

MODELO DE SIMULAÇÃO PARA MELHORIA DO TRANSPORTE PÚBLICO NO CAMPUS CUASO

Augusto Pereira

augusto.pereira@genoads.com.br

João Ribas

joao.ribas@genoads.com.br

Afonso Medina

afonso.medina@genoads.com.br

Renata Rodrigues

renata.rodrigues@genoads.com.br



O tema da mobilidade urbana possui extrema importância, tanto para grandes cidades, quanto para microssistemas como o campus da Universidade de São Paulo em São Paulo/SP. No campus, um grande número de pessoas, dentre alunos, docentes e servidores, utilizam o transporte público para acessar e sair do campus diariamente. Entretanto, as linhas de ônibus que circulam no campus não apresentam níveis de serviço adequados durante alguns períodos do dia. Este trabalho apresenta um modelo de simulação computacional que pode ser utilizado como uma ferramenta para se analisar novas configurações das linhas de ônibus existentes, bem como a implementação de novas linhas. O modelo foi desenvolvido utilizando-se o software de simulação multiparadigma AnyLogic. Os resultados obtidos mostram que é possível elevar os níveis de serviço sem a necessidade de aumento da frota de ônibus, por meio da realocação dos ônibus utilizados e da criação de uma nova linha.



Palavras-chave: Mobilidade, Simulação multiparadigma, ANYLOGIC, Universidade de São Paulo

1. Introdução

Um dos temas de crescente relevância no estudo e planejamento urbano é a mobilidade. Esse tema merece atenção tanto em sistemas grandes e complexos, como os das maiores metrópoles do mundo, quanto em microssistemas, a exemplo do campus da Universidade de São Paulo (USP), localizado na cidade de São Paulo.

Atualmente, o serviço de transporte público prestado à universidade é ineficiente, gerando filas nos pontos de ônibus, atrasos no sistema e superlotação, entre outros problemas. Como forma de amenizar tais problemas, a frota de ônibus circulares aumentou de 14 para 18. Entretanto, os problemas persistem e são evidenciados nos horários de pico.

É neste cenário de deficiência do sistema de transporte público que se dá o presente trabalho. Utilizando como base os dados coletados da oferta e demanda do sistema de transporte na USP, propõe-se um modelo de simulação que possibilita a avaliação de cenários de configurações das linhas que atendem o campus, visando uma melhoria no nível de serviço percebido pelos usuários. O modelo de simulação proposto foi desenvolvido utilizando o *software* AnyLogic (ANYLOGIC, 2017).

O restante deste trabalho está dividido da seguinte forma. A seção 2 descreve o modelo de simulação proposto. A seção 3 traz os resultados obtidos. Finalmente, a seção 4 apresenta as conclusões obtidas.

2. Modelo de simulação proposto

2.1 Modelagem conceitual

O modelo conceitual desenvolvido para este projeto, seguindo a recomendação de CHWIF; MEDINA, 2006, consiste em quatro elementos principais:

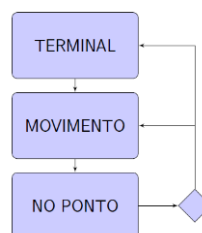
- Ônibus: agente central do modelo, que deve ser capaz de tomar decisões próprias, como decidir qual o próximo ponto de ônibus em que pode parar e se permite o embarque de novos passageiros ou não, de acordo com um parâmetro de capacidade;

- Passageiro: não necessita tomar nenhuma decisão, é suficiente que contenha um par origem-destino e um horário de chegada no ponto;
- Ponto de ônibus: elemento geográfico que especifica os locais permitidos de parada dos ônibus e locais de agregação dos passageiros, absolutamente passivo, não requer nenhuma lógica de tomada de decisão;
- Departamento: elemento geográfico que deve conter informações para geração de demanda de passageiros nos pontos, tanto origem quanto destino dependendo da hora do dia.

