CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
ENGENHARIA DE TRANSPORTES

VITOR RANGEL DE MENDONÇA

ANÁLISE DO IMPACTO DA PANDEMIA DA COVID-19 NA DEMANDA DO METRÔ DE BELO HORIZONTE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

BELO HORIZONTE
2020

VITOR RANGEL DE MENDONÇA

ANÁLISE DO IMPACTO DA PANDEMIA DA COVID-19 NA DEMANDA DO METRÔ DE BELO HORIZONTE

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Graduação em Engenharia de Transportes do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Msc. André Leite Guerra

BELO HORIZONTE
2020

FOLHA DE APROVAÇÃO

A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Transportes do CEFET-MG e será anexada após a apresentação do trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador André Guerra, pela ajuda, por todos os conselhos e todo ensinamento repassado nesse trabalho e como professor no CEFET-MG.

À minha mãe Fátima e meu pai Otávio, por todos os valores ensinados, que me possibilitaram chegar até aqui.

À toda minha família pelo carinho, pelo amor, incentivo e por sempre acreditarem em mim.

Aos meus amigos de graduação, por todos os momentos de alegria, as dificuldades superadas e por terem feito esse caminho muito mais prazeroso.

A todos os meus amigos, por todo o companheirismo e amizade.

A todos os meus companheiros de trabalho, pela amizade, companheirismo, toda ajuda e ensinamentos passados durante as várias horas compartilhadas.

A todos os professores do Departamento de Engenharia de Transportes, pelo conhecimento repassado.

Ao CEFET-MG, minha segunda casa desde os quinze anos de idade, todos os seus professores e colaboradores.

Meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

MENDONÇA, Vitor Rangel. **Análise do impacto da pandemia da COVID-19 na demanda do metrô de Belo Horizonte.** 2020. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Transportes. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2020.

A pandemia da COVID-19 se expandiu rapidamente no mundo, sendo o Brasil um dos países com maior número de casos confirmados e óbitos causados pelo novo coronavírus. O isolamento social foi uma das medidas mais recomendadas pelo poder público e as organizações de saúde como prevenção à doença. A rotina e os hábitos das pessoas foram afetados diretamente com a transmissão do vírus, causando impacto drástico na mobilidade urbana. Diante desse cenário, esse trabalho utilizou dados de demanda do metrô de Belo Horizonte para avaliar o impacto da pandemia no sistema metroviário. As análises temporais e espaciais realizadas nesse estudo possibilitaram observar o comportamento da demanda do sistema de transporte sob trilhos de Belo Horizonte durante a pandemia. Um estudo envolvendo os outros modos de transporte da cidade pode se tornar uma ferramenta valiosa para o poder público, no auxílio de tomada de decisões sobre medidas de prevenção à transmissão da doença, reabertura de atividades e oferta de transporte coletivo.

Palavras-chave: COVID-19. Impacto. Mobilidade urbana.

ABSTRACT

MENDONÇA, Vitor Rangel. Analysis of the impact of the COVID-19 pandemic on the demand of the Belo Horizonte subway. 2020. 52 p. Course Completion Work (Graduation) – Transportation Engineering. Federal Center for Technological Education of Minas Gerais, 2020.

The COVID-19 pandemic expanded quickly worldwide, with Brazil being one of the countries with the highest number of confirmed cases ad deaths caused by the new coronavirus. Social isolation was one of the most recommended measures by public authorities and health organizations as prevention of disease. People's routine and habits were directly affected with the virus transmission, causing a huge impact on urban mobility. Faced with this scenario, this work used demand data from the Belo Horizonte subway to evaluate the impact of the pandemic on the rail system. The temporal and spatial analyses performed in this study made it possible to observe the demand behavior of Belo Horizonte subway system during the pandemic. A study involving other transportation modes can become a valuable tool for public authorities in helping to make decision on measures to prevent the disease transmission, reopening city activities and public transportation planning.

Keywords: COVID-19. Impact. Urban mobility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Diagrama da seleção de artigos para compor o referencial teórico . 15
Figura 2 – Número de casos confirmados de COVID-19 em 2020 17
Figura 3 – Número de mortes causadas pela COVID-19 em 2020 17
Figura 4 - Sistema de metrô de Belo Horizonte..... 22
Figura 5 - Modelo Cobrasma série 900 24
Figura 6 - Modelo CAF Série 1000..... 24
Figura 7 - Diagrama da metodologia 26
Figura 8 – Primeira base de dados com embarque diário de passageiros por dia em cada estação 27
Figura 9 – Segunda base de dados com embarque diário de passageiros em cada estação e total do sistema entre 01/01/2019 a 30/06/2020 28
Figura 10 - Terceira base de dados com embarque diário de passageiros em cada estação e total do sistema entre 01/07/2020 a 30/09/2020 29
Figura 11 – Demanda diária de passageiros de segunda a sexta-feira entre 01/01/2019 e 30/06/2020 30
Figura 12 - Demanda diária de passageiros de segunda a sexta-feira entre 01/01/2019 e 30/06/2020 após remoção de dias atípicos 30
Figura 13 – Demanda média diária da primeira semana de cada mês 33
Figura 14 - Demanda diária de passageiros nos dias úteis de março a setembro de 2020 34
Figura 15 - Demanda diária de passageiros nos sábados de março a setembro de 2020 35
Figura 16 - Demanda diária de passageiros nos domingos de março a setembro de 2020 36
Figura 17 – Variação da demanda média diária da primeira semana de cada mês em relação a primeira semana do mês de março 37
Figura 18 – Demanda diária de passageiros nos dias úteis e datas de reabertura ou fechamento de atividades comerciais em Belo Horizonte 39
Figura 19 - Demanda média diária dos domingos de cada mês 41
Figura 20 - Demanda média diária em dias úteis e datas de reajuste da tarifa 42
Figura 21 – Demanda média diária de março de 2020 antes da pandemia 43

Figura 22 – Variação da demanda em relação ao dia 04/03/2020 por agrupamento regional – quartas-feiras..... 45
Figura 23 – Variação da demanda em relação ao dia 04/03/2020 por agrupamento por integração – quartas-feiras..... 46
Figura 24 - Variação da demanda em relação a 04/03/2020 47
Figura 25 – Redução percentual da demanda no dia 25/03/2020 em relação a 04/03/2020 48
Figura 26 - Redução percentual da demanda no dia 30/09/2020 em relação a 04/03/2020 49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos que compõe o referencial teórico 16
Tabela 2 - Intervalo entre viagens do metrô de Belo Horizonte..... 23
Tabela 3 - Evolução histórica do valor da tarifa do metrô de Belo Horizonte ... 25
Tabela 4 – Decretos de reabertura e fechamento de atividade em Belo Horizonte 38
Tabela 5 – Agrupamento das estações de acordo com sua localização..... 44

LISTA DE SIGLAS

CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
OMS	Organização Mundial da Saúde
OPAS	Organização Pan-Americana da Saúde
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
STU	Superintendência de Trens Urbanos
TUE	Trem Unidade Elétrico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 12
1.1 Objetivo Geral 13
1.2 Objetivos específicos 13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 13
2.1 Revisão sistemática 13
2.2 COVID-19 e Mobilidade 17
3 O Metrô de Belo Horizonte 22
4 MÉTODOS 25
4.1 Base de dados 26
4.1.1 Seleção 26
4.1.2 Levantamento 26
4.1.3 Tratamento 29
4.2 Análises 30
4.2.1 Análises temporais 31
4.2.2 Análises espaciais 31
5 RESULTADOS 32
5.1 Demanda após decretos 33
5.2 Retomada 37
5.3 Variação histórica da demanda 39
5.3.1 Valor da tarifa 42
5.4 Análises Espaciais 43
5.4.1 Agrupamento Regional 43
5.4.2 Agrupamento por integração 45
5.4.3 Análise segregada 46
6 CONCLUSÃO 49
7 BIBLIOGRAFIA 51

1 INTRODUÇÃO

A COVID-19 é uma doença infecciosa causada pelo novo coronavírus (Sars-Cov-2) que vem se espalhando pelo mundo desde 2019, quando foi identificada pela primeira vez na cidade de Wuhan na China (OPAS, 2020). Em 9 de novembro de 2020, dados da Organização Mundial da Saúde registram mais de 50 milhões de casos confirmados e mais de 1,2 milhões de mortes no mundo.

