



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 1

**DEMANDA CONTRATUAL VERSUS REALIZADA NA LINHA 5-LILÁS: BANDAS,
EXPANSÃO E PREVISÃO ATÉ 2038**

Resumo

As projeções de demanda constituem um dos principais elementos para o equilíbrio econômico-financeiro das Parcerias Público-Privadas (PPPs) metroviárias, pois condicionam a repartição contratual dos riscos entre poder concedente e concessionária. Este estudo analisa a aderência entre a demanda contratual de referência e a demanda efetivamente transportada na Linha 5 - Lilás do Metrô de São Paulo, cuja concessão adota mecanismo de bandas simétricas de demanda. Com abordagem quantitativa, foram consolidadas séries históricas de passageiros, avaliadas as bandas efetivamente acionadas e projetada a demanda até 2038 por meio de modelos de séries temporais. Os resultados evidenciam que todos os trimestres completos permaneceram abaixo da banda neutra prevista contratualmente, culminando em reequilíbrio econômico-financeiro de R\$ 297,9 milhões e indicando a manutenção desse comportamento até o término da concessão, mesmo considerando a

expansão da linha. O estudo demonstra que a efetividade dos mecanismos de repartição do risco de demanda depende não apenas de seu desenho contratual, mas principalmente da qualidade da curva de demanda utilizada como referência. Quando essa curva é estruturalmente superestimada, mecanismos formalmente simétricos tendem a produzir compensações recorrentes em favor da concessionária, ampliando a exposição fiscal do poder concedente. Os resultados oferecem subsídios para o aperfeiçoamento da modelagem de demanda, da alocação contratual de riscos e da estruturação de futuras PPPs metroviárias.

Palavras-chave: *Parceria Público-Privada; bandas simétricas de demanda; previsão de demanda; risco e exposição fiscal; Linha 5-Lilás.*

1. INTRODUÇÃO

As Parcerias Público-Privadas (PPPs) consolidaram-se como importante instrumento de provisão de infraestrutura de transporte ao combinar financiamento privado, compartilhamento de riscos e contratos de longo prazo orientados ao desempenho (Brasil, 2004; Hodge; Greve, 2007; Grimsey; Lewis, 2004). Nesse contexto, a previsão de demanda constitui um dos principais elementos para o equilíbrio econômico-financeiro das concessões, uma vez que subsidia o dimensionamento da capacidade operacional, as projeções de receita e a alocação contratual dos riscos entre o poder concedente e a concessionária (Ortúzar; Willumsen, 2011). Quando essas projeções diferem substancialmente da demanda efetivamente observada, aumentam a probabilidade de reequilíbrios econômico-financeiros, a exposição fiscal do Estado e a necessidade de renegociação contratual (Engel; Fischer; Galetovic, 2010).

Estudos internacionais demonstram que desvios significativos entre demanda prevista e demanda realizada constituem um fenômeno recorrente em megaprojetos de infraestrutura

de transporte, produzindo impactos sobre a sustentabilidade financeira das concessões e sobre a eficiência da alocação de riscos (Flyvbjerg; Bruzelius; Rothengatter, 2003). Embora parte expressiva da literatura tenha se concentrado nos mecanismos de Garantia Mínima de Receita (*Minimum Revenue Guarantee* - MRG) e em outras formas de mitigação do risco de demanda (Irwin, 2007; Engel; Fischer; Galetovic, 2010), permanecem relativamente escassos os estudos voltados à avaliação de contratos estruturados com bandas simétricas de demanda, especialmente em situações nas quais a curva contratual de referência apresenta desvios persistentes à demanda efetivamente transportada.

A Linha 5 - Lilás do Metrô de São Paulo configura um caso particularmente relevante para essa discussão. Diferentemente da Linha 4 - Amarela, cuja concessão adota mecanismo de Garantia Mínima de Receita, a Linha 5 opera sob regime de bandas simétricas previsto na Cláusula 48 do Contrato nº 003/2018, pelo qual os desvios entre a demanda projetada e a demanda realizada são compartilhados entre a concessionária e o poder concedente. Esse desenho contratual foi concebido para promover uma distribuição simétrica dos riscos associados à demanda, cuja efetividade depende da aderência entre a curva contratual de referência e o comportamento efetivamente observado ao longo da concessão. A ocorrência de reequilíbrios econômico-financeiros após a pandemia de COVID-19, associada à recente expansão contratual em direção ao Jardim Ângela, reforça a atualidade e a relevância da presente investigação. Além disso, a Linha 5 reúne características que a tornam especialmente adequada para esse tipo de análise, por combinar uma concessão relativamente recente, mecanismos explícitos de compartilhamento do risco de demanda, disponibilidade de série histórica após a operação plena e alterações contratuais decorrentes da expansão da linha.

Diante desse contexto, o objetivo geral deste estudo é analisar a aderência entre a demanda de referência contratual e a demanda efetivamente transportada na Linha 5 - Lilás, identificando as faixas de bandas acionadas e projetando a demanda até o término da concessão, em 2038. Especificamente, busca-se: (i) reconstruir a curva contratual de referência constante do Anexo VIII do Contrato nº 003/2018 e consolidar a série histórica da demanda realizada durante o período de operação plena; (ii) comparar ambas as séries, mensurar os desvios observados e identificar o enquadramento da demanda nas diferentes faixas de bandas previstas contratualmente; e (iii) projetar a demanda até 2038 mediante modelagem de séries temporais, em cenários com e sem a expansão ao Jardim Ângela, confrontando os resultados obtidos com a curva contratual de referência.

Ao integrar análise contratual, reconstrução de séries históricas, modelagem preditiva e avaliação dos mecanismos de compartilhamento de riscos, este estudo busca contribuir para o aperfeiçoamento dos mecanismos de alocação de riscos em contratos de PPPs metroviárias. Adicionalmente, pretende fornecer resultados relacionados a aderência entre a demanda contratual e a demanda observada, bem como de suas implicações para o equilíbrio econômico-financeiro das concessões, para a efetividade dos mecanismos de repartição de riscos e para a exposição fiscal do poder concedente.

2. DIAGNÓSTICO E REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 PPPs metroviárias e compartilhamento do risco de demanda

As Parcerias Público-Privadas caracterizam-se pela repartição contratual dos riscos entre o poder público e o parceiro privado, buscando atribuir cada categoria de risco à parte com maior capacidade técnica, financeira e gerencial para administrá-la (Grimsey; Lewis, 2004; Yescombe, 2007). Esse princípio, amplamente aceito na literatura internacional,

constitui um dos fundamentos da eficiência das PPPs, pois reduz custos de transação, incentiva o desempenho contratual e limita a necessidade de renegociações decorrentes de eventos previsíveis (Hodge; Greve, 2007; World Bank, 2017).

No setor metroferroviário, a adequada alocação dos riscos assume importância particular em razão dos altos investimentos iniciais, dos longos horizontes de concessão e da dependência da demanda de passageiros para a sustentabilidade econômico-financeira dos contratos (Roumboutsos; Pantelias, 2015). Entre os diversos riscos envolvidos, como os riscos de construção, financiamento, operação, disponibilidade e demanda, este último merece atenção especial por depender de fatores externos ao controle direto da concessionária, tais como o crescimento econômico, a dinâmica urbana, a integração modal, as alterações tarifárias e as mudanças no comportamento dos usuários (Ortúzar; Willumsen, 2011).

Em consequência, os contratos de PPP metroviária adotam diferentes mecanismos para distribuir o risco de demanda entre concessionária e poder concedente. Enquanto alguns modelos transferem integralmente esse risco ao operador privado, outros incorporam instrumentos de compartilhamento capazes de reduzir a volatilidade das receitas e preservar o equilíbrio econômico-financeiro do contrato. A escolha do mecanismo contratual influencia diretamente os incentivos econômicos dos agentes envolvidos e condiciona a exposição fiscal do Estado diante de desvios entre a demanda prevista e a efetivamente observada (Irwin, 2007; Engel; Fischer; Galetovic, 2010).

2.2 Erro de previsão de demanda e exposição fiscal

A previsão de demanda constitui um dos principais elementos para a modelagem econômico-financeira de projetos de transporte, pois subsidia estimativas de receita, dimensionamento operacional e avaliação da viabilidade dos investimentos (Ortúzar;

Willumsen, 2011). Entretanto, diversos estudos demonstram que previsões de demanda estão sujeitas a um alto grau de incerteza, sobretudo em empreendimentos de grande porte, nos quais o horizonte de planejamento frequentemente ultrapassa duas décadas e incorpora mudanças demográficas, econômicas e tecnológicas de difícil antecipação (Flyvbjerg; Bruzelius; Rothengatter, 2003).

Diversos estudos internacionais documentam que a superestimação da demanda constitui um fenômeno recorrente em megaprojetos de transporte. Flyvbjerg, Holm e Buhl (2005) verificaram que a demanda efetivamente observada permaneceu significativamente abaixo das previsões na maior parte dos empreendimentos analisados, indicando que erros de previsão não representam eventos isolados, mas um padrão recorrente associado a vieses metodológicos, excesso de otimismo e incentivos institucionais durante a estruturação dos projetos (Bain, 2009). Esses desvios comprometem a arrecadação tarifária prevista e frequentemente conduzem à revisão dos contratos ou ao acionamento de mecanismos de recomposição do equilíbrio econômico-financeiro (Engel; Fischer; Galetovic, 2010).

