

**Análise agregada de séries temporais na demanda de transporte urbano
por ônibus na cidade de São Paulo**

Celio Daroncho

Doutorando, UNICAMP, Brasil
Celio.daroncho@fatec.sp.gov.br.br

Pedro José Perez Martinez

Professor Doutor, FECFAU-UNICAMP, Brasil
pjperez@unicamp.br

Recebido: 29 de março de 2024

Aceito: 15 de julho de 2024

Publicado online: 7 de agosto de 2024

RESUMO

O objetivo do referido artigo é analisar o impacto da pandemia na demanda por transporte público urbano por ônibus na cidade de São Paulo, utilizando séries temporais com dados de passageiros transportados entre 2005 e 2023. A série de dados foi dividida em dois períodos, o período anterior a pandemia (2005-2020), para gerar a previsão e o modelo, e o período posterior a pandemia (2020-2023), para analisar e comparar valores previstos e observados. O método ARIMA com sazonalidade (SARIMA), com uso do software Jamovi e da linguagem R, foi aplicado para analisar a série temporal e gerar o modelo de previsão. Os resultados mostram previsão média de 206 milhões de passageiros por mês em 2023 ante valor médio observado de 173 milhões de passageiros por mês, 19% abaixo, ficando, também 21% abaixo de 2019 (média de 220 milhões de passageiros transportados por mês). A queda média anual prevista entre 2011 e 2023 é de 15,8%, com perda de mais de 35 milhões de passageiros por ano. O estudo mostra que a queda do volume de passageiros transportados é anterior a pandemia, que só agravou a situação, e que a recuperação ainda é incerta e depende de diversos fatores como a readequação dos investimentos no setor e o incentivo ao uso do sistema de ônibus urbanos.

PALAVRAS-CHAVE: Transporte Público Urbano. Séries temporais. Previsão de demanda. Mobilidade urbana. Covid.

1 INTRODUÇÃO

A mobilidade urbana se constitui em um serviço essencial para garantir o acesso das pessoas a cidade e a cidadania (Rodrigue, 2020) e se configura como um direito social, pela legislação brasileira (Brasil, 2012). Apesar disso observa-se uma tendência de queda na demanda por transporte público, influenciada por fatores econômicos, mudanças nos padrões de deslocamento e, mais recentemente, pelos impactos da Covid-19, o que evidencia a necessidade de uma análise mais aprofundada dos fatores que contribuem para a diminuição da procura por esse serviço (Cardozo *et al.*, 2023, Wagner e Marujo, 2023 e Faria *et al.*, 2023).

A disseminação do SARS-CoV-2, identificado pela primeira vez em Wuhan, China, no final de 2019 (WHO, 2024), teve impactos profundos na saúde global e também na mobilidade urbana. As medidas de distanciamento social adotadas resultaram em mudanças significativas nos padrões de deslocamento, com uma redução substancial no uso do transporte público e o aumento e migração para a prática de atividades remotas (Daroncho e Martinez, 2024). A compreensão detalhada das implicações da pandemia na demanda por Transporte Público Urbano (TPU) ainda carece de análises estatísticas robustas, especialmente no que diz respeito às transformações permanentes que podem ocorrer no comportamento dos deslocamentos da população. A cidade de São Paulo, e as principais capitais globais, enfrenta problemas de baixa demanda no transporte por ônibus, iniciada antes da pandemia (Daroncho e Martinez, 2024).

2 PANDEMIA DE COVID-19

Pouco antes do ano de 2019 se encerrar teve início em Wuhan, China, uma nova doença, de proporções catastróficas, com a disseminação do vírus SARS-CoV-2, ou Coronavírus, causando a doença nominada de COVID-19 (WHO, 2024). A doença se propagou no mundo em ritmo acelerado, muito disso devido à facilidade de mobilidade e a grande interconectividade dos transportes na atualidade, e em 11 de março de 2020 foi decretada situação de Emergência de Saúde Pública de Importância Internacional (ESPII) ou situação de Pandemia, que só foi finalizada em 04 de maio de 2023 (WHO, 2024).

No Brasil a ação na pandemia foi descentralizada, com estados e municípios tomando frente e decretando quarentenas de forma independente e de acordo com as necessidades locais (Moraes, 2020). O Estado de São Paulo decretou quarentena em 23 de março de 2020, quarentena esta que passou por várias prorrogações e níveis de restrições sendo finalizada totalmente em 01 de novembro de 2021 (São Paulo, 2024). De acordo com Moura *et al.* (2022), o Brasil enfrentou três grandes ondas de Covid-19, a primeira de 23 de fevereiro a 25 de julho de 2020, a segunda de 8 de novembro de 2020 a 10 de abril de 2021 e a terceira de 26 de dezembro de 2021 a 21 de maio de 2022 e, na RMSP, resultou em mais de 2 milhões de casos e 80 mil óbitos até o final de 2022, conforme dados do Ministério da Saúde (Brasil, 2024).

Neste ambiente pandêmico, Feroze (2020) mostrou a necessidade de repensar as políticas de transporte que antes da pandemia se concentravam em gerenciamento de demanda, intervenções tecnológicas inteligentes e mobilidade sustentável. No entanto, a crise de saúde pública levou à necessidade de considerar urgentemente o transporte e sua contribuição para a recuperação econômica pós-COVID, pois este ambiente oferece a oportunidade de repensar e mudar as políticas e práticas de transporte (Feroze, 2020).

3 MOBILIDADE URBANA ALÉM DA PANDEMIA

O problema da demanda no TPU, que afeta boa parte das grandes cidades no mundo, é anterior a Pandemia de Covid-19, mas foi potencializado por ela, quando a demanda caiu drasticamente. Kantar (2021), que já analisava os desafios da mobilidade em 32 cidades no mundo em 2019, indicou que a adoção do trabalho remoto teve um impacto significativo nos hábitos de transporte, resultando em uma redução no uso de transporte público e compartilhado, havendo também aumento na preferência por modos de transporte saudáveis, como caminhar e andar de bicicleta. TSC (2020), analisando dados de mais de 150 sistemas metroviários no mundo, mostrou que o setor sofreu impacto severo devido à pandemia, com a demanda caindo em torno de 75% e destacou que a expectativa de que a demanda pós-pandemia deveria permanecer significativamente abaixo dos níveis pré-pandemia.

De acordo com NTU (2022), já se evidenciava a queda na demanda de passageiros ao longo dos anos, destacando-se a defasagem entre custos e receitas enfrentada pelo sistema de transporte público antes da pandemia, tornando a situação ainda mais delicada diante da drástica diminuição da receita provocada pela pandemia, que teve impacto significativo no TPU por ônibus no Brasil. Quintella e Sucena (2020) enfatizam a importância do transporte público para o funcionamento das cidades e mostram que de forma geral a redução do volume de passageiros nos sistemas de ônibus urbanos do Brasil ocorria antes da pandemia, atribuindo a redução no número de passageiros antes e durante a pandemia a diversos fatores, como a crise econômica, o aumento do trabalho remoto e a falta de investimentos em infraestrutura de transporte adequada. Daroncho e Martinez (2024) mostraram que o problema da demanda por transporte público, que afeta a maioria das cidades no mundo, é anterior a Pandemia de Covid-19, com o TPU perdendo passageiros desde a década de 2010.