O ônibus é o agente principal do modelo e, portanto, é composto de parâmetros de entrada suficientes para representar toda as características relevantes do veículo na rota e um fluxo de estados que defina todos os estados possíveis de um ônibus em operação, conforme apresentado no fluxograma da Figura 1. Nesta figura, observam-se os estados que podem ser assumidos pelo ônibus:

- Terminal: estado em que o ônibus se encontra parado aguardando sua liberação no terminal, recebe o sentido e lista de pontos de ônibus que deve percorrer;
- Movimento: estado em que o ônibus percorre uma trajetória ente dois pontos consecutivos de sua rota, definida por marcadores GIS, com velocidade estocástica definida por uma distribuição probabilística, velocidade média ou velocidade entre trechos;
- No ponto: estado em que o ônibus está carregando ou descarregando passageiros no ponto de ônibus com uma demanda horária definida pela localização do ponto de acordo com os departamentos próximos.

Figura 1 - Fluxograma dos estados do ônibus



Fonte: autoria própria

Os parâmetros necessários para a descrição do ônibus são: capacidade, linha, sentido, ocupação e cronograma de atuação durante o dia.

O passageiro contém informações sobre sua origem e seu destino, associados com o horário do dia, e um parâmetro de resiliência no aguardo pelo ônibus. Este parâmetro foi estimado a partir do tempo de ciclo contratual do ônibus, sendo equivalente a meio ciclo. Considera-se que a chegada dos passageiros aos pontos de ônibus obedece a uma distribuição triangular de probabilidades.

Os parâmetros que descrevem o passageiro são:

- Origem;
- Destino;
- Hora de chegada no ponto/terminal;
- Tempo de desistência.

O ponto de ônibus contém informações sobre sua posição, passageiros em espera e um parâmetro de tempo de embarque e desembarque em função do número de passageiros em espera para embarque e número de passageiros vindo de ônibus para desembarque.

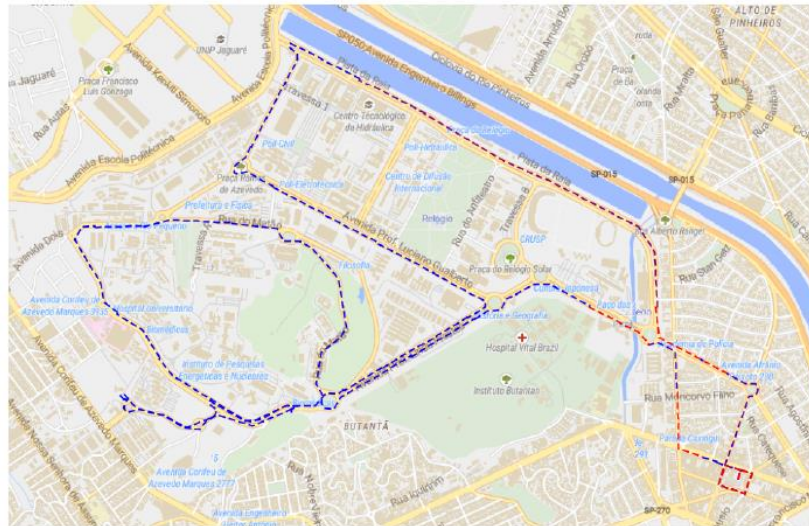
- Parâmetros do ponto de ônibus são:
- Latitude/Longitude;
- Departamentos próximos;
- Posição sequencial nas rotas dos ônibus;
- Passageiros em espera;
- Tempo de embarque e desembarque por faixa de horário.

O departamento é o gerador de demanda, com horários de chamada de passageiros e horários de liberação de passageiros, baseados na grade horária de cada departamento. A demanda é o único parâmetro deste elemento.

O modelo considera que todos esses elementos são agregados em um mapa GIS (*Geographic Information System*) que insere os elementos estáticos em posições pré-

determinadas e elementos dinâmicos em trajetórias previamente definidas, entre os elementos estáticos.

Figura 2 - Mapa GIS do campus da USP utilizado



Fonte: autoria própria

2.2 Software de simulação

A seleção do *software* AnyLogic deu-se pela possibilidade de utilização de mais de um método de simulação de forma integrada (BORSCHEV; FILIPPOV, 2014). A capacidade de inserir um agente ativo em um fluxo de processos permite simular o carregamento e o descarregamento dos ônibus com passageiros passivos ao mesmo tempo em que permite tornar o ônibus, objeto central do modelo, um agente com tomadas de decisão próprias.

