim	Sim
Visualização 3D e criação de cenários	Sim	Sim	Sim
Ferramentas de otimização e análise de resultados	Sim	Sim	Não
Suporte a estudos de segurança viária	Sim	Sim	Sim
Geração de relatórios e apresentações	Sim	Sim	Sim
Análise de demanda e alocação de viagens	Não	Sim	Sim
Simulação de veículos autônomos	Não	Sim	Não
Integração com outros <i>softwares</i>	Não	Não	Sim
Facilidade para desenvolvimento do projeto	Sim	Sim	Sim



5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao término da análise comparativa, cada software oferece suas particularidades, com pontos positivos e pontos de evolução que foram avaliados. O cenário mais favorável seria onde os softwares pudessem ter uma integração dos dados e permitir interface com as plataformas BIM, desta forma facilitando comparações como a realizada. O PTV Vissim e o Aimsun não oferecem interface com o BIM. A exceção é o software InfraWorks, que já oferece esta interface.

Considerou-se que o resultado deste estudo é um framework de trabalho que pode ser replicado para outras simulações de forma sistemática. Desta forma, criando uma ontologia de como comparar resultados de simulações de tráfego a fim de identificar os cenários mais eficientes para a realidade de cada cidade, não se limitando à ótica de apenas um software. Pensando nas Cidades Inteligentes, essa integração de dados supracitada levaria as gestões públicas a longas distâncias em termos de facilitação das iniciativas “smart”, que precisam de comunicação entre si para trazer eficiência ao tráfego e mobilidade.

Ademais, o PTV Vissim é o software mais completo frente aos demais, apresentando todas as funcionalidades analisadas. O Aimsun tem qualidade semelhante ao PTV Vissim, porém apresenta limitações em determinadas análises. O principal ponto positivo do software InfraWorks é sua capacidade de relacionamento com o BIM (ausente nos demais).

6 AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig).

7 REFERÊNCIAS

- Aimsun (2024). **Digital mobility solutions**. Disponível em: <https://www.aimsun.com/>. Acesso em: 18 abril 2024.
- ANTONIOU, P., CHARALAMBOS, S., VASSILIOU, V. (2014). **Congestion Control Protocols in Wireless Sensor Networks: a survey**. Department of Computer Science, University of Cyprus, Cyprus
- AUTODESK, Infraworks: **modelo conceitos de projeto de infraestrutura e construção com o contexto do mundo real**. Disponível em: <https://www.autodesk.com.br/products/infraworks/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>. Acesso em 15 jun. 2023.
- AVRAMOVIC, S., JOHNSSON, E. (2017). **Evaluation of Autodesk Infraworks 360 and PTV Vissim**. 2017. 85f. Dissertação de Mestrado (Programa de Mestrado em Infraestrutura e Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Tecnologia de Chalmers, Gothenburg,
- BARCELÓ, J. (2012). **Fundamentals of Traffic Simulation**. **International Series in Operations Research & Management Science**, New York, Ed. Springer.
- DELANEZE, M., RIEDEL, P. S., MARQUES, M. L., FERREIRA, M. V. (2014). **Modelagem dinâmica espacial para o monitoramento do crescimento urbano no entorno do Duto Orbel**. Revista Brasileira de Cartografia, São Paulo, n. 66/3, pp. 473-484.
- HALMLMANN, H. V. (2011). **Comparação entre Softwares Simuladores de Trânsito**. 2011. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Ciência da Computação) – Instituto de Informática, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.



KAWAMOTO, Eiji. (2010) **Análise de Sistemas de Transportes**. São Carlos: EdUSP.

LOPEZ, P. A. et al. (2018). **Microscopic Traffic Simulation using SUMO**, 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Maui, HI, USA, pp. 2575-2582.

PORTUGAL, L.S. (2005). **Uso de Micro-simulador na Análise de Desempenho Viário em Redes com Pólos Geradores de Viagens**. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PTV Group (2024). **PTV VISSIM: Multimodal Traffic Simulation Software**. Disponível em: <https://www.ptvgroup.com/en/products/ptv-vissim>. Acesso em: 18 abril 2024.

RONALDO, A., ISMAIL, M. (2012). **Comparison of the Two Micro-Simulation Software Aimsun and SUMO for Highway Traffic Modelling**. Linköping University. Suécia.

SENNA, L. A. dos S. (2014). **Economia e Planejamento dos Transportes**. [S.l.]: Elsevier Brasil.

TETTAMANTI, T., VARGA, I. (2012). **Development of road traffic control by using integrated VISSIM-MATLAB simulation environment**. Periodica Polytechnica Civil Engineering, 56(1), p.43. doi:<https://doi.org/10.3311/pp.ci.2012-1.05>.