3.1 Mobilidade urbana na pandemia

Após o início da pandemia, diversos estudos analisaram o impacto na mobilidade urbana e no TPU. Aloí *et al.* (2020), analisando dados de contadores de tráfego, sistemas de transporte público e câmeras de controle de tráfego em Santander (Espanha), verificaram que houve queda de 76% na mobilidade urbana, com redução significativa no uso do transporte público, emissões de NO₂ e acidentes de trânsito. Fatmi (2020) verificou, na Columbia Britânica, Canadá, que houve redução nas viagens, locais e regionais, de mais de 50%. Tendo aumentado as viagens relacionadas ao trabalho para algumas ocupações específicas e aumentado o teletrabalho para as classes de maior renda, assim como a maioria das viagens de longa distância foram viagens regionais feita de carro particular.

Kraemer *et al.* (2020) demonstraram que as medidas de controle e restrições de viagem implementadas na China tiveram um impacto significativo na redução da propagação do COVID-19, particularmente na mitigação da importação de casos de Wuhan e no controle da transmissão local. Budd e Ison (2020) discutiram a importância de repensar as políticas e práticas de transporte, argumentando que a crise apresentou a oportunidade para redefinir políticas mais sustentáveis de transporte no pós-COVID, destacando a redução significativa nas emissões e as mudanças nas distribuições espaciais das viagens urbanas. Abdullah *et al.* (2021) verificaram que no Paquistão houve aumento nas viagens para compras e diminuição geral das viagens não relacionadas a trabalho e compras, observaram, também, aumento no uso de modos não motorizados para distâncias curtas e do uso de carros particulares para viagens mais longas.

Askarizad *et al.* (2021), em pesquisa com pedestres em Rasht, Irã, demonstraram que após o fim do lockdown as pessoas mostraram forte desejo por interações sociais em locais públicos, enquanto houve redução na intensão de uso dos sistemas de transportes. Shakibaei *et al.* (2021) verificaram que, em Istambul, o distanciamento social, fechamento de locais não essenciais e incentivo ao teletrabalho, resultaram em mudanças extremas nos padrões de viagem da população. Houve uma redução significativa nas viagens de trabalho, atividades sociais/recreativas/lazer e compras, além disso, o uso de transporte público diminuiu consideravelmente, com mais pessoas optando por carros particulares.

Thombre e Agarwal (2021) analisaram a situação em megacidades da Índia e verificaram o impacto da pandemia de COVID-19 no comportamento e nas preferências de viagem, mostrando que as mudanças observadas no período de lockdown e após o relaxamento das restrições revelam um aumento no uso de modos privados motorizados, como carros e motocicletas, em detrimento do transporte público e modos ativos. Vickerman (2021) mostrou que a pandemia de Covid-19 teve um impacto significativo nos sistemas de transporte público no Reino Unido, com uma queda drástica na demanda por TPU, o que resultou em problemas financeiros para os operadores, levantando questões sobre a sustentabilidade do modelo atual de TPU competitivo e desregulamentado no Reino Unido.

Yang *et al.* (2021) analisam a mudança no comportamento de viagem em Huzhou, China, verificando que além da diminuição da quantidade de viagens, ocorreu também a mudança no objetivo das viagens e nas escolhas de modos de transporte com impacto maior sobre certos grupos sociais, como estudantes e pessoas de baixa renda. Soria *et al.* (2023) verificaram que em Chicago ocorreu não só a redução imediata do fluxo de passageiros no início da pandemia, mas também demora na retomada do transporte público e a consequente redução tanto na demanda quanto na oferta deste serviço, e sugerem a integração tarifária

como uma das medidas para atrair novamente os passageiros do TPU. Tori *et al.* (2023) analisaram a situação da Bélgica, destacando a falta de preparo do setor para uma crise desse tipo e citam a expectativa de que haja diminuição das viagens de deslocamento casa-trabalho devido ao aumento do teletrabalho.

3.2 Tendências pós-pandemia no transporte público brasileiro

Conforme pode ser visto, a demanda de passageiros no TPU brasileiro já estava em queda no período anterior a pandemia (NTU, 2022), no período inicial da pandemia, de março a junho de 2020, a demanda caiu consideravelmente e o volume de passageiros foi sendo retomado aos poucos, após junho de 2020 (Daroncho e Martinez, 2024). Neste processo de retomada da demanda, uma das questões a se saber é o volume de demanda a ser considerado ideal no pós-pandemia. Alguns trabalhos fizeram a análise da previsão de demanda no pós-pandemia com base nos dados anteriores a pandemia, para verificar como a demanda está quando comparada com o que seria previsto.

Cardozo *et al.* (2023) analisaram a demanda por transporte público na Região Metropolitana do Recife durante a pandemia, com dados de janeiro de 2007 a fevereiro de 2020, com o uso de análise de séries temporais e modelagem ARIMA. Os resultados indicaram que a pandemia agravou a tendência de redução na demanda, mesmo após passar o período crítico. A previsão para o período de 2020 a 2022 mostrou uma perda média de 15,36% na demanda em relação ao esperado. Faria *et al.* (2023) analisaram a demanda de transporte coletivo na região metropolitana de Goiânia, considerando o período de janeiro de 2009 a novembro de 2022, com o uso de séries temporais e modelo BSTS (*Bayesian Structural Time Series*). Os resultados mostraram que a pandemia teve forte impacto na demanda, com redução de 53% das viagens efetivadas. Marujo e Wagner (2023) analisaram a demanda por transporte público por ônibus no município do Rio de Janeiro, com dados de março de 2020 a dezembro de 2022, com o uso de séries temporais e modelagem ARIMA. Os resultados revelaram queda de 29,5% no número de passageiros transportados no período pós-pandemia em comparação com o período anterior a pandemia.

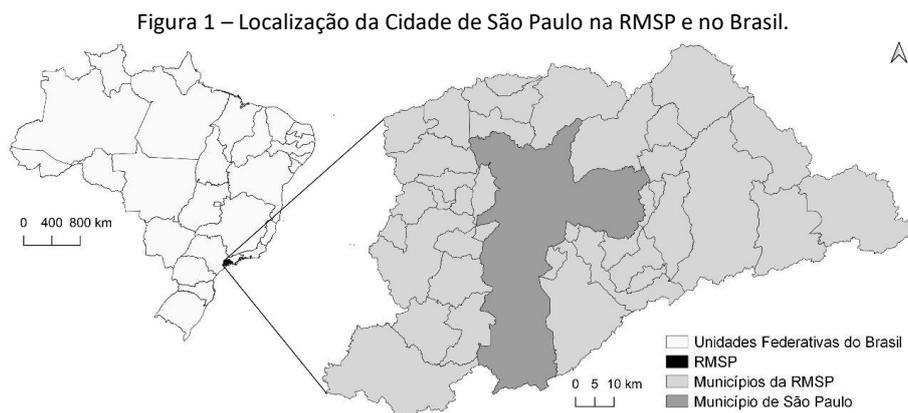
Esses resultados evidenciam a necessidade de medidas para reverter essa tendência e garantir a sustentabilidade do transporte público na região, mostrando a necessidade de se considerar novas estratégias para tornar o serviço mais atrativo para os passageiros após a pandemia. Além de tudo, indicam uma mudança no comportamento dos usuários do TPU.