2.3 Cenários estudados

Foram estudados dois cenários: de validação e de melhorias. O primeiro tem como objetivo verificar a coerência do modelo de simulação computacional com o sistema real. Já o segundo cenário busca propor melhorias ao sistema simulado. Em trabalhos na área de simulação, é comum o estudo de um cenário de capacidade, isto é, estudar a capacidade máxima de movimentação do sistema. Este trabalho, no entanto, não almeja avaliar a

capacidade máxima do sistema, mas sim o nível de serviço obtido com a demanda atual. Assim, o cenário de capacidade não foi abordado.

3. Resultados obtidos

3.1 Dados

Os dados foram obtidos principalmente de duas fontes: do contrato firmado entre a USP e a SPTrans (SPTRANS, 2017) e do *site* Olho Vivo (OLHO VIVO, 2017), plataforma de monitoramento dos ônibus em tempo real da SPTrans. As principais informações extraídas do contrato são o número de ônibus (oito para cada linha, totalizando 16) e o tempo médio de ciclo (60 minutos). Já do *site* Olho Vivo, foram extraídos dados referentes à posição geográfica dos ônibus, linhas e rotas.

Os dados referentes aos passageiros foram coletados no anuário estatístico da USP (ANUARIO, 2017) referentes ao número de alunos por unidade e por período do dia. De posse das informações acerca dos alunos, adota-se que os demais fluxos (funcionários, professores e demais usuários) se distribuem de forma análoga a dos alunos, servindo de base para o estudo.

Sabe-se que a adoção de transporte público varia de unidade para unidade, inclusive com bolsões de estacionamento com tamanho variado pelo campus e que parte dos usuários provém das moradias estudantis. Neste trabalho, no entanto, ambos os casos foram desconsiderados, sendo adotada a premissa de que a distribuição de usuários dos circulares é homogênea pela universidade e que todos têm como origem o Portão 3 (P3) ou o terminal Butantã (metrô), na proporção de 70% via Metrô e 30% via P3. Trânsitos internos, como entre unidades e restaurantes universitários, não foram analisados por falta de dados.

Os dados referentes aos horários de aulas foram extraídos do sistema JupiterWeb (JUPITER, 2017). Adotou-se que as aulas possuem tamanhos uniformes, sendo o número de alunos na unidade proporcional ao número de disciplinas sendo lecionadas naquele horário. Também foi considerado que, no período com maior número de disciplinas, todos os alunos regularmente matriculados na unidade estão em sala de aula. Desta forma, é possível encontrar uma aproximação para o número de alunos ao longo do dia em cada unidade, como ilustrado na Figura 3. Como pode ser observado, o número de alunos varia ao longo do dia em

patamares, sendo possível definir impulsos de entrada e saída necessários para que se atenda esse comportamento, como na Figura 4. Vales por curtos espaços de tempo entre patamares, como pode ser visto na curva da EP, são ignorados por terem sido considerados intervalo entre aulas - portanto, sem movimentação de estudantes.