Do ponto de vista das finanças públicas, a repartição contratual do risco de demanda influencia diretamente a exposição fiscal do poder concedente. Garantias abrangentes podem reduzir os incentivos para o aperfeiçoamento das estimativas de demanda, produzindo problemas de risco moral (*moral hazard*) e transferindo parcela significativa do risco econômico ao Estado (Irwin, 2007). Estudos realizados em diferentes países evidenciam que contratos estruturados com mecanismos de proteção de receita frequentemente resultaram em renegociações contratuais e aumento dos compromissos fiscais originalmente não previstos, como observado nos casos do London Underground PPP, em Londres, e de

concessões metroferroviárias na Coreia do Sul e em Bangkok (Hodge; Greve, 2007; National Audit Office, 2009; Siemiatycki, 2006; Kim et al., 2019).

No contexto brasileiro, a literatura ainda é relativamente limitada quanto à avaliação dos mecanismos de repartição do risco de demanda em concessões metroviárias. Martins e Viana (2019) destacam que, embora os contratos brasileiros incorporem sofisticados instrumentos de alocação de riscos, permanecem escassos os estudos que confrontam as previsões contratuais com a demanda efetivamente realizada ao longo da execução da concessão. Essa lacuna torna particularmente relevante a investigação de contratos estruturados com bandas simétricas de demanda, cuja efetividade depende da aderência entre a curva contratual de referência e o comportamento observado da demanda.

2.3 Bandas simétricas como mecanismo de repartição de risco

Os mecanismos de mitigação do risco de demanda adotados em concessões metroferroviárias podem ser compreendidos como instrumentos graduais de compartilhamento das variações entre a demanda prevista e a demanda efetivamente observada. Entre os modelos mais difundidos internacionalmente destacam-se a Garantia Mínima de Receita (*Minimum Revenue Guarantee* - MRG), que protege parcialmente a concessionária em cenários de demanda inferior à prevista, e os sistemas de bandas de demanda, nos quais ganhos e perdas são compartilhados entre as partes conforme intervalos previamente definidos (Irwin, 2007; Engel; Fischer; Galetovic, 2010). Embora ambos tenham como objetivo preservar o equilíbrio econômico-financeiro da concessão, diferem substancialmente quanto aos incentivos econômicos produzidos e à distribuição efetiva do risco fiscal.

Na Linha 4 - Amarela do Metrô de São Paulo, o mecanismo contratual baseia-se na Garantia Mínima de Receita, estruturada em bandas assimétricas de compensação que limitam as perdas da concessionária quando a demanda fica abaixo da previsão contratual. Já a Linha 5 - Lilás, objeto deste estudo, adota arquitetura distinta, definida pela Cláusula 48 do Contrato nº 003/2018, na qual a repartição dos riscos ocorre por meio de bandas simétricas calculadas a partir da razão entre a demanda realizada (D_r) e a demanda projetada (D_p). Nesse modelo, tanto déficits quanto excedentes de demanda podem gerar ajustes na Tarifa de Remuneração, conforme intervalos previamente estabelecidos, preservando, em tese, a simetria da repartição contratual dos riscos.

Entretanto, a efetividade desse mecanismo depende diretamente da aderência entre a curva contratual de referência e a evolução real da demanda ao longo da concessão. Quando a demanda projetada apresenta desvios persistentes em relação à demanda observada, um instrumento concebido para compartilhar riscos de forma simétrica pode produzir, na prática, mecanismos recorrentes de compensação financeira em favor da concessionária, ampliando a exposição fiscal do poder concedente. Essa possibilidade, ainda pouco explorada na literatura internacional, constitui o principal fundamento teórico da investigação desenvolvida neste trabalho.

2.4 Projeção de demanda em sistemas metroferroviários

A modelagem de demanda em sistemas metroferroviários utiliza diferentes abordagens estatísticas, desde modelos econométricos estruturais até técnicas de séries temporais, cuja escolha depende da disponibilidade de dados, do horizonte de previsão e da natureza do fenômeno analisado (Ortúzar; Willumsen, 2011). Em séries históricas de passageiros transportados, os modelos da família ARIMA e SARIMA figuram entre os métodos

mais empregados, por representarem adequadamente componentes de tendência, sazonalidade e autocorrelação temporal presentes em dados mensais de transporte (Chiang; Russell; Urban, 2011; Milenković et al., 2018).

Apesar de seu amplo emprego, modelos de séries temporais tendem a extrapolar tendências recentes, podendo superestimar projeções de longo prazo quando a série incorpora períodos excepcionais de crescimento ou recuperação acelerada, como observado após a pandemia de COVID-19 (Hyndman; Athanasopoulos, 2021). Por essa razão, estudos recentes recomendam complementar a modelagem principal com procedimentos de validação, comparação entre modelos e testes de consistência, reduzindo o risco de projeções otimistas ou inconsistentes com o comportamento estrutural da demanda (Chuwang; Chen, 2022).

Considerando essas recomendações, o presente estudo emprega modelos de séries temporais como instrumentos para subsidiar a análise da aderência entre a demanda contratual e a demanda efetivamente observada, e não como finalidade em si mesma. A modelagem estatística apresentada na Seção 3 é utilizada para projetar a demanda ao longo do horizonte da concessão, possibilitando comparar as trajetórias estimadas com a curva contratual de referência e avaliar as implicações dessa comparação para os mecanismos de repartição de riscos previstos no Contrato nº 003/2018.

3. METODOLOGIA

Este estudo adota abordagem quantitativa, de caráter exploratório e descritivo, fundamentada em análise documental, tratamento de séries históricas e modelagem estatística da demanda de passageiros. A estratégia metodológica foi estruturada para assegurar a rastreabilidade das informações utilizadas, a reprodutibilidade dos procedimentos

e a confiabilidade dos resultados obtidos, permitindo comparar a demanda efetivamente observada na Linha 5 - Lilás com a demanda contratualmente projetada ao longo do período de concessão.

A metodologia está estruturada em quatro etapas complementares: (i) construção da base de dados a partir de fontes oficiais; (ii) reconstrução dos meses não publicados mediante procedimento de razão à rede; (iii) modelagem estatística e projeção da demanda até o término da concessão; e (iv) implementação computacional e documentação dos procedimentos necessários à reprodutibilidade da pesquisa.

3.1 Fontes de dados e construção da base de análise

A demanda realizada foi obtida exclusivamente de fontes secundárias oficiais. Utilizaram-se os relatórios mensais de passageiros transportados divulgados pela concessionária ViaMobilidade, atualmente disponibilizados pelo Portal Motiva, complementados pelas estatísticas operacionais publicadas pelo Metrô de São Paulo. Essas bases permitiram consolidar uma série histórica mensal compreendendo o período entre outubro de 2017 e maio de 2026, expressa em passageiros transportados por mês.

Para fins de modelagem estatística, definiu-se como janela o período compreendido entre agosto de 2018 e maio de 2026, correspondente ao início da operação plena do trecho Capão Redondo - Chácara Klabin, totalizando 94 observações mensais. Optou-se por excluir a fase inicial de implantação parcial da linha, por corresponder a uma fase em que a demanda ainda estava condicionada à expansão gradual da infraestrutura e, portanto, não era comparável ao comportamento operacional consolidado da concessão.

A construção da base de análise exigiu ainda a reconstrução dos registros correspondentes a doze meses para os quais não havia disponibilidade de dados nas fontes

oficiais consultadas. Esses valores foram estimados por meio de procedimento específico baseado na razão entre a demanda da Linha 5 - Lilás e a demanda agregada das principais linhas operadas diretamente pelo Metrô de São Paulo, conforme descrito na subseção seguinte.

3.2 Reconstrução dos meses não publicados

Doze meses da série histórica não estavam disponíveis nas fontes oficiais consultadas: janeiro de 2020; janeiro, fevereiro e dezembro de 2022; e março a outubro de 2023. Essa indisponibilidade decorre da forma de publicação dos dados operacionais: o Portal Motiva disponibiliza os relatórios mensais de passageiros transportados em arquivos individuais que são sobrescritos a cada atualização, sem manutenção de histórico público, enquanto o Metrô de São Paulo deixou de divulgar a demanda da Linha 5 - Lilás em seus boletins estatísticos após a transferência da operação para a concessionária. Esgotadas as buscas nas bases oficiais e em outras fontes públicas, optou-se pela reconstrução da série mediante procedimento estatístico específico.

A reconstrução foi realizada pelo método da razão à rede, que estima a demanda mensal da Linha 5 - Lilás como proporção da demanda agregada das Linhas 1 - Azul, 2 - Verde e 3 - Vermelha, operadas diretamente pelo Metrô de São Paulo. O procedimento parte da premissa de que essas linhas apresentam forte co-movimento temporal, decorrente do compartilhamento dos mesmos calendários operacionais, da sazonalidade anual e da trajetória comum de recuperação da demanda após a pandemia. Formalmente, a demanda reconstruída da Linha 5 - Lilás no mês m foi estimada a partir da Eq. (1) por:

$$Dr_5(m) = k(m) \times [D_1(m) + D_2(m) + D_3(m)] \quad \text{Eq. (1)}$$

Na Eq (1), $Dr_5(m)$ representa a demanda mensal estimada da Linha 5 - Lilás no mês m ; $D_1(m)$, $D_2(m)$ e $D_3(m)$ correspondem, respectivamente, às demandas mensais observadas das Linhas 1 - Azul, 2 - Verde e 3 - Vermelha no mesmo período; e $k(m)$ representa o coeficiente de participação da Linha 5 na demanda agregada dessas três linhas-tronco. Esse coeficiente é calculado a partir dos meses em que existem observações simultâneas para todas as linhas e expressa a proporção da demanda da Linha 5 em relação ao conjunto da rede de referência. Dessa forma, a estimativa para os meses sem informação disponível resulta da aplicação do coeficiente $k(m)$ à demanda efetivamente observada nas linhas de referência, permitindo reproduzir a sazonalidade e a evolução temporal observadas na rede metroviária durante o período analisado

A razão $k(m)$ apresentou alta estabilidade ao longo da série histórica, com valor médio de aproximadamente 0,117 e amplitude sazonal inferior a $\pm 2\%$. Para cada mês ausente, estimou-se inicialmente o valor anual implícito desse coeficiente por interpolação linear entre os meses observados do próprio ano e, posteriormente, aplicou-se um índice sazonal mensal calibrado a partir dos anos com série completa (2021 e 2024). A demanda reconstruída correspondeu, assim, ao produto entre o coeficiente estimado e a demanda efetivamente observada nas três linhas-tronco do Metrô para o mesmo mês.