A transmissão do novo coronavírus se dá de uma pessoa a outra por meio de contato em partes do corpo ou objetos contaminados, saliva, espirro ou tosse (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2020). Alguns grupos de pessoas como idosos, pessoas com doenças cardíacas ou respiratórios e diabéticos têm maior chance de desenvolver as maiores complicações da doença (SES/MG, 2020), mas não necessariamente possuem maior probabilidade de serem infectadas. Diante disso, o isolamento social tem sido uma das principais formas de combate e controle da transmissão da COVID-19.

No dia 11 de março de 2020, a OMS declarou a transmissão do novo coronavírus como pandemia, obrigando os países a adotarem medidas preventivas. No Brasil não foi diferente, desde então os municípios passaram a adotar medidas preventivas frente à pandemia. Em Belo Horizonte, o Decreto Nº 17.297 de 17 de março de 2020 declarou situação de emergência em saúde pública em razão da necessidade de ações para conter a propagação de infecção viral. A partir desta data, a Prefeitura de Belo Horizonte emitiu diversos decretos que suspendiam atividades não essenciais e o fechamento temporário de lugares possíveis causadores de aglomerações, como parques e escolas.

As medidas tomadas pelo poder público que incentivam o isolamento social afetaram diretamente os hábitos de vida nos grandes centros urbanos, causando grandes impactos na economia e consequentemente, no deslocamento das pessoas. Dadas as recomendações de sair de casa apenas quando necessário, é natural que haja um impacto na demanda do transporte público. Mensurar e analisar este impacto pode gerar informações importantes para o poder público no auxílio de tomada de decisões relacionadas à oferta do transporte público e às medidas de isolamento social.

Investigar a variação da demanda de passageiros nos sistemas de transporte durante o isolamento social equivale a investigar a eficácia dessa política pública e qual o seu grau de cumprimento dado o percentual de redução nas viagens. Diante disso, ressalta-se a contribuição desse trabalho como uma ferramenta para o poder público que pode auxiliar na tomada de decisões referentes à reabertura do comércio e outras atividades não essenciais bem como no planejamento e oferta de viagens do metrô de Belo Horizonte.

1.1 Objetivo Geral

Analisar o impacto da pandemia da COVID-19 na demanda do metrô de Belo Horizonte.

1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar o impacto das fases de abertura e fechamento do comércio de Belo Horizonte na demanda do metrô;
- Caracterizar a variação na demanda do metrô de Belo Horizonte por região;
- Relacionar as variações de demanda do metrô de Belo Horizonte com a adesão ao isolamento social.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

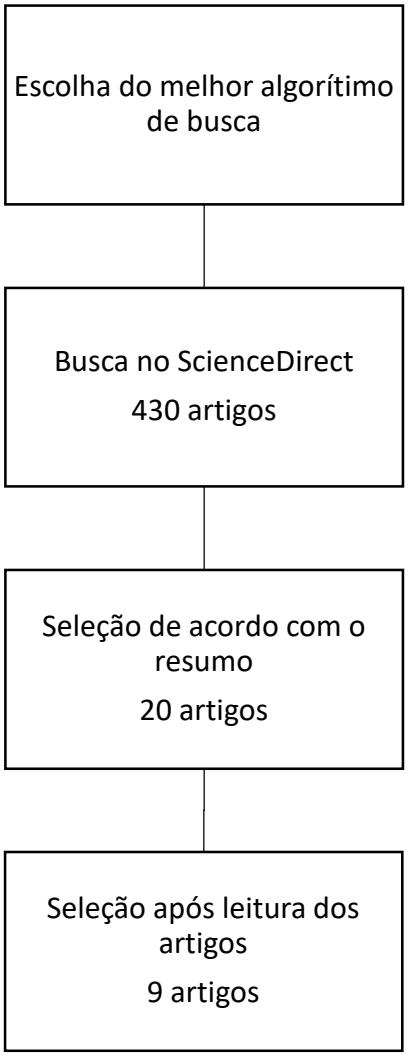
2.1 Revisão sistemática

A revisão sistemática de literatura foi realizada entre junho de 2019 e outubro de 2020 em duas etapas. A primeira etapa consistiu em buscar estudos que analisaram o impacto na demanda de um modo de transporte causado pela implantação de um novo modo que competisse por aquela demanda. Na segunda parte da pesquisa o foco foi alterado para estudos que analisaram impactos causados pela pandemia na mobilidade urbana.

A pesquisa foi realizada no banco de dados *online* ScienceDirect. Primeiramente testou-se diferentes componentes no algoritmo de busca de forma que os resultados correspondessem da melhor forma possível com o tema proposto para este trabalho. Foram utilizados os seguintes termos em inglês para buscar referências que tratem de alguma forma a mobilidade urbana durante a

pandemia do COVID-19: *urban* e *mobility.* Utilizando o operador lógico "*AND*" foi incluído o termo "COVID-19", resultando assim em estudos que continham necessariamente referências à mobilidade urbana e a pandemia da COVID-19.
Após a busca, a plataforma localizou 430 artigos. Não foi estabelecido o critério de incluir no referencial teórico deste trabalho, artigos de acordo com sua data de publicação, pois qualquer estudo relacionado à pandemia da COVID-19 seria publicado a partir de 2019, quando iniciou a transmissão do vírus pelo mundo. Após a filtragem, a amostra de trabalhos foi reduzida para 430 artigos. Analisando os resumos dos artigos resultados, foram selecionados 20 artigos para uma análise mais aprofundada. Após a análise dos trabalhos selecionados na última etapa, foram determinados quais destes artigos poderiam contribuir para o desenvolvimento deste trabalho. Foram selecionados 9 artigos. Na Figura 1 é ilustrado o processo de escolha de artigos para compor o referencial teórico deste trabalho:

Figura 1 - Diagrama da seleção de artigos para compor o referencial teórico



Fonte: O autor, 2020

Os trabalhos escolhidos foram aqueles que de alguma forma analisaram algum impacto da pandemia da COVID-19 na mobilidade urbana de determinado lugar. Os artigos selecionados para comporem a revisão bibliográfica estão listados na Tabela 1 de acordo com seus autores, data, local estudado e o principal fator impactado analisado:

Tabela 1 - Artigos que compõe o referencial teórico

Autores	Data de Publicação	Local	Fatores Analisados
Abu-Rayash, Dincer	jul/20	Canadá	Índices de mobilidade
Arimura et. al	set/20	Japão	Densidade populacional em tempo real
Bucksky	jun/20	Hungria	Divisão modal
Hadjidemetriou et. al	jul/20	Reino Unido	Aplicativo de transporte
Jenelius e Cebec	out/20	Suécia	Demanda do transporte público
Rumples et. al	set/20	Suécia	Ruído urbano
Saladié et. al	set/20	Espanha	Acidentes de trânsito
Tan e Ma	jul/20	China	Divisão modal
Teixeira e Lopes	jul/20	EUA	Divisão modal

Fonte: O autor, 2020.

Todos os artigos selecionados são de língua inglesa. Como a busca foi realizada com descritores em inglês, posteriormente foram incluídos materiais em português, que não necessariamente analisam o impacto da pandemia na mobilidade urbana, mas podem agregar de alguma maneira informações úteis a este trabalho, por analisarem o contexto da pandemia no Brasil. Conforme analisado por (DE CASTRO LEIVA; DOS REIS; FILHO, 2020) a velocidade de contágio é diferente entre países, cidades e regiões devido a diversos fatores como: efetividade de políticas públicas, aspectos culturais e comportamentais, condições de saúde, saneamento e higiene, adensamento e distribuição espacial da população, *timing* de início da pandemia e contexto político.

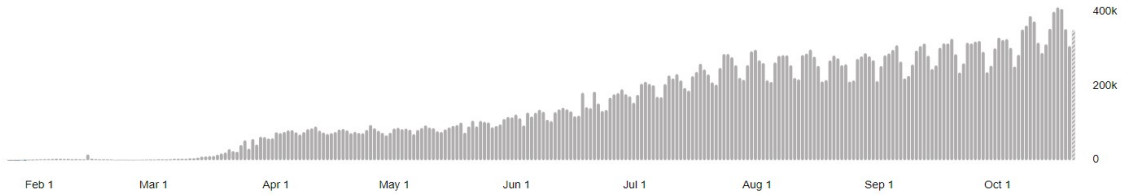
Os estudos de mobilidade devem ser tratados em dois aspectos: na restrição das atividades e na garantia do afastamento social como ação na redução da velocidade de contágio do vírus (COPPE - UFRJ, 2020). No primeiro caso deve ser garantida a oferta de transporte público e o incentivo aos modos ativos e no segundo, possibilitar que o afastamento social seja tratado como ação na redução da velocidade de contágio do vírus sem prejudicar o contexto econômico. A nota técnica da UFRJ ainda cita que é importante a disponibilidade de recursos capazes de monitorar o transporte público continuamente, para

auxiliar na tomada de decisões referentes à abertura de setores, considerando que essas decisões tomadas de acordo com a evolução do número de casos de COVID-19 e de óbitos causados pela doença, podem apresentar lapsos de tempo, e seus efeitos podem não ser os esperados.