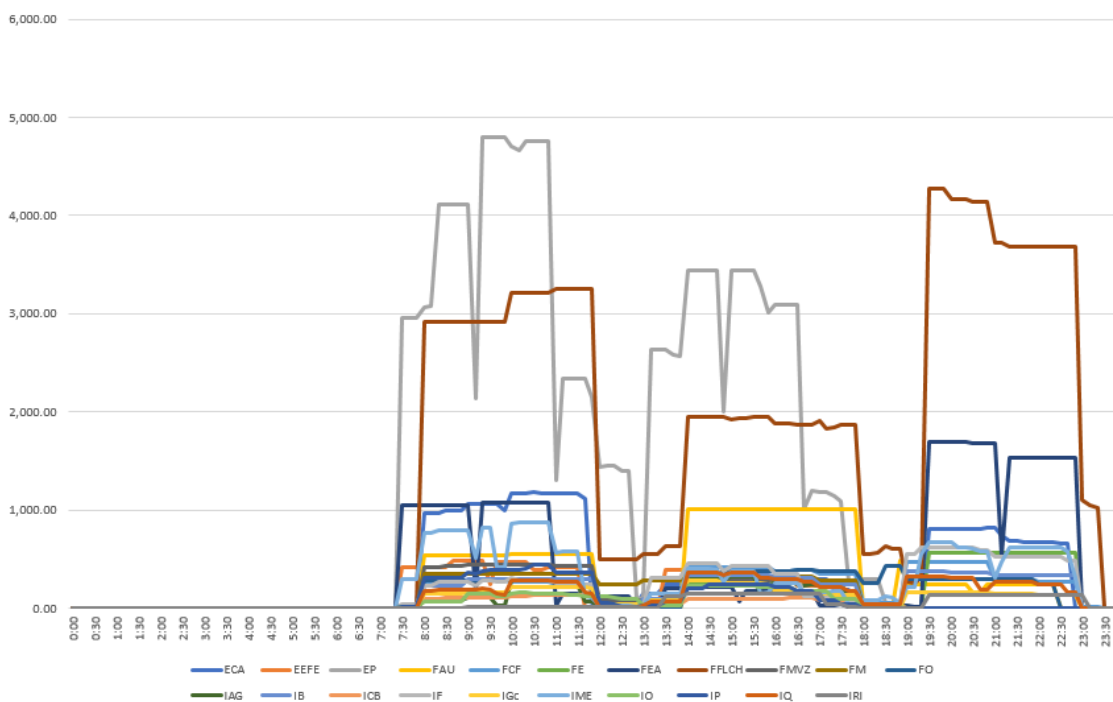
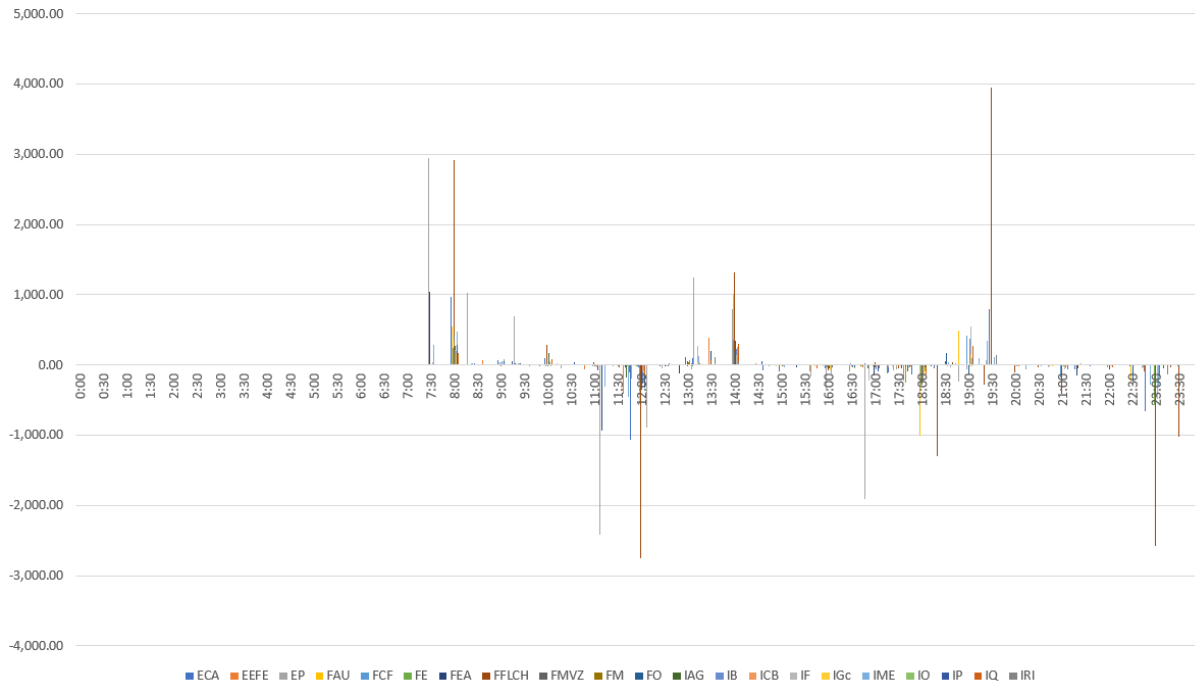


Figura 3 - Número de alunos por unidade distribuídos ao longo do dia

Fonte: autoria própria

Devido ao grande volume de dados coletados referentes às posições dos ônibus da frota, uma estrutura de dados MySQL foi criada. Para tal, utilizou-se o *software* gratuito WampServer (BOURDON, 2017).

