

BRUNO BINOTTO MASSARO
CELSO GABRIEL DE AZEVEDO
FLÁVIO DE FALCÃO E HELENA
LUIZ GUILHERME POSSETTI

**Estudo da Rede da Madrugada de Ônibus da Cidade de São Paulo –
Proposta de modelo de substituição por sistema de *ridesharing***

Trabalho de Formatura do curso de Engenharia Civil
da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

Orientador:

Prof. Dr. Cláudio Barbieri da Cunha

SÃO PAULO, DEZEMBRO DE 2018

Agradecimentos

Agradecemos primeiramente ao professor Cláudio Barbieri, que com gentileza e atenção aceitou nos orientar nesse trabalho e nos deu conselhos e pontos de vista valiosos.

Agradecemos também a Renato Arbex e Priscila Costa, que estiveram sempre que possível presentes, auxiliando não só com orientação, mas também com o fornecimento de materiais de pesquisa de qualidade e experiência acadêmica e profissional.

Agradecemos às nossas famílias e aos nossos amigos, que nos permitiram manter a calma e tranquilidade durante o desenvolvimento desse trabalho.

Success consists of going from failure to failure without loss of enthusiasm.

(Winston Churchill)

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo-na-publicação

Estudo da Rede da Madrugada de Ônibus da Cidade de São Paulo - Proposta de modelo de substituição por sistema de ridesharing / Volte e preencha o campo Autor, B. Massaro, C. Ribeiro, F. Helena, L. Possetti -- São Paulo, 2018.

52 p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1.Ridesharing 2.Transporte Publico 3.Integracao 4.Subsidio
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II.t. III.Massaró, Bruno IV.Ribeiro, Celso V.Helena, Flavio VI.Possetti, Luiz

Resumo

A rede de ônibus da madrugada de São Paulo apresentou em 2017 custo médio subsidiado de R\$8,05 por passageiro, o que representa valor superior a duas tarifas. Ao se discretizar o sistema por linhas e entender o custo por passageiro, foram encontradas três linhas com subsídio acima de R\$70,00 por passageiro, o que é um cenário preocupante tendo em vista que esse é um serviço pago por todos cidadãos por meio da tributação. O trabalho atual encontrou os principais gargalos do sistema, propôs simulação de custos com uso de transporte responsivo à demanda (Uber) e propôs um modelo que identifique as linhas que podem ser substituídas, chegando em um valor final de economia para os cofres públicos.

Palavras-chave: ridesharing, transporte público, integração, subsídio

Abstract

The São Paulo night bus transit system presented in 2017 an average subsidized cost of R\$ 8.05 per passenger, which represents an amount higher than two tariffs. When discretizing the system by lines and understanding the cost per passenger, three lines with a subsidy above R\$ 70.00 per passenger were found, which is a worrying scenario considering that this is a service paid by all citizens through taxes. The current work has found the main bottlenecks of the system, proposed cost simulation using demand-responsive transport (Uber) and proposed a model that identifies the lines that can be replaced, coming to at a final value of around 8% of savings for the public coffers.

Keywords: ridesharing, transit system, integration, subsidy

Sumário

1.	Introdução	1
1.1.	Objetivos.....	2
1.2.	Justificativa.....	2
1.3.	Metodologia.....	3
1.4.	Estrutura do Relatório.....	3
2.	Revisão Bibliográfica	5
2.1.	Revisão de trabalhos realizados.....	7
3.	Metodologia.....	11
3.1.	Cálculo do custo do sistema noturno de ônibus.....	11
3.2.	Análise dos resultados e determinação das linhas para análise	14
4.	Análise de bilhetagem e de ocupação das linhas	17
4.1.	Análise da bilhetagem e composição das matrizes OD	17
4.2.	Análise da ocupação ao longo do trajeto das linhas	19
4.3.	Cálculo das distâncias médias percorridas por passageiro	22
4.4.	Análise da validade da agregação de passageiros em Uber.....	24
5.	Análise e Simulação: Substituição de Linhas Noturnas por um Sistema Responsivo à demanda (DRT – UBER).....	26
6.	Conclusão	36
7.	Referências Bibliográficas.....	39
8.	Anexos.....	42

1 Introdução

Um sistema de transporte público de qualidade e eficiente é função básica de uma cidade. O oferecimento desse sistema, mesmo que atrelado a diversas características limitantes, deve ser garantido pelo governo e sempre atualizado para que reflita as necessidades da população. "Uma tarifa justa de transporte público coletivo é crucial para a realização da missão do serviço de transporte em uma sociedade desigual como a brasileira, que é garantir o acesso universal às oportunidades presentes na cidade, as quais contribuem para com o rompimento da reprodução intergeracional da pobreza mediante a oferta de empregos, aperfeiçoamento profissional, acesso à educação, aquisição de cultura geral.", como afirma SILVEIRA (2013).

A otimização de custos de infraestrutura de transportes deve ser regida pelo equilíbrio entre oferta e demanda. No caso dos serviços públicos, esse equilíbrio é mais sensível por conta da responsabilidade do Estado em prover uma infraestrutura mínima necessária para a população. No entanto, busca-se equilibrar duas variáveis principais no planejamento de um sistema de transporte público: a qualidade (tempo de espera, qualidade dos veículos, etc.) e os custos de infraestrutura para manter o funcionamento desse sistema. Duas perguntas são naturais dentro desse contexto: qual é o ponto de equilíbrio dessas duas variáveis? Há uma maneira distinta de se servir a população com esse serviço essencial em casos específicos, tendo em vista o avanço da tecnologia aplicada aos transportes nos últimos anos?

1.1. Objetivos

O presente trabalho estuda a viabilidade de substituição de linhas de ônibus noturnas subutilizadas por serviços de transporte responsivo à demanda, com foco nos sistemas de *ridesharing*, tecnologias que surgiram e ganharam muito espaço no mercado nos últimos anos. O objetivo deste estudo é identificar linhas de passageiros na Rede de ônibus da Madrugada de São Paulo com características adequadas para a substituição por serviço de *ridesharing* e simular a economia proporcionada para o sistema a partir dessa substituição.

1.2. Justificativa

O tema de substituição e integração da tecnologia de *ridesharing* ao sistema de transporte público tem sido estudado em muitos países. Pesquisas recentes na Alemanha (Friedrich Et al., 2017), Suíça (Jamal Et al., 2017), Reino Unido (Tilahun, 2016), entre muitos outros países indicam que existe uma possibilidade grande de aumento de eficiência e diminuição de gastos nessa integração, proporcionando também maior conforto e segurança aos usuários.

Além disso, os dados da SPTrans mostram que cada passageiro do sistema de transporte noturno custa em média R\$8,05 para o sistema. sendo esse valor maior se consideradas apenas as linhas que transportam pequena quantidade de passageiros. O subsídio das linhas noturnas supera consideravelmente o das linhas diurnas (cerca de R\$2,67, segundo estimativas da prefeitura) e isso torna-se um problema não apenas estrutural como também de cunho econômico e social.

Nesse contexto, torna-se importante identificar as linhas mais deficitárias, entender a razão desse déficit e encontrar uma solução coerente para que os usuários que delas necessitam não deixem de serem servidos por um sistema que conte tanto com qualidade quanto com eficiência.

1.3. Metodologia

Para estudo do tema, em primeiro lugar são analisadas as 150 linhas da Rede de ônibus da Madrugada de São Paulo e toda a demanda e custos referentes ao ano de 2017, com foco em determinar as regiões e linhas mais deficitárias, focando principalmente naquelas que serviram a menor quantidade de usuários. Com essa classificação, é possível encontrar de maneira sistemática onde se encontra o problema e qual a fonte principal do déficit existente.

Em segundo lugar, são propostas possibilidades para a substituição de algumas linhas que tenham alto custo por passageiro e sirvam pequenos trechos e soluções baseadas no subsídio direto a serviço de *ridesharing*. Para isso, é usado um modelo de regressão empírico, baseado em variáveis de custo por passageiro, quilometragem da linha e número de passageiros transportados.

Para o estudo das linhas deficitárias, é considerado o ano de 2017 como referência, com seus dados relativos às demandas das linhas noturnas, seus itinerários, frotas, equipamentos e demais informações fornecidas pela SPTrans sobre a operação da rede de transporte coletivo rodoviário na cidade de São Paulo.

1.4. Estrutura do Relatório

O relatório será dividido em 6 capítulos, como é explicado a seguir:

No **Capítulo 2** é realizada a revisão bibliográfica dos principais temas abordados no trabalho. São revisados e avaliados trabalhos recentes que discorrem sobre os temas de *ridesharing*, transporte público, avaliação de oferta e demanda em sistemas de transporte e de integração entre sistemas responsivos à demanda e não responsivos à demanda.

No **Capítulo 3** é explicada a metodologia utilizada para estudo do subsídio das linhas noturnas de ônibus de São Paulo, com foco nas análises de custos do sistema (fixo, variável e depreciação) e na tarifa coletada. Também é apresentada metodologia para definição da qualidade da linha, relacionada tanto com seu custo quanto com seu valor social, chegando nas linhas que merecem estudo e nos gargalos encontrados do sistema.

No **Capítulo 4** é iniciada a análise de bilhetagem, proveniente de dados da SPTrans, de 6 linhas escolhidas por se destacarem pelo baixo desempenho. São encontradas as ocupações ao longo da rota de cada uma das linhas e as distâncias

percorridas pelos passageiros, de forma a fornecer dados para a simulação da substituição das linhas. É também objeto desse capítulo a proposta de agregação de passageiros no mesmo veículo e a verificação da validade ou não da solução para o contexto do trabalho.

No **Capítulo 5** é realizada a simulação da substituição das 6 linhas estudadas por serviço de *ridesharing* (referência utilizada foi o serviço ofertado pela empresa Uber) com demanda atual e também em cenário estressado da demanda. Além disso, com uso dos dados de mais 4 linhas eficientes, é proposto um modelo empírico de classificação de todas as linhas do sistema, de forma a entender quais delas devem ou não ser substituídas.

No **Capítulo 6** são feitas as considerações finais do trabalho, resumindo os resultados mais relevantes. Além disso, são explicitadas as limitações do presente trabalho e são propostos temas de pesquisas para trabalhos futuros, baseando-se na análise iniciada no presente trabalho de conclusão de curso.

2

Revisão Bibliográfica

O transporte público proporciona às pessoas mobilidade e acesso a emprego, recursos da comunidade, assistência médica e oportunidades recreativas em comunidades de todo o mundo. Isso beneficia aqueles que optam por utilizar esse meio, assim como aqueles que não têm outra escolha: mais de 90% dos beneficiários do transporte público não possuem um carro e dependem de transporte público. O transporte público fornece um serviço básico de mobilidade para essas pessoas e para todas as outras pessoas sem acesso a um carro. (FHWA, 2002).

Dessa forma, torna-se essencial proporcionar serviço de qualidade e segurança para os passageiros que dependem do uso do transporte público para se locomover, permitindo a viabilização da função social da cidade, ou seja, do desenvolvimento urbano. Porém, a realidade se mostra distinta e é comum que a qualidade e relevância do sistema de transporte coletivo seja criticada pelos usuários. Como apontado por REIS (2017), uma pesquisa realizada, em 2011, pelo Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) encontrou que em cidades com mais de 100 mil habitantes, 41% da população considera ruim ou muito ruim o transporte público local. Também nessas cidades, 48% da população afirma que o transporte público não permite que as pessoas se desloquem com facilidade.

Diante dessa realidade, põe-se em xeque a maneira como o transporte público é estruturado atualmente. De acordo com Silveira e Cocco (2013), a ocorrência de manifestações populares nos meses de junho e julho de 2013, no Brasil, trouxe à tona, entre outros problemas, um recorrente que afeta as cidades brasileiras, qual seja, os preços

das tarifas de transporte público coletivo, bem como a precariedade na prestação desse serviço. Nesse momento, mais do que nunca, parte da sociedade passou a questionar-se sobre quais são os problemas reais que acometem esse importante setor (transporte público coletivo), o qual é responsável pela produção e reprodução social ampliada da força de trabalho e pela sua produtividade.

O problema das tarifas, ainda segundo Silveira e Cocco (2013), exige uma reflexão mais aprofundada, ligada à eficácia do sistema, somada à capacidade de subsidiá-lo e regulá-lo, o que remete aos pactos de poder em diferentes escalas. Por outro lado, a luta pela tarifação zero do transporte público coletivo deixa o empresariado de transportes em uma situação estável, haja vista que não há, no presente momento, condições concretas de realização (condições políticas, institucionais e mesmo de alocação de recursos) desta proposta.