2.2 COVID-19 e Mobilidade

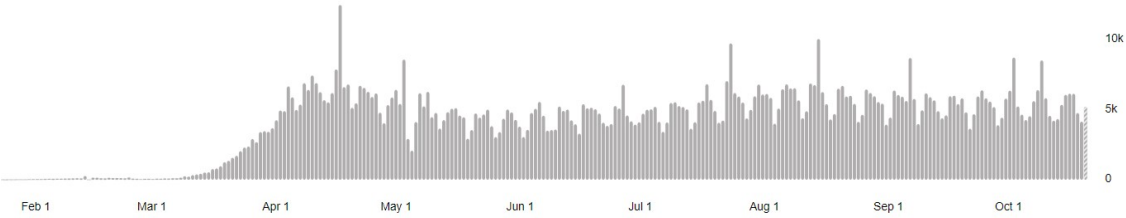
Até o momento de realização deste trabalho, 50.266.033 de casos e 1.254.567 de mortes causadas pela COVID-19 já foram confirmadas em 219 países diferentes (WHO, 2020). As Figura 2 eFigura 3 ilustram respectivamente o número de casos confirmados e o número de mortes causadas por infecção da COVID-19 no mundo:

Figura 2 – Número de casos confirmados de COVID-19 em 2020



Fonte: OMS, 2020.

Figura 3 – Número de mortes causadas pela COVID-19 em 2020



Fonte: OMS, 2020.

O impacto da pandemia da COVID-19 foi notado em diversas cidades do mundo e em diferentes modos de transporte. Abu-Rayash e Dincer (2020) propuseram um modelo que avaliasse o setor de transportes com quatro variáveis: eficiência de transporte, relação de integração tecnológica, taxa de congestionamento de tráfego e índice de acessibilidade. Os autores utilizaram de índices de mobilidade do aplicativo *Citymapper* para avaliar a queda da demanda por transporte em

grandes cidades canadenses, americanas e britânicas. O estudo também abrangeu dados de movimentação no transporte aéreo. Para analisar os diferentes comportamentos na queda da demanda por transporte em cada local, os autores relacionaram a tendência da variação dos índices com pesquisas de opinião da população sobre reabertura da economia durante a pandemia em diversos países. A variação dos índices de mobilidade antes e durante a pandemia também foram relacionadas com a variação de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) no período. Feitas as análises, considerando crises sanitárias no passado, os autores afirmam que o setor de transporte levará muito tempo para recuperar-se totalmente do impacto causado pela pandemia. Para minimizar o impacto, deve-se buscar outras fontes de receitas para o manter o sistema operacional lucrativo, concluem os autores.

Os dados de telefonia móvel também podem ser ferramentas valiosas para um estudo de mobilidade. Dados de pesquisas populacionais, revelam números fixos de pessoas em um local enquanto as estatísticas espaciais móveis mostram a distribuição da população dinâmica ao longo do tempo. Usando esses dados, é possível não apenas entender a variação da densidade populacional por local, mas também compreender os padrões de viagem na cidade por faixas horárias. Foram informações desse tipo que Arimura et. al (2020) utilizaram para analisar as mudanças na mobilidade urbana devido à pandemia da COVID-19 na cidade de Sapporo, no Japão. Os autores utilizaram os dados de rede móvel da NTT Docomo, uma das principais empresas de telefonia móvel japonesa. O estudo foi feito considerando uma média populacional por cada região analisada em períodos específicos, antes e durante a pandemia. Os autores puderam verificar uma grande mudança nos hábitos de deslocamento da cidade. Em centros comerciais foi possível observar uma redução de densidade populacional em tempo real de até 80% durante o horário comercial após o início da pandemia. Consequentemente, a densidade populacional em áreas residenciais e em períodos noturnos se manteve constante após a pandemia, indicando queda na quantidade de deslocamentos.

O impacto sofrido pelos sistemas de transporte público pode variar para cada modo de transporte, sendo importante entender o comportamento dos usuários nas integrações modais durante a pandemia. Bucksky (2020) analisou esse comportamento na cidade de Budapeste, na Hungria. Ele utilizou dados da

empresa responsável pela operação e manutenção das vias da cidade e estatísticas de planejamento de viagens do aplicativo *Waze* para analisar a variação do volume de tráfego antes e durante a pandemia da COVID-19. O Centro de Transporte de Budapeste (BKK) disponibilizou para o estudo dados de demanda do transporte público da cidade e do sistema de compartilhamento de bicicletas. O autor ainda incluiu em sua análise dados de movimentação de pedestre coletados através de pesquisas públicas e dados de compartilhamento de automóveis disponibilizados pelas empresas que operam esse tipo de serviço em Budapeste. Foi possível observar que realmente o impacto nos sistemas de transporte foi diferente em cada modo. Enquanto o transporte público sofreu redução de 80% em sua demanda, os sistemas de compartilhamento de bicicletas sofreram redução de apenas 2%. Analisando a divisão modal do sistema de transporte, tanto a bicicleta como o uso do automóvel tiveram aumento percentual de utilização considerando todos os modos, enquanto o transporte público sofreu a maior queda.

Hadjidemtriou et. al (2020) também utilizaram dados de aplicativos para mensurar o impacto da pandemia da COVID-19 nas tendências de mobilidade urbana no Reino Unido. Os autores compararam dados fornecidos pela *Apple* para comparar tendências de mobilidade humana de caminhada, direção e uso de transporte público no período durante a pandemia com o mesmo período em anos anteriores. As análises indicaram que as medidas preventivas contra a disseminação do novo coronavírus tomadas pelo governo britânico, estão conectadas direta ou indiretamente com a mobilidade urbana. As contínuas orientações e recomendações de sair de casa apenas quando necessário, combinadas com o fechamento das escolas e redução da oferta dos serviços de metrô, contribuíram para a queda das tendências mobilidade. Os autores puderam verificar que não houve grande flutuação da variação nos números de mobilidade urbana entre 24 de março de 2020 (dia seguinte ao *lockdown)* até o final de maio de 2020. Os números de demanda de direção, transporte público e caminhada decresceram cerca de 60%, 80% e 60% respectivamente, se comparados aos dados do mesmo período no ano anterior

O comportamento do usuário de transporte público na escolha modal mudou durante a pandemia da COVID-19. Foi o que perceberam Tan e Ma (2020) com base em 559 questionários válidos, sobre a escolha do usuário de viajar ou não

no modo ferroviário durante a pandemia na China. Os autores utilizaram o modelo de regressão binominal para investigar a probabilidade de o usuário decidir viajar ou não no modo ferroviário durante a pandemia. Apesar de o tamanho da amostra não ser suficientemente grande, foi possível identificar que a possibilidade de se infectar no transporte público tem impacto significativo na escolha do usuário pelo modo de transporte, visto que, dos usuários que escolhem não utilizar o modo ferroviário, 97% optam por se deslocar no veículo particular, a pé ou caminhando, acreditando que a chance de se infectar é menor, indicando um senso de autoproteção da população entrevistada.

(TEIXEIRA; LOPES, 2020) também avaliaram a preferência do usuário pode determinado modo de transporte durante a pandemia. Eles analisaram a relação da demanda do sistema de bicicletas compartilhadas e do sistema de metrô na cidade de Nova Iorque, nos Estados Unidos, com a evolução da pandemia da COVID-19. A análise mostrou que a pandemia causou um grande impacto no sistema de metrô de Nova Iorque, com redução de demanda de até 90% em relação ao período antes da pandemia, quanto o sistema de compartilhamento de bicicletas sofreu queda na demanda de 71%. Os autores observaram uma possível migração do sistema de metrô para o de bicicletas compartilhadas, assim como acontece em eventos perturbadores, como greve de trabalhadores que ocupam o trânsito (SABERI *et al.*, 2018).