4 LOCAL DE ESTUDO E DADOS DE PASSAGEIROS TRANSPORTADOS

Este trabalho analisou os dados de passageiros transportados pelo sistema de ônibus municipal da Cidade de São Paulo (CSP), capital do estado de São Paulo no Brasil (Figura 1), que conta com população de mais de 12 milhões de habitantes em área de mais de 1,5 km², sendo a quinta cidade mais populosa do mundo (IBGE, 2023). A CSP é servida por um denso sistema de ônibus, operado por 38 concessionárias de transporte público, com 1.347 linhas e 11.925 veículos, sendo gerenciado pela São Paulo Transporte S/A - SPTrans, empresa pública municipal de economia mista (SPTrans, 2024).

O transporte por ônibus da CSP sofreu diversas reorganizações em sua história, em 1991 o sistema foi municipalizado, lei 11037 de maio de 1991 e decreto municipal 29.945 de julho de 1991, iniciando um processo de priorização do transporte público (Whately e Néspoli, 2013). Nesta época, de 1984 a 1996 o sistema transportava algo em torno de 1.9 bilhão de passageiros por ano (SEADE, 2024).

Em 1995 a CMTC (Companhia Municipal de Transportes Coletivos), que operava o sistema desde 1946, foi privatizada e foi criada a SPTrans, como agência para gerir o sistema sob concessões, houve um grande crescimento do transporte clandestino, fazendo o transporte regular perder passageiros e não sendo computado pelo sistema oficial de bilhetagem (Hirata, 2012). A quantidade de passageiros anuais caiu de 1.6 bilhão, em 1997, para algo em torno de 1,0 bilhão em 2001 e 2002 (SEADE, 2024).

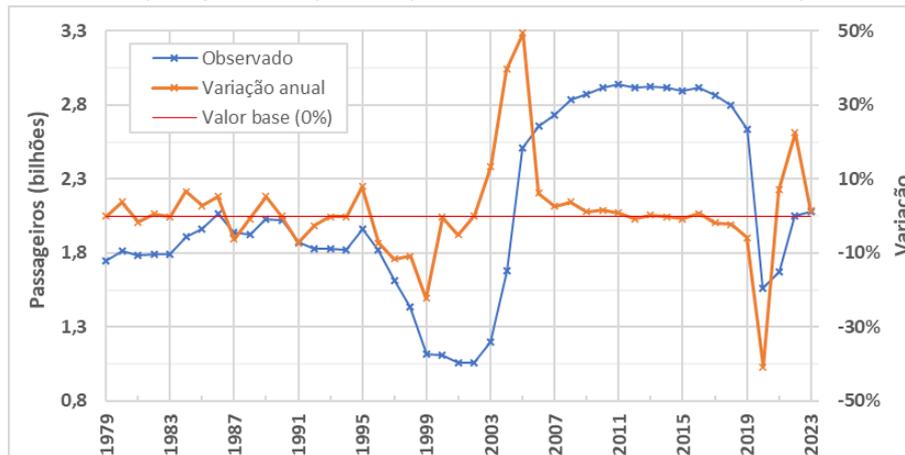


Fonte: adaptado de Daroncho; Dalosto e Martinez (2023)

No início de 2004 foi criado o Bilhete Único (BU) para o sistema de ônibus gerido pela SPTrans, com viagens ilimitadas por 2 horas, em 2005 passou a ser 4 viagens em 2 horas e em dezembro de 2005 o sistema foi integrado ao sistema de transporte sobre trilhos (PMSP, 2014).

Na Figura 2 é possível ver a demanda e a variação anual da demanda por ônibus, onde pode-se verificar a relativa estabilidade ocorrida entre 1979 e 1996, a queda de 1996 até 2003, a recuperação em 2004 e a mudança de patamar a partir de 2005, com crescimento até 2011 e queda de 2011 a 2019, queda bastante acentuada de 2018 para 2019. Pode-se ver também que as demandas de 2022 e 2023 são praticamente a mesma de 1986.

Figura 2. Total anual de passageiros transportados por ônibus na CSP (1979 a 2023) e variação anual da demanda.

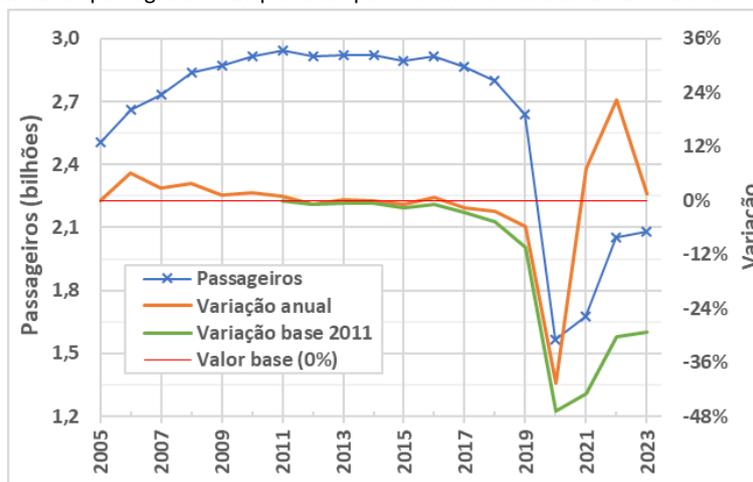


Fonte: elaborado pelos autores com dados de SEADE (2024)

Para este trabalho serão analisados os dados mensais entre 2005 e 2023, disponíveis no site de acesso à informação da Prefeitura de São Paulo (PMSP, 2024). A Figura 3 ilustra o comportamento anual dos dados, de 2005 a 2023. É possível verificar que a quantidade anual de passageiros transportados teve alta até 2011 (pico), ficando estável até 2016. Há uma queda mais acentuada em 2015 com boa recuperação em 2016, mas a queda é retomada de 2017 até 2019, desta vez mais acentuada, pode-se ver que a quantidade de passageiros transportados em 2019 só fica acima do valor de 2005, sendo que fica 10,3% abaixo de 2011. Em 2020 houve uma queda abrupta, como impacto da Covid-19, tendo ocorrido a retomada gradual a partir de 2021, fechando 2023 num patamar 17,1% abaixo de 2005 e 29,3% abaixo de 2011. O volume de 2023 ficou 21,2% abaixo do volume de 2019, que foi o segundo menor valor da série tendo crescimento de apenas 1,4% em relação a 2022.