Por isso, segundo Slomski (2010), o volume de recursos disponibilizados pela sociedade para o Estado, via tributação, justifica plenamente o estudo de formas de evidenciação que contribuam para a melhoria da informação produzida pela administração pública no que se refere à prestação de serviços e consumo de recursos. Ao se discutir o tema custos no setor público gera-se a obrigação de se pensar no princípio constitucional da eficiência e em métodos e formas de evidenciá-lo.

Considerando-se a base legal de implementação de subsídios, Fleury et al., (2002) concluem sobre os subsídios públicos em transporte coletivo que a implementação de subsídio tarifário em uma concessão é uma medida prevista na legislação, porém todo e qualquer subsídio orçamentário deve atender aos preceitos da Lei de Responsabilidade Fiscal, devendo indicar que a implementação da subvenção não irá acarretar prejuízos às metas orçamentárias entre outros requisitos e que a implementação de subsídios orçamentário deve ser acompanhada da implementação de controles de qualidade capazes de verificar a evolução dos custos operacionais e sua causa, de tal forma que **permita e incentive a busca constante de redução de custos** (grifo nosso).

Por conta da visão de redução de custo com manutenção do valor social do transporte coletivo que é relevante estudar maneiras de otimizar e melhorar a eficiência financeira de sistemas com subsídio elevado por passageiro, como da Rede de Ônibus da Madrugada. Nesse sistema de transporte, é possível observar que há linhas com subsídio elevado por passageiro principalmente por conta da baixa utilização por parte da

população. É caso de otimizar o trajeto, de forma a tornar as linhas mais vantajosas e interessantes aos desejos dos usuários, ou substituir o sistema tradicional de transporte por sistema de transporte com resposta à demanda, que se apropria da vantagem do efeito de redes. A segunda opção é aquela em que o presente trabalho está focado.

Quadrifoglio e Li (2009) explicam que a maioria dos sistemas de transporte público se enquadra em duas grandes categorias: sistema de transporte de rota fixa (fixed route transit - FRT) e sistema de transporte responsivo à demanda (demand responsive transit - DRT). Os sistemas FRT tradicionais são tipicamente mais eficientes para localidades com grande demanda em termos de custo devido ao horário predeterminado, a capacidade dos veículos e a consolidação de muitas viagens de passageiros em um único veículo. No entanto, o público em geral considera-os inconvenientes devido à sua falta de flexibilidade, uma vez que os locais de descida e/ou os pontos de subida e/ou a programação do serviço geralmente não correspondem aos desejos individuais do passageiro. Sistemas DRT, pelo contrário, fornecem flexibilidade desejada com um serviço porta-a-porta ou em pontos de encontro flexíveis, no entanto mais caros de implantar. Portanto, se limitam a operações com baixa demanda ou área mais restritas, como é caso do presente estudo, se utilizando de táxis, vans de transporte ou serviços de *ridesharing*, garantindo serviços que permitam acessibilidade.

2.1. Revisão de trabalhos realizados

Quadrifoglio e Li (2009) sintetizam que um sistema flexível de transporte público engloba todos os tipos de combinação entre DRT e FRT. Esses serviços estabelecem locais de parada e/ou horários pré-determinados, com algum grau de demanda de operação responsiva. Porém, ao contrário dos sistemas regulares de rotas fixas, o seu uso tem sido bastante limitado na prática até agora.

Um dos clássicos autores da área de planejamento de transportes, Daganzo (1984) descreve um sistema responsivo de demanda de ponto de verificação onde os pontos de coleta e entrega estão em locais centralizados chamados pontos de verificação. Comparando o sistema de ponto de verificação com sistemas de rota fixa e porta-a-porta, o autor descobriu que os sistemas de rota fixa têm melhor desempenho sob altos níveis de demanda, enquanto o porta-a-porta tem melhor desempenho sob baixos níveis de demanda.

No trabalho de Koffman (2004), há três principais usos para o DRT no contexto de transporte público. Primeiramente, em áreas limitadas que são consideradas difíceis de serem usadas por motivos demográficos, layout de ruas ou preferências da comunidade. Depois, serviços em períodos de baixa demanda, como por exemplo linhas noturnas, o que em algumas regiões com serviço de rota fixa mais limitado pode substituir toda a rede de rotas fixas nesses horários. E, por fim, serviço de transporte para uma cidade pequena, área suburbana de baixa densidade ou área rural. Nestes casos, a coordenação ou consolidação com serviço de acessibilidade é uma característica fundamental do transporte flexível.

Koffman (2004) ainda aponta algumas conclusões importantes do trabalho desenvolvido. A primeira revela que para equilibrar a eficiência e a flexibilidade, as operadoras se esforçam para encontrar o equilíbrio certo entre a operação de rota fixa e a operação que responde à demanda em cada situação. Além disso, as operadoras desenvolvem estratégias para reduzir a ineficiência da operação responsiva à demanda em serviços flexíveis. Em muitos casos, os operadores impõem limites ao grau de serviço que responde à demanda que será fornecido, ou dão discricção aos motoristas na maneira como eles acomodam solicitações de serviço responsivo à demanda. A maioria dos serviços flexíveis é despachada sem o uso de tecnologia avançada. A maioria dos serviços flexíveis usa algum tipo de van ou um pequeno ônibus no chassi, seja porque esses veículos foram julgados apropriados ou porque estão disponíveis. No entanto, muitos operadores prefeririam operar um outro tipo de veículo que não o utilizado atualmente. Por conta da inexistência de grandes empresas de *ridesharing* à época em que o estudo foi desenvolvido, não foram consideradas as opções de integração entre as empresas hoje existentes e a operação de transporte coletivo, o que poderia ser uma adição importante às conclusões do estudo realizado.

Aldaihani et al. (2004) desenvolveram um modelo analítico que ajuda os tomadores de decisão a projetar uma rede híbrida que integra um serviço flexível responsivo à demanda com um serviço de rota fixa. Seu modelo determina o número ideal de zonas em uma área, onde cada zona é atendida por um número de veículos sob demanda. O modelo reduz o custo para passageiros, o número de veículos sob demanda e número de linhas fixas de ônibus para determinar o número ideal de zonas.

Considerando a melhora na acessibilidade no transporte coletivo, Gupta *Et al.* (2010) estudaram duas abordagens para melhorar a eficiência das operações de transporte com acessibilidade e estima o benefício de usar essas abordagens por meio de experimentos que utilizam dados da Metro Mobility. A primeira abordagem otimiza as rotas desenvolvidas no final de cada dia. A segunda abordagem avalia o benefício para os órgãos estaduais de usar seletivamente prestadores de serviços independentes, como táxis. A economia do uso de táxis não foi considerada muito relevante, mas chega a centenas de dólares por dia.

Nourbakhsh *Et al.* (2012) propuseram em artigo um sistema alternativo de DRT em que cada ônibus pode percorrer área pré-determinada para atender os passageiros enquanto essas áreas de serviço de transporte formam coletivamente uma estrutura “grande” híbrida que se assemelha a *hub-and-spoke* e redes, evidenciando que sob níveis de demanda baixos a moderados, o sistema de rotas flexíveis proposto tende a ter o menor custo do sistema, comparado com rede de trânsito de rota fixa e serviço de táxi ou *ridesharing* individual.

Kim *Et al.* (2013) estudaram a integração de serviços de ônibus com frotas mistas e chegaram a conclusão que em locais de baixa demanda, o serviço de ônibus flexível tem custos médios mais baixos e oferece um conveniente serviço porta-a-porta, considerando que o tipo de operação está relacionado, uma vez que os ônibus maiores têm menor custo médio por passageiro em altas densidades de demanda. A análise numérica confirma que o método proposto fornece soluções quase ótimas e mostra que a operação de Ônibus de Tipo Variável de Frota Mista proposta pode reduzir o custo total em comparação com operações alternativas tradicionais ou outras possibilidades consideradas.

Qiu *Et al.* (2015) estudaram maneiras de fornecer um serviço de transporte atraente para os moradores de comunidades pouco densas e se concentraram na operação de serviços flexíveis de trânsito. Este trabalho identifica uma nova categoria de políticas de trânsito, chamadas políticas operacionais demi-flexíveis, para preencher a lacuna entre os serviços de trânsito flexível e os sistemas convencionais de rotas fixas. As políticas nesse grupo não fornecem serviços completos de porta a porta, mas ainda oferecem algum tipo de flexibilidade para os passageiros usuários do sistema. Os resultados demonstram que o grupo de políticas operacionais demi-flexíveis é, na verdade, uma parte indispensável da estrutura unificadora para projetar serviços de transporte público em áreas de baixa demanda. Se houver falta de sofisticados sistemas de suporte para o serviço

de rotas flexíveis, a política de para a opção responsiva será uma escolha melhor em níveis de demanda baixos para seu melhor desempenho do que o serviço convencional de rotas fixas.

Scheldes *Et al.* (2017) estudaram um sistema chamado de Transporte Automático de Última Milha (ALMT – *automatic last mile transit*), que consiste em uma frota de veículos elétricos pequenos, totalmente automatizados, para melhorar o desempenho da última milha de uma viagem feita em um trem. A realocação de veículos vazios ou a pré-reserva de veículos levou a uma redução significativa no tempo médio de espera, permitindo que os passageiros viajassem em alta velocidade, reduzindo significativamente o tempo médio de viagem.

Até o presente momento da pesquisa, não foi encontrada referência brasileira que trate da integração entre sistemas de transporte público e outras opções responsivas à demanda. Esse é um dos motivos que torna o trabalho atual de grande relevância.

3

Metodologia

3.1. Cálculo do custo do sistema noturno de ônibus

A primeira parte desse trabalho desenvolveu o cálculo dos custos associados ao sistema noturno de ônibus de São Paulo, que posteriormente foi analisado para cada uma das linhas de ônibus, servindo como base para a avaliação do desempenho do sistema como um todo.

Os dados foram obtidos através do site da SPTrans, que os disponibiliza segundo a Lei de Acesso à Informação (Lei nº 12.527, de 18 de novembro de 2011). Foram analisados os dados do ano de 2017, que determinavam a informação de demanda de todo o sistema de ônibus da cidade de São Paulo, discretizados por linha, dia do ano e por tipo de passageiro transportado (descritos detalhadamente no **Anexo 1**).

Os dados obtidos foram concentrados em uma única planilha, que serviu como base para toda a análise. Para isso, houve um processo de limpeza e correção dos dados, visto que nas planilhas originais havia algumas incongruências quanto à nomenclatura de linhas e informações de datas. A informação total sobre demanda foi consolidada para cada dia, em cada um dos 365 dias do ano de 2017.

Após a definição das informações de demanda para o sistema noturno, foi realizada a análise dos dados de custos e receitas das linhas. As informações a esse respeito também foram encontradas no site da SPTrans, a partir da planilha “Custos detalhados do sistema de ônibus paulistano”, que contém uma série de informações sobre cláusulas e premissas do contrato de operação do sistema de ônibus.

A primeira informação obtida foi o valor coletado por passageiro. Através da classificação dos passageiros obtida na análise de demanda, foi possível cruzar as informações anteriores com o valor coletado para cada passageiro. Essas informações estão detalhadas no **Anexo 2**, e forneceram uma tarifa média coletada de R\$ 1,83 por passageiro, pouco superior à metade da tarifa cheia do ano de 2017, de R\$ 3,80.

A determinação dos custos do sistema seguiu algumas premissas. A estrutura geral de custos foi separada em fixos, variáveis e depreciação. Foram considerados apenas os custos marginais do sistema, ou seja, aqueles que desapareceriam no caso de uma ou mais linhas serem descontinuadas. Dessa forma, foram desconsiderados custos gerais do sistema de ônibus como, por exemplo, custos com operação de pátio e terminais. Por fim, já que os ônibus do sistema noturno também operam nas linhas diurnas, foi determinado um fator de divisão dos custos fixos, baseado nas horas/veículo-dia para cada linha, definido em 26% para as linhas noturnas, e detalhado no **Anexo 3**.

Os custos fixos considerados foram:

- Motorista e cobrador
- Equipamentos embarcados (validador e rastreamento)
- Manutenção (funcionários)
- Fiscal de linha

Já os custos variáveis considerados foram:

- Combustível
- Rodagem (pneus)
- Lubrificantes
- Peças e acessórios

A composição da frota de cada uma das linhas foi considerada, determinando os custos para cada tipo de ônibus. Foram determinados os custos variáveis por quilômetro rodado e os custos fixos por mês, que posteriormente serviram como base para determinar esses custos individuais associados a cada linha. Os resultados obtidos estão detalhados no **Anexo 4**.