A confiabilidade do procedimento foi avaliada por três estratégias complementares. A primeira consistiu em reamostragem por exclusão (*leave-out*), reproduzindo artificialmente padrões de lacunas nos anos de 2021 e 2024, para os quais a série encontrava-se integralmente disponível. Nesse teste, o método apresentou erro percentual absoluto médio (MAPE) de 1,7%, desempenho substancialmente superior ao obtido por interpolação linear

simples, cujos erros variaram entre 5,5% e 9,7%. A reconstrução de meses isolados apresentou erro inferior a 0,5%, indicando elevada capacidade preditiva.

A segunda estratégia consistiu na comparação entre o acumulado reconstruído para o período compreendido entre agosto de 2018 e agosto de 2023 e o volume oficial divulgado pela ANPTrilhos. A série reconstruída totalizou 669,5 milhões de passageiros, frente aos 660,5 milhões informados pela entidade, correspondendo a desvio relativo de +1,4%. Por fim, os doze meses reconstruídos foram explicitamente identificados na Figura 1, distinguindo-se graficamente dos valores observados, enquanto a memória de cálculo, incluindo os coeficientes utilizados, encontra-se disponibilizada no Anexo A.

3.3 Modelagem estatística e projeção da demanda

A curva contratual de referência (D_p) foi reconstruída a partir dos valores anuais constantes da Cláusula 48.10 e do Anexo VIII do Contrato nº 003/2018, sendo posteriormente convertida para bases trimestral e anual. A aderência entre demanda realizada (D_r) e demanda projetada (D_p) foi calculada para cada trimestre civil completo, iniciando-se no quarto trimestre de 2018, primeiro período integralmente submetido ao regime contratual da concessão. Cada observação foi classificada segundo as faixas de bandas previstas na Cláusula 48, permitindo identificar a frequência de enquadramento em cada faixa contratual e o consequente acionamento dos mecanismos de compensação previstos no contrato

A projeção da demanda até dezembro de 2038 foi obtida por meio de modelos de séries temporais, tomando como referência a série mensal compreendida entre agosto de 2018 e maio de 2026. Inicialmente, a estacionariedade foi avaliada pelos testes *Augmented Dickey-Fuller* (ADF) e *Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin* (KPSS), enquanto a seleção das ordens

dos modelos considerou o Critério de Informação de Akaike (AIC), conforme recomendações consolidadas para modelagem ARIMA/SARIMA (Hyndman; Athanasopoulos, 2021).

Foram implementadas três abordagens complementares de projeção. O modelo principal baseou-se na estrutura SARIMA, cujas estimativas constituem as projeções centrais deste estudo. Como modelos de referência para comparação e validação dos resultados, empregaram-se um modelo SARIMAX, incorporando como variáveis exógenas o número de estações da rede metroferroviária, a população do município de São Paulo e o índice de mobilidade da Pesquisa Origem-Destino, e um modelo de alisamento exponencial com tendência amortecida (ETS), cuja especificação permite representar séries em que a tendência se reduz progressivamente ao longo do horizonte de previsão (Hyndman; Athanasopoulos, 2021).

O desempenho preditivo dos modelos foi avaliado por meio de procedimento de *backtesting*, utilizando-se 80% das observações para treinamento e os 20% restantes para teste. A comparação baseou-se nas métricas erro absoluto médio (MAE), raiz do erro quadrático médio (RMSE) e erro percentual absoluto médio (MAPE), sendo selecionado como modelo principal aquele que apresentou, simultaneamente, melhor desempenho preditivo e maior coerência com o comportamento estrutural da série. Complementarmente, a consistência das projeções foi avaliada por meio da validação *rolling-origin*, da decomposição STL (Cleveland et al., 1990), dos testes de cointegração de Engle-Granger e Johansen (para os modelos com variáveis exógenas) e da construção de intervalos de previsão por reamostragem *bootstrap*.

Com base nesses procedimentos, foram elaborados dois cenários prospectivos para o período remanescente da concessão: um cenário de continuidade da infraestrutura

atualmente em operação e outro considerando a expansão prevista até o Jardim Ângela, permitindo avaliar a sensibilidade das projeções diante das diferentes configurações futuras da Linha 5-Lilás.

3.4 Reprodutibilidade e implementação computacional

Todas as etapas de tratamento dos dados, modelagem estatística e geração das projeções foram implementadas em ambiente Python 3, utilizando principalmente as bibliotecas pandas, numpy e statsmodels, em plataforma Jupyter Notebook. As rotinas computacionais foram organizadas em dois programas independentes: DIM-L5-BASE, responsável pela consolidação, tratamento e reconstrução da base de dados, e DIM-L5, destinado à modelagem estatística, validação e projeção da demanda.

As rotinas estocásticas utilizadas na construção dos intervalos de previsão por *bootstrap* foram executadas com semente pseudoaleatória fixa, enquanto os programas registram automaticamente as versões das bibliotecas empregadas durante a execução. Esses procedimentos asseguram que os resultados apresentados possam ser integralmente reproduzidos por outros pesquisadores, reforçando a transparência metodológica e a confiabilidade das análises desenvolvidas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Aplicando-se os procedimentos metodológicos descritos na Seção 3, foi construída a série histórica consolidada da demanda da Linha 5 - Lilás, permitindo avaliar sua evolução temporal, sua aderência à curva contratual de referência e as implicações do mecanismo de repartição de riscos previsto no Contrato nº 003/2018. Para fins de análise, o diagnóstico foi organizado em quatro dimensões complementares: (i) evolução da demanda observada; (ii) aderência entre a demanda realizada e a demanda contratual; (iii) materialização da exposição

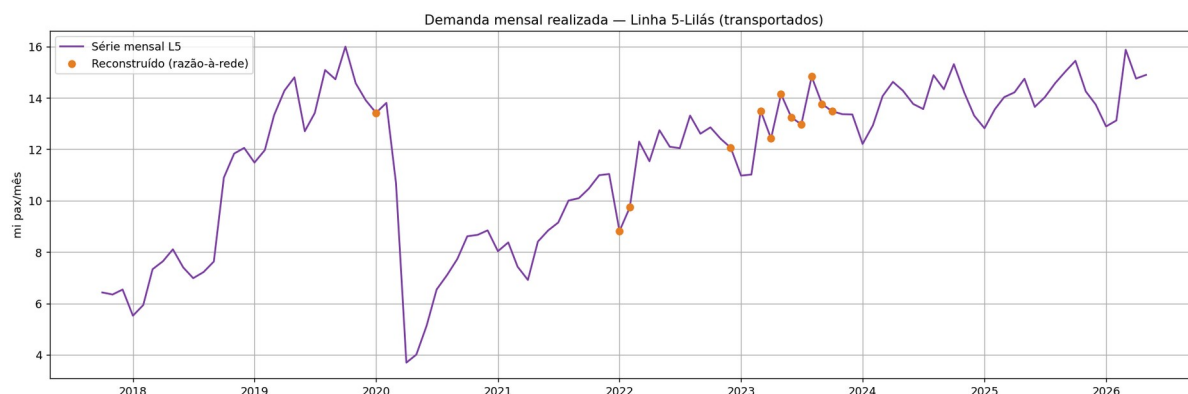
fiscal decorrente do acionamento das bandas de demanda; e (iv) comparação entre a arquitetura contratual da Linha 5 - Lilás e a da Linha 4 - Amarela. Em seguida, a análise estende-se ao horizonte remanescente da concessão: por meio de modelos de séries temporais, projeta-se a demanda até 2038 e avalia-se sua aderência às bandas contratuais, em cenários com e sem a expansão ao Jardim Ângela.

4.1 Evolução da demanda observada da Linha 5 - Lilás

A análise da série histórica consolidada da demanda da Linha 5 - Lilás permite identificar quatro regimes operacionais distintos, associados à maturação da concessão, ao choque provocado pela pandemia de COVID-19, ao processo de recuperação da mobilidade urbana e à posterior estabilização da demanda. Essa segmentação evidencia que a evolução da série não ocorreu de forma homogênea ao longo do período analisado, justificando sua avaliação por fases e permitindo distinguir alterações conjunturais de mudanças estruturais no comportamento da demanda.

A Figura 1 apresenta a evolução mensal da demanda entre agosto de 2018 e maio de 2026, incluindo a identificação dos doze meses reconstruídos conforme a metodologia descrita na Seção 3. Observa-se que, após a consolidação da operação plena da linha, a demanda evoluiu de aproximadamente 7,2 milhões de passageiros mensais, em agosto de 2018, até atingir o pico de 15,99 milhões em outubro de 2019. A partir de março de 2020 verifica-se ruptura abrupta da trajetória de crescimento em decorrência das restrições impostas pela pandemia, culminando no piso histórico de 3,70 milhões de passageiros em abril de 2020, equivalente a cerca de 29% da demanda média observada no período imediatamente anterior à crise sanitária.

Figura 1: Demanda mensal observada da Linha 5-Lilás (em milhões de passageiros), com destaque para os doze meses reconstruídos.



Fonte: Resultados da pesquisa, com base em ViaMobilidade/Portal Motiva e Metrô-SP.