Figura 4 - Impulso de chegada e saída de alunos por unidade ao longo do dia



Fonte: autoria própria

A chegada e saída dos passageiros aos pontos foram formuladas como distribuições probabilísticas triangulares. Considerou-se que os passageiros chegam ao sistema com antecedência máxima de 90 minutos, com moda em 30 minutos de antecedência e antecedência mínima de 15 minutos. Para a saída, após as aulas, foi considerado que os alunos podem sair de 12 minutos antes do término das aulas e até 60 minutos depois do término, com moda em 15 minutos após o fim das aulas.

3.2 Resultados – cenário de validação

Os resultados da validação serão avaliados em comparação com os dados de atendimento de passageiros por hora disponibilizados pela SPTrans. Além disso, serão utilizados dois resultados do cenário de validação com melhor aderência aos dados originais

para comparar o nível de serviço do sistema atual e após a implantação de melhorias propostas:

- Estatísticas referentes ao tempo de permanência do passageiro no sistema - contagem de passageiros atendidos, média, mínimo, máximo e desvio padrão;
- Histograma de ocupação dos ônibus, a fim de avaliar o conforto do transporte – menores ocupações médias propiciam um transporte de maior conforto.

Com o intuito de aproximar o mais fidedignamente possível o processo real, a velocidade dos ônibus foi modelada de três formas diferentes: velocidade média única para todo o dia, velocidades médias horárias diferentes ao longo do dia, velocidade média definida por uma distribuição probabilística e velocidade média para trechos e horários do dia.

Observou-se que a última abordagem apresentou o comportamento esperado pela curva de atendimento de passageiros por hora, fornecendo um número de passageiros por hora mais elevado nos picos e mais reduzido nos vales do que a curva original. O intervalo de horas de pico também coincidiu com os horários da curva original (6h – 9h, 11h – 13h e 16h – 18h). Como no modelo de velocidades médias por hora os picos apresentados são maiores, resultados de uma possibilidade de número de viagens maior que a frota original, devido a tempos de ciclo verificados na prática menores que os previstos em contratos. Limitações no número de viagens e dados reais sobre a chegada de alunos refinariam o resultado neste cenário.

Esse cenário será utilizado para a implementação dos cenários de melhoria pelos trechos identificados como problemáticos na análise de dados. Como o modelo considera trechos diferentes com velocidades diferentes, é esperado que na montagem de novas rotas ele se aproxime mais da realidade, permitindo maior sensibilidade ao efeito do trânsito existente no trajeto.

3.3 Resultados – cenários de melhoria

Os cenários de melhoria visam avaliar os ganhos para o sistema ao se inserir uma nova linha circular, que atenda às Unidades da USP de maior demanda por transporte: EPUSP

e FFLCH. A linha, chamada de 8032, utilizará as mesmas velocidades que as outras duas linhas circulares (8012 e 8022) em trechos equivalentes.

Para que o impacto do atendimento seja medido de forma coerente, o tamanho da frota total de circulares permanecerá inalterado, sendo feito remanejamento de veículos de uma linha para outra, sem adição de novos veículos. Atualmente, as linhas 8012 e 8022 contam com nove ônibus cada. O contrato estabelece um número de viagens baseado no número de veículos. Verifica-se que em horários de picos há um número de viagens tal que a frota inteira seja utilizada ininterruptamente. O mesmo critério foi utilizado na linha 8032, de forma que um menor tempo de ciclo permita um número maior de viagens.