Para cada linha, existem as informações de quilômetros rodados e a frota disponível separadas por dia útil, sábado e domingo. Cruzando essas informações com os valores de

custo para cada tipo de ônibus, chegou-se ao valor dos custos variáveis para cada uma das 150 linhas.

Para a determinação dos custos fixos do sistema, algumas análises complementares foram consideradas. Custos com salários de motorista e cobrador foram considerados sem aplicar o valor de divisão com as linhas noturnas, dados que esses funcionários operam por turno e as informações dos custos já foram apresentadas com a separação entre sistema noturno e diurno. Já para técnicos e fiscais, bem como para os equipamentos embarcados, os custos obtidos foram multiplicados pelo fator de divisão de 26% entre linhas noturnas e diurnas.

Os custos foram aprofundados até o nível de R\$/dia, e assim, a partir das informações de horas rodadas por dia, chegou-se ao custo fixo associado a cada uma das 150 linhas. As informações sobre custos fixos estão detalhadas no **Anexo 5**.

A depreciação foi considerada a partir do índice médio de depreciação determinado para cada tipo de ônibus, expandida da mesma forma para cada uma das linhas. O resultado está detalhado no **Anexo 6**.

A consolidação das informações de receitas e custos das linhas foi feita para cada registro da planilha de informações de demanda (cada uma das 150 linhas, em cada dia do ano). Assim, agrupando as informações por linha, obteve-se o custo e a receita de operação do sistema noturno, que nos deu a dimensão do valor subsidiado pela Prefeitura, representado na **Tabela 3.1.1**, a seguir:

Tabela 3.1.1: Resumo do saldo do sistema noturno

Custos	Custo Combustíveis	R\$ 28.866.204,63	25,5%
	Custo Rodagem	R\$ 2.296.320,06	2,0%
	Custo Lubrificantes	R\$ 375.927,44	0,3%
	Custo Peças	R\$ 19.072.906,75	16,8%
	Custo Motorista	R\$ 31.566.586,92	27,9%
	Custo Cobrador	R\$ 19.835.251,57	17,5%
	Custo Equip. Validador	R\$ 275.569,87	0,2%
	Custo Equip. AVL	R\$ 142.002,10	0,1%
	Custo Manutenção	R\$ 6.098.116,76	5,4%
	Custo Fiscal	R\$ 2.122.138,80	1,9%
	Depreciação	R\$ 2.677.685,08	2,4%
	Custo total	R\$ 113.328.709,99	100,0%
	Receitas	Passageiros transportados	11.468.466
Valor coletado		R\$ 21.000.354,46	
Tarifa média		R\$ 1,83	
Final	Subsídio	-R\$ 92.328.355,53	
	Custo por passageiro	R\$ 9,88	
	Subsídio por passageiro	R\$ 8,05	

Os resultados demonstram que o sistema é extremamente deficitário, sendo o valor coletado cerca de 23% do custo total do sistema. Observa-se também que o custo médio de cada passageiro chega a quase R\$ 10 e, descontada a tarifa média coletada, temos um valor subsidiado de R\$ 8,05 por passageiro, mais de quatro vezes o valor da tarifa média observada, de R\$ 1,83.

3.2. Análise dos resultados e determinação das linhas para análise

A partir da primeira visão consolidada do resultado do sistema noturno de ônibus, buscou-se aprofundar a análise dos resultados, visando entender o resultado por linha, observando tendências e oportunidades de melhora.

Para cada uma das linhas, foram observados o volume de passageiros transportados, a quilometragem total rodada e o saldo subsidiado pela Prefeitura (custos, descontado o valor da tarifa coletada). As duas primeiras informações podem ser resumidas no IPK – índice de passageiros por quilômetro, que sintetiza a eficiência das linhas.

O valor médio de IPK para o sistema noturno foi de 0,5, o que significa que, em média, cada ônibus transporta 1 passageiro a cada 2 km rodados. Para efeitos de comparação, o sistema diurno possui IPK superior a 3 em todas as áreas nos dias úteis, e nunca inferior a 1,98 nos finais de semana, como observamos na **Tabela 3.2.1**

Tabela 3.2.1: Índice de Passageiros por Quilômetro (IPK) para sistema diurno de ônibus de São Paulo - Outubro de 2017 (Fonte: SPTRANS – DT/SPE/ADI)

Área	IPK		
	d.u.	sáb.	dom.
1	3,67	3,06	2,35
2	3,72	3,17	2,25
3	3,32	2,98	2,13
4	3,58	2,94	2,23
5	3,73	2,82	1,98
6	3,77	3,28	2,48
7	4,38	3,58	2,80
8	3,68	2,83	2,10
Total	3,74	3,11	2,32

O resultado discretizado por linha indicou que, para várias linhas, o valor subsidiado é muito superior aos R\$ 8,05 médios do sistema. Das 150 linhas, 35 apresentam um subsídio por passageiro superior a R\$20,00. Observa-se que, para a linha de pior

desempenho – N838 (Metrô Vila Madalena – CPTM Leopoldina), o subsídio chega a R\$122,00 por passageiro. As 15 piores linhas e seus parâmetros podem ser vistos na **Tabela 3.2.2**, a seguir:

Tabela 3.2.2: As 15 piores linhas do sistema de ônibus noturno, classificadas por Subsídio por Passageiro

Rótulos de Linha	Total Pax	Custos Totais	IPK Linha	Subsídio por pax
N83811 - M VILA MADALENA/CPTM LEOPOLDIN	3.889	R\$ 483.943,51	0,058	R\$ 122,34
N84011 - M VILA MARIANA/SANTA CECILIA	4.837	R\$ 469.112,48	0,048	R\$ 94,10
N84111 - METRO VILA MARIANA/STA CECILIA	5.319	R\$ 426.207,84	0,057	R\$ 77,34
N83111 - TERM LAPA/PARQUE DA LAPA	4.613	R\$ 363.166,37	0,069	R\$ 76,88
N53711 - METRO VL MARIANA/VILA PRUDENTE	5.936	R\$ 428.339,47	0,059	R\$ 69,98
N50711 - TERM SACOMA/METRO SANTANA	33.095	R\$ 1.944.356,95	0,081	R\$ 56,88
N20611 - TERM CASA VERDE/METRO SANTANA	44.315	R\$ 2.347.445,74	0,110	R\$ 50,79
N30311 - T A E CARVALHO/TERM ARICANDUVA	18.705	R\$ 847.049,78	0,094	R\$ 43,49
N44011 - TERM V CARRAO/SAVOY DALILA	9.220	R\$ 400.757,23	0,092	R\$ 42,17
N50811 - TERM SACOMA/TERM PQ D PEDRO II	20.487	R\$ 896.829,24	0,107	R\$ 41,91
N34211 - TERM PENHA/JARDIM DANFER	10.032	R\$ 437.690,91	0,104	R\$ 41,60
N40711 - TERM V CARRAO/METRO BELEM	26.260	R\$ 1.100.028,01	0,124	R\$ 39,42
N33211 - TERM A E CARVALHO/VILA CISPER	9.824	R\$ 379.008,19	0,100	R\$ 36,91
N43311 - TERM V CARRAO/METRO BELEM	15.105	R\$ 564.842,44	0,144	R\$ 35,57
N34411 - TERM PENHA /VILA CISPER	11.716	R\$ 410.193,73	0,119	R\$ 32,94
Total Geral	223.353	R\$ 11.498.971,88	0,095	R\$ 49,45

Gráfico 3.2.1: Dispersão das linhas a partir do Subsídio por passageiro x IPK da linha

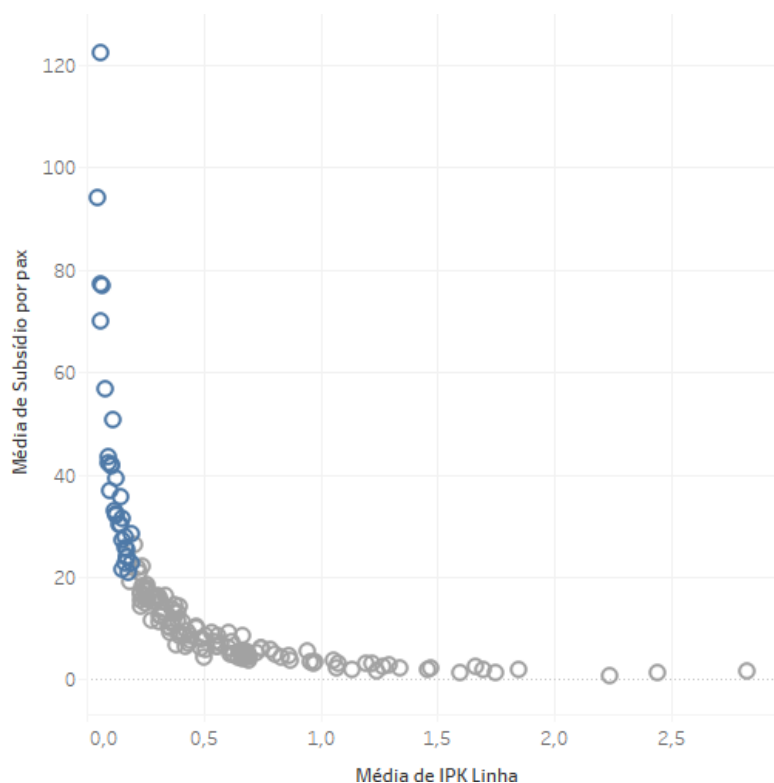


Gráfico 3.2.2: Dispersão das linhas a partir do Subsídio por passageiro x Extensão da linha



Nos **Gráficos 3.2.1 e 3.2.2**, ao observar cada uma das linhas, destaca-se a enorme quantidade de linhas com IPK abaixo de 0,2 e subsídio por passageiro acima de R\$ 20 (detalhadas em azul). Além disso, as informações de subsídio por passageiro versus IPK e quilometragem total rodada mostram que as cinco piores linhas do ponto de vista econômico têm uma quilometragem rodada muito baixa e transportam uma quantidade muito baixa de passageiros. Todas essas linhas são locais e encontram-se na zona oeste de São Paulo.

No **Gráfico 3.2.2** é possível observar que duas linhas com alta quilometragem rodada se destacam com valores de subsídios por passageiro acima de R\$ 50. Tratam-se de duas linhas estruturais (N206 e N507) que, juntas representaram um subsídio de mais de R\$ 4 milhões no ano de 2017.

Para o aprofundamento das análises, foram selecionadas, portanto, as quatro linhas mais ineficientes do ponto de vista econômico (N838, N840, N841 e N831) e as duas linhas estruturais de alto subsídio (N206 e N507).

A sequência de análises a seguir buscará avaliar os dados a nível de usuário, estudando informações de bilhetagem, distribuição ao longo do período de operação do sistema noturno, buscando, a partir delas, extrair alternativas de revisão e substituição de linhas extremamente deficitárias.

4 Análise de bilhetagem e de ocupação das linhas

4.1. Análise da bilhetagem e composição das matrizes OD

Para se conhecer as características particulares de cada linha foi necessário analisar os dados de bilhetagem dos passageiros, fornecidos pela SPTrans, com objetivo exclusivo de prover dados para o presente trabalho. Esses dados indicam aproximadamente o local no qual cada passageiro embarcou no ônibus. Esse dado é uma aproximação pois o ponto de embarque é registrado como o ponto mais perto geograficamente da localização do veículo no momento em que o passageiro passou pela catraca.

Existem incertezas nesses dados devido a possibilidade de distinção no ponto de embarque de um passageiro e sua bilhetagem, ocorrendo o registro efetivo do embarque em qualquer ponto durante a viagem ou próximo ao desembarque. As linhas da madrugada, por operarem com baixas taxa de ocupação nos veículos, tendem a oferecer a opção de viajar sentado para todos os passageiros na parte traseira, incentivando, indiretamente, que os passageiros passem pela catraca e realizem a bilhetagem em locais próximos ao ponto de embarque.

Outra incerteza ligada ao dado de bilhetagem é o ponto de desembarque de cada um dos passageiros. Por não haver um registro próximo ao ponto de desembarque, ele é estimado a partir do primeiro dado de bilhetagem de cada um dos usuários da rede no dia seguinte. Essa estimativa tem base no fato que, após utilizar a rede da madrugada, o usuário tende a realizar o próximo embarque em um ponto aproximado do último desembarque.