Jenelius e Cebecauer (2020) analisaram o impacto causado pela pandemia da COVID-19 nos sistemas de transporte público das três regiões mais populosas da Suécia (Estocolmo, Escânia e Gotalândia Ocidental) utilizando dados de validações de bilhetes, vendas e contagem de passageiros. Os dados foram coletados das autoridades públicas de transporte. Após o tratamento dos dados os autores possuíam o número de viagens realizadas por dia no transporte público de cada região, considerando que uma integração modal gera uma nova viagem além do primeiro modo. Os dados foram comparados com a demanda antes da pandemia, para acompanhar a variação percentual por região. O estudo também comparou os dados de viagens no transporte público com as variações de viagens de bicicleta, fluxo de pedestres e tráfego nas rodovias. A menor variação na demanda do transporte público foi observada no condado de Gotalândia Ocidental (queda de 40%) e a maior no condado de Estocolmo (queda de 60%). Comparando com os outros modos de transporte, os autores

concluíram que o impacto no transporte público foi maior, mesmo que apenas o fluxo de pedestres no interior do país atingiu os níveis de circulação do mesmo período no ano anterior.

Rumples, Venkataraman e Goransson (2020) também estudaram o impacto das medidas preventivas contra a COVID-19 na mobilidade urbana na Suécia. Diferentemente do estudo utilizando dados de demanda do transporte público, esse trabalho analisou as variações do ruído do tráfego na região central de Estocolmo. Foram instalados dispositivos de monitoramento específicos para o estudo de ruídos urbanos em diversas localizações chaves na região central da capital sueca que realizaram medições entre abril de 2019 e junho de 2020. Os autores observaram uma queda de mais 4 decibels na média diária de ruído no mês de abril de 2020, um mês após as recomendações e restrições impostas pelas autoridades locais em função da pandemia. Foi possível concluir que, mesmo não sendo imposta nenhuma restrição rígida de deslocamento na Suécia, as medições indicam que houve um rápido cumprimento das recomendações pela população da cidade, levando a uma clara desaceleração das atividades urbanas.

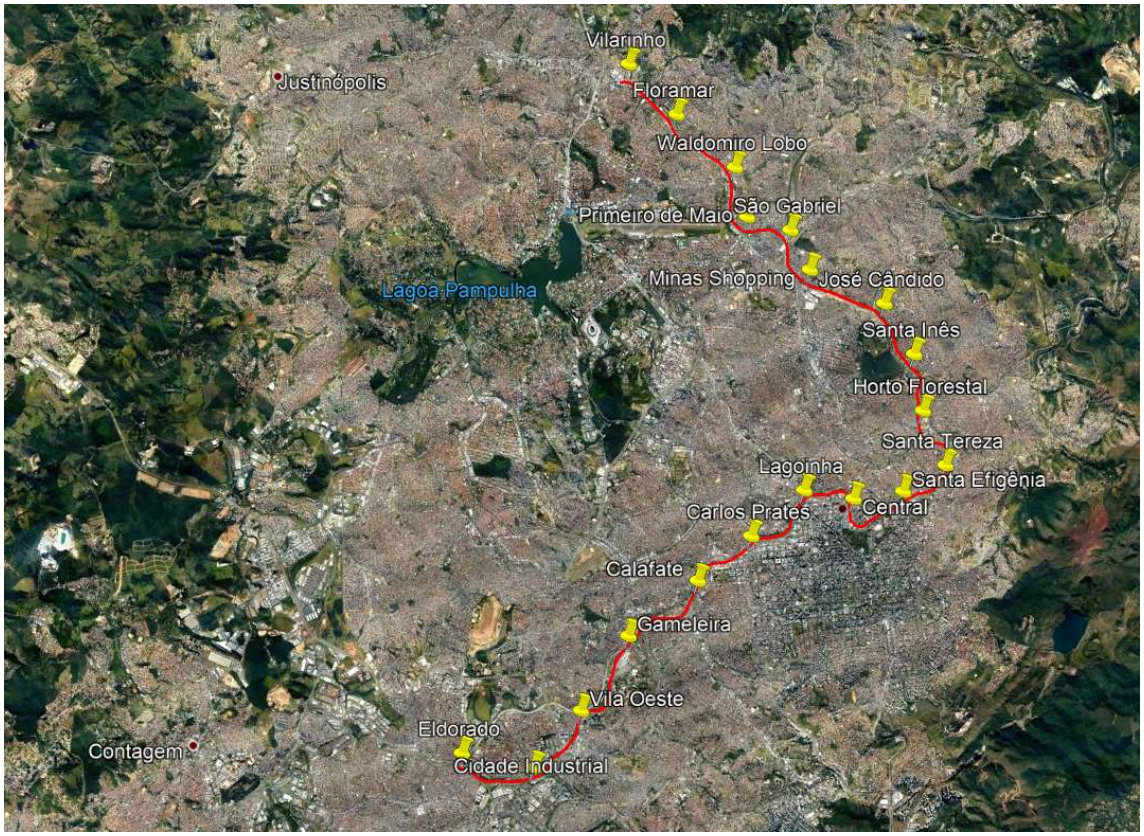
Outro parâmetro que pode ser analisado para mensurar o impacto da pandemia da COVID-19 na mobilidade urbana são os acidentes de tráfego. Foi o que Saladié, Bustamante e Gutiérrez (2020) estudaram na província de Tarragona, na Espanha. Os dados foram obtidos do Departamento de prevenção ao fogo, extinção e resgate (DGPEIS) do Governo Autônomo da Catalunha. Os dados são referentes a partir do dia 03 de fevereiro de 2020, imediatamente após o decreto de *lockdown* na região, até o dia 26 de abril de 2020. O órgão responsável pelos dados também disponibilizou os dados do mesmo período nos anos de 2018 e 2019. Os autores puderam observar que houve uma queda de quase 83% nos acidentes nas rodovias urbanas em 2020 após o *lockdown* e de mais de 73% nas rodovias interurbanas, em comparação com os anos de 2018 e 2019. Mesmo observando uma queda drástica nos números de acidentes, os autores ainda ressaltam que os números tiveram variação considerável nos períodos anteriores ao *lockdown*, mas o impacto das medidas preventivas à disseminação do novo coronavírus não causou mudança significativa no padrão de distribuição dos acidentes de tráfego.

3 O METRÔ DE BELO HORIZONTE

A Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU) é uma empresa pública brasileira que foi criada em 1984 como subsidiária da extinta Rede Ferroviária Federal (RFFSA), começando a operação em Belo Horizonte dois anos depois. Atualmente, opera sistemas de transporte de passageiros sob trilhos em 5 cidades brasileiras, através de suas superintendências regionais: Belo Horizonte, Recife, Natal, Maceió e João Pessoa. A sede administrativa da empresa é localizada no Rio de Janeiro.

O metrô de Belo Horizonte, possui uma linha apenas, com 28,1 quilômetros de extensão e 19 estações. A estrutura da superintendência de Belo Horizonte conta com dois complexos de manutenção, além de uma sede administrativa na cidade. A Figura 4 ilustra o traçado viário e as estações do metrô de Belo Horizonte:

Figura 4 - Sistema de metrô de Belo Horizonte



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2020.

O sistema de transporte é característico de tronco alimentador, com as estações terminais Eldorado e Vilarinho determinando uma demanda pendular, na qual os

passageiros se direcionam das pontas para o centro (CBTU, 2018). O sistema possui integração com terminais rodoviários nas estações Eldorado, Lagoinha, José Cândido da Silveira, São Gabriel e Vilarinho.

Segundo informações da CBTU de maio de 2018, o sistema transportava em média 210 mil passageiros por média nos dias úteis, transportando cerca de 60 milhões de pessoas por ano. Neste mesmo período, o índice de regularidade era de oferta de 97% das viagens programadas com pontualidade de 98% da grade programada, sendo ofertadas cerca de 280 viagens nos dias úteis, 206 aos sábados e 156 aos domingos e feriados. O intervalo mínimo entre viagens é de 4 minutos. A Tabela 2 ilustra o intervalo entre viagens no período antes da pandemia da COVID-19:

Tabela 2 - Intervalo entre viagens do metrô de Belo Horizonte

Intervalo entre viagens	
Programação	**Intervalos**
Dia úteis	Mínimo: 4 minutos a 7 minutos no pico
	Máximo: 10 a 12 minutos nos demais horários
Sábado	Mínimo: 8 a 10 minutos
	Máximo: 12 a 15 minutos
Domingo	14 minutos, durante todo o dia.
Feriado	14 minutos, durante todo o dia

Fonte: adaptado de CBTU, 2014.