Encerrada a fase mais crítica da pandemia, a série passou a apresentar recuperação gradual e contínua da demanda, inicialmente impulsionada pela retomada das atividades econômicas e pela flexibilização das medidas de distanciamento social. A partir de 2023 observa-se o restabelecimento do patamar médio registrado antes da pandemia, seguido de crescimento adicional em 2024 e estabilização em torno de 13 a 16 milhões de passageiros mensais até maio de 2026. Esse comportamento indica que o sistema atingiu um novo regime operacional relativamente estável, caracterizado por baixa variabilidade mensal e elevado grau de maturação da demanda.

A Tabela 1 sintetiza as estatísticas descritivas das quatro fases identificadas na série histórica. Verifica-se redução significativa da demanda média durante a pandemia, acompanhada de recuperação progressiva nas fases subsequentes, culminando na consolidação de média mensal de 14,11 milhões de passageiros entre 2024 e maio de 2026. Além do aumento da demanda, observa-se redução contínua do desvio-padrão entre as fases analisadas, passando de 3,38 milhões de passageiros no período pré-pandemia para apenas 0,86 milhão na fase de consolidação, evidenciando maior estabilidade operacional e menor dispersão da série.

Considerando-se toda a janela utilizada para modelagem estatística (94 observações mensais entre agosto de 2018 e maio de 2026), a demanda média foi de 12,05 milhões de passageiros por mês, com mediana de 12,91 milhões e desvio-padrão de 2,77 milhões, resultando em coeficiente de variação de 22,9%. A distribuição apresenta assimetria negativa ($-1,06$) e curtose de 0,50, comportamento esperado em razão do forte impacto da pandemia, que deslocou temporariamente parte das observações para níveis significativamente inferiores ao restante da série.

Tabela 1: Estatísticas descritivas por fase (milhões de passageiros/mês)

Fase	n	Média	Desv.-pad.	Mínimo	Máximo
Pré-COVID (2018–2019)	24	11,03	3,38	5,52	15,99
COVID-19 (2020–2021)	24	8,67	2,50	3,70	13,81
Recuperação (2022–2023)	24	12,48	1,35	8,82	14,83
Consolidação (2024–2026)	29	14,11	0,86	12,21	15,87

Fonte: resultado da pesquisa (DIM-L5-BASE). A fase pré-COVID inclui os meses de implantação parcial da linha (janeiro a julho de 2018).

Embora a inspeção visual da Figura 1 já indique mudanças evidentes na trajetória da demanda, buscou-se verificar estatisticamente a existência de alterações de regime por meio do teste de múltiplas quebras estruturais de Bai e Perron (2003). O procedimento, estimado por modelo de médias segmentadas com seleção pelo Critério de Informação Bayesiano (BIC), identificou quatro pontos ótimos de ruptura localizados em março de 2019, março de 2020, agosto de 2021 e março de 2023. Entre essas mudanças, a quebra observada em março de 2020 apresentou a maior magnitude, reduzindo a média mensal de aproximadamente 14,2 para 7,5 milhões de passageiros, resultado compatível com o início das restrições impostas pela pandemia.

A limitação da busca a quatro quebras estruturais permitiu individualizar os principais regimes operacionais da série, correspondentes às fases anterior à pandemia, de choque

sanitário, de recuperação e de consolidação, sendo a ruptura de março de 2019 interpretada como transição interna à fase inicial de implantação e maturação da linha, preservando sua interpretação econômica e evitando segmentações excessivamente sensíveis a oscilações de curto prazo. Em comparação, uma especificação baseada em única quebra estrutural, como o teste de Chow, mostrou-se inadequada para representar a dinâmica multirregime observada na demanda da Linha 5-Lilás, corroborando a recomendação metodológica de Bai e Perron (2003) para séries sujeitas a múltiplas mudanças de regime.

Em conjunto, a evolução temporal da demanda, as estatísticas descritivas e o teste de múltiplas quebras estruturais demonstram que a série atingiu, após a pandemia, um novo patamar operacional estável, distinto tanto da fase de implantação quanto do período de maior restrição sanitária. Essa caracterização constitui o ponto de partida para a análise da aderência entre a demanda efetivamente observada e a curva contratual de referência, desenvolvida na subseção seguinte.

4.2 Aderência entre demanda realizada e curva contratual

A avaliação da aderência entre a demanda efetivamente realizada (D_r) e a demanda contratual de referência (D_p) constitui o principal indicador para verificar o funcionamento do mecanismo de compartilhamento de riscos previsto na Cláusula 48 do Contrato nº 003/2018. Para essa finalidade, comparou-se a demanda observada em cada período com a curva contratual constante do Anexo VIII do contrato, inicialmente em base anual e, posteriormente, em base trimestral, permitindo identificar o enquadramento da concessão nas diferentes faixas de bandas estabelecidas contratualmente.

A Tabela 2 apresenta a evolução anual da demanda realizada, da demanda contratual e da respectiva aderência entre ambas.

Tabela 2: Demanda realizada (Dr), referência contratual (Dp) e aderência anual

Ano	Dr (mi)	Dp (mi)	Aderência (Dr/Dp)
2018	98,6	232,7	42,4%
2019	166,3	235,8	70,5%
2020	98,2	255,4	38,5%
2021	109,7	254,8	43,1%
2022	142,5	256,7	55,5%
2023	157,1	255,7	61,4%
2024	167,5	256,6	65,3%
2025	170,1	256,6	66,3%

Fonte: Resultado da pesquisa (Anexo VIII / Cláusula 48; DIM-L5-BASE). Valores anuais em milhões de passageiros.

Observa-se que, embora a demanda tenha apresentado recuperação consistente após a pandemia, a relação Dr/Dp permaneceu sistematicamente inferior aos valores previstos para a concessão durante todo o período analisado. A aderência partiu de 42,4% no primeiro ano de operação plena (2018), atingiu seu maior valor em 2019 (70,5%), reduziu-se para 38,5% durante o auge da pandemia (2020) e voltou a crescer progressivamente até alcançar 66,3% em 2025. Apesar dessa recuperação, nenhum dos exercícios anuais analisados aproximou-se da banda neutra prevista contratualmente, indicando que a evolução da demanda permaneceu persistentemente abaixo da trajetória considerada na modelagem econômico-financeira da concessão. Para interpretar adequadamente esses resultados, é necessário compreender a lógica do mecanismo de repartição de riscos estabelecido pelo contrato de concessão.

Conforme sintetizado na Tabela 3, a Cláusula 48 estabelece sete faixas de aderência entre demanda realizada e demanda projetada, definindo diferentes consequências econômicas para cada intervalo. Enquanto a banda compreendida entre 90% e 110% caracteriza a situação de equilíbrio contratual, sem necessidade de qualquer ajuste financeiro, aderências inferiores a esse intervalo produzem compensações progressivas em favor da

concessionária, podendo culminar em reequilíbrio econômico-financeiro quando a demanda permanece inferior a 60% da referência contratual. De forma simétrica, aderências superiores a 110% produzem ajustes favoráveis ao poder concedente, preservando, em tese, a repartição bidirecional dos riscos de demanda.

Tabela 3: Estrutura de bandas simétricas (Cláusula 48, Contrato nº 003/2018)

Faixa Dr/Dp	Tratamento	Alocação de risco
< 60%	Reequilíbrio econômico-financeiro	Poder concedente
60% – 80%	Ajuste para mais na Tarifa de Remuneração	Compartilhado (favor concessionária)
80% – 90%	Ajuste para mais na Tarifa de Remuneração	Compartilhado (favor concessionária)
90% – 110%	Sem ajuste (banda neutra)	Concessionária
110% – 120%	Ajuste para menos na Tarifa de Remuneração	Compartilhado (favor poder concedente)
120% – 140%	Ajuste para menos na Tarifa de Remuneração	Compartilhado (favor poder concedente)
> 140%	Reequilíbrio econômico-financeiro	Poder concedente

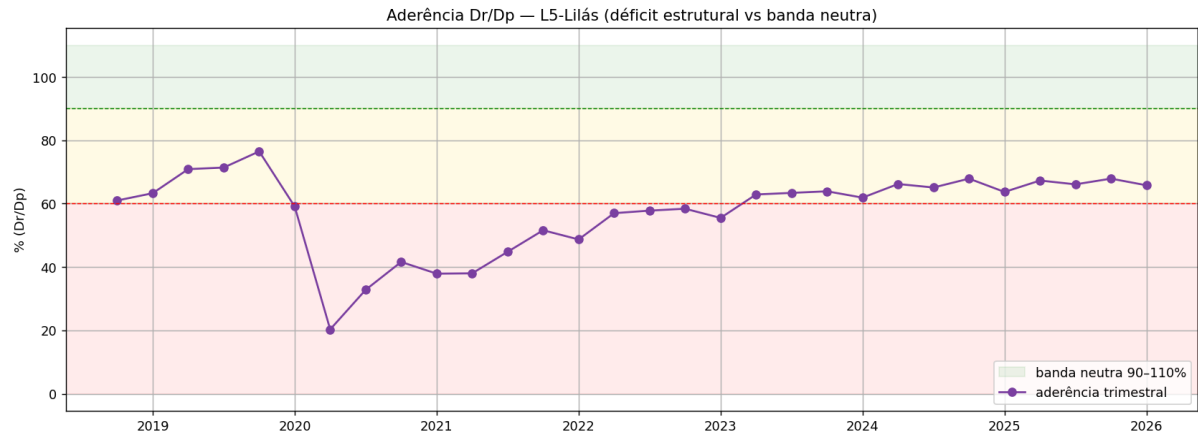
Fonte: Contrato nº 003/2018, Cláusula 48 (sintetizado pela pesquisa).

Embora a análise anual permita identificar o comportamento geral da concessão, a avaliação trimestral oferece maior aderência ao funcionamento efetivo do mecanismo contratual, uma vez que os cálculos de compensação previstos na Cláusula 48 são realizados com essa periodicidade.