Por se tratar de um método que estima o desembarque, sem um dado consistente que o registra, algumas informações são perdidas. Os principais motivos de perda de informação são os usuários que não utilizam o bilhete único ou aqueles que possuem desembarque de difícil estimativa, pois não usaram o sistema em dias subsequentes.

Essas inconsistências nos dados fazem com que seja adotado um fator de expansão na bilhetagem de cada linha, para cada dia estudado. Esse fator existe para que se corrija o número de embarques e desembarques na linha, garantindo que haja um número de dados equivalentes ao número de passageiro que utilizaram cada linha naquele dia específico.

Além disso, verificou-se que, quando analisadas quanto à sua demanda anual, as linhas apresentam clara tendência de crescimento ao longo do ano e foram de fato influenciadas sazonalmente pelo período de férias escolares (mês de dezembro).

Estas informações podem ser verificadas na Tabela 4.1.1.

Tabela 4.1.1: Passageiros transportados ao longo do ano para as seis linhas selecionadas

Linha	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Min	Max
N838	308	376	337	316	357	323	367	308	296	265	278	358	Out	Fev
N841	470	461	479	329	373	423	394	365	432	525	486	582	Abr	Dez
N831	289	278	498	377	353	456	390	373	386	381	360	472	Fev	Mar
N840	306	330	427	374	392	412	439	367	404	432	449	505	Jan	Dez
N507	2.226	2.288	2.758	2.969	2.630	2.525	2.684	3.156	2.921	2.703	2.869	3.366	Jan	Dez
N206	3.843	3.634	3.414	3.403	3.297	3.194	3.089	3.434	4.033	4.280	4.219	4.475	Jul	Dez

Dessa forma, optou-se por selecionar dois meses do ano que já possuíssem demanda mais próxima da consolidada, já que houve crescimento anual da mesma, e não fossem influenciados por períodos de férias. Sendo assim, os meses escolhidos para análise dos dados de bilhetagem foram Setembro e Outubro de 2017. Além disso, para evitar efeitos sazonais do fim de semana, optou-se por analisar dias úteis. Os dias selecionados estão explicitados na **Figura 4.1.1**.

Figura 4.1.1: Dias selecionados para análises dos dados de bilhetagem

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
-	-	-	-	-	01/09	02/09
03/09	04/09	05/09	06/09	07/09	08/09	09/09
10/09	11/09	12/09	13/09	14/09	15/09	16/09
17/09	18/09	19/09	20/09	21/09	22/09	23/09
24/09	25/09	26/09	43370	43371	43372	43373

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
01/10	02/10	03/10	04/10	05/10	06/10	07/10
08/10	09/10	10/10	11/10	12/10	13/10	14/10
15/10	16/10	17/10	18/10	19/10	20/10	21/10
22/10	23/10	24/10	25/10	26/10	27/10	28/10
29/10	30/10	31/10	-	-	-	-

Com base nos dados de bilhetagem obtidos para esses dias, as matrizes Origem e Destino de cada linha, para cada dia, foram formadas. Com isto, tornou-se possível a análise dos pontos de embarque e desembarque dos passageiros que utilizaram a linha. Na **Figura 4.1.2** há um exemplo de parte de uma Matriz O/D formada para a linha N732-11 no sentido 1, no dia 30 de outubro.

Figura 4.1.2: Parte de uma matriz O/D da linha 732-11-1 em 30/10, os números azuis representam os pontos O/D da linha e os números em branco representam o número de passageiros naquele trajeto.

Data/Linha	O\D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
30/outN732-11-1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	24	0	0	0
30/outN732-11-1	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	8	0	0	0
30/outN732-11-1	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	10	0	0	0
30/outN732-11-1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0
30/outN732-11-1	5	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	20	0	0	0
30/outN732-11-1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0
30/outN732-11-1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
30/outN732-11-1	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/outN732-11-1	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
30/outN732-11-1	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30/outN732-11-1	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	0	0	0
30/outN732-11-1	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	0	0	0

A partir das matrizes O/D e com os dados de distâncias entre os pontos de cada linha, é possível obter a distância total percorrida por um grupo de passageiros que embarcou em cada linha, em cada sentido e em cada dia estudado. Os dados de passageiros já estão expandidos pelo fator de expansão daquela linha/sentido/dia específico.

E finalmente, com os dados de distância total e de passageiros transportados nestas condições, é possível obter os dados de distâncias médias para caracterização da forma que o trajeto da linha é percorrido pelos passageiros. Todas as análises que seguem a partir desses dados são fundamentais para entender a utilização das linhas e permitir a criação de um modelo de simulação para os custos da substituição de uma linha de ônibus por um sistema inteiramente oferecido por *ridesharing*.

4.2. Análise da ocupação ao longo do trajeto das linhas

Para a finalidade de criar esse simulador torna-se crucial não apenas conhecer a demanda das linhas, mas também o comportamento desta, de forma a se obter as variáveis de interesse para cálculo da tarifa do novo sistema.

A variável de maior interesse é a distância média percorrida por passageiro. Para um sistema de ônibus, com rota fixa e oferecimento ponto a ponto, pouco importa a distância percorrida pelos passageiros e basta conhecer a magnitude da demanda para se obter a arrecadação e, com isso, calcular o subsídio necessário a ela. No entanto, em um sistema responsivo à demanda, quanto maior o trajeto percorrido pelos passageiros em média, mais caro o sistema se torna, como pode ser visto na **Equação 4.2.1**.

Equação 4.2.1: Cálculo da tarifa paga em um sistema responsivo à demanda, como o Uber

$$\begin{aligned}
 & \frac{\bar{d}}{v} (\$1 + \bar{d} \$c) + \$34^* > \text{Tarifa mínima} \\
 \text{Custo}^* = & \frac{\bar{d}}{v} (\$1 + \bar{d} \$c) + \$34^* > \text{Tarifa mínima} \\
 & \text{Tarifa mínima}, \quad \text{se } \text{Custo}^* \leq \text{Tarifa mínima}
 \end{aligned} \tag{1}$$

Onde

v : Velocidade média dos veículos do sistema

\bar{d} : Distância média percorrida por passageiro em cada linha

$\$1$: Custo do sistema de ridesharing por hora

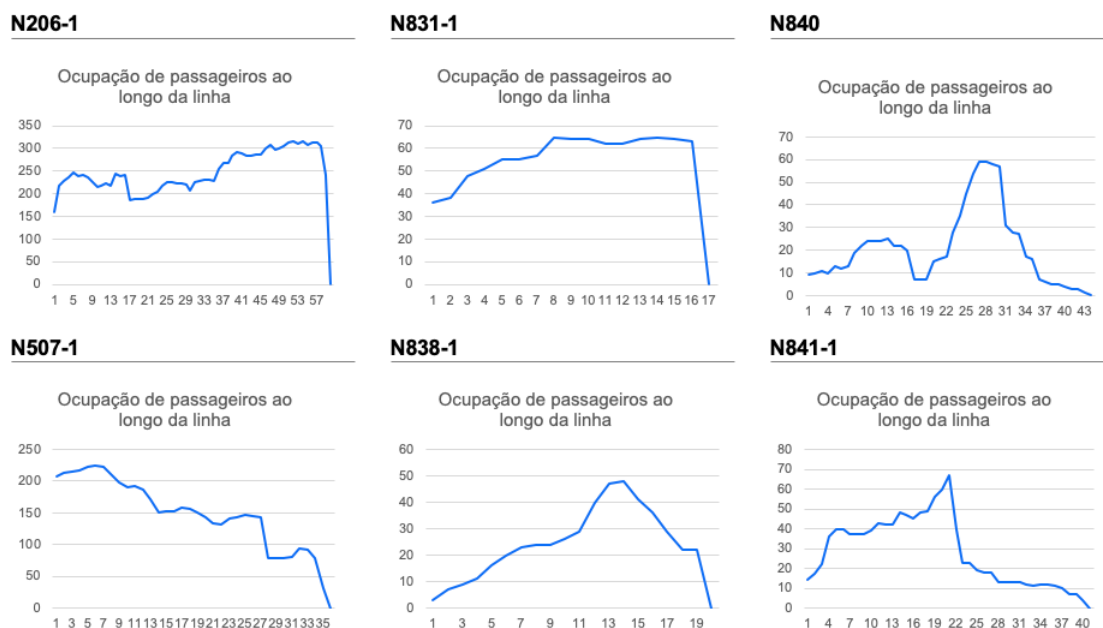
$\$c$: Custo do sistema de ridesharing por km percorrido

$\$34^*$: Custos fixos (taxas fixas, bandeirada, etc)

Dessa forma, inicialmente foi definida, para as 6 linhas com dados de bilhetagem, o perfil de ocupação agregada da linha, ou seja, a soma nos 20 dias com dados concedidos pela SPTrans das entradas e saídas ao longo do trajeto da linha. Para isso, foram utilizadas as Matrizes O/D criadas no item 4.1, de forma a considerar os dados como foram fornecidos e, posteriormente incluídos os fatores de expansão devidamente correspondentes para estas linhas.

O perfil de ocupação das linhas pode ser visto na **Figura 4.2.1** a seguir.

Figura 4.2.1: Perfil de ocupação das linhas em estudo



Algumas observações importantes podem ser feitas sobre a figura anterior. Em primeiro lugar, notamos que a demanda nas linhas N206 e N507, no sentido principal, é de 3 a 5 vezes superior às demandas das outras 4 linhas. Isso já era esperado, tendo em vista que a demanda total dessas linhas é alta e foram escolhidas para análise especialmente pelo fato de serem ineficientes, mesmo transportando muitos passageiros. Podemos ver que as duas tem um padrão de ocupação distinto.

A N206 mantém grande quantidade de passageiros no veículo durante o trajeto e há a saída quase que total no terminal final. Não é possível saber se os mesmos passageiros que entram no início são aqueles que saem no fim ou se há pontos em que há troca de passageiros, mas isso será analisado no próximo item, referente às distâncias médias por passageiro. No entanto, esse padrão de ocupação indica que a linha não possui estrutura adequada para ser substituída por sistema responsivo à demanda, uma vez que segundo a equação (1), quanto maior a distância medida percorrida por passageiro, maiores os termos referentes a custos do tempo e da distância e, portanto, o custo total do sistema.

A linha N507, por outro lado, possui padrão de ocupação distinto da N206. A tendência mostrada pela figura anterior é de concentração da entrada de passageiros no terminal de partida e distribuição aproximadamente uniforme ao longo da linha, com dois pequenos picos de descida próximo ao terminal de chegada. Essa linha indica um potencial de

substituição de *ridesharing* ainda limitado pela grande quantidade de passageiros, mas melhor do que a linha N206.

Analisando as outras 4 linhas, pode-se notar que a magnitude da demanda em todas é próxima, mas a distribuição da ocupação ao longo da linha difere substancialmente entre elas.

A linha N831 tem padrão de ocupação semelhante ao da linha N206 e, mesmo apresentando magnitude de demanda menor, não possui formato ideal para substituição por serviço de *ridesharing*. A linha N840 possui padrão distinto das outras, com dois picos de acumulação de passageiros. Esse padrão é melhor do que o anterior para substituição, mas ainda apresenta uma ocupação média não ideal.

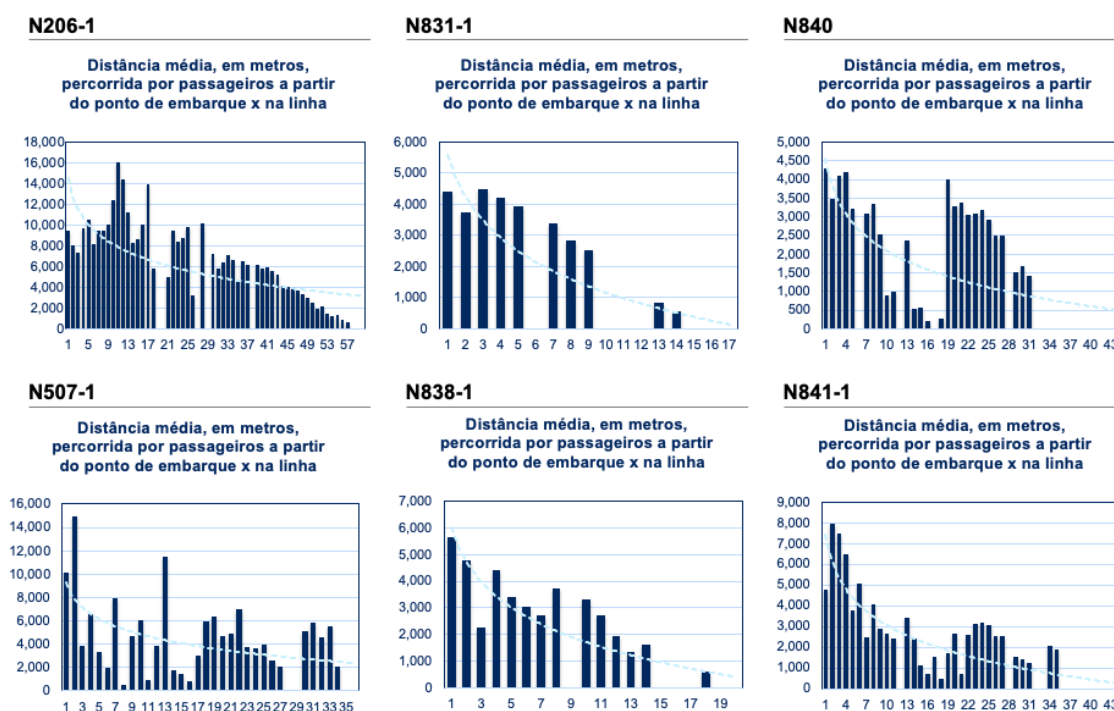
As linhas com padrão mais adequado para substituição são a N838 e N841, que acumulam pequena demanda nos terminais e, próximo a metade do trajeto, é iniciada a descida desses passageiros. Esse padrão é ideal porque a linha permanece pouco ocupada em seu trajeto e cada passageiro percorre um trajeto curto, reduzindo os termos, na equação (1), referentes a custo por tempo e por distância.