Estes dados, por si só, mostram que o sistema de ônibus já estava perdendo passageiros, estes passageiros podem estar migrando para o sistema sobre trilhos ou para o transporte individual, podem estar deixando de fazer viagens no meio urbano ou até tendo mudado de hábitos sociais, trabalhando mais próximo de casa ou estar em teletrabalho.

Figura 3. Total anual de passageiros transportados pelo sistema de ônibus urbanos da CSP entre 2005 e 2023

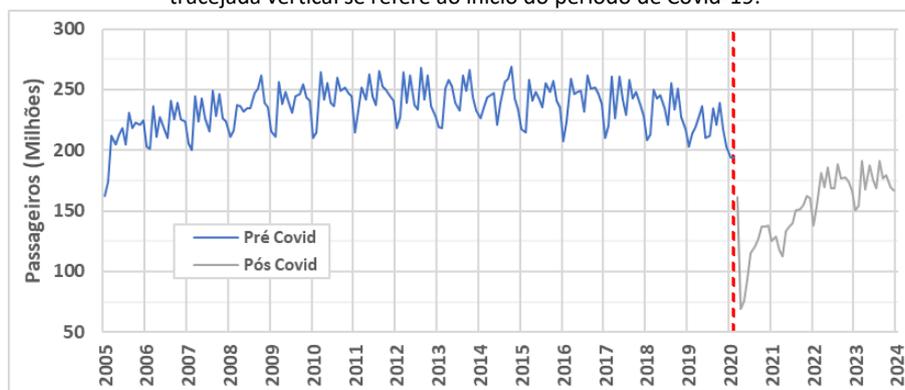


Fonte: elaborado pelos autores com dados de PMSP (2024)

4.1 Dados mensais de passageiros transportados

Na Figura 4 é possível verificar o comportamento sazonal dos dados mensais de passageiros transportados de 2005 a 2013. É possível verificar, inclusive, que a partir de 2022 a sazonalidade mensal voltou a ser observada nos dados.

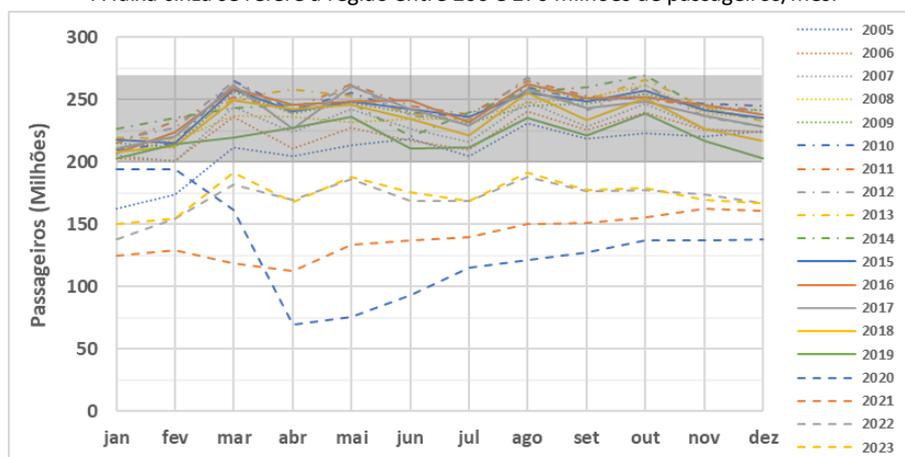
Figura 4. Passageiros mensais transportados por ônibus urbanos na CSP entre 2005 e 2023. A linha vermelha tracejada vertical se refere ao início do período de Covid-19.



Fonte: elaborado pelos autores com dados de PMSP (2024)

A análise da sazonalidade (Figura 5) mostra o comportamento dos dados mês a mês, onde pode-se ver que os dados de 2005 (exceção para janeiro e fevereiro) a 2019 ficam na faixa de 200 a 270 milhões de viagens/mês e mantem o padrão sazonal mensal, com picos em março, maio, agosto e outubro. O comportamento mensal dos dados é muito semelhante em todos os anos, exceção para 2019, onde o mês de março foge parcialmente ao padrão dos anos anteriores, padrão este que foi retomado em 2022 e 2023. É possível ver que os volumes mensais de 2022 e 2023 são muito próximos ficando 2023 com valores relativamente superiores nos meses de janeiro, março e junho e com valor relativamente inferior em novembro.

Figura 5. Sazonalidade dos dados de passageiros mensais transportados por ônibus urbanos na CSP (2005 a 2023). A faixa cinza se refere a região entre 200 e 270 milhões de passageiros/mês.



Fonte: elaborado pelos autores com dados de PMSP (2024)

4.2 Análise da série de dados

Conforme já definido será feita a análise da série formada pela quantidade de passageiros transportados pelo sistema de ônibus da CSP de janeiro de 2005 a dezembro de 2023, modelados em dois períodos, um compreendido de janeiro de 2005 a fevereiro de 2020 (período anterior a decretação da pandemia) e outro de março de 2020 a dezembro de 2023 (período posterior a decretação da pandemia).

Para a análise e previsão da série temporal foi definido o método ARIMA, com uso do software Jamovi, baseado na linguagem R. Segundo Hyndman and Athanasopoulos (2018), o método ARIMA ou *Estimation of autoregressive (AR), integration or differencing (I), and moving average (MA) parameters*, consiste na correlação entre valores atuais e anteriores de uma série de dados e valores atuais e anteriores de erro aleatório, com a correção, se necessário, da falta de estacionariedade por meio da diferenciação. A ARIMA é definida pelos parâmetros p , d e q , e é expressa como $ARIMA(p,d,q)$, sendo p a ordem da parte autorregressiva, ou LEG do modelo, d o grau ou ordem de primeira diferenciação envolvida e q a ordem da parte da média móvel, ou ocorrência de crise (Hyndman and Athanasopoulos, 2018). Quando a série temporal possui sazonalidade deve-se utilizar o modelo SARIMA (*Seasonality*), que combina a parte não sazonal (p,d,q) com a parte sazonal (P,D,Q) , sendo representado pela notação $SARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$, ou $ARIMA(p,d,q)(P,D,Q)_s$, onde o s se refere ao período de sazonalidade dos dados.

O método possui três etapas de aplicação: identificação do melhor modelo; estimação dos parâmetros adequados; e verificação se o modelo gerado é adequado e está ajustado. Optou-se em deixar o software decidir, com o uso das opções automáticas, quais os melhores modelos e as melhores configuração, focando-se em verificar a adequação dos modelos gerados a realidade dos dados.