A Figura 2 apresenta a evolução trimestral da razão Dr/Dp desde o quarto trimestre de 2018, primeiro período integralmente submetido ao regime operacional da concessão. Observa-se que nenhum dos trinta trimestres completos analisados alcançou a banda neutra compreendida entre 90% e 110%. Durante treze trimestres consecutivos, entre o primeiro trimestre de 2020 e o primeiro trimestre de 2023, a aderência permaneceu inferior a 60%, caracterizando a faixa de maior exposição do poder concedente. Nos dezessete trimestres restantes, a demanda situou-se entre 60% e 80% da curva contratual, condição que mantém

a incidência de ajustes positivos na Tarifa de Remuneração em favor da concessionária. Mesmo após a recuperação observada a partir de 2022, a série estabilizou-se em patamar significativamente inferior ao intervalo considerado contratualmente como neutro.

Figura 2: Aderência trimestral Dr/Dp da Linha 5-Lilás frente às bandas da Cláusula 48.



Fonte: Resultados da pesquisa.

A distribuição consolidada apresentada na Tabela 4 confirma esse comportamento. Dos trinta trimestres completos avaliados, treze (43,3%) enquadraram-se na faixa inferior a 60%, enquanto os dezessete restantes (56,7%) permaneceram entre 60% e 80%. Não houve qualquer trimestre situado entre 80% e 90%, tampouco na banda neutra ou nas faixas superiores previstas para compensações em favor do poder concedente. Sob a perspectiva contratual, esse resultado evidencia que o mecanismo de repartição de riscos operou continuamente em situações favoráveis à concessionária durante todo o período analisado.

Tabela 4: Distribuição dos 30 trimestres completos por faixa de banda

Faixa	Nº de trimestres	Participação
< 60% (risco do poder concedente)	13	43,3%
60% – 80% (ajuste + na Tr, favor concessionária)	17	56,7%
80% – 110% e superiores	0	0,0%

Fonte: resultado da pesquisa (DIM-L5-BASE).

Os resultados apresentados nesta subseção demonstram que a recuperação da demanda após a pandemia, embora significativa sob o ponto de vista operacional, não foi suficiente para restabelecer a aderência prevista na modelagem econômico-financeira da concessão. Em consequência, a permanência sistemática da demanda abaixo da banda neutra criou as condições necessárias para o acionamento recorrente dos mecanismos de compensação previstos na Cláusula 48. A análise dessas consequências econômicas constitui o objeto da subseção seguinte.

4.3 Materialização da exposição fiscal

Os resultados apresentados na subseção anterior demonstram que a demanda observada permaneceu continuamente abaixo da banda neutra estabelecida na Cláusula 48 do Contrato nº 003/2018, criando as condições contratuais para o acionamento dos mecanismos de compensação previstos para cenários de baixa demanda. A etapa seguinte da análise consiste em verificar se essa condição produziu apenas uma divergência estatística entre a demanda realizada e a demanda contratual ou se resultou, efetivamente, em obrigações financeiras para o poder concedente.

A comparação entre os resultados desta pesquisa e a documentação oficial da concessão evidencia que a exposição fiscal prevista contratualmente se materializou durante o período de maior retração da demanda provocado pela pandemia de COVID-19. Os treze trimestres consecutivos classificados com aderência inferior a 60%, compreendidos entre o primeiro trimestre de 2020 e o primeiro trimestre de 2023, correspondem exatamente ao período reconhecido pelo Poder Concedente como desequilíbrio econômico-financeiro no 2º Termo Aditivo ao Contrato nº 003/2018, firmado em setembro de 2023. Essa coincidência entre a classificação obtida pela metodologia desenvolvida nesta pesquisa e o ato

administrativo de reequilíbrio reforça a consistência da análise e confirma que o mecanismo contratual foi efetivamente acionado conforme previsto na Cláusula 48.

Conforme sintetizado na Tabela 5, o desequilíbrio reconhecido oficialmente alcançou R\$ 297.891.836,47, em valores de agosto de 2023, correspondentes a R\$ 102.805.367,63 em valor presente líquido, na data-base de fevereiro de 2017, conforme estabelecido na cláusula 2.1 do Segundo Termo Aditivo. A recomposição desse montante ocorre por meio de acréscimo de R\$ 0,2095 à Tarifa de Remuneração, em valores de fevereiro de 2023, permanecendo vigente até o encerramento da concessão em agosto de 2038. Sob a perspectiva desta pesquisa, esse reconhecimento constitui importante evidência empírica de que a permanência prolongada da demanda abaixo da faixa de 60% não permaneceu restrita ao campo estatístico, mas produziu repercussões econômicas concretas para o contrato.

Entretanto, a análise também evidencia que a exposição fiscal da concessão não se limita ao reequilíbrio formalmente reconhecido durante a pandemia. Após o retorno gradual da demanda, a série histórica permaneceu integralmente enquadrada na faixa compreendida entre 60% e 80% da demanda contratual, condição que, embora não enseje novo reequilíbrio econômico-financeiro, continua produzindo ajustes positivos na Tarifa de Remuneração (São Paulo, 2022) em favor da concessionária, conforme previsto nas cláusulas 48.5 a 48.8 do contrato. Dessa forma, a recuperação operacional da demanda não eliminou os efeitos econômicos da divergência entre a curva contratual e a demanda efetivamente observada.

Tabela 5: Decomposição da exposição fiscal por faixa de banda

Faixa / período	Tratamento	Valor
< 60% (2020-T1 a 2023-T1)	Reequilíbrio (2º Termo Aditivo)	R\$ 297,9 mi
60-80% (2018-2019; 2023-2026)	Ajuste + na Tarifa de Remuneração	≈ R\$ 490 mi *
Total — não somar (documentado + estimado)	Exposição ao poder concedente	R\$ 297,9 mi (doc.) + ≈ R\$ 490 mi (est.)

* Estimativa do ajuste tarifário acumulado (fórmulas das cláusulas 48.5–48.8) a uma Tarifa de Remuneração de R\$ 2,50, distinta do reequilíbrio primário da faixa < 60%.
Fonte: Resultados da pesquisa.

A estimativa apresentada na Tabela 5 indica que os ajustes tarifários acumulados nessa faixa poderão alcançar aproximadamente R\$ 490 milhões, considerando uma Tarifa de Remuneração de caso-base igual a R\$ 2,50 por passageiro. É importante ressaltar que esse montante possui natureza distinta daquela do reequilíbrio reconhecido no Segundo Termo Aditivo. Enquanto o primeiro corresponde a obrigação formalmente reconhecida pelo Poder Concedente, o segundo resulta de simulação desenvolvida nesta pesquisa mediante aplicação das fórmulas previstas contratualmente, devendo, portanto, ser interpretado como estimativa do potencial de exposição fiscal associado à permanência da demanda na faixa de 60% a 80%, e não como passivo oficialmente constituído.

Em conjunto, essas evidências demonstram que a exposição fiscal observada na Linha 5–Lilás possui duas componentes complementares. A primeira decorre dos reequilíbrios extraordinários associados a choques exógenos de elevada magnitude, como a pandemia de COVID-19. A segunda, de caráter permanente, resulta da permanência prolongada da demanda em faixas contratuais que favorecem financeiramente a concessionária. Sob essa perspectiva, os resultados sugerem que o mecanismo de bandas simétricas, embora concebido para distribuir riscos de forma bidirecional, passou a operar predominantemente em um único sentido ao longo do período analisado, em razão da persistente distância entre a demanda contratual de referência e a demanda efetivamente realizada.

4.4 Comparação da arquitetura contratual: Linha 5 - Lilás versus Linha 4 - Amarela

A comparação entre as concessões das Linhas 5–Lilás e 4–Amarela permite ampliar a interpretação dos resultados obtidos neste estudo ao evidenciar como diferentes mecanismos

de repartição do risco de demanda responderam ao mesmo choque exógeno provocado pela pandemia de COVID-19. Embora ambas as concessões integrem o sistema metroferroviário paulista e tenham experimentado reduções expressivas na demanda durante o período de restrições sanitárias, seus contratos adotam arquiteturas distintas de alocação de riscos, oferecendo oportunidade de comparação sob condições institucionais semelhantes.

Na Linha 4 - Amarela, a repartição do risco de demanda baseia-se na Garantia Mínima de Receita (*Minimum Revenue Guarantee* – MRG), mecanismo que protege a concessionária quando a demanda observada permanece significativamente abaixo da previsão contratual. Na Linha 5 - Lilás, por outro lado, o Contrato nº 003/2018 estabelece sistema de bandas simétricas, no qual tanto reduções quanto aumentos de demanda podem produzir ajustes na Tarifa de Remuneração, conforme os intervalos definidos na Cláusula 48. Em termos conceituais, esse desenho busca distribuir os riscos de forma bidirecional, preservando incentivos econômicos para ambas as partes.

Entretanto, os resultados apresentados neste estudo indicam que o desempenho efetivo do mecanismo depende diretamente da aderência entre a curva contratual de demanda e a demanda efetivamente observada. Na Linha 5 - Lilás, a permanência contínua da demanda abaixo da banda neutra impediu que a simetria prevista contratualmente se materializasse na prática, fazendo com que o sistema operasse predominantemente por meio de compensações favoráveis à concessionária. Assim, embora o contrato previsse repartição bidirecional dos riscos, a persistente superestimação da demanda de referência concentrou os efeitos econômicos em um único sentido durante todo o período analisado.