A redução dos ônibus das linhas 8012 e 8022 para oito veículos e a subsequente inserção de dois ônibus na linha 8032 fizeram com que parte da demanda das linhas originais fosse redirecionada. O atendimento total sofreu elevação de 5% em comparação ao resultado do cenário de validação. Houve redução do tempo médio do passageiro no sistema de 5% em comparação com a média do cenário de validação. O atendimento neste cenário é ilustrado na *Figura 5* e o tempo do passageiro descrito na *Tabela 1*.

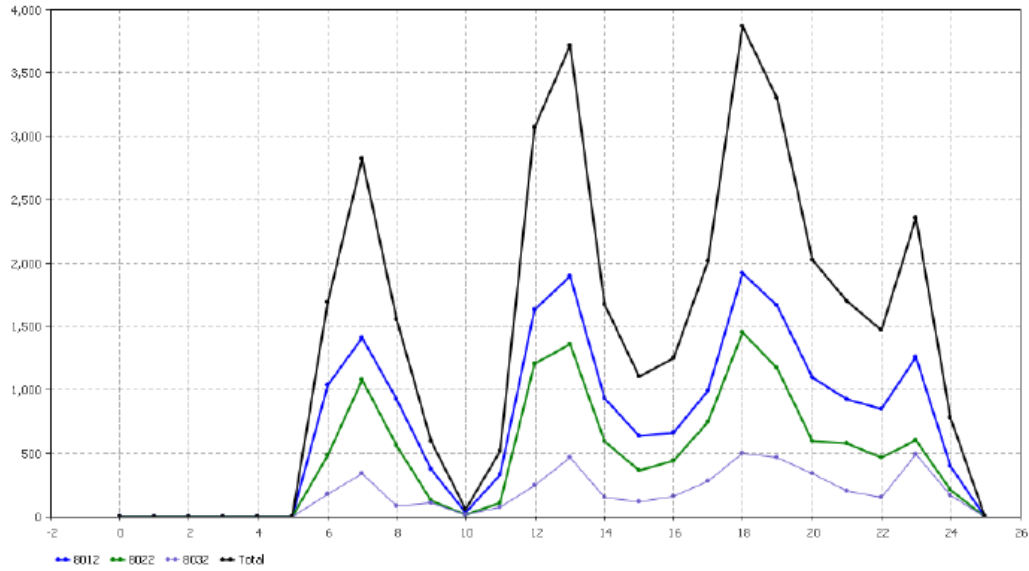
Tabela 1 - Tempos dos passageiros considerando dois trens na linha 8032

Contagem de passageiros (#)	35582
Tempo médio (min)	26,6
Tempo mínimo (min)	2,6
Tempo máximo (min)	12,4

*O próximo conjunto de resultados avalia se o aumento da frota de ônibus 8032 melhora os níveis de serviço obtidos com dois ônibus na linha. A evolução da distribuição da frota nas linhas para sete, sete e quatro ônibus para as linhas 8012, 8022 e 8032, respectivamente, produziu resultados com melhoria do nível de serviço em relação ao obtido no primeiro cenário de melhoria. O número de passageiros atendidos foi superior ao primeiro cenário de melhoria, chegando ao aumento de 8% da capacidade do sistema e redução de 9% no tempo médio de viagem. O atendimento neste cenário é ilustrado na *Figura 6* e o tempo do passageiro descrito na*

Tabela 2.