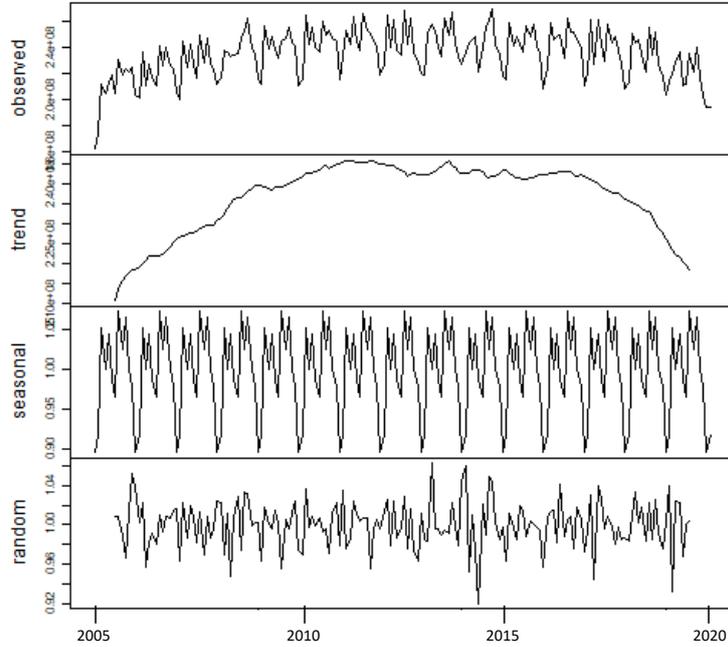
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

O primeiro passo consistiu na análise da decomposição da série temporal, mostrada na Figura 6, onde pode-se ver a série propriamente dita (*observed*), os componentes de tendência (*trend*), a sazonalidade (*seasonal*) e a aleatoriedade (*random*) dos dados. É possível verificar que a série tinha tendência de alta, que foi revertida para uma tendência de queda, além de existir a sazonalidade no início e fim de cada período (janeiro, fevereiro e dezembro) e no meio do período (julho), o que compreende as férias escolares em São Paulo.

Na sequência foram observadas as condições de estacionariedade e da existência de autocorrelação dos dados com uso da análise gráfica das funções de autocorrelações (ACF) e das funções de autocorrelações parciais (PACF). O ACF mostrou a não estacionariedade dos dados (Figura 7[a]) apresentando autocorrelações significativas em diversos *lags* e o PACF (Figura 7[b]) apresentou forte correlações nos *lags* 1, 5 e 12 e correlações fracas em outros *lags*. Após verificada a necessidade de diferenciação dos dados, foi solicitado ao software que informasse a quantidade necessárias de diferenciações, o que resultou em uma única diferenciação necessária. A Figura 8 mostra a série original e a série após a aplicação de uma diferenciação nos dados. Após a diferenciação fez-se novamente a análise do ACF (Figura 9[a]) e do PACF (Figura 9[b]) da série, que passou a apresentar estacionariedade e foram feitos os testes de estacionariedade de Dickey-Fuller Aumentado (DFA) e de Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin

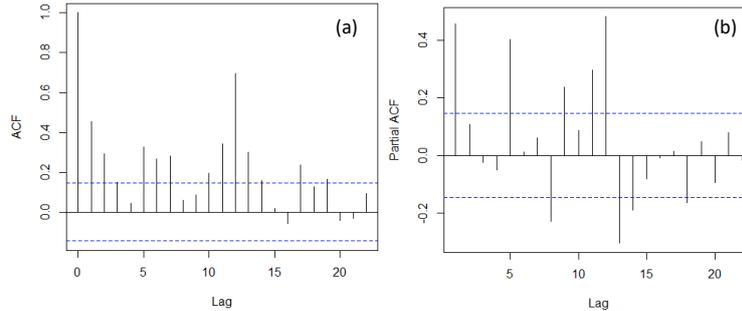
(KPSS). O teste DF precisa ter p-valor $< 0,05$, já o KPSS precisa ter p-valor $> 0,05$ para garantir a estacionariedade dos dados, rejeitando-se a hipótese nula (dados não estacionários).

Figura 6. Decomposição da série temporal de passageiros transportados por mês



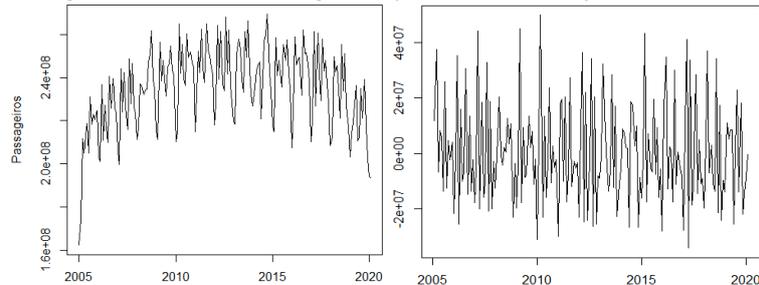
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 7. Funções de autocorrelação (ACF) e Funções de autocorrelação parciais (PACF), antes da diferenciação.



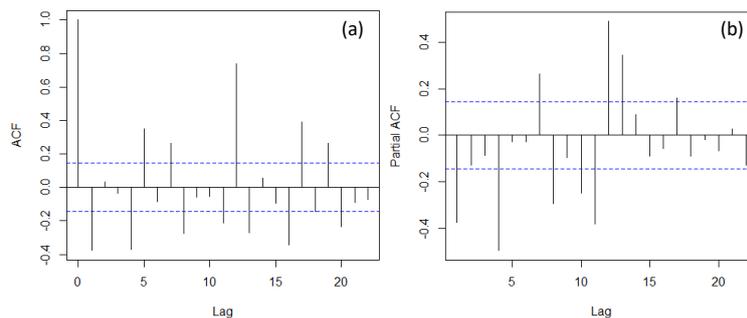
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 8. Serie de dados original e após uma diferenciação nos dados.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 9. Funções de autocorrelação (ACF) e Funções de autocorrelação parciais (PACF), após a diferenciação na demanda.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme pode ser visto na Tabela 1, primeiramente os dois testes resultaram em séries não estacionárias e após a diferenciação nos dados, ambos os testes garantiram estacionariedade da série de dados.

Tabela 1. Resultados dos testes DFA e KPSS de estacionariedade

Diferenciação	Teste	Estatística	Atraso*	p-valor	Interpretação
Sem	DFA	-2,8114	5	0,237	p-valor > 0,05 série não estacionaria
	KPSS	0,8137	4	< 0,01	p-valor < 0,05 série não estacionaria
Com	DFA	-9,1891	5	< 0,01	p-valor < 0,05 série estacionaria
	KPSS	0,2338	4	> 0,10	p-valor > 0,05 série estacionaria

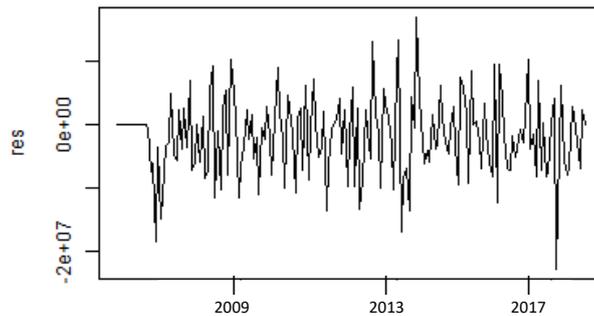
* Para DFA atraso = Ordem de atraso e para KPSS atraso = Parâmetro de atraso de truncamento

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nestas definições o software gerou o modelo ARIMA(5,1,0)(2,1,2)[12], ou seja, o modelo foi descrito por 5 (p) constantes autorregressivas simples e 2 (P) sazonais, 1 (d) termo de diferenciação de variável simples e 1 (D) sazonal, sem (q) termo de média móvel simples e 2 (Q) sazonal e com sazonalidade (s) de 12 períodos, meses. O modelo gerou valor de 5.830,0159 para o AIC (*Akaike Information Criteria*) e 5.861,3149 para o BIC (*Bayesian Information Criteria*).