A frota da empresa é atualmente de 35 Trens Unidade Elétrico (TUE), sendo, 25 unidades do modelo Cobrasma série 900 e 10 unidades do modelo CAF série 1000, que começaram a operar em setembro de 2015. O veículo da Cobrasma tem capacidade para transportar 1026 passageiros, enquanto o modelo da CAF transporta em média 1300 pessoas por viagem. As Figura 5 e Figura 6 ilustram os modelos Cobrasma série 900 e CAF série 1000, respectivamente:

Figura 5 - Modelo Cobrasma série 900

Fonte: CBTU, 2018.

Figura 6 - Modelo CAF Série 1000

Fonte: CBTU, 2018.

O preço da tarifa do metrô de Belo Horizonte também sofreu alterações nos últimos anos. Mantida a R$1,80 por cerca de 13 anos, após batalhas judiciais, ficou definido que a partir de maio de 2019, o valor da tarifa do metrô iria aumentar gradualmente, até custar R$4,25. A Tabela 3 ilustra a evolução histórica do valor da tarifa de Belo Horizonte:

Tabela 3 - Evolução histórica do valor da tarifa do metrô de Belo Horizonte

Data	Valor da tarifa
2006 a 04/05/2019	R$ 1,80
05/05/2019	R$ 2,40
07/07/2019	R$ 2,90
08/09/2019	R$ 3,40
03/11/2019	R$ 3,70
05/01/2020	R$ 4,00
07/03/2020	R$ 4,25

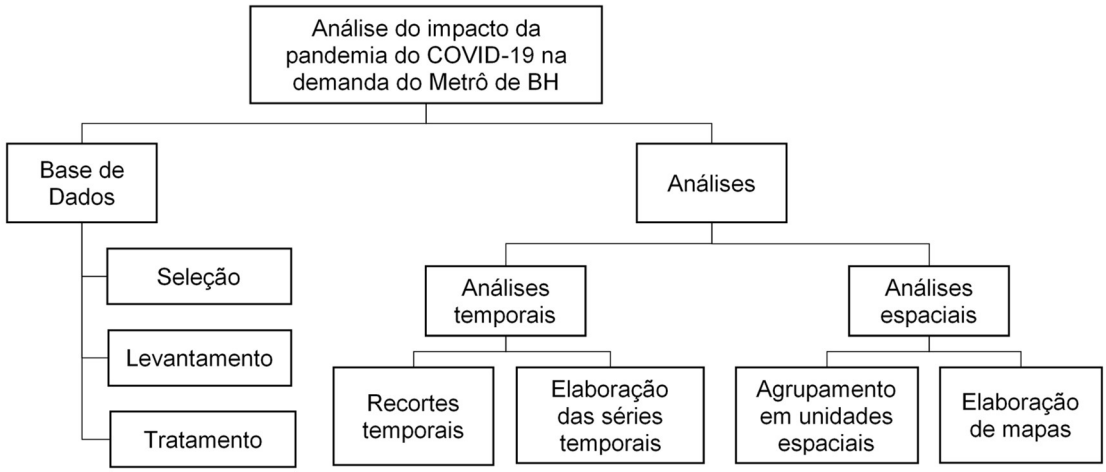
Fonte: adaptado de CBTU, 2020.

No momento de realização deste trabalho, o valor da tarifa cobrado ao usuário é de R$4,25 em previsão de reajuste. No cenário pandêmico, dada a redução da demanda, a CBTU também reduziu a oferta, não operando os trens mais novos produzidos pela CAF, que possuem ventilação apenas por ar-condicionado, favorecendo possíveis contaminações entre os usuários. A empresa tem priorizado a operação com dois TUE's acoplados, com 8 vagões no total, ao invés de 4, como usual, com o intuito de estimular o distanciamento social entre os usuários. Em contrapartida, o intervalo médio entre viagens aumentou.

4 MÉTODOS

A metodologia utilizada neste trabalho é de caráter quantitativa, com o objetivo de analisar o impacto da pandemia do COVID-19 na demanda do metrô de Belo Horizonte. Neste contexto, os métodos escolhidos para o desenvolvimento do estudo incluem análises temporais e espaciais a partir da base de dados contendo os dados de demanda do sistema metroviário da capital. As etapas da metodologia estão detalhadas na Figura 7:

Figura 7 - Diagrama da metodologia



Fonte: O autor, 2020.

4.1 Base de dados

Para uma análise confiável, seria necessária uma base de dados o mais densa possível, sendo possível capaz de extrair informações precisas que caracterizem a demanda do metrô.

4.1.1 Seleção

Para analisar o impacto da pandemia na demanda do sistema, seria necessária uma base de dados em que fosse possível caracterizar a demanda antes e após a declaração da OMS da transmissão do COVID-19 como pandemia. Além do impacto causado pela pandemia, as variações do preço da tarifa do metrô, que ocorreram entre maio de 2019 e março de 2020, também causaram algum impacto na demanda do sistema. Portanto, quanto maior o período que abrangessem os dados de demanda, mais precisa seria a caracterização do sistema e consequentemente a análise do impacto na demanda.

4.1.2 Levantamento

Os dados foram solicitados à Coordenadoria de Programação e Procedimentos Operacionais da CBTU/STU-BH. Os dados recebidos estavam divididos em três partes: uma planilha com os dados de demanda por estação entre 01/01/2012 e 31/12/2018, outra planilha com os dados de demanda entre 01/01/2019 a 30/06/2020 e um arquivo de texto com os dados de demanda entre 01/07/2020

a 30/09/2020. A segunda planilha e o arquivo de texto continham algumas informações adicionais em relação a primeira, como caracterização da demanda de determinado dia como típica ou atípica.

Os arquivos de planilha recebidos estavam no formato (.xls) e o arquivo de texto no formato (.pdf). A primeira coluna do primeiro banco de dados recebido é referente à data em que ocorreram determinados números de embarque por dia em cada estação, incluindo dias úteis, sábados, domingos e feriados. A data está no formato dia/mês/ano. As colunas seguintes representam cada estação do metrô de Belo Horizonte e o número respectivo de embarques por dia em cada uma. A Figura 8 ilustra uma amostra do primeiro arquivo recebido com os dados de demanda:

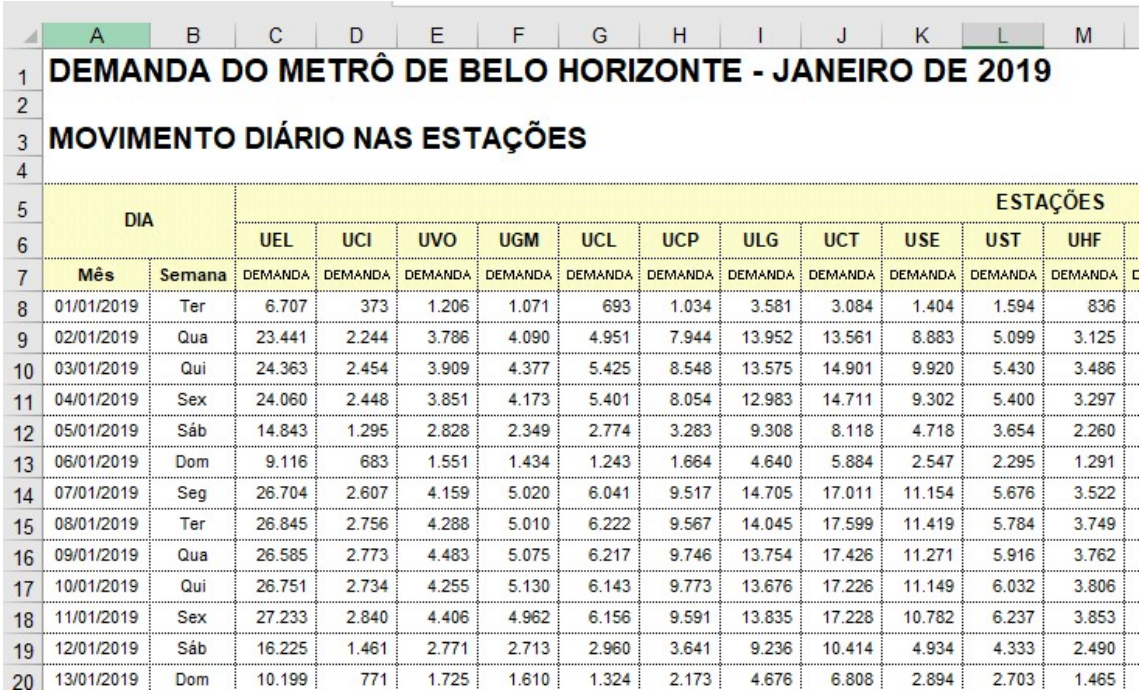
Figura 8 – Primeira base de dados com embarque diário de passageiros por dia em cada estação