Essas análises iniciais são importantes para se obter uma visão qualitativa do comportamento das linhas, porém para criação de um modelo de classificação de linhas, é preciso obter dados quantitativos sobre as distâncias percorridas por passageiro em cada uma delas, de forma a se encontrar os custos envolvidos com uma possível substituição.

4.3. Cálculo das distâncias médias percorridas por passageiro

O cálculo das distâncias médias percorridas por cada passageiro em cada linha foi realizado de forma próxima ao da ocupação, porém utilizando também a distância entre pontos para quantificar quanto cada passageiro percorreu na linha, do momento em que embarcou até o momento do desembarque. **A Figura 4.3.2.** a seguir sumariza as distâncias médias percorridas por passageiro, para cada uma das 6 linhas.

Figura 4.3.2: Perfil de distâncias médias percorridas em cada linha



Esses gráficos trazem conclusões importantes sobre a demanda e seu comportamento ao longo da linha. Pode-se ver que na linha N206, além do fato dos passageiros permanecerem na linha por uma grande proporção do seu comprimento, nota-se que a distância percorrida por cada um deles é grande, chegando a 16 mil metros no caso mais extremo. Essa característica é muito prejudicial a sua substituição por serviço de *ridesharing*, como será visto no capítulo 5.

A linha N507, por outro lado, tem a quilometragem percorrida muito menor em relação a linha N206, mas tem pequena redução da média percorrida mesmo nos pontos mais próximos ao terminal, demonstrando propensão a altos custos para um serviço de *ridesharing*.

A linha N831 possui quilometragem média mais alta nos primeiros pontos e tem alguns passageiros nos pontos próximos ao terminal final com pequena quilometragem, mas ainda sim diminui pouco a magnitude da quilometragem média ao longo dos pontos. A linha N840, como observado no item anterior, tem dois pontos de embarque principais e as distâncias médias são divididas muito claramente em dois grupos.

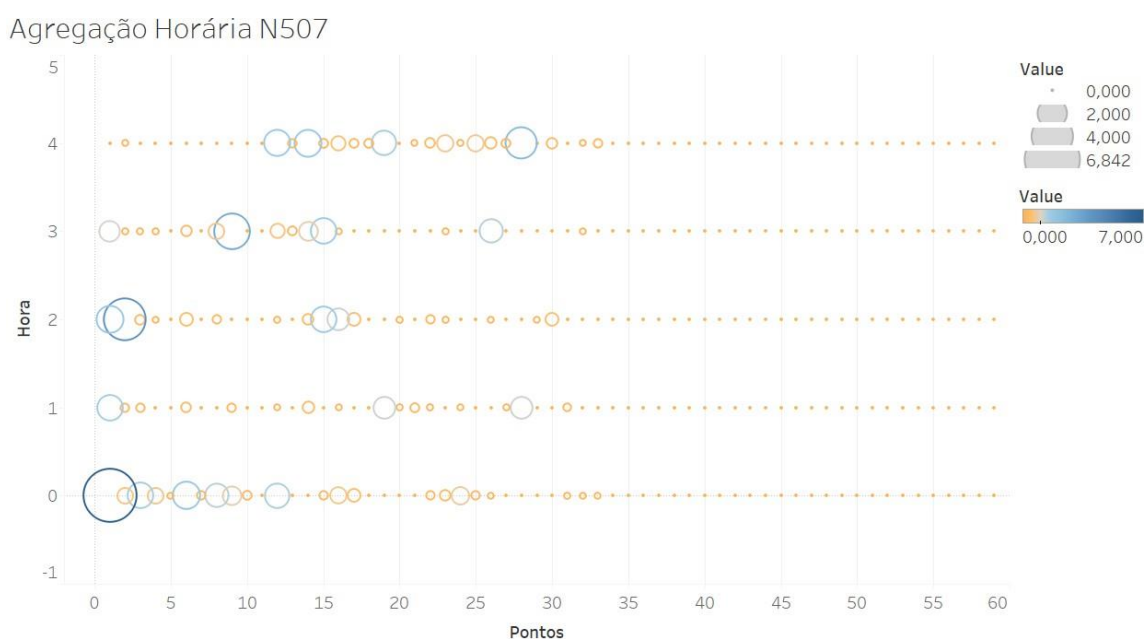
As linhas N838 e N841, como já observado no item anterior, são aquelas com melhor padrão de substituição, fato também comprovado pela distribuição de distância média percorrida. As distâncias, como pode ser visto nos gráficos, começa alta, mas reduz-se

Nota-se que apenas as linhas N206 e N507 possuem média de demanda de passageiros a cada período de trinta minutos acima de 1, o que pode indicar uma possível agregação de usuários em um mesmo veículo. Além disso, a média acima de 1 é notada apenas em poucos pontos ao longo do trajeto, sendo a maioria concentrada próxima ao terminal.

Além disso, a análise em detalhe de cada linha no detalhe foi feita, mostrando que existe baixo desvio padrão na amostra dos dados de agregação por hora em um mesmo ponto de embarque, indicando que a média é uma boa estimativa, como pode ser visto na **Figura 4.4.2**.

4.4.2. Pontos em tons de azul indicam agregações médias superiores a 1 passageiro.

Figura 4.4.2: Número de passageiros embarcando em cada ponto da linha N507 para cada hora



N507-11-0 vs. Name Hour. Color shows sum of Value. Size shows sum of Value.

Mesmo havendo a possibilidade de diminuir os custos e aumentar a eficiência do sistema com a agregação de mais de um passageiro em cada veículo, pesam como pontos negativos o conforto do usuário e, principalmente, a sua segurança. As medidas necessárias para melhorar a segurança do sistema, tendo em vista que mais de um passageiro viaja em um veículo pequeno e muito mais vulnerável a assaltos do que um ônibus, foram consideradas muito complexas frente as vantagens de eficiência e, portanto, a ocupação de cada veículo será considerada 1 para as análises do Capítulo 5.

5

Análise e simulação: Substituição de Linhas Noturnas por um sistema responsivo à demanda (DRT – UBER)

No presente trabalho acadêmico, a ideia central que se tem desde o início é responder à questão: É vantajoso e viável a substituição do sistema de ônibus noturno da cidade de São Paulo – ou de algumas linhas – por um sistema DRT baseado em *ridesharing*?

Todas as análises feitas até aqui encaminham para a conclusão de que muitas das linhas do sistema de ônibus noturno, operado pela SPTrans, são ineficientes e custosas para o erário e, por conseguinte, possuem diversas características que levam a crer que sua substituição por um sistema DRT pode ser vantajosa. Características como baixa ocupação, baixa demanda e trajetos redundantes são indícios confirmatórios desta linha de pensamento. No entanto, para responder à questão de forma contundente e elucidativa faz-se condição *sine qua non* uma simulação embasada em dados de distâncias percorridas e ocupação das linhas sob a ótica da operação de um sistema DRT, adotando parâmetros condizentes com àqueles disponíveis no mercado.

Este capítulo tem por objetivo realizar esta simulação e propor um modelo matemático que possibilite a análise da viabilidade de substituição individual de cada linha do sistema de ônibus noturno, com base em parâmetros intrínsecos e constitutivos desta ou daquela linha, fornecendo assim uma classificação que pode embasar e fundamentar a tomada de decisão, inclusive para a realização de estudos mais profundos pelos órgãos públicos responsáveis, a partir dos resultados do modelo.

Para realizar esta simulação, algumas premissas foram adotadas, embasadas nos resultados previamente obtidos a partir da análise dos dados de bilhetagem e ocupação

das linhas. A mais importante premissa está no fato de, para efeitos dos cálculos desta simulação, ter sido descartada a agregação de demanda no sistema, em consonância com o estudo que foi realizado no Capítulo 4, onde constatou-se que nas linhas em estudo o embarque de passageiros é esparso e inconsistente temporalmente, evidenciando que uma agregação da demanda em mais de um passageiro por veículo, como premissa de dimensionamento de um sistema, seria incongruente com a realidade.

Além desta premissa, para o prosseguimento da simulação, o dado fundamental sobre o qual se basearam os resultados foi a distância média percorrida na linha, por grupo de passageiros que embarcaram em um determinado ponto. Tais dados foram obtidos a partir das matrizes O/D conforme se discorreu no Capítulo 4. Aqui cabe ressaltar, novamente, que estas informações foram obtidas para vinte dias do ano de 2017 (distribuídos entre dias úteis), relativamente aos meses de setembro e outubro, escolhidos por serem neutros em relação às variações sazonais da demanda passíveis de ocorrerem em meses de férias escolares e datas comemorativas.

Estes dados permitem obter qual é a distribuição de deslocamentos ao longo do trajeto e, com isso, proceder para a equivalência desses trajetos, realizando-os com um veículo da Uber. Nesta equivalência de trajetos adotada, para efeito do cálculo financeiro correspondente, utilizaram-se os dados tarifários disponíveis para o sistema UberX, válidos para o ano de 2017. Finalmente, adotou-se uma velocidade média do veículo na linha que seria percorrida a fim de se obter o tempo de percurso e o custo relativo a este. Todos os dados adotados estão referenciados na **Tabela 5.1**.

Tabela 5.1: Valores adotados como premissas para simulação.

Dados - Tarifa da UberX	Custo Fixo	3,50	Reais (R\$)
	Custo por Km	1,50	R\$/km
	Custo por Hora	15,60	R\$/hora
	Velocidade média	25	Km/h
	Ocupação	1	Pessoa
	Tarifa Mínima	7,50	Reais (R\$)

Cabe ressaltar que estes dados tarifários são correspondentes ao serviço de carros particulares e individuais da Uber e não ao sistema de *ridesharing* (Uber Juntos) que é até 60% mais econômico. Esta tarifa superior foi adotada de forma a proceder com uma análise conservadora e evidenciando o pior cenário para adoção, uma vez que em uma

parceria com a Prefeitura de São Paulo para a implementação desse sistema, a forma de remuneração da Uber deveria ser estabelecida em contrato e com valores competitivos à uma concessão desse porte.

Para a realização da simulação, por fim, foram escolhidas as seis linhas do sistema de ônibus noturno da cidade de São Paulo que vem sendo estudadas desde o Capítulo 3. Sendo essas relacionadas a seguir:

- N206-11 – TERM CASA VERDE/METRO SANTANA (dois sentidos)
- N507-11 – TERM SACOMA/METRO SANTANA (dois sentidos)
- N831-11 – TERM LAPA/PARQUE DA LAPA (dois sentidos)
- N838-11 – M VILA MADALENA/CPTM LEOPOLDIN (dois sentidos)
- N840-11 – M VILA MARIANA/SANTA CECILIA (um sentido – Circular)
- N841-11 – METRO VILA MARIANA/STA CECILIA (um sentido – Circular)

Além destas, foram escolhidas mais 4 linhas dentre aquelas que possuíam características que sugeriam um baixo potencial para substituição por Uber, como alta ocupação e grandes extensões percorridas. Tais linhas estão as mencionadas a seguir:

- N133-11 – TERM PIRITUBA/CID D ABRIL 3ª G (dois sentidos)
- N235-11 – METRO SANTANA/PEDRA BRANCA (dois sentidos)
- N633-11 – MET JABAQUARA/MORUMBI SHOPING (dois sentidos)
- N732-11 – T JD ANGELA/TERM ROD JA JACIRA (dois sentidos)

A partir dos dados tarifários e dos dados de distâncias médias percorridas, simulou-se para cada passageiro destas linhas o trajeto realizado com um Uber individual, partindo do ponto que o passageiro em questão embarcou naquela linha e percorrendo a distância média característica daquele ponto. E, por fim, multiplicando o número de carros pelo número de passageiros daquele ponto (já considerando o fator de expansão daquela linha/data, conforme visto no Capítulo 4).