Essa conclusão torna-se ainda mais evidente quando se observam os reequilíbrios formalmente reconhecidos pelo Poder Concedente. Na Linha 4 - Amarela, o 8º Termo Aditivo

ao Contrato nº 4232521201/2006 reconheceu desequilíbrio econômico-financeiro correspondente a R\$ 682.606.724,08, em valores de fevereiro de 2023, a ser recomposto mediante adicional de R\$ 0,4631 na Tarifa de Remuneração até junho de 2040. Na Linha 5-Lilás, o Segundo Termo Aditivo reconheceu reequilíbrio de R\$ 297.891.836,47, em valores de agosto de 2023, com recomposição prevista até agosto de 2038. Consideradas conjuntamente, ambas as concessões produziram aproximadamente R\$ 980 milhões em reequilíbrios associados à redução extraordinária da demanda durante a pandemia (CCR S.A., 2023).

A comparação entre os dois contratos evidencia, contudo, que a diferença entre os mecanismos não reside apenas na magnitude dos valores compensados, mas na forma como o risco permanece distribuído após o encerramento do choque extraordinário. Enquanto a Garantia Mínima de Receita concentra a proteção contratual em situações de demanda muito inferior à prevista, o sistema de bandas simétricas da Linha 5-Lilás continua produzindo ajustes tarifários mesmo após a recuperação operacional da demanda, em razão da permanência da série histórica na faixa de 60% a 80% da demanda contratual. Dessa forma, a exposição fiscal deixa de estar associada exclusivamente ao evento pandêmico e passa a decorrer também da diferença persistente entre a curva contratual de referência e a demanda efetivamente realizável.

Sob essa perspectiva, a principal contribuição deste diagnóstico não consiste em afirmar que um mecanismo contratual seja superior ao outro, mas em demonstrar que a efetividade de qualquer instrumento de repartição do risco de demanda depende fundamentalmente da qualidade da demanda de referência utilizada na modelagem econômico-financeira da concessão. Quando essa curva permanece estruturalmente

superestimada, mecanismos concebidos para compartilhar riscos de forma equilibrada podem produzir, na prática, transferência recorrente de obrigações financeiras ao poder concedente, independentemente do desenho contratual originalmente adotado.

Enquanto as subseções anteriores demonstraram que a demanda observada permaneceu sistematicamente inferior à curva contratual durante o período histórico analisado, as subseções seguintes buscam verificar se esse comportamento tende a persistir ao longo do horizonte remanescente da concessão. Para esse fim, são apresentados os resultados da modelagem estatística da demanda até dezembro de 2038, confrontando-os com a curva contratual de referência e com o mecanismo de repartição de riscos estabelecido na Cláusula 48 do Contrato nº 003/2018.

4.5 Comparação entre os modelos de projeção

A previsão da demanda foi realizada mediante três especificações estatísticas complementares: um modelo SARIMA univariado, um modelo SARIMAX com variáveis exógenas e um modelo de alisamento exponencial com tendência amortecida (ETS). Conforme discutido na metodologia, a utilização de diferentes abordagens buscou reduzir o risco de dependência de um único modelo e permitir a comparação entre diferentes estratégias de previsão para séries temporais de passageiros transportados (Hyndman; Athanasopoulos, 2021).

A Tabela 6 sintetiza os principais indicadores de ajuste e validação dos modelos estimados. Embora o modelo SARIMAX tenha apresentado o menor erro percentual absoluto médio (MAPE = 5,3%), seus resíduos permaneceram autocorrelacionados e os coeficientes associados às variáveis exógenas não se mostraram estatisticamente significativos, indicando especificação inadequada para projeções de longo prazo. O modelo SARIMA apresentou

comportamento consistente, porém com erro de previsão superior (MAPE = 8,0%). Diante desses resultados, adotou-se como cenário central o modelo ETS com tendência amortecida, cujo desempenho preditivo mostrou-se robusto (MAPE = 5,5%) e cuja estrutura reduz a extrapolação excessiva das tendências recentes, característica particularmente importante em séries que incorporam o período excepcional de recuperação pós-pandemia.

Tabela 6: Modelos de projeção: especificação, ajuste e validação

Modelo	Especificação	AIC	MAPE	Demanda 2038 (mi/ano)
ETS — tend. amortecida (central)	Alisamento exponencial ($\phi=0,80$)	310,4	5,5%	180,4
SARIMA (referência da proposta)	SARIMA(2,1,2)(1,0,1) ₁₂	244,7	8,0%	171,0
SARIMAX (extensão exógena)	Com regressores estruturais	271,6	5,3% *	298,1

* O MAPE do SARIMAX, embora baixo, foi obtido com resíduos autocorrelacionados e regressores não significativos — por isso o modelo não foi adotado. Os AIC não são comparáveis entre classes de modelos distintas (verossimilhanças e amostras efetivas diferentes); servem apenas à seleção dentro de cada classe. Fonte: Resultados da pesquisa (DIM-L5). Backtesting 80/20. Cenário central: ETS com tendência amortecida.

Além do desempenho estatístico, a escolha do modelo central considerou sua coerência com os fundamentos do fenômeno analisado. A estabilização recente da demanda, a ausência de crescimento demográfico expressivo na área de influência da linha (IBGE, 2023) e a redução do índice de mobilidade observada na Pesquisa Origem-Destino sugerem que projeções baseadas em crescimento indefinido tenderiam a superestimar a demanda futura. Sob essa perspectiva, o modelo ETS produz estimativas mais compatíveis com um cenário de maturidade operacional da Linha 5-Lilás.

4.6 Projeção da demanda até 2038

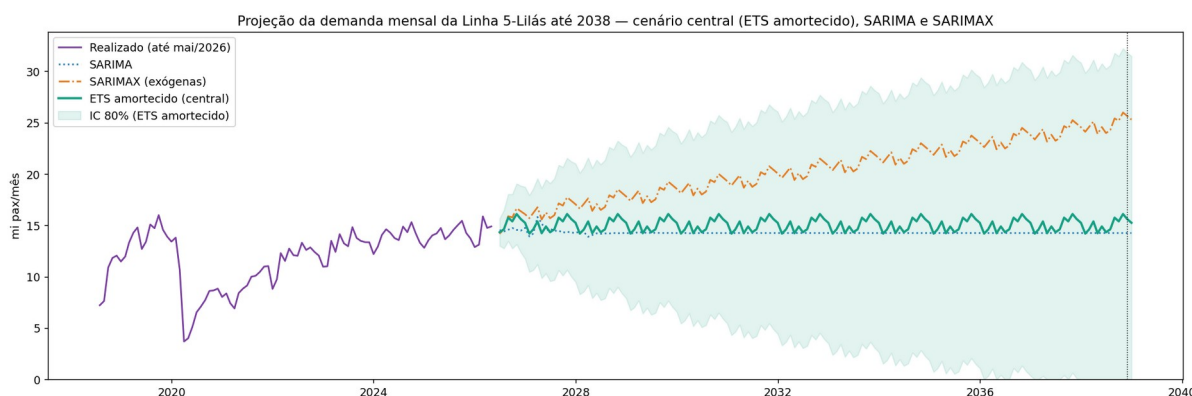
A Figura 3 apresenta as projeções mensais da demanda até dezembro de 2038 para os três modelos estimados, destacando-se o cenário central obtido pelo modelo ETS com tendência amortecida. Observa-se que, embora existam diferenças entre as trajetórias

projetadas, todos os modelos convergem para um comportamento comum: após a recuperação observada entre 2022 e 2025, a demanda tende a estabilizar-se, afastando-se da trajetória de crescimento acelerado implícita na curva contratual de referência.

No cenário central, a demanda anual converge para aproximadamente 180 milhões de passageiros ao final da concessão, enquanto o modelo SARIMA projeta cerca de 171 milhões e o SARIMAX aproximadamente 298 milhões. A divergência apresentada pelo modelo com variáveis exógenas decorre da extrapolação de regressores estruturais cuja significância estatística não foi confirmada durante a etapa de validação, razão pela qual essa projeção foi interpretada apenas como cenário de sensibilidade, não sendo utilizada nas análises subsequentes.

Os intervalos de predição representados na Figura 3 indicam aumento gradual da incerteza ao longo do horizonte de previsão, comportamento esperado em modelos de séries temporais. Ainda assim, mesmo considerando os limites superiores do intervalo de confiança do cenário central, as projeções permanecem substancialmente inferiores à demanda contratual prevista para o período, reforçando a hipótese de persistência da divergência identificada na análise histórica.

Figura 3: Projeção da demanda da Linha 5 - Lilás até 2038: cenário central (alisamento exponencial com tendência amortecida), com SARIMA e SARIMAX como referências e intervalo de predição de 80% do cenário central.



Fonte: Resultados da pesquisa.

4.7 Aderência projetada às bandas contratuais

Os resultados da modelagem estatística permitem avaliar não apenas a evolução esperada da demanda até o término da concessão, mas também suas implicações sobre o funcionamento do mecanismo de repartição de riscos previsto na Cláusula 48 do Contrato nº 003/2018. Para esse fim, as projeções anuais produzidas pelo cenário central foram confrontadas com a curva contratual de demanda constante do Anexo VIII, calculando-se a razão entre demanda projetada e a demanda contratual de referência (D_r/D_p).

A Tabela 7 apresenta a aderência projetada entre a demanda estimada e a curva contratual. Observa-se que, embora a demanda permaneça relativamente estável durante todo o horizonte de previsão, a razão D_r/D_p continua significativamente inferior ao intervalo considerado contratualmente como banda neutra (90% a 110%). No cenário central, a aderência mantém-se próxima de 70% ao longo de praticamente toda a vigência remanescente da concessão, indicando que a recuperação operacional da demanda não será suficiente para eliminar o descompasso identificado na análise histórica.

Tabela 7: Aderência projetada (cenário central, tendência amortecida) - anos selecionados

Ano	D_r projetada (mi)	D_p (mi)	Aderência	Faixa
2027	≈180	255,4	≈70%	60-80%
2030	≈180	256,3	≈70%	60-80%
2034	≈180	256,8	≈70%	60-80%
2038	≈180	256,6	≈70%	60-80%

Fonte: Resultados da pesquisa (DIM-L5).