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
1	DATA	ELDORADO	CIDADE INDUSTRIAL	VILA OESTE	GAMELEIRA	CALAFATE	CARLOS PRATES	LAGOINHA	CENTRAL	E
2	01/01/2012	8567	602	1122	1253	829	1034	5181	3802	
3	02/01/2012	25272	2258	3165	4391	5171	9116	15285	15107	
4	03/01/2012	28681	2708	3717	5121	6157	10294	16644	17696	
5	04/01/2012	28826	2750	3906	5323	6249	10909	16088	18598	
6	05/01/2012	29255	2857	3828	5299	6461	11165	16629	18497	
7	06/01/2012	29727	2774	4093	5318	6731	11757	18604	20531	
8	07/01/2012	17289	1564	2337	2480	2998	4089	12174	8199	
9	08/01/2012	17289	1564	2337	2480	2998	4089	12174	8199	
10	09/01/2012	30340	2896	3762	5476	6510	11586	17437	19132	
11	10/01/2012	30393	2858	3920	5632	6762	11620	17098	20006	
12	11/01/2012	29994	2873	4012	5658	6701	11637	16323	19288	
13	12/01/2012	29860	2862	3792	5607	6707	11390	16130	18997	
14	13/01/2012	30519	2809	3931	5615	6793	11027	16644	19053	
15	14/01/2012	17587	1639	2251	2766	3173	4131	11184	8395	
16	15/01/2012	11221	962	1583	1865	1297	1740	5799	6108	
17	16/01/2012	30284	2859	3810	5587	6734	11750	16960	18965	
18	17/01/2012	30128	2824	3970	5771	6814	11603	15719	19423	
19	18/01/2012	30162	2886	4157	5736	7022	11668	15714	19597	
20	19/01/2012	29950	2878	3869	5869	6733	11525	15518	19178	
21	20/01/2012	31224	2891	4255	5856	7013	11308	16978	19759	
22	21/01/2012	17563	1573	2356	2671	3086	4089	11284	8306	

Fonte: CBTU/STU-BH

A segunda base de dados recebida é similar a primeira. As únicas alterações são a inclusão das colunas “Semana” com o dia da semana referente à cada data, “soma” com o total de embarques por dia em todo o sistema e a coluna “observações” que contém detalhamento sobre a demanda de cada dia, classificando-a como típica ou atípica. A Figura 9 ilustra uma amostra do segundo arquivo recebido com os dados de demanda:

Figura 9 – Segunda base de dados com embarque diário de passageiros em cada estação e total do sistema entre 01/01/2019 a 30/06/2020



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	**DEMANDA DO METRÔ DE BELO HORIZONTE - JANEIRO DE 2019**												
2													
3	**MOVIMENTO DIÁRIO NAS ESTAÇÕES**												
4													
5	**DIA**												**ESTAÇÕES**
6			**UEL**	**UCI**	**UVO**	**UGM**	**UCL**	**UCP**	**ULG**	**UCT**	**USE**	**UST**	**UHF**
7	**Mês**	**Semana**	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA
8	01/01/2019	Ter	6.707	373	1.206	1.071	693	1.034	3.581	3.084	1.404	1.594	836
9	02/01/2019	Qua	23.441	2.244	3.786	4.090	4.951	7.944	13.952	13.561	8.883	5.099	3.125
10	03/01/2019	Qui	24.363	2.454	3.909	4.377	5.425	8.548	13.575	14.901	9.920	5.430	3.486
11	04/01/2019	Sex	24.060	2.448	3.851	4.173	5.401	8.054	12.983	14.711	9.302	5.400	3.297
12	05/01/2019	Sáb	14.843	1.295	2.828	2.349	2.774	3.283	9.308	8.118	4.718	3.654	2.260
13	06/01/2019	Dom	9.116	683	1.551	1.434	1.243	1.664	4.640	5.884	2.547	2.295	1.291
14	07/01/2019	Seg	26.704	2.607	4.159	5.020	6.041	9.517	14.705	17.011	11.154	5.676	3.522
15	08/01/2019	Ter	26.845	2.756	4.288	5.010	6.222	9.567	14.045	17.599	11.419	5.784	3.749
16	09/01/2019	Qua	26.585	2.773	4.483	5.075	6.217	9.746	13.754	17.426	11.271	5.916	3.762
17	10/01/2019	Qui	26.751	2.734	4.255	5.130	6.143	9.773	13.676	17.226	11.149	6.032	3.806
18	11/01/2019	Sex	27.233	2.840	4.406	4.962	6.156	9.591	13.835	17.228	10.782	6.237	3.853
19	12/01/2019	Sáb	16.225	1.461	2.771	2.713	2.960	3.641	9.236	10.414	4.934	4.333	2.490
20	13/01/2019	Dom	10.199	771	1.725	1.610	1.324	2.173	4.676	6.808	2.894	2.703	1.465

Fonte: CBTU/STU-BH

O terceiro arquivo estava elaborado igualmente ao segundo, porém digitalizado e em formato (pdf.). A Figura 10 ilustra uma amostra do terceiro arquivo recebido:

Figura 10 - Terceira base de dados com embarque diário de passageiros em cada estação e total do sistema entre 01/07/2020 a 30/09/2020

DEMANDA DO METRÔ DE BELO HORIZONTE - JULHO DE 2020

MOVIMENTO DIÁRIO NAS ESTAÇÕES

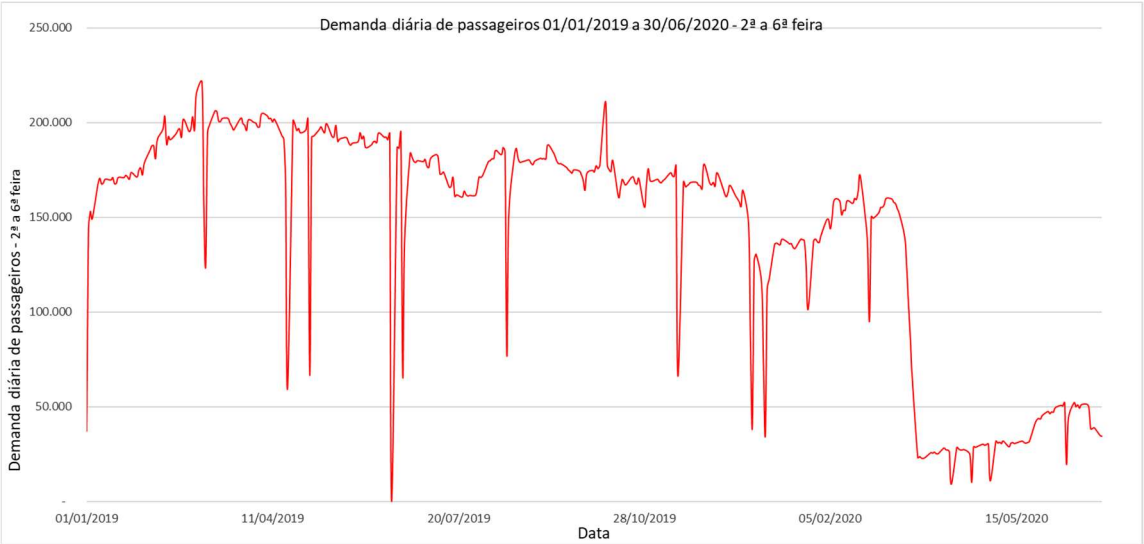
DIA		ESTAÇÕES											
		UEL	UCI	UVO	UGM	UCL	UCP	ULG	UCT	USE	UST	UHF	U
Mês	Semana	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEMANDA	DEM
01/07/2020	Qua	6.655	593	963	1.104	1.355	2.308	1.545	2.266	2.401	1.800	941	
02/07/2020	Qui	6.684	617	983	1.183	1.397	2.232	1.617	2.246	2.395	1.712	946	
03/07/2020	Sex	6.836	588	976	1.095	1.430	2.120	1.670	2.338	2.205	1.872	949	
04/07/2020	Sab	2.968	214	389	456	421	570	673	724	871	857	417	
05/07/2020	Dom	1.687	129	198	286	185	403	395	527	585	436	207	
06/07/2020	Seg	6.990	618	957	1.143	1.374	2.229	1.714	2.386	2.367	1.763	941	
07/07/2020	Ter	6.847	599	985	1.063	1.473	2.283	1.623	2.281	2.448	1.691	959	
08/07/2020	Qua	6.688	620	998	1.079	1.414	2.230	1.596	2.429	2.452	1.646	1.001	
09/07/2020	Qui	6.888	628	958	1.063	1.394	2.237	1.663	2.326	2.448	1.783	952	
10/07/2020	Sex	6.843	609	1.030	1.080	1.421	2.098	1.760	2.342	2.219	1.798	929	
11/07/2020	Sab	2.971	218	410	409	426	557	748	739	820	871	394	
12/07/2020	Dom	1.586	128	188	279	209	378	404	519	613	472	217	
13/07/2020	Seg	7.089	604	993	1.074	1.395	2.292	1.662	2.304	2.411	1.803	888	
14/07/2020	Ter	6.811	627	957	1.091	1.487	2.311	1.666	2.300	2.388	1.771	902	
15/07/2020	Qua	6.853	590	969	1.079	1.447	2.284	1.604	2.268	2.389	1.775	959	
16/07/2020	Qui	6.732	624	954	1.072	1.425	2.250	1.657	2.287	2.426	1.776	935	