Figura 5 - Resultado de atendimento utilizando dois ônibus na linha 8032

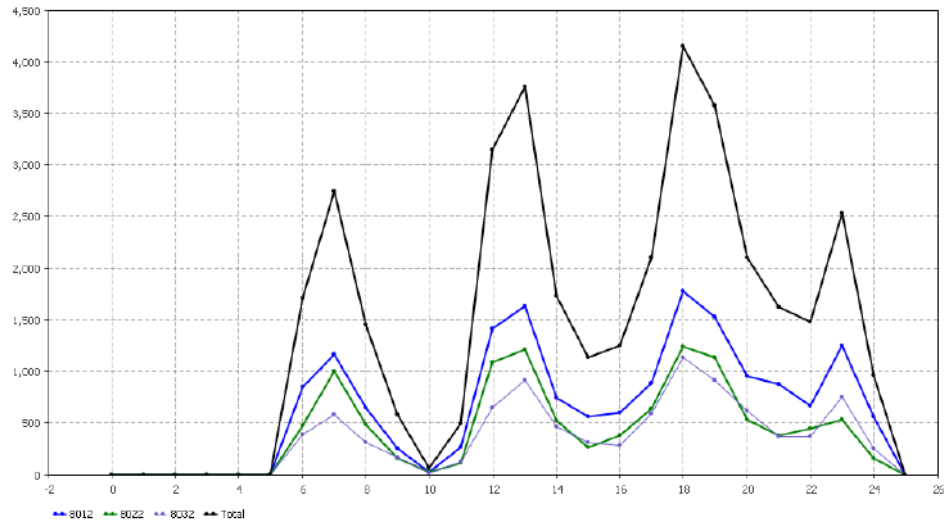


Fonte: autoria própria

Tabela 2. Tempos dos passageiros considerando quatro trens na linha 8032.

Contagem de passageiros (#)	36661
Tempo médio (min)	25,4
Tempo mínimo (min)	2,6
Tempo máximo (min)	63,9

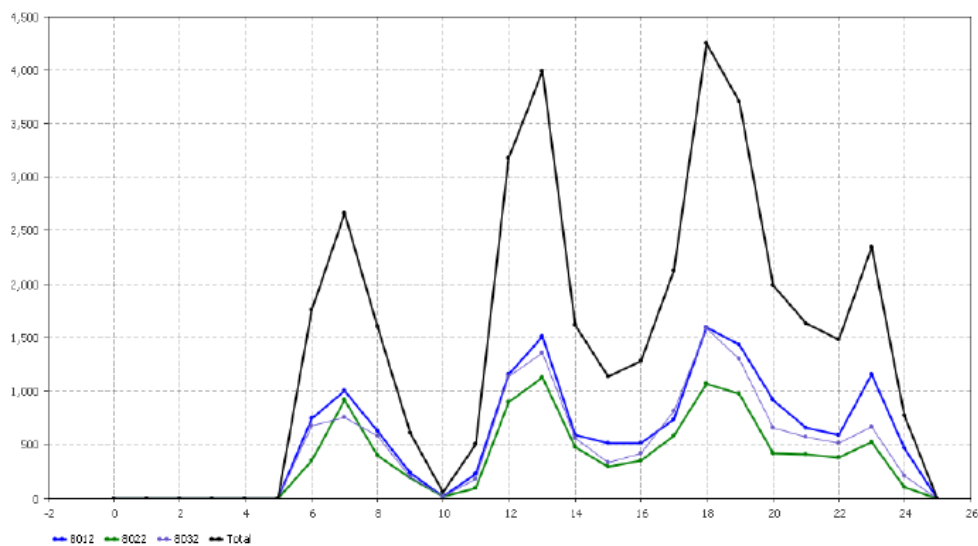
Figura 6 - Resultado de atendimento utilizando quatro ônibus na linha 8032



Fonte: autoria própria

Finalmente, avaliou-se o impacto de uma distribuição igualitária dos ônibus entre as linhas (seis ônibus para cada linha). Houve uma melhoria de 9% na capacidade do sistema e uma redução de 12% no tempo médio de deslocamento, conforme detalhado na Tabela 3.

Figura 7 - Resultado de atendimento utilizando 6 ônibus na linha 8032



Fonte: autoria própria.

Tabela 3 - Tempos dos passageiros considerando seis trens para cada linha

Contagem de passageiros (#)	36749
Tempo médio (min)	24,5
Tempo mínimo (min)	2,3
Tempo máximo (min)	63,1

4. Conclusões

O presente trabalho apresentou uma metodologia de estudo de sistemas de transporte público por ônibus que se destaca pelo volume de dados analisados e pela abrangência dos resultados. A metodologia proposta consiste em aquisição e tratamento de grandes volumes de dados, incluindo o desenvolvimento das ferramentas computacionais e algoritmos para correção de erros captados nos dados brutos e desenvolvimento de um modelo de simulação multimétodo utilizando-se o *software* AnyLogic, capaz de reproduzir a interação entre os diferentes elementos do sistema de transporte.