A partir disto, para cada linha (e cada sentido) em estudo, obteve-se um custo simulado para a sua operação, nas mesmas condições de demanda, a partir de um sistema DRT baseado no UberX, considerando os dias do ano analisados de cada linha/sentido. Além disto, o custo obtido para esses dias foi anualizado, considerado linear, para os 365 dias do ano. Os resultados da simulação estão evidenciados na **Tabela 5.2**.

Tabela 5.2: Resultados obtidos a partir da simulação para as linhas analisadas.

Linha	Sentido	Número de dias	Custo UberX - Datas	Custo UberX - Anualizado
N133-11	0 - Ida	20	R\$ 9.632,99	R\$ 175.802,03
N133-11	1 - Volta	20	R\$ 2.835,20	R\$ 51.742,42
N206-11	0 - Ida	20	R\$ 51.469,77	R\$ 939.323,29
N206-11	1 - Volta	20	R\$ 64.242,87	R\$ 1.172.432,42
N235-11	0 - Ida	20	R\$ 21.527,35	R\$ 392.874,10
N235-11	1 - Volta	20	R\$ 33.458,98	R\$ 610.626,35
N507-11	0 - Ida	20	R\$ 25.330,47	R\$ 462.281,06
N507-11	1 - Volta	20	R\$ 12.749,30	R\$ 232.674,75
N633-11	0 - Ida	20	R\$ 2.877,27	R\$ 52.510,14
N633-11	1 - Volta	20	R\$ 5.756,96	R\$ 105.064,51
N732-11	0 - Ida	20	R\$ 72.457,53	R\$ 1.322.349,85
N732-11	1 - Volta	20	R\$ 101.216,67	R\$ 1.847.204,18
N831-11	0 - Ida	19	R\$ 2.366,48	R\$ 45.461,33
N831-11	1 - Volta	20	R\$ 3.475,26	R\$ 63.423,53
N838-11	0 - Ida	9	R\$ 258,54	R\$ 10.485,20
N838-11	1 - Volta	18	R\$ 831,98	R\$ 16.870,76
N840-11	Único	19	R\$ 2.067,27	R\$ 39.713,27
N841-11	Único	20	R\$ 2.473,67	R\$ 45.144,42

Após obtenção dos custos simulados, estes dados foram comparados com o custo operacional obtido para cada linha conforme processo explicitado no Capítulo 3. Na **Tabela 5.3**, a comparação está compilada por linha (já incluídos os dois sentidos).

Tabela 5.3: Resultados obtidos a partir da simulação para as linhas analisadas.

Linha	Custo UberX - Anualizado	Custo Operacional Apurado
N133-11	R\$ 227.544,45	R\$ 370.173,86
N206-11	R\$ 2.111.755,71	R\$ 2.347.445,74
N235-11	R\$ 1.003.500,46	R\$ 415.263,76
N507-11	R\$ 694.955,81	R\$ 1.944.356,95
N633-11	R\$ 157.574,65	R\$ 455.548,57
N732-11	R\$ 3.169.554,04	R\$ 362.234,83
N831-11	R\$ 108.884,85	R\$ 363.166,37
N838-11	R\$ 27.355,96	R\$ 483.943,51
N840-11	R\$ 39.713,27	R\$ 469.112,48
N841-11	R\$ 45.144,42	R\$ 426.207,84

Com esta comparação entre o custo dos dois modelos, é possível perceber uma relação clara entre os aspectos característicos de operação das linhas (ocupação, intermitência, demanda) e sua viabilidade de substituição por um sistema baseado no Uber. Verifica-se

que linhas muito longas e com grandes demandas, nas quais os passageiros percorrem grandes distâncias, como algumas linhas da zona Sul de São Paulo, apresentam um custo de substituição elevado quando comparado com o custo operacional das mesmas. Já linhas que operam com demanda ociosa, em zonas centrais e com poucos passageiros transportados são boas candidatas para substituição, chegando a apresentar custos simulados de substituição cerca de dez vezes menores do que seus custos de operação atuais.

Esta conclusão já era esperada e vem em linha com os resultados de custos e subsídios extremamente elevados que foram apurados em certas linhas, conforme visto no Capítulo 3. No entanto a questão que resta a ser respondida é: a partir da análise do comportamento destas linhas, como expandir os resultados para todo o sistema de forma a avaliar o potencial de substituição das mesmas e sua possível economia para o erário público?

A ideia para a implementação de um modelo matemático que pudesse ser aplicável no resto do sistema partiu da tentativa de se correlacionar todos os aspectos de uma linha que influenciariam negativamente no seu potencial para substituição e o potencial de substituição propriamente apurado das linhas que foram avaliadas.

A partir desta linha de raciocínio, para avaliação quanto à viabilidade realmente apurada *in factum* de substituição de uma linha, conforme obtido através do estudo detalhado da mesma e de sua simulação com operação em um sistema DRT baseado no uso do UberX, introduziu-se o conceito de Ponto de Equilíbrio. Este valor é definido conforme a **Equação 5.1**.

Equação 5.1: Ponto de Equilíbrio – Definição.

$$\text{Ponto de Equilíbrio (P.E.)} = \frac{\text{Custo Operacional da Linha}}{\text{Custo simulado anualizado com UberX}}$$

Por conseguinte, conclui-se a partir da equação que quanto maior o valor de P.E., mais propensa à substituição é a linha, ou seja, a relação é diretamente proporcional.

Em contraponto, para a avaliação das características potenciais de viabilidade que sugerem uma substituição da linha por este sistema alternativo, foram consideradas três variáveis para formação de uma *proxy* a fim de se medir quantitativamente este potencial. São elas:

- Número de Passageiros Transportados: Verifica-se que esta variável é inversamente proporcional à viabilidade de substituição de uma linha. Linhas ociosas, com baixa demanda e menos passageiros são melhores candidatas para substituição.
- Extensão da linha: Da mesma forma, também se caracteriza como uma variável inversamente proporcional à possibilidade de substituição. É importante destacar que mesmo linhas longas podem ser boas candidatas, a depender da característica dos deslocamentos ao longo de seu trajeto (se são deslocamentos curtos ou se percorrem toda sua extensão), no entanto, para entender tais deslocamentos seria preciso estudar a linha a fundo, o que fugiria do escopo de se criar um modelo preditivo que possibilite a avaliação prévia de seu potencial de substituição. Ademais, avalia-se que o fato de a linha ser muito longa é uma boa aproximação no sentido de avaliar que seus deslocamentos individuais também o sejam.
- Custo de Operação: De forma oposta, esta variável caracteriza-se como diretamente proporcional à possibilidade de substituição já que linhas que possuam altos custos de operação possuem mais “orçamento” para cobrir custos com um sistema alternativo.

As três variáveis acima foram utilizadas para formação de uma variável dependente, nomeada como “*fator*” e definida conforme a **Equação 5.2**.

Equação 5.2: Fator – Definição.

$$fator = \frac{\text{Número anual de Passageiros Transportados} * \text{Extensão da linha (m)}}{\text{Custo Operacional da Linha (R\%)}}$$

Conforme nota-se, pela disposição das variáveis na equação, o *fator* é inversamente proporcional ao potencial de uma linha ser substituída.

A partir da obtenção destas duas características mensuráveis das linhas (*fator* e P.E). – a primeira ligada ao potencial de substituição e a segunda ligada à capacidade de substituição real da linha por um sistema DRT baseado no uso do UberX – para alcançar o objetivo de se obter um modelo para avaliação prévia de todo o sistema, é preciso relacionar essas duas características através de um modelo matemático válido.

Ao verificar-se que o P.E. possui comportamento diretamente proporcional a viabilidade de substituição e o *fator* possui comportamento inversamente proporcional, pela lógica Euclidiana, conclui-se que o P.E. possui comportamento inversamente proporcional ao

fator. Dessa forma, o modelo matemático a ser testado e validado é da forma da **Equação 5.3**.

Equação 5.3: Modelo Matemático avaliado.

$$y(x) = \frac{\beta}{x^h}, \text{ onde } \beta \text{ e } \alpha \text{ são cte } \in \mathbb{R}$$

No qual a função P.E.(*fator*) será aproximada por $y(x)$ por um método numérico computadorizado de regressão não linear, obtendo-se as constantes β e α de forma a se minimizar o erro quadrático médio.

Para prosseguir com o cálculo, obteve-se ambas variáveis para cada uma das linhas em estudo, conforme estão relacionadas na **Tabela 5.4**.

Tabela 5.4: P.E. e fator obtidos para cada linha estudada.

Linhas	P.E	Fator
N133-11	1,63	4.213
N206-11	1,11	7.583
N235-11	0,41	6.245
N507-11	2,80	6.961
N633-11	2,89	3.044
N732-11	0,11	24.224
N831-11	3,34	847
N838-11	17,69	543
N840-11	11,81	1.030
N841-11	9,44	1.161

A partir destes dados, aplicou-se a regressão não linear conforme mencionado anteriormente a fim de se obter a curva melhor ajustada. Os resultados estão expressos no **Gráfico 5.1** e na **Tabela 5.5**.

Gráfico 5.1: Plotagem dos pontos e ajuste por regressão não linear.

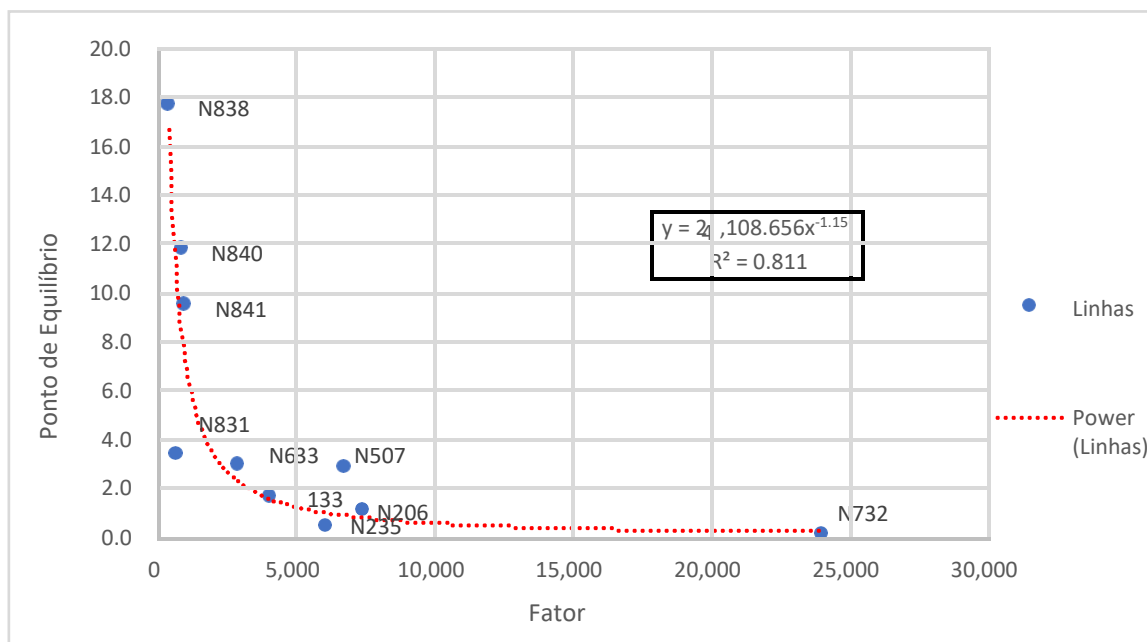


Tabela 5.5: Valores obtidos para as constantes a partir da regressão.

Constante	Valor
β	24.108,656
α	1,1558
R^2	0,8108

Nota-se que a aplicação do método de regressão, para a função testada da Equação 5.3, levou a um coeficiente de determinação (R^2) de 81%. Ou seja, cerca de 81% da variação da variável dependente (“*fator*”) pode ser explicada pelo modelo de regressão. Este resultado é relevante, levando-se em conta as aproximações realizadas nos dados de bilhetagem e à elevada margem de erro nos dados de geolocalização dos indivíduos.