Fonte: CBTU/STU-BH

4.1.3 Tratamento

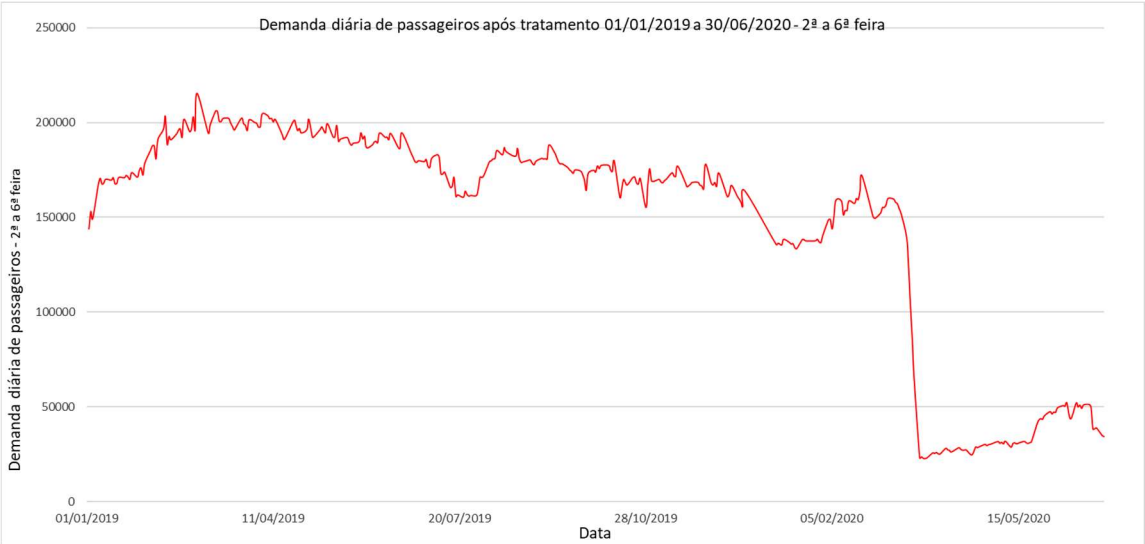
A fim de obter-se uma melhor característica da demanda do metrô de Belo Horizonte, o primeiro tratamento na base de dados foi a unificação dos treês arquivos em apenas um. Essa etapa incluiu a tabulação da terceira base de dados que foi recebida digitalizada em arquivo de texto. Em seguida foram removidas algumas datas da análise em que a demanda se diferenciava drasticamente das demais. Os valores que fogem da normalidade da tendência de podem influenciar no resultado final da análise. Essas datas referem-se a feriados, dias úteis entre um feriado e final de semana, datas que ocorreram greves ou paralização dos metroviários, período chuvoso atípico em janeiro de 2020 que causou destruição em parte da cidade e grandes eventos na Praça Rui Barbosa, onde fica localizada a Estação Central do metrô. As Figura 11 e Figura 12 exemplificam o tratamento de remoção de dias atípicos, de segunda a sexta-feira na segunda base de dados, entre 01/01/2019 a 30/06/2020:

Figura 11 – Demanda diária de passageiros de segunda a sexta-feira entre 01/01/2019 e 30/06/2020



Fonte: O autor, 2020.

Figura 12 - Demanda diária de passageiros de segunda a sexta-feira entre 01/01/2019 e 30/06/2020 após remoção de dias atípicos



Fonte: O autor, 2020.

4.2 Análises

A metodologia para a análise do impacto da pandemia do COVID-19 na demanda do metrô de Belo Horizonte foi dividida primeiramente em duas partes: análises temporais e análises espaciais. As análises temporais são aquelas em que se caracterizou a demanda em determinado intervalo de tempo. Esse tipo

de análise é útil em estudos de impacto, sendo possível caracterizar a demanda antes e pós um fenômeno, no caso deste trabalho, a pandemia. As análises espaciais são utilizadas para estudar a demanda do metrô e os impactos da pandemia em cada espaço ou região definida.

4.2.1 Análises temporais

Para a realização das análises temporais, foram seguidas duas etapas com o intuito de caracterizar a demanda do metrô de Belo Horizonte: recortes temporais e elaboração de séries temporais. A primeira etapa consistiu em realizar os recortes temporais nos períodos que seriam importantes determinar o comportamento do sistema. A segunda etapa, em que foram elaboradas as séries temporais, correspondeu à determinação de variáveis que caracterizassem a demanda no recorte definido.

4.2.1.1 Recortes temporais

As primeiras análises temporais foram realizadas utilizando-se de todo o período disponível na base de dados. A partir daí, foram-se definindo períodos menores dos quais poderiam ser extraídas variáveis de utilidade para analisar o impacto da pandemia da demanda do metrô. A metodologia utilizada nos recortes temporais foi de diminuir o período do recorte progressivamente, até se chegar em recorte temporal que determinasse características de demanda da maneira mais precisa possível.

4.2.1.2 Elaboração das séries temporais

Definidos os períodos, foram feitas as análises que determinassem variáveis características à demanda respectiva de cada recorte temporal. Foi analisada a variação da demanda ao longo dos períodos selecionados, comparando os períodos de dias úteis, sábados e domingos de forma segregada.

4.2.2 Análises espaciais

Para a realização das análises espaciais, foram seguidas duas etapas com o intuito de caracterizar a demanda do metrô de Belo Horizonte: agrupamento em unidades espaciais e elaboração de mapas. A primeira etapa consistiu em

agrupar as demandas e suas variáveis das estações do metrô em cada regional de Belo Horizonte e o município de Contagem. Após o agrupamento, foram elaborados mapas com a finalidade de ilustrar o impacto da pandemia na demando do metrô.

4.2.2.1 Agrupamento em unidades espaciais

As unidades espaciais foram agrupadas de acordo com as estações do metrô de Belo Horizonte. Com o agrupamento, foi possível identificar em quais estações o impacto da pandemia foi maior. Essa informação pode ser relacionada com os níveis de adesão ao isolamento social em cada região.

4.2.2.2 Elaboração de mapas

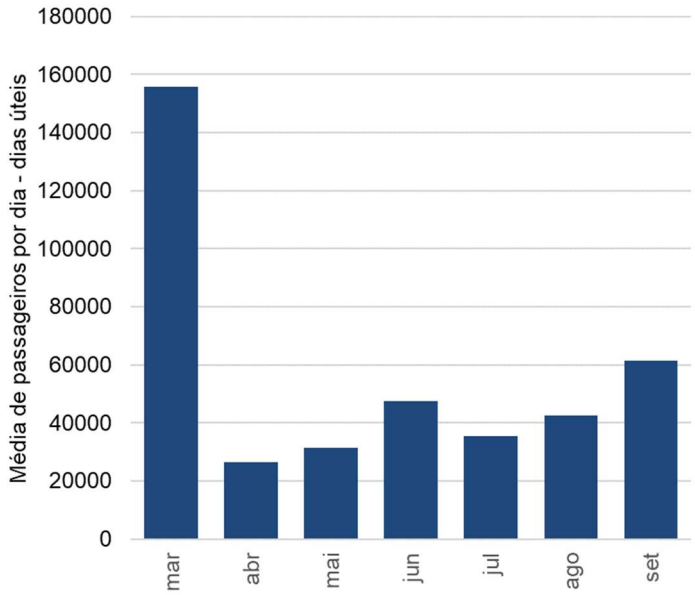
Os mapas foram elaborados com a utilização do software QGIS. Com a inclusão dos dados de demanda e as variáveis obtidas nas análises temporais, foi possível elaborar diversos mapas que facilitam a análise do impacto na demanda do metrô em cada unidade espacial.