A metodologia foi aplicada ao problema do transporte na Cidade Universitária Campos Armando Salles de Oliveira (CUASO), sede do campus paulistano da Universidade de São Paulo (USP).

O sistema foi simulado com parâmetros atuais a fim de verificar sua validade, resultando em curvas de atendimento de passageiros por hora do dia e por linha, comparáveis a uma curva análoga gerada com dados originais da SP-Trans. Verificou-se, portanto, que o modelo pode ser utilizado para análises qualitativas de viabilidade de alterações do sistema de transporte da CUASO no que diz respeito ao número de passageiros e para análises quantitativas no que diz respeito ao nível de serviço praticado pelo sistema.

Com a validação concluída, foi proposta a implementação de uma nova linha de circulares (nomeada de 8032) para atendimento das regiões da CUASO com maior demanda, mas sem aumento da frota total por meio do remanejamento de ônibus das linhas 8012 e 8022. A rota proposta para a nova linha é menor do que as demais, reduzindo o tempo de ciclo e aumentando a oferta de transporte na região contemplada pela nova rota. Verificou-se que a

rota se apresenta como uma solução viável ao problema de mobilidade da CUASO, aumentando a oferta de transporte mesmo sendo mantido o mesmo tamanho de frota. Utilizando a demanda redistribuída entre as linhas como parâmetro de análise de viabilidade da nova linha, foi possível propor uma relação entre quantidade de veículos por linhas que aumentou a oferta de transporte em 9%, reduzindo o tempo de permanência médio do passageiro no sistema em 12%.

A continuidade do estudo de mobilidade na CUASO faz-se necessária, a fim de se aprimorar a metodologia proposta e fornecer elementos de apoio à tomada de decisão aos gestores do transporte público da Prefeitura do campus. As possibilidades de melhoria da metodologia são mais visíveis na modelagem de variáveis subjetivas, não utilizadas nessa etapa de desenvolvimento da metodologia - especialmente variáveis de tomada de decisão dos usuários do sistema para determinação do par origem-destino e seleção de linha. Por fim, a metodologia proposta fornece ferramentas para futura expansão do escopo do trabalho, permitindo a integração do modelo de simulação com modelos de otimização (de rota, tamanho de frota, agendamento das partidas, entre outros) e a análise de interação com outros elementos da rede de transportes na CUASO (outros modais e implementação de linhas municipais convencionais).

REFERÊNCIAS

- Anuário de controle: alunos de graduação distribuídos pelas unidades e cursos. Disponível em: <[https://uspdigital.usp.br/anuario/AnuarioControle#/>. Acesso em: 13 mai. 2017.](https://uspdigital.usp.br/anuario/AnuarioControle#/)
- ANYLOGIC. Version 8.0.5. São Petesburgo: [s.n.], 2017. Disponível em: <[https://www.anylogic.com/>.](https://www.anylogic.com/)
- BORSHEV, A.; FILIPPOV, A. In: International Conference of the System Dynamics Society, 2004, Oxford/Inglaterra. From system dynamics and discrete event to practical agent based modeling: Reasons, techniques, tools, 2004.
- BOURDON, Romain. **WampServer**: Apache, PHP, MySQL on Windows. Version 2.2. 2017. Disponível em: <[http://www.wampserver.com/en/>. Acesso em: 18 jan. 2017.](http://www.wampserver.com/en/)
- CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. Modelagem e simulação de eventos discretos. Afonso C. Medina, 2006.
- Jupiter Web. Disponível em: <[https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/>. Acesso em: fev. 2017.](https://uspdigital.usp.br/jupiterweb/)
- Olho Vivo: SPTrans. Disponível em: <[http://olhovivo.sptrans.com.br/>. Acesso em: 12 jul. 2017.](http://olhovivo.sptrans.com.br/)
- SPTRANS. Disponível em: <[http://www.sptrans.com.br/>. Acesso em: 15 ago. 2017.](http://www.sptrans.com.br/)



XXXVIII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

"A Engenharia de Produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil"

Maceió, Alagoas, Brasil, 16 a 19 de outubro de 2018.