Desta forma, verifica-se que o modelo possui um bom ajuste à realidade e pode, considerando-se o desvio padrão, ajudar a responder à pergunta postulada no início deste Capítulo, funcionando como uma proxy para se obter o potencial de substituição por Uber em cada linha do sistema.

Após análise da validade do modelo, este foi aplicado na forma da **Equação 5.3** com os coeficientes ajustados da **Tabela 5.5** para as demais linhas do sistema, obtendo, portanto, cada um dos P.E. teóricos de cada linha. Os resultados das linhas com os 10 maiores P.E.’s obtidos estão indicados na **Tabela 5.6**.

Tabela 5.6: Valores característicos para 10 primeiras linhas classificadas segundo P.E.

Linhas	Total Pax	Total Km	Custos Totais	Fator	PE
N83811 - M VILA MADALENA/CPTM LEOPOLD	3.889	67.561	R\$ 483.943,51	542,93	16,65
N83111 - TERM LAPA/PARQUE DA LAPA	4.613	66.671	R\$ 363.166,37	846,86	9,96
N84011 - M VILA MARIANA/SANTA CECILIA	4.837	99.875	R\$ 469.112,48	1.029,81	7,95
N84111 - METRO VILA MARIANA/STA CECILIA	5.319	93.042	R\$ 426.207,84	1.161,15	6,92
N53711 - METRO VL MARIANA/VILA PRUDEN	5.936	100.335	R\$ 428.339,47	1.390,46	5,62
N33911 - METRO ITAQUERA/ARTUR ALVIM	10.698	71.084	R\$ 352.258,07	2.158,80	3,38
N34211 - TERM PENHA/JARDIM DANFER	10.032	96.163	R\$ 437.690,91	2.204,08	3,30
N54011 - TERM SAPOP TEOT VILE/JS SAO RO	10.803	43.526	R\$ 211.630,74	2.221,86	3,27
N44011 - TERM V CARRAO/SAVOY DALILA	9.220	99.714	R\$ 400.757,23	2.294,07	3,15
N33211 - TERM A E CARVALHO/VILA CISPER	9.824	97.773	R\$ 379.008,19	2.534,29	2,81

Por conseguinte, ao resolver a **Equação 5.1**, que define o valor de P.E, para o Custo simulado do Uber, pode-se obter o custo teórico com a substituição para cada linha analisada e compará-lo com o custo operacional do sistema. Fazendo isso e adotando os três seguintes *clusters* para o P.E:

- $P.E. > 3$
- $2 < P.E. < 3$
- $1 < P.E. < 2$

Obtêm-se os resultados indicados na **Tabela 5.7**.

Tabela 5.7: Resultados Teóricos obtidos a partir da aplicação do modelo matemático avaliado.

Cluster PE	N linhas	Custo Teórico Uber	Custo de Operação	Economia \$	Economia %
> 3	9	R\$ 691.555,88	R\$ 3.573.106,61	R\$ 2.881.550,73	81%
> 2 & < 3	10	R\$ 1.617.818,03	R\$ 3.734.650,64	R\$ 2.116.832,61	57%
> 1 & < 2	24	R\$ 9.256.294,26	R\$ 12.791.964,85	R\$ 3.535.670,59	28%
Total	43	R\$ 11.565.668,17	R\$ 20.099.722,11	R\$ 8.534.053,93	42%

Verifica-se uma economia de cerca de R\$8,5 MM no sistema como um todo, identificando 43 linhas com potencial de substituição por Uber. Este valor representa aproximadamente um terço do número de linhas do sistema e uma economia de quase 10% no subsídio arcado anualmente pelo Tesouro Municipal. Se trata de um valor considerável uma vez que, segundo as premissas adotadas, cada passageiro seria transportado em um veículo individual e a tarifa cobrada pela Uber seria integral.

Fica claro, no entanto, que este resultado não pode ser levado em conta e entendido como determinístico. Por se tratar de um modelo matemático empírico deve-se entender que são resultados estocásticos, providos de média e variância intrínseca aos próprios dados.

Para avaliar a variância observada na aplicação do modelo, é possível analisar as características dos erros específicos do modelo matemático estudado, conforme **Equação 5.3**, quando comparados com os valores reais de P.E calculados para as dez linhas em estudo. Esta comparação está indicada na **Tabela 5.8**.

Tabela 5.8: Erros específicos (ϵ) de cada linha avaliada.

Linhas	P.E	Fator	P.E. Calc	ϵ (P.E.)
N206	1,11	7.583	0,79	41%
N507	2,80	6.961	0,87	221%
N840	11,81	1.030	7,95	49%
N841	9,44	1.161	6,92	37%
N831	3,34	847	9,96	-67%
N838	17,69	543	16,65	6%
N133	1,63	4.213	1,56	4%
N235	0,41	6.245	0,99	-58%
N633	2,89	3.044	2,27	27%
N732	0,11	24.224	0,21	-45%

Onde o ϵ é definido pela Equação 5.4.

Equação 5.4: Erro característico.

$$\epsilon(x) = \frac{p - x}{x}, \text{ onde } p \text{ é o valor observado e } x \text{ é o valor teórico calculado}$$

Verifica-se que a média do erro característico é cerca de 21%, valor que pode ser utilizado para aproximar o desvio padrão relativo aos dados do modelo matemático.

Aplicando a variação de um desvio padrão de 21% nos dados do modelo, obtemos o range de mudança nos valores da economia resultante da substituição das mesmas linhas por Uber, nos mesmos *clusters*. Estes ranges estão indicados na **Tabela 5.9**.

Tabela 5.9: Variações da Economia resultante pela aplicação de um desvio padrão nos dados ($\sigma = 21\%$)

Range PE	Economia (P.E. - σ) \$	Economia (P.E. + σ) \$	Economia ($\pm\sigma$) %		Variação Rel. Org.	
> 3	R\$ 2.697.719,42	R\$ 3.001.572,82	76%	84%	-3%	2%
> 2 & < 3	R\$ 1.686.779,72	R\$ 2.397.610,95	45%	64%	-7%	5%
> 1 & < 2	R\$ 1.075.136,68	R\$ 5.142.134,89	8%	40%	-15%	10%
Total	R\$ 5.459.635,81	R\$ 10.541.318,66	27%	52%	-11%	7%

Com estes resultados compilados, finalmente é possível responder à pergunta inicialmente feita no começo deste Capítulo: É vantajoso e viável a substituição do

sistema de ônibus noturno da cidade de São Paulo – ou de algumas linhas – por um sistema DRT baseado em *ridesharing*?

A resposta não é trivial, no entanto, a partir de todos os resultados obtidos até aqui, com a aplicação de um modelo matemático devidamente validado com dados observáveis, a substituição é viável sim para algumas das linhas, conforme classificadas. A magnitude da economia irá depender da demanda que será induzida pelo incremento da qualidade e comodidade devido ao novo modal de transporte (veículos individuais) e à forma contratual acordada entre a Prefeitura de São Paulo e a prestadora de serviços que será responsável pela operação do sistema.

6 Conclusão

Os sistemas de transporte público prestam um serviço essencial para os cidadãos. É responsabilidade do órgão público garantir um sistema que seja por um lado eficaz, sendo, por um lado, capaz de suprir a oferta coerente com a demanda exigida e atendendo nível mínimo de serviço, mas por outro lado eficiente, gerando o menor custo possível dentro das necessidades da realidade.

Contrastando com essa realidade, o trabalho atual mostra que o sistema de linhas noturnas de São Paulo é ineficiente. Mesmo havendo linhas com subsídios comparáveis àqueles gastos em linhas diurnas, a grande maioria das linhas tem alto custo, chegando a valores de subsídio de mais de R\$70,00 reais por passageiro. Esse é um dinheiro que onera os cofres públicos e poderia ser realocado para melhora na infraestrutura viária ou para expansão do sistema onde há gargalos de oferta.

Nesse contexto, foi estudada a proposta de substituição de algumas linhas por sistema de *ridesharing*. A empresa usada como *benchmark* foi a Uber, já com operação consolidada no Brasil e com serviços inovadores de compartilhamento de veículos, como o Uber Juntos, o que mostra um caminho para soluções de mobilidade mais eficientes.

A partir do cálculo das distâncias médias percorridas pelos passageiros, foi realizada a simulação do custo de substituição de 6 linhas altamente deficitárias por UberX, utilizando-se de dados de demanda de 2017 e em cenários de stress de até 10 vezes a demanda atual, se encontrando o nível de demanda que igualava os custos das linhas atualmente e no cenário de substituição. Foi feito o estudo da possível agregação dos passageiros, mas, como mostrado no capítulo 4, a economia com a adoção desse fator não compensa problemas de segurança e o desconforto gerado aos usuários.

Os dados gerados por essas 6 linhas foram sintetizados em um modelo de classificação das linhas e previsão da economia possível com a adoção da Uber para todas as linhas suscetíveis a essa mudança. Com adição de mais 4 linhas, foi desenvolvido um modelo de regressão, encontrando como variável dependente, de forma indireta, a economia possível ao sistema com a realização da substituição das linhas suscetíveis. A estimativa média obteve uma economia total ao sistema de cerca de R\$8,5 milhões na substituição de 46 linhas, o que representa valor próximo a 10% do custo total do sistema, mesmo com hipóteses muito conservadoras de não agregação da demanda.

Com um sistema mais eficiente, não só a Prefeitura tem a possibilidade realocar esses recursos para áreas mais necessitadas, como também em prover uma melhor oferta de transporte público, que sirva mais passageiros e transporte maior quantidade de pessoas com o mesmo valor investido, representando um ganho para a qualidade da cidade como um todo.

O trabalho atual teve objetivo principal de realizar análise de custos e chegar a um panorama de referência bem embasado matematicamente para que a Prefeitura possa atuar e aprofundar os estudos da forma que perceber mais coerente e, nesse ponto, obteve sucesso. Dessa forma, é preciso deixar claro que não foi objeto desse trabalho discutir os detalhes da implementação do modelo, uma vez que haveria necessidade de se entrar na esfera legal e da dinâmica contratual da SPTrans.

Por essa razão, sugere-se como uma oportunidade para trabalho futuro o estudo da forma prática de implementação de um modelo de cooperação entre a prefeitura e uma empresa privada de *ridesharing*, como a Uber, discutindo questões legais, contratuais, de concessão e, principalmente de custo, para se determinar a maneira mais viável de se colocar as conclusões desse trabalho em prática.

Referências Bibliográficas

Aldaihani, M.M., Quadrifoglio, L., Dessouky, M.M., Hall, R., 2004. Network design for a grid hybrid transit service. *Transportation Research Part A* 38 (7), 511– 530

Daganzo, C.F., 1984. Checkpoint dial-a-ride systems. *Transportation Research Part B* 18, 315–327

Dentel-post, C., Author, C., Cooper, D., Crosley, S., & Tolleson, M. (n.d.). Getting People Around After the Trains Stop Running: A Transit Propensity Index for Late-Night Service Planing, 1–17.

Fleury, F. L., Eduardo, R., Verroni, D., Feriancic, S., Advogados, B. S., & Paulista, A. (2001). Subsídio tarifário no transporte coletivo, aspectos técnicos, jurídicos e econômicos., 1–9.

Gupta, D., Chen, H. W., Miller, L. A., & Surya, F. (2010). Improving the efficiency of demand-responsive paratransit services. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 44(4), 201–217. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2010.01.003>

Kim, M. (Edward), & Schonfeld, P. (2013). Integrating bus services with mixed fleets. *Transportation Research Part B: Methodological*, 55, 227–244. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2013.06.013>

Koffman, D., 2004. Operational Experiences with Flexible Transit Services: A Synthesis of Transit Practice. TCRP Synthesis, vol. 53. Transportation Research Board, Washington, DC.

Kuo, C.-W., & Tang, M.-L. (2011). Relationship among service quality, corporate image, customer satisfaction and behavioral intention for the elderly in high speed rail service. *Journal of Advanced Transportation*, 47(June 2010), 512–525. <https://doi.org/10.1002/atr>

Márcio Rogério Silveira, R. G. C. (2013). Transporte público, mobilidade e planejamento urbano: contradições essenciais. *Estudos Avançados*, 27(79), 41–53. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142013000300004>

Nourbakhsh, S. M., & Ouyang, Y. (2012). A structured flexible transit system for low demand areas. *Transportation Research Part B: Methodological*, 46(1), 204–216. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.07.014>

Qiu, F., Shen, J., Zhang, X., & An, C. (2015). Demi-flexible operating policies to promote the performance of public transit in low-demand areas. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 80, 215–230. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.08.003>

Quadrifoglio, L., & Li, X. (2009). A methodology to derive the critical demand density for designing and operating feeder transit services. *Transportation Research Part B: Methodological*, 43(10), 922–935. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2009.04.003>

Reis, W., & Unb, R. (2017). A composição dos custos do Sistema de Transporte Coletivo em Municípios.