Esse resultado possui implicações relevantes sob a perspectiva contratual. Diferentemente do período mais crítico da pandemia, em que sucessivos trimestres permaneceram abaixo do limite de 60% e ensejaram reequilíbrio econômico-financeiro

formal, a projeção indica predominância da faixa compreendida entre 60% e 80% da demanda contratual. Nessa condição, embora não se configure novo reequilíbrio extraordinário, permanecem aplicáveis os ajustes positivos na Tarifa de Remuneração previstos nas cláusulas 48.5 a 48.8 do contrato, mantendo ativa a transferência contratual de recursos em favor da concessionária.

Do ponto de vista econômico, esse comportamento sugere que a exposição fiscal futura tende a assumir caráter recorrente, e não episódico. Em vez de concentrar-se em eventos excepcionais, como ocorreu durante a pandemia, o mecanismo contratual permanece produzindo compensações contínuas em razão da diferença persistente entre a demanda efetivamente realizável e a curva de referência utilizada na modelagem econômico-financeira da concessão. Os resultados reforçam, portanto, a hipótese central deste estudo de que a efetividade das bandas simétricas depende menos do desenho formal do contrato do que da qualidade das projeções de demanda que serviram de base à sua estruturação.

Sob essa perspectiva, a principal contribuição das projeções desenvolvidas nesta pesquisa consiste em demonstrar que a persistência da divergência entre demanda realizada e demanda contratual não representa apenas a continuidade de uma tendência histórica, mas a manutenção, ao longo de todo o horizonte da concessão, das condições necessárias ao acionamento recorrente dos mecanismos de compartilhamento de risco. Assim, a modelagem estatística amplia a análise retrospectiva apresentada nas subseções anteriores ao indicar que a recuperação da demanda, embora suficiente para restabelecer a operação em níveis superiores aos observados antes da pandemia, não altera substancialmente a lógica econômica de funcionamento do contrato.

4.8 Implicações da expansão ao Jardim Ângela

Além da projeção baseada na configuração atualmente em operação, este estudo avaliou cenário alternativo considerando a futura expansão da Linha 5-Lilás até o Jardim Ângela, empreendimento previsto pelo Governo do Estado de São Paulo (São Paulo, 2024) e incorporado às análises de sensibilidade descritas na metodologia. O objetivo dessa avaliação não consiste em estimar a demanda da expansão propriamente dita, mas verificar se o acréscimo esperado de passageiros seria suficiente para aproximar a demanda observada da curva contratual originalmente estabelecida para a concessão.

Os resultados sintetizados na Tabela 8 indicam que a expansão produz aumento da demanda projetada em relação ao cenário-base, refletindo a incorporação de nova área de influência ao sistema metroviário. Entretanto, mesmo sob hipóteses otimistas de crescimento decorrente da extensão da linha, a demanda projetada permanece inferior aos valores previstos na curva contratual de referência, não alcançando a banda neutra estabelecida na Cláusula 48.

Tabela 8: Sensibilidade da aderência à curva de referência adotada

Curva de referência	2024	2025	2038 (proj.)
Cláusula 48 (base)	65,3%	66,3%	70,3%
Demanda Considerada (edital -10%)	72,5%	73,6%	78,1%
Anexo XXIII (teto técnico)	53,7%	54,5%	57,8%

Fonte: Resultados da pesquisa (DIM-L5).

Esse comportamento decorre não da capacidade física da infraestrutura ou da extensão da rede, mas da própria magnitude das projeções adotadas na estruturação econômico-financeira da concessão: a expansão eleva o volume absoluto de passageiros, sem eliminar a distância relativa em relação à curva contratual. Do ponto de vista da gestão pública, a ampliação da infraestrutura é instrumento fundamental de acessibilidade e mobilidade, mas não substitui a calibragem periódica das curvas de demanda de referência —

quando estas permanecem estruturalmente superestimadas, mesmo expansões relevantes preservam condições favoráveis ao acionamento contínuo de compensações contratuais. Conclui-se, portanto, que o principal desafio não está na capacidade futura de crescimento da demanda, mas na persistência do descompasso entre a demanda realizável e a curva de referência — evidência que reforça a necessidade de procedimentos mais robustos de calibração e revisão das projeções na estruturação e na gestão de PPPs metroferroviárias de longa duração.

5. CONCLUSÕES

Este estudo analisou a aderência entre a demanda de referência contratual e a demanda transportada na Linha 5 - Lilás do Metrô de São Paulo, identificando as bandas de demanda acionadas ao longo da concessão e projetando sua evolução até o término do contrato, em 2038. Os resultados demonstraram que a demanda permaneceu sistematicamente inferior à curva contratual de referência, sem que qualquer trimestre civil completo alcançasse a banda neutra prevista na Cláusula 48 do Contrato nº 003/2018. As projeções estatísticas indicam que, mesmo em um cenário de maturidade operacional e considerando a futura expansão da linha, a demanda tende a permanecer abaixo da referência contratual, mantendo as condições para a continuidade dos mecanismos de compartilhamento de risco previstos no contrato.

A principal contribuição deste trabalho consiste em demonstrar que a efetividade dos mecanismos de repartição do risco de demanda depende não apenas de sua arquitetura contratual, mas também da qualidade da curva de demanda utilizada na modelagem econômico-financeira da concessão. Em outras palavras, um mecanismo formalmente simétrico pode produzir resultados sistematicamente assimétricos quando a demanda de

referência utilizada para definir as bandas contratuais permanece acima da demanda realizável. No caso da Linha 5 - Lilás, verificou-se que essa divergência impediu que a simetria prevista contratualmente se materializasse na prática, produzindo acionamentos recorrentes dos mecanismos de compensação em favor da concessionária. Assim, a precisão das projeções de demanda revela-se tão relevante para o equilíbrio econômico-financeiro da concessão quanto o próprio mecanismo de compartilhamento de riscos.

Sob a perspectiva das políticas públicas, os resultados sugerem que futuros contratos de PPPs metroferroviárias devem atribuir maior importância aos procedimentos de estimação, validação e revisão periódica das curvas de demanda utilizadas na modelagem econômico-financeira. Os resultados indicam que aperfeiçoamentos na qualidade das projeções podem produzir efeitos mais relevantes sobre a eficiência da repartição de riscos do que alterações isoladas na arquitetura contratual. Dessa forma, recomenda-se que futuras concessões incorporem mecanismos periódicos de revisão das curvas de demanda, ampliando sua aderência ao comportamento efetivamente observado e reduzindo a probabilidade de exposição fiscal decorrente de projeções estruturalmente superestimadas.

Os resultados devem ser interpretados à luz das limitações inerentes ao estudo. A análise concentrou-se em uma única concessão metroviária, cujas características institucionais e operacionais restringem a generalização direta para outros contratos. Além disso, embora a reconstrução da série histórica tenha apresentado elevado desempenho nos testes de validação e consistência, as projeções de longo prazo permanecem condicionadas às hipóteses dos modelos estatísticos adotados e à evolução futura de fatores econômicos, demográficos e de mobilidade urbana que podem influenciar o comportamento da demanda ao longo da vigência contratual.

Por fim, esta pesquisa evidencia que a robustez dos mecanismos de compartilhamento do risco de demanda depende, em grande medida, da confiabilidade da curva contratual que lhes serve de referência. Ao integrar análise contratual, reconstrução de séries históricas, modelagem estatística e avaliação prospectiva em um único arcabouço metodológico, o estudo oferece evidências empíricas que podem contribuir para o aperfeiçoamento da estruturação, da gestão e da governança das Parcerias Público-Privadas metroferroviárias. Adicionalmente, abre espaço para investigações futuras voltadas à comparação entre diferentes modelos de repartição de risco, ao desenvolvimento de procedimentos de revisão dinâmica das curvas de demanda e à avaliação de seus impactos sobre a sustentabilidade econômico-financeira e fiscal de concessões de infraestrutura de transporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANPTRILHOS. ViaMobilidade transporta mais de 660 milhões de passageiros em cinco anos na Linha 5-Lilás. Brasília: Associação Nacional dos Transportadores de Passageiros sobre Trilhos, 2023.
- BAI, J.; PERRON, P. Computation and analysis of multiple structural change models. *Journal of Applied Econometrics*, v. 18, n. 1, p. 1-22, 2003.
- BAIN, R. Error and optimism bias in toll road traffic forecasts. *Transportation*, v. 36, n. 5, p. 469-482, 2009.
- BRASIL. Lei nº 11.079, de 30 de dezembro de 2004. Institui normas gerais para licitação e contratação de parceria público-privada. Brasília: Presidência da República, 2004.
- CCR S.A. Fato Relevante: reconhecimento de reequilíbrio econômico-financeiro das Linhas 4-Amarela e 5-Lilás decorrente da COVID-19. São Paulo: CCR S.A., 22 dez. 2023.
- CHIANG, W. C.; RUSSELL, R. A.; URBAN, T. L. Forecasting ridership for a metropolitan transit authority. *Transportation Research Part A*, v. 45, n. 7, p. 696-705, 2011.
- CHUWANG, D. D.; CHEN, W. Forecasting daily and weekly passenger demand for urban rail transit stations based on a time series model approach. *Forecasting*, v. 4, n. 4, p. 904-924, 2022.
- CLEVELAND, R. B.; CLEVELAND, W. S.; McRAE, J. E.; TERPENNING, I. STL: a seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *Journal of Official Statistics*, v. 6, n. 1, p. 3-73, 1990.

DIM-L5: programa de modelagem e projeção de demanda da Linha 5-Lilás — Versões 1 (SARIMA), 2 (SARIMAX com variáveis exógenas) e 3 (alisamento exponencial com tendência amortecida, cenário central). Programa de computador (Python 3 / Jupyter Notebook), 2026. Resumo criptográfico de integridade SHA-256 (Versão 3): 152e72b068f3a5a705fd5fdc19947f3657a733b99cbf0c78ae40d8c8e6efc453. Demais versões no Anexo A (Tabela A.1).