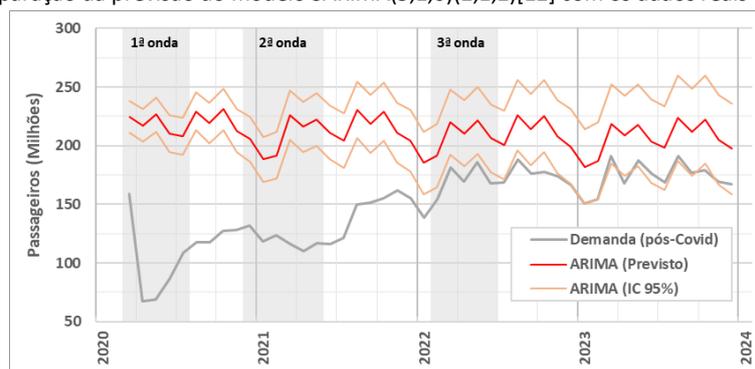
A última verificação foi referente a análise dos resíduos (Figura 10), que mostra uma boa distribuição destes em torno do zero o que foi corroborado pelo teste de Shapiro-Wilk com p-valor < 0,05. A previsão feita pelo modelo (Figura 11) mostra uma sequência (linha vermelha) bastante coerente com a série antes da pandemia (Figura 4). A Figura 11 mostra em detalhe o período após o início da pandemia, com intervalo de confiança (IC) de 95% (linhas laranja). É possível verificar que em 2020 e 2021 os dados previstos (linha vermelha) ficam consideravelmente acima dos dados observados (linha cinza), o que é facilmente explicado pelas restrições sanitárias impostas. Já em 2022 e em 2023 há uma grande semelhança na variação dos dados previstos e dos dados observados, sendo que o observado começa a se aproximar do previsto pelo modelo.

Figura 10. Comportamento dos resíduos do modelo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11. Comparação da previsão do modelo SARIMA(5,1,0)(2,1,2)[12] com os dados reais do pós pandemia.



Fonte: Elaborado pelos autores.

A diferença existente entre o previsto e o observado é um impacto da Covid-19 que precisa ser verificado, pois a média mensal da previsão para 2023 gira em torno de 206 milhões de passageiros enquanto a média mensal observada girou em torno de 173 milhões de passageiros, 19% abaixo. Se compararmos com 2019, quando a média mensal girou em torno de 220 milhões de passageiros, a demanda média mensal de 2023 ficou 21% abaixo.

No total anual de passageiros transportados no pós-pandemia (Tabela 2) é possível perceber que a diferença entre a demanda prevista e a observada caiu bastante de 2020 para 2023, embora ainda se tenha uma quantia considerável de passageiros a serem recuperados para atingir o valor previsto para 2023, que é um valor relativamente baixo quando compararmos com a série histórica desde 2005, conforme pode ser visto na Figura 13.

Tabela 2. Diferença anual entre a demanda observada e a prevista pelo modelo para o período 2020 a 2023

Ano	Demanda		Diferença		Variação anual		Variação base 2011	
	Observada	Prevista	Absoluta	%	Observada	Prevista	Observada	Prevista
2019	2.638.190.764	-	-	-	-5,7%	-	-10,3%	-
2020	1.563.252.681	2.573.022.432*	1.009.769.751	39,2	-40,7%	-2,5%	-46,8%	-12,5%
2021	1.674.525.550	2.553.684.153	879.158.603	34,4	7,1%	-0,8%	-43,1%	-13,2%
2022	2.050.203.520	2.508.814.188	458.610.668	18,3	22,4%	-1,8%	-30,3%	-14,7%
2023	2.079.105.034	2.475.926.437	396.821.403	16,0	1,4%	-1,3%	-29,3%	-15,8%

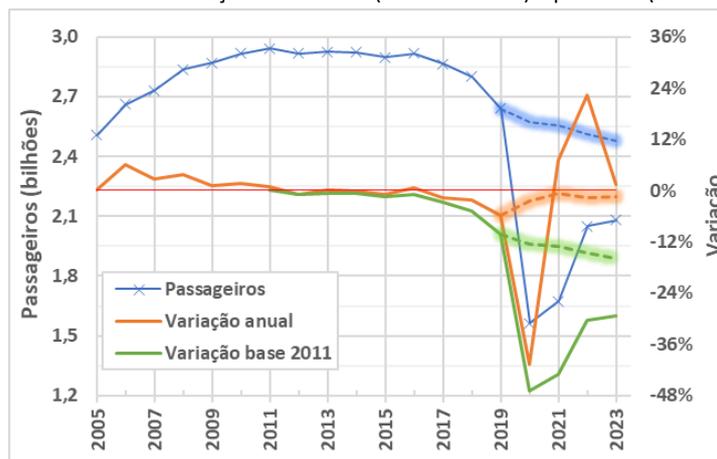
* A demanda prevista de 2020 inclui os valores da demanda observada em janeiro e fevereiro

Fonte: Elaborada pelos autores.

No total anual de passageiros transportados no pós-pandemia (Tabela 3) percebe-se que a diferença entre a demanda prevista e a observada caiu em 2023, embora ainda se tenha

uma quantia considerável de passageiros a serem recuperados para atingir o valor previsto para 2023, que é um valor relativamente baixo quando compararmos com a série histórica (15,8% abaixo da demanda de 2011). A Figura 12 mostra que a demanda prevista (linhas sombreadas) era de queda contínua, mas menos acentuada que a queda anual observada em 2019 (5,7%). A queda média anual prevista, de 2011 a 2023, seria de 15,8%, o que corresponderia a perda de mais e 35 milhões de passageiros, ou viagens, por ano no sistema de ônibus da CSP desde o valor de pico em 2011 até a previsão feita para 2023. Esta mesma comparação, feita entre os anos de 2005 e 2023, a queda seria de apenas 1,2%, ou perda de 2,4 milhões de passageiros em média por ano, ficando 2023 com o menor valor da série histórica anual.

Figura 12. Demanda anual e variação observadas (linhas normais) e previstas (linhas sombreadas).



Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONCLUSÕES

Diante da análise detalhada sobre as distintas fases da pandemia de COVID-19 e seu impacto no cenário da mobilidade urbana, torna-se evidente a necessidade premente de repensar as políticas e práticas relacionadas ao transporte público. A descentralização das ações durante a pandemia, com estados e municípios adotando medidas independentes, revelou a complexidade do gerenciamento da mobilidade em um contexto de crise global. Observa-se que as três ondas de COVID-19 no Brasil intensificaram os desafios enfrentados pelo transporte público urbano, que já sofria com a queda na demanda antes mesmo da pandemia.

A mudança nos padrões de mobilidade durante a pandemia, com a preferência por modos individuais e a redução drástica na demanda por transporte público, impõe um desafio adicional à sustentabilidade do sistema. Diante desse panorama, é crucial considerar não apenas a recuperação econômica pós-COVID, mas também a redefinição de estratégias para tornar o transporte público mais atrativo e alinhado com as novas dinâmicas comportamentais dos usuários, conforme indicam as análises pós-pandemia.

Diante da análise dos dados de passageiros transportados pelo sistema de ônibus municipal da Cidade de São Paulo (CSP), que passou por diversas transformações ao longo dos anos, influenciadas por eventos como a municipalização em 1991, a criação do Bilhete Único em 2004 e a integração com o sistema de transporte sobre trilhos em 2005, pode-se verificar um

declínio contínuo na demanda de passageiros, com variações significativas ao longo dos anos. Os dados mostram o declínio abrupto com o início da pandemia e a recuperação gradual com o decorrer da pandemia e com o fim dela, mostrando que a demanda observada ainda está abaixo das projeções.

A análise mensal e sazonal dos dados destaca padrões comportamentais consistentes até 2019, com picos nos meses de março, maio, agosto e outubro. A chegada da pandemia de Covid-19 em 2020 resultou em uma queda abrupta na demanda, refletida na análise da série temporal. O modelo ARIMA(5,1,0)(2,1,2)[12] foi aplicado para prever o comportamento da demanda, caso a pandemia não tivesse ocorrido, até o final de 2023.

A comparação entre a demanda prevista e a demanda observada indica uma diferença significativa, atribuível aos impactos contínuos da pandemia. Embora a demanda prevista aponte para uma tendência de queda menos acentuada em comparação com a queda anual observada em 2019, o sistema ainda não atingiu os níveis projetados para 2023. A análise anual mostra uma perda média de passageiros significativa, representando um desafio para a recuperação do sistema de ônibus da CSP.

Este estudo mostra que a demanda de passageiros no sistema de ônibus municipal de São Paulo enfrenta desafios significativos, influenciados por fatores como a pandemia e possíveis mudanças nos hábitos de mobilidade da população. A implementação de estratégias para revitalizar o sistema e atrair passageiros pode ser crucial para garantir a sustentabilidade e eficiência do transporte público na cidade. Assim, é imperativo que as políticas de mobilidade urbana estejam preparadas para enfrentar os desafios emergentes e contribuir para um sistema de transporte público resiliente e adaptável às transformações sociais e econômicas.

BIBLIOGRAFIA

ABDULLAH, Muhamma; ALI, Nazam; HUSSAIN, Syed Arif; ASLAM, Atif Bila; JAVID, Muhammad Ashraf. Measuring changes in travel behavior pattern due to COVID-19 in a developing country: A case study of Pakistan. **Transport Policy**, v. 108, p. 21-23, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.04.023>. Acesso: 15 jan. 2024.

ALOÍ, Alfredo *et al.* Effects of the COVID-19 Lockdown on Urban Mobility: Empirical Evidence from the City of Santander (Spain). **Sustainability**, 2020, Vol. 12, Page 3870, v. 12, n. 9, p. 3870, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su12093870>. Acesso: 15 jan. 2024.

ASKARIZAD, Reza; JINLIAO, He; JAFARI, Setareh. The influence of COVID-19 on the societal mobility of urban spaces. **Cities**, Rasht, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2021.103388>. Acesso: 15 jan. 2024.

BRASIL. Lei Federal no 12.587/2012 - **Política Nacional de Mobilidade Urbana**. Brasília, DF, 2012 Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/l12587.htm. Acesso: 28 dez. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Coronavírus Brasil: Painel Coronavírus**. 2024. Disponível em: <https://covid.saude.gov.br>. Acesso: 10 fev. 2024.

BUDD, Lucy; ISON, Stephenson. Responsible Transport: A post-COVID agenda for transport policy and practice. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, v. 6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100151>. Acesso: 15 jan. 2024.

CARDOZO, Rodrigo Juan Martins; ANDRADE, Maurício Oliveira de; BRASILEIRO, Anísio; MELO, Iury Ribeiro. Agravamento da tendência de redução da demanda por transporte público na Região Metropolitana do Recife na fase pós-pandêmica. *In: Anais do congresso de pesquisa e ensino em transportes*, 2023, Santos. **Anais**. Disponível em: <https://proceedings.science/anpet-2023/trabalhos>. Acesso: 10 dez. 2023.

DARONCHO, Celio; MARTÍNEZ, Pedro José Perez. Urban public transport trends in five western international metropolises: A post-pandemic perspective. In: Proceedings of the SUPTM 2024 conference, 2024, Cartagena, Spain. **Anais [...]**. Cartagena, 2024. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.31428/10317/13593>. Acesso: 20 fev. 2024.

DARONCHO, Celio; DALOSTO, João Augusto Dunk; MARTÍNEZ, Pedro José Perez. Trip generation by main modes of transport: analysis of the historical evolution in the Metropolitan Region of São Paulo (1967-2017). **South American Development Society Journal**, [S.l.], v. 9, n. 25, p. 200, abr. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v9i25p200-222>. Acesso: 15 jan. 2024.

FARIA, Beatriz Oliveira Leles de; CARVALHO, Willer Luciano; MEDRANO, Ronny Marcelo. Impacto da pandemia de Covid-19 na demanda do transporte coletivo da Região Metropolitana de Goiânia: Uma abordagem univariada de séries históricas. In: Anais do congresso de pesquisa e ensino em transportes, 2023, Santos. **Anais [...]**. Disponível em: <https://proceedings.science/anpet/anpet-2023/trabalhos/impacto-da-pandemia-de-covid-19-na-demanda-do-transporte-coletivo-da-regiao-metr?lang=pt-br>. Acesso: 10 dez. 2023.

FATMI, Mahmudur Rahman. COVID-19 impact on urban mobility. **Journal of Urban Management**, Colúmbia Britânica, Canadá, v. 9, n. 3, p. 270-275, 2020. ISSN 2226-5856. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jum.2020.08.002>. Acesso: 15 jan. 2024.

FEROZE, Navid. Forecasting the patterns of COVID-19 and causal impacts of lockdown in top five affected countries using Bayesian Structural Time Series Models. **Chaos, Solitons and Fractals**, [S. l.], v. 140, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chaos.2020.110196>. Acesso: 15 jan. 2024.