Role, T., & Transit, M. (n.d.). Chapter 14 The Importance of Public Transportation, 1–9.

Scheltes, A., & de Almeida Correia, G. H. (2017). Exploring the use of automated vehicles as last mile connection of train trips through an agent-based simulation model: An application to Delft, Netherlands. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 6(1), 28–41. <<https://doi.org/10.1016/j.ijtst.2017.05.004>>

Slomski, V., Camargo, G. B. De, Amaral Filho, A. C. C. Do, & Slomski, V. G. (2010). A demonstração do resultado econômico e sistemas de custeamento como instrumentos de evidenciação do cumprimento do princípio constitucional da eficiência, produção de governança e accountability no setor público: uma aplicação na Procuradoria-Geral do Mu. *Revista de Administração Pública*, 44(4), 933–937. <https://doi.org/10.1590/S0034-76122010000400008>

Stiglic, M., Agatz, N., Savelsbergh, M., & Gradisar, M. (2018). Enhancing urban mobility: Integrating ride-sharing and public transit. *Computers and Operations Research*, 90, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.08.016>

Até o fim de 2017, Brasil terá um Smartphone por habitante <<https://link.estadao.com.br/noticias/gadget,ate-o-fim-de-2017-brasil-tera-um-smartphone-por-habitante-diz-pesquisa-da-fgv,70001744407>> - acessado em 13/06/2018 às 06:29

Subsídio de ônibus em São Paulo precisará de R\$ 3,3 bi <<https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,subsídio-de-onibus-em-sao-paulo-precisara-de-r-3-3-bi,10000097967>> - acessado em 15/06/2018 às 07:45

Anexos

Anexo 1: Informações sobre passageiros do sistema noturno

- Passageiros pagantes em dinheiro
- Passageiros pagantes em bilhete único comum
- Passageiros pagantes em bilhete único mensal
- Passageiros pagantes em bilhete único estudante
- Passageiros pagantes em bilhete único estudante mensal
- Passageiros pagantes em bilhete único vale transporte
- Passageiros pagantes em bilhete único vale transporte mensal
- Passageiros pagantes integração Metrô e CPTM
- Passageiros pagantes integração Metrô e CPTM mensal
- Passageiros integração ônibus - ônibus
- Passageiros com gratuidade
- Passageiros com gratuidade estudante

Anexo 2: Tarifa coletada por passageiro

Tipo	Valor	Obs
PASSAGEIROS PAGANTES EM DINHEIRO	R\$ 3,80	Apenas para 1 utilização, sem limite temporal
PASSAGEIROS PAGANTES BILHETE ÚNICO COMUM	R\$ 3,80	Até 4 utilizações em 3 horas (Comum) Nos domingos e feriados: até 4 utilizações em 8 horas (para cartão Comum pré-carregado com última carga igual ou superior a 4 tarifas)
PASSAGEIROS PAGANTES BILHETE ÚNICO COMUM MENSAL	R\$ 2,82	
PASSAGEIROS PAGANTES BILHETE ÚNICO ESTUDANTE	R\$ 1,90	Até 4 utilizações em 2 horas (VT e Escolar) Nos domingos e feriados: até 4 utilizações em 8 horas (para cartão Comum pré-carregado com última carga igual ou superior a 4 tarifas)
PASSAGEIROS PAGANTES BILHETE ÚNICO ESTUDANTE MENSAL	R\$ 1,76	
PASSAGEIROS PAGANTES BILHETE ÚNICO VALE TRANSPORTE	R\$ 3,80	Até 4 utilizações em 2 horas (VT e Escolar) Nos domingos e feriados: até 4 utilizações em 8 horas (para cartão Comum pré-carregado com última carga igual ou superior a 4 tarifas)
PASSAGEIROS PAGANTES BILHETE ÚNICO VALE TRANSPORTE MENSAL	R\$ 2,69	
PASSAGEIROS PAGANTES INTEGRAÇÕES METRÔ E CPTM	R\$ 2,82	Na integração com Trilhos, considera apenas a partição da tarifa destinada ao Sistema de Transporte Municipal
PASSAGEIROS PAGANTES INTEGRAÇÕES METRÔ E CPTM MENSAL	R\$ 2,12	Consideramos uma queda de 25% na tarifa equivalente de Integração Ônibus/trilhos
PASSAGEIROS INTEGRAÇÕES ÔNIBUS -> ÔNIBUS	R\$ -	Não há cobrança de tarifa
PASSAGEIROS COM GRATUIDADE	R\$ -	Não há cobrança de tarifa
PASSAGEIROS COM GRATUIDADE ESTUDANTE	R\$ -	Não há cobrança de tarifa

Anexo 3: Fator de divisão de custos

	HVD medio (1)	Desvpadrão	Tempo total de operação diário (h) (2)	(1)^(2)	Ponderado local + estrutural	Razão noturno/total
Estrutural Diurno	14,56	0,18	153	2.227,68	14,01	26%
Estrutural Noturno	4,80	0,18	20	96,09	4,91	
Local Diurno	13,49	0,23	163	2.198,84		
Local Noturno	5,06	0,10	15	75,88		

Anexo 4: Custos variáveis por tipo de ônibus

	Custos Variáveis R\$/Km					
	Combustíveis	Rodagem	Lubrificação	Total		
MICRO E MINIÔNIBUS	R\$ 0,77	R\$ 0,08	R\$ 0,02	R\$ 0,86		
MIDIÔNIBUS	R\$ 1,02	R\$ 0,09	R\$ 0,02	R\$ 1,12		
BÁSICO	R\$ 1,18	R\$ 0,09	R\$ 0,02	R\$ 1,28		
PADRON	R\$ 1,41	R\$ 0,11	R\$ 0,02	R\$ 1,53		
PADRON 15M	R\$ 1,66	R\$ 0,14	R\$ 0,02	R\$ 1,82		
ARTICULADO	R\$ 1,81	R\$ 0,18	R\$ 0,05	R\$ 2,04		
ARTICULADO 23M	R\$ 1,92	R\$ 0,21	R\$ 0,05	R\$ 2,18		
BIARTICULADO	R\$ 2,04	R\$ 0,25	R\$ 0,06	R\$ 2,35		
TRÓLEBUS	R\$ 1,89	R\$ 0,11	R\$ 0,03	R\$ 2,03		

TIPO DE VEÍCULO	FROTA	PEÇAS E ACESSÓRIOS(R\$/MÊS)
MIDIÔNIBUS	1.616	3.196.053
BÁSICO	2.972	6.403.724
MICRO-ÔNIBUS	0	0
MINIÔNIBUS	3.585	5.981.373
PADRON	815	2.154.324
PADRON 15m	23	102.881
PADRON ETANOL	0	0
PADRON 15m ETANOL	10	52.241
PADRON LE	2.768	9.063.347
PADRON LE 15m	170	675.348
TROLEBUS	201	944.183
ARTICULADO	141	858.536
ARTICULADO LE	1.203	7.196.520
ARTICULADO 23m	990	5.086.884
BIARTICULADO	209	1.704.460

CONVERSÃO	FROTA	PEÇAS E ACESSÓRIOS(R\$/MÊS)	PEÇAS E ACESSÓRIOS (R\$/DIA/ONIBUS)
MICRO e MINIÔNIBUS	3.585	R\$ 5.981.372,86	R\$ 55,61
MIDIÔNIBUS	1.616	R\$ 3.196.053,35	R\$ 65,93
BÁSICO	2.972	R\$ 6.403.723,53	R\$ 71,82
PADRON	3.583	R\$ 7.491.799,83	R\$ 69,70
PADRON 15m	203	R\$ 579.792,27	R\$ 95,20
ARTICULADO	1.344	R\$ 6.531.597,49	R\$ 161,99
ARTICULADO 23m	990	R\$ 5.086.884,15	R\$ 171,28
BIARTICULADO	209	R\$ 1.704.460,47	R\$ 271,84
TROLEBUS	201	R\$ 944.183,30	R\$ 156,58

Anexo 5: Custos variáveis por tipo de ônibus

Custo Por Hora	
Motorista	Cobrador
R\$ 36,87	R\$ 23,16

	Técnicos Manut. (Mês)	Manutenção (dia) equiv.	Fiscais (Mês)	Fiscal (dia) equiv.
MICRO e MINIÔN	R\$ 2.614,70	R\$ 22,32	R\$ 915,35	R\$ 7,81
MIDIÔNIBUS	R\$ 2.614,70	R\$ 22,32	R\$ 915,35	R\$ 7,81
BÁSICO	R\$ 2.614,70	R\$ 22,32	R\$ 915,35	R\$ 7,81
PADRON	R\$ 2.614,70	R\$ 22,32	R\$ 915,35	R\$ 7,81
PADRON 15m	R\$ 2.614,70	R\$ 22,32	R\$ 915,35	R\$ 7,81
ARTICULADO	R\$ 3.444,19	R\$ 29,40	R\$ 915,35	R\$ 7,81
ARTICULADO 23m	R\$ 3.444,19	R\$ 29,40	R\$ 915,35	R\$ 7,81
BIARTICULADO	R\$ 3.444,19	R\$ 29,40	R\$ 915,35	R\$ 7,81
TROLEBUS	R\$ 1.521,69	R\$ 12,99	R\$ 915,35	R\$ 7,81

	Custo Equip. Embarcados	
	Validador	AVL
Valor	R\$ 5.500,00	R\$ 3.000,00
Índice Manut (mensal)	0,455%	1,000%
Índice Depre (mensal)	1,667%	1,042%

	Manut. Equip Valid. (mês)	Manut. Equip AVL (mês)	Depre. Equip Valid. (mês)	Depre. Equip AVL (mês)	Tot. Equip Valid. (dia) equiv	Tot. Equip AVL (dia) equiv.
MICRO e MINIÔN	R\$ 25,00	R\$ 30,00	R\$ 91,67	R\$ 31,25	R\$ 1,00	R\$ 0,52
MIDIÔNIBUS	R\$ 25,00	R\$ 30,00	R\$ 91,67	R\$ 31,25	R\$ 1,00	R\$ 0,52
BÁSICO	R\$ 25,00	R\$ 30,00	R\$ 91,67	R\$ 31,25	R\$ 1,00	R\$ 0,52
PADRON	R\$ 25,00	R\$ 30,00	R\$ 91,67	R\$ 31,25	R\$ 1,00	R\$ 0,52
PADRON 15m	R\$ 25,00	R\$ 30,00	R\$ 91,67	R\$ 31,25	R\$ 1,00	R\$ 0,52
ARTICULADO	R\$ 50,00	R\$ 30,00	R\$ 183,33	R\$ 31,25	R\$ 1,99	R\$ 0,52
ARTICULADO 23m	R\$ 50,00	R\$ 30,00	R\$ 183,33	R\$ 31,25	R\$ 1,99	R\$ 0,52
BIARTICULADO	R\$ 50,00	R\$ 30,00	R\$ 183,33	R\$ 31,25	R\$ 1,99	R\$ 0,52
TROLEBUS	R\$ 50,00	R\$ 30,00	R\$ 183,33	R\$ 31,25	R\$ 1,99	R\$ 0,52

Anexo 6: Depreciação por tipo de veículo

TIPO DE VEÍCULO	Índice Médio Anual de Depreciação	Preço do Veículo sem pneus (R\$)	Depreciação Anual Média
MIDIÔNIBUS	9,85%	270.527	26.638
BÁSICO	7,81%	284.715	22.249
MICRO-ÔNIBUS	0,00%	160.766	-
MINIÔNIBUS	8,89%	223.707	19.885
PADRON	3,37%	324.040	10.924
PADRON 15m	1,64%	536.772	8.784
PADRON ETANOL	0,00%	483.811	-
PADRON 15m ETANOL	8,18%	696.551	56.991
PADRON LE	7,48%	436.630	32.678
PADRON LE 15m	7,84%	521.840	40.888
TROLEBUS	10,40%	661.811	68.803
ARTICULADO	2,19%	730.669	16.027
ARTICULADO LE	6,33%	767.561	48.549
ARTICULADO 23m	13,88%	821.791	114.032
BIARTICULADO	6,29%	1.002.624	63.036
HÍBRIDO	0,00%	567.654	-