DIM-L5-BASE: programa de consolidação de dados e diagnóstico de aderência (Versão 6) e base mensal multivariada de variáveis exógenas (Versão 7) da Linha 5-Lilás. Programa de computador (Python 3 / Jupyter Notebook), 2026. Resumos criptográficos de integridade SHA-256:

Versão	
6:	b10ef0a2427c7c77ff28888bee041fd652291a86cc1542780a28effc68c147aa;
Versão 7:	de6f9f073049b3642e52511700dad75cc96d8bad7987a9ae8338c9bc4e4ed3d3.

ENGEL, E.; FISCHER, R.; GALETOVIC, A. The economics of infrastructure finance: public-private partnerships versus public provision. EIB Papers, v. 15, n. 1, p. 40-69, 2010.

ENGLE, R. F.; GRANGER, C. W. J. Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing. Econometrica, v. 55, n. 2, p. 251-276, 1987.

FLYVBJERG, B.; BRUZELIUS, N.; ROTHENGATTER, W. Megaprojects and Risk: an anatomy of ambition. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

FLYVBJERG, B.; HOLM, M. K. S.; BUHL, S. L. How (in)accurate are demand forecasts in public works projects? The case of transportation. Journal of the American Planning Association, v. 71, n. 2, p. 131-146, 2005.

GRIMSEY, D.; LEWIS, M. K. Public Private Partnerships: the worldwide revolution in infrastructure provision and project finance. Cheltenham: Edward Elgar, 2004.

HODGE, G. A.; GREVE, C. Public-private partnerships: an international performance review. Public Administration Review, v. 67, n. 3, p. 545-558, 2007.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. Forecasting: principles and practice. 3. ed. Melbourne: OTexts, 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Censo Demográfico 2022: São Paulo. Rio de Janeiro: IBGE, 2023.

IRWIN, T. Government Guarantees: allocating and valuing risk in privately financed infrastructure projects. Washington: World Bank, 2007.

JOHANSEN, S. Estimation and hypothesis testing of cointegration vectors in Gaussian vector autoregressive models. Econometrica, v. 59, n. 6, p. 1551-1580, 1991.

KIM, K. S. et al. Risk allocation and demand uncertainty in urban rail public-private partnership projects. *Sustainability*, v. 11, n. 19, 2019.

MARTINS, A. F. F.; VIANA, F. B. Alocação de riscos em contratos de parceria público-privada: a (expressiva) distância entre teoria e prática. *Revista do BNDES*, v. 27, n. 51, p. 53-100, 2019.

METRÔ DE SÃO PAULO. Estudo de Demanda das Linhas 5-Lilás e 17-Ouro (Anexo XXIII do Contrato nº 003/2018). São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2018.

METRÔ DE SÃO PAULO. Pesquisa Origem e Destino 2023. São Paulo: Companhia do Metropolitano de São Paulo, 2024.

MILENKOVIĆ, M.; ŠVADLENKA, L.; MELICHAR, V.; BOJOVIĆ, N.; AVRAMOVIĆ, Z. SARIMA modelling approach for railway passenger flow forecasting. *Transport*, v. 33, n. 5, p. 1113-1120, 2018.

NATIONAL AUDIT OFFICE (NAO). The Department for Transport: the failure of Metronet. Londres: National Audit Office, 2009.

ORTÚZAR, J. de D.; WILLUMSEN, L. G. *Modelling Transport*. 4. ed. Chichester: Wiley, 2011.

ROUMBOUTSOS, A.; PANTELIAS, A. Allocating revenue risk in transport infrastructure public private partnership projects: how it matters. *Transport Reviews*, v. 35, n. 2, p. 183-203, 2015. <https://doi.org/10.1080/01441647.2014.988306>

SÃO PAULO (Estado). Contrato de concessão nº 003/2018: Linha 5-Lilás e Linha 17-Ouro. São Paulo: Secretaria dos Transportes Metropolitanos, 2018.

SÃO PAULO (Estado). Termo Aditivo nº 01 ao Contrato de concessão nº 003/2018: investimentos adicionais e metodologia da Tarifa de Remuneração. São Paulo: Secretaria dos Transportes Metropolitanos, 2022.

SÃO PAULO (Estado). Termo Aditivo nº 02 ao Contrato de concessão nº 003/2018: reequilíbrio econômico-financeiro decorrente da COVID-19. São Paulo: Secretaria de Parcerias em Investimentos, 2023. Processo SEI 021.00000536/2023-27.

SÃO PAULO (Estado). Termo Aditivo nº 03 ao Contrato de concessão nº 003/2018: estudos de viabilidade da extensão da Linha 5-Lilás ao Jardim Ângela. São Paulo: Secretaria de Parcerias em Investimentos, 2024. Processo SEI 021.00001416/2023-47.

SÃO PAULO (Estado). Termo Aditivo e Modificativo (TAM) nº 08/2023 ao Contrato de concessão nº 4232521201/2006 (Linha 4-Amarela): reequilíbrio econômico-financeiro decorrente da COVID-19. São Paulo: ARTESP, 2023.

SIEMIATYCKI, M. Implications of private-public partnerships on the development of urban public transit infrastructure. *Journal of Planning Education and Research*, v. 26, n. 2, p. 137-151, 2006.

YESCOMBE, E. R. Public-Private Partnerships: principles of policy and finance. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007.

WORLD BANK. Public-Private Partnerships Reference Guide. Version 3. Washington, DC: World Bank, 2017. Disponível em: <https://ppp.worldbank.org/public-private-partnership/library/public-private-partnerships-reference-guide-version-3>

ANEXO A — MEMÓRIA DE CÁLCULO

Este anexo reúne a memória de cálculo do trabalho (Artigo 14, §4): a identificação e integridade dos programas, os testes de estacionariedade, os parâmetros e a validação dos modelos, a curva de referência do estudo de demanda.

A.1 Programas e integridade (SHA-256)

Resumos SHA-256 completos no arquivo DIM-L5-HASHES.txt (artefatos .ipynb e código-fonte .py); todos os programas reexecutados na mesma data-base. O código-fonte dos programas DIM-L5-BASE e DIM-L5 está disponível mediante solicitação, com integridade assegurada pelos resumos SHA-256 abaixo.

Tabela A.1: Programas e resumos de integridade (SHA-256)

Programa	Função	SHA-256 (resumo)
DIM-L5-BASE-V06	Consolidação e diagnóstico de aderência	b10ef0a2427c...c147aa
DIM-L5-BASE-V07	Base mensal multivariada (exógenas)	de6f9f073049...4ed3d3
DIM-L5-V01	Projeção SARIMA	85d614fba4ea...a40345
DIM-L5-V02	Projeção SARIMAX (exógenas)	78bc19049f0e...f22148
DIM-L5-V03	Projeção ETS (tendência amortecida)	152e72b068f3...efc453

A.2 Testes de estacionariedade (ADF e KPSS)

Tabela A.2: Testes de estacionariedade (ADF e KPSS)

Série	ADF (p-valor)	KPSS (p-valor)	Conclusão
Nível	0,11	0,016	Não estacionária
1ª diferença	< 0,01	> 0,10	Estacionária

*Ordem de integração d = 1. Fonte: DIM-L5-V01.

A.3 Seleção de modelos (AIC) e parâmetros

Tabela A.3: Seleção de modelos (AIC) e parâmetros

Modelo	Ordem / parâmetros	AIC
SARIMA	(2,1,2)(1,0,1)[12]	244,7
SARIMA (2°)	(2,1,2)(0,0,1)[12]	247,8
SARIMAX	(1,0,1)(0,1,1)[12] + exógenas	271,6
ETS	alisamento exponencial, tendência amortecida, sazonal aditiva; $\phi = 0,80$	310,4

Seleção por busca exaustiva minimizando o AIC. Fonte: DIM-L5-V01/V02/V03.

A.4 Validação por *backtesting* (80/20)

Tabela A.4: Validação por backtesting (80/20)

Modelo	MAE (mi)	RMSE (mi)	MAPE	Diagnóstico de resíduos
ETS (central)	0,78	0,88	5,5%	Adequado
SARIMA	1,10	1,32	8,0%	Ljung-Box p = 0,55 (OK)
SARIMAX (exóg.)	—	—	—	Regressores não significativos

Treino: 75 meses; teste: 19 meses (nov/2024–mai/2026). Fonte: DIM-L5.

A.5 Curva de referência — Estudo de Demanda (Anexo XXIII)

Demanda diária projetada para a Linha 5-Lilás por cenário operacional, conforme o Estudo de Demanda (Anexo XXIII do Contrato nº 003/2018). O cenário de linha plena (2020) corresponde a 855.420 passageiros/dia, com carregamento na hora-pico-manhã (HMP) de 97.538 - teto técnico superior à curva de referência contratual (Dp) adotada nas bandas.

Tabela A.5: Curva de referência do Estudo de Demanda (Anexo XXIII)

Ano	Cenário operacional	Pass./dia	HMP
2017	Capão Redondo – Adolfo Pinheiro (linha curta)	290.940	33.175
2017	Capão Redondo – Brooklin (alternativo)	348.200	—
2018	Capão Redondo – Moema (sem Campo Belo)	437.120	—
2018	Capão Redondo – Chácara Klabin (sem Campo Belo)	783.660	—
2019	Capão Redondo – Chácara Klabin (plena)	790.030	90.085
2020	Capão Redondo – Chácara Klabin (plena)	855.420	97.538

Fonte: Metrô-SP, Estudo de Demanda (Anexo XXIII), Contrato nº 003/2018.