HIRATA, Daniel Veloso. “Boa Gestão” Urbana e Transporte Clandestino em São Paulo. **Áskesis: Revista dos Discentes do PPGS/UFSCar**. V.1. n.1. Janeiro 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.46269/1112.432>. Acesso: 15 jan. 2024.

HYNDMAN, Rob J., AND ATHANASOPOULOS, G. **Forecasting: principles and practice**, 3rd edition, OTexts: Melbourne, Australia, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2022**. 2023. Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama>. Acesso: 28 dez. 2023.

KANTAR. **Mobility Futures 2021: The Next Normal. How will COVID-19 change the way mobility evolves in the world's great cities?** [S.l.]. 2021. Disponível em: <https://www.kantar.com/campaigns/mobility-and-covid-19>. Acesso: 25 jan. 2024.

KRAEMER, Moritz U. G. *et al.* The effect of human mobility and control measures on the COVID-19 epidemic in China. **Science**, v. 368, n. 6490, p. 493–497, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.abb4218>. Acesso: 15 jan. 2024.

MORAES, Rodrigo Fracalossi de. **Covid-19 e medidas legais de distanciamento social: isolamento social, gravidade da epidemia e análise do período de 25 de maio a 7 de junho de 2020 (Boletim 5)**. Brasília: Ipea, 2020. (Nota Técnica n. 22, Dinte). Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/10073>. Acesso: 14 fev. 2024.

MOURA, Eryl Catarina; CORTEZ-ESCALANTE, Juan; CAVALCANTE, Fabricio Vieira; BARRETO, Ivana Cristina de Holanda Cunha; SANCHEZ, Mauro Niskier; SANTOS, Leonor Maria Pacheco. Covid-19: temporal evolution and immunization in the three epidemiological waves, Brazil, 2020–2022. **Revista de Saúde Pública**. 56:105. São Paulo, 2022. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.11606/s1518-8787.2022056004907>. Acesso: 15 jan. 2024.

NTU – Associação Nacional das Empresas de Transporte Urbano. **Anuário NTU: 2021-2022**. Brasília, 2022. Disponível em: <https://ntu.org.br>. Acesso: 28 jan. 2024.

PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo. **Bilhete Único completa 10 anos cada vez mais moderno**. São Paulo, 2014. Disponível em: <https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/noticias>. Acesso: 28 dez. 2023.

PMSP – Prefeitura Municipal de São Paulo. **Passageiros Transportados**. São Paulo, 2024. Disponível em: https://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/mobilidade/institucional/sptrans/aceso_a_informacao/index.php?p=245234. Acesso: 03 fev. 2024.

QUINTELLA, Marcus; SUCENA, Marcelo. Os impactos atuais e futuros da covid-19 sobre o transporte urbano por ônibus nas cidades brasileiras. **FGV Transportes**. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <https://transportes.fgv.br/opinioes/os-impactos-atuais-e-futuros-do-covid-19-sobre-o-transporte-urbano-por-onibus-nas-cidades>. Acesso: 03 fev. 2024.

RODRIGUE, Jean-Paul. **The Geography of Transport Systems**. 5°. ed. Nova York: Routledge, 2020.

São Paulo (Estado). **Tudo sobre a quarentena**. 2024. Disponível em: <https://www.saopaulo.sp.gov.br/coronavirus/quarentena/>. Acesso: 10 fev. 2024.

SEADE – Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Anuário Estatístico do Estado de São Paulo**. 2024. Disponível em: <https://produtos.seade.gov.br/produtos/anuario>. Acesso: 20 jan. 2024.

SHAKIBAEI, Shahin; JONG, Gerard C. de; ALPKÖKIN, Pelin; RASHIDI, Tara H. Impact of the COVID-19 pandemic on travel behavior in Istanbul: A panel data analysis. **Sustainable Cities and Society**, v. 65, p. 102619, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102619>. Acesso: 15 jan. 2024.

SORIA, Sofia; DEIRDRE, Edward; STATHOPOULOS, Amanda. Requiem for transit ridership? An examination of who abandoned, who will return, and who will ride more with mobility as a service. **Transport Policy**, v. 134, p. 139–154, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.TRANPOL.2023.02.016>. Acesso: 15 jan. 2024.

SPTRANS. **Sistema de Transporte**. 2024. Disponível em: <https://www.sptrans.com.br/sptrans>. Acesso: 20 jan. 2024.

THOMBRE, Anurag; AGARWAL, Ami. A paradigm shift in urban mobility: Policy insights from travel before and after COVID-19 to seize the opportunity. **Transport Policy**, v. 110, p. 335-353, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.06.010>. Acesso: 15 jan. 2024.

TORI, Sara; DE SÉJOURNET, Alice; MACHARIS, Cathy. Reactions of the public transport sector to the COVID-19 pandemic. Insights from Belgium. **Travel Behaviour and Society**, 31, 244–253, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.TBS.2023.01.001>. Acesso: 15 jan. 2024.

TSC – Transport Strategy Centre. **How is the global transport sector responding to the Coronavirus (COVID-19)?** Imperial College London. 2020. Disponível em: <https://www.imperial.ac.uk/media/imperial-college/research-centres-and-groups/centre-for-transport-studies/rtsc/covid-19/Imperial-College-TSC-Benchmarking---COVID-19-Key-Findings---July-2020.pdf>. Acesso: 25 set. 2023

VICKERMAN, Roger. Will Covid-19 put the public back in public transport? A UK perspective. **Transport Policy**, v. 103, p. 95-102, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2021.01.005>. Acesso: 15 jan. 2024.

WAGNER, Gabriela Maciel.; MARUJO, Lino Guimarães. Avaliação do impacto da pandemia de Covid-19 no transporte público por ônibus no município do Rio de Janeiro. In: Anais do congresso de pesquisa e ensino em transportes, 2023, Santos. **Anais**. Disponível em: <https://proceedings.science/anpet-2023/trabalhos>. Acesso: 10 jan. 2024.

WHATELY, Ivan Metran e NÉSPOLI, Luiz Carlos Mantovani. **Premissas para um plano de Mobilidade**. Associação Nacional de Transporte Públicos (ANTP) e São Paulo Transportes S.A. (SPTrans). São Paulo, 2013. Disponível em: https://files-server.antp.org.br/_5dotSystem/download/dcmDocument/2013/03/06/ABB0D95F-D337-4FF5-9627-F8D3878A9404.pdf. Acesso: 10 jan. 2024.

WHO. World Health Organization. **Timeline: WHO's COVID-19 response**. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/interactive-timeline>. Acesso: 28 jan. 2024.

YANG, Y.; CAO, M.; CHENG, L.; ZHAI, K.; ZHAO, X. e VOS, J. Exploring the relationship between the COVID-19 pandemic and changes in travel behaviour: A qualitative study. **Transportation Research Interdisciplinary Perspectives**, v.11, 100450, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2021.100450>. Acesso: 15 jan. 2024.