5 RESULTADOS

A aplicação da metodologia descrita no item 4 deste trabalho resultou em uma série de análises que serão expostas a seguir. A modelagem dos dados de demanda e consequentes análises e elaboração de gráficos foram realizadas utilizando o *software* Microsoft Office Excel, desenvolvido pela Microsoft.

Analisando a demanda média diária do metrô de Belo Horizonte por mês, é possível observar que houve uma queda brusca na demanda média a partir de março de 2020, e nos meses seguintes foi possível observar uma tendência de retomada. Para a análise ilustrada na Figura 13, foi considerada a demanda média diária dos dias úteis da primeira semana de cada mês, entre março e setembro de 2020:

Figura 13 – Demanda média diária da primeira semana de cada mês



Fonte: O autor, 2020.

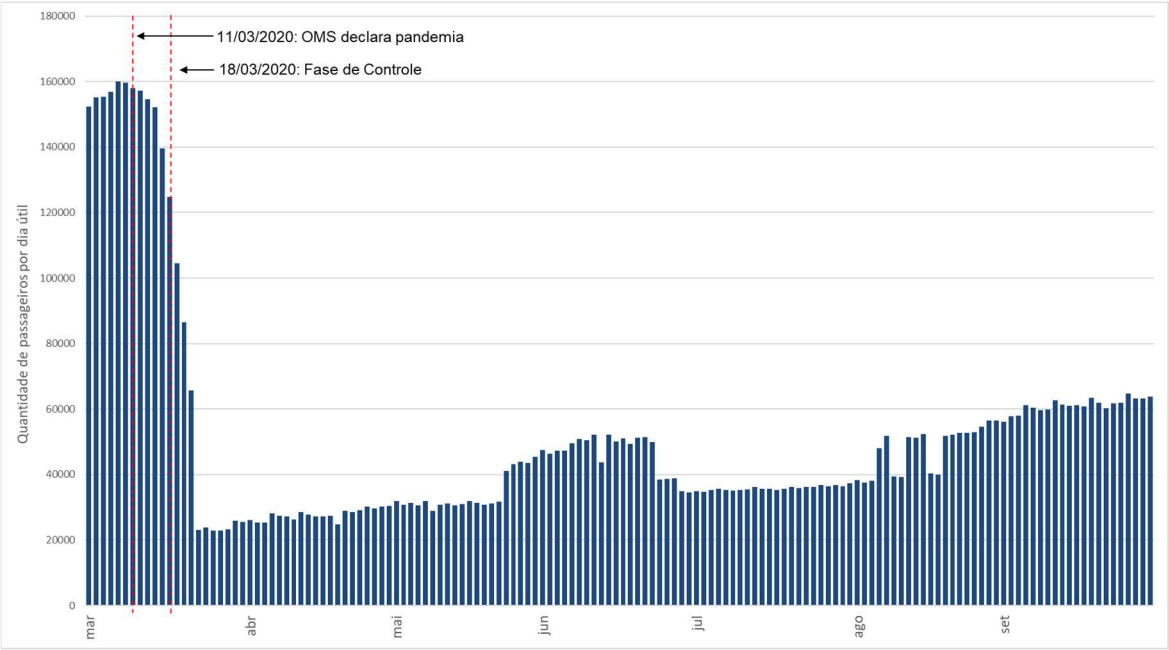
A demanda média diária que atingia um patamar de mais de 155.000 passageiros por dia no mês de março, caiu para uma média de pouco mais de 26.000 passageiros por dia em abril, redução de aproximadamente 83%.

5.1 Demanda após decretos

No dia 11 de março de 2020, a OMS declarou a transmissão do novo coronavírus como pandemia. Consequentemente, em 18 de março de 2020, quarta-feira, a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) publicou o decreto Nº 17.304 suspendendo o alvará, por tempo indeterminado, de funcionamento de diversos empreendimentos com o objetivo de incentivar as medidas de isolamento social e frear a velocidade de transmissão do novo coronavírus. Nos boletins epidemiológicos emitidos pela PBH esse período até a primeira etapa da reabertura gradual do comércio foi chamado de fase de controle.

A demanda do metrô de Belo Horizonte foi fortemente impactada com o fechamento temporário destes estabelecimentos conforme pode ser observado na Figura 14, que ilustra o número de passageiros que utilizaram o sistema por dia entre março e setembro de 2020, nos dias úteis:

Figura 14 - Demanda diária de passageiros nos dias úteis de março a setembro de 2020



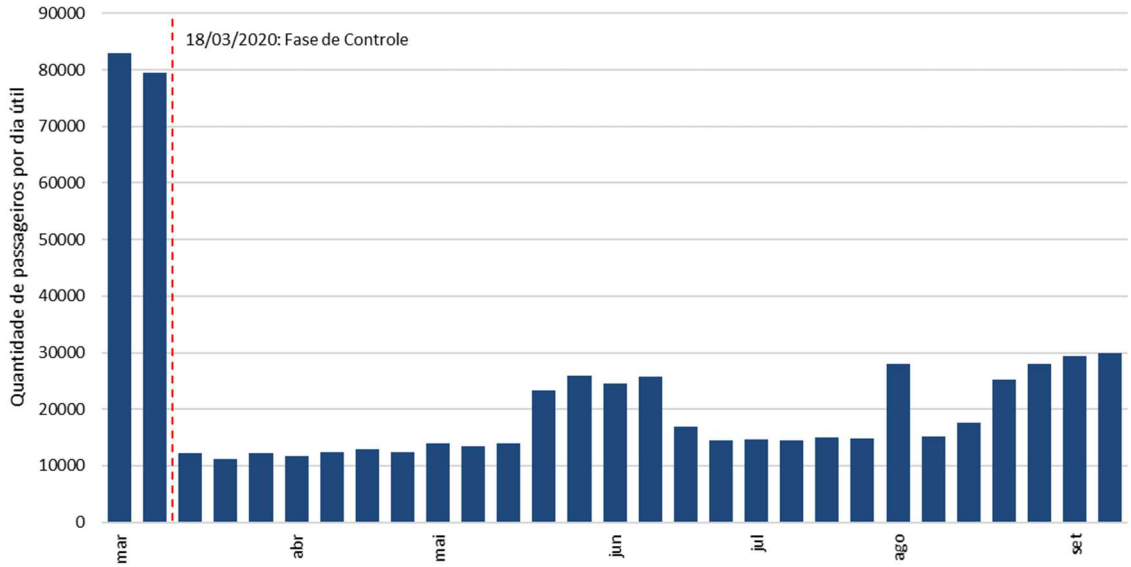
Fonte: O autor, 2020.

Desde o dia em que a OMS decretou a transmissão do novo coronavírus como pandemia, em 11 de março de 2020, a demanda diária do metrô reduziu continuamente até atingir o patamar de uma média de 23.160 passageiros por dia de segunda a sexta-feira, na quarta semana do mês de março, sendo que na primeira semana, a média foi de 156.560 passageiros por dia, totalizando uma redução de 85,2% na demanda média diária semanal entre a primeira e quarta semana de março. A quinta-feira dia 23/03/2020 registrou a menor demanda diária de um dia útil do metrô de Belo Horizonte após o decreto da OMS, totalizando 22.822 passageiros por dia, uma redução de 85,4% se comparado com a primeira quinta-feira do mês de março de 2020.

O impacto na demanda do metrô logo após os decretos de pandemia da OMS e de suspensão de alvarás de funcionamento da PBH também foi notado aos sábados e domingos. Enquanto o primeiro sábado do mês de março, dia 07, anterior aos decretos registrou uma demanda diária de 83.029 passageiros no sistema, o último sábado do mês, dia 28 registrou uma demanda diária de 11.238 passageiros, a menor movimentação diária de passageiras no sistema a partir dos decretos, apresentando uma redução de 86,47% na demanda diária. A

Figura 15 ilustra a demanda diária de passageiros no metrô de Belo Horizonte entre março e setembro de 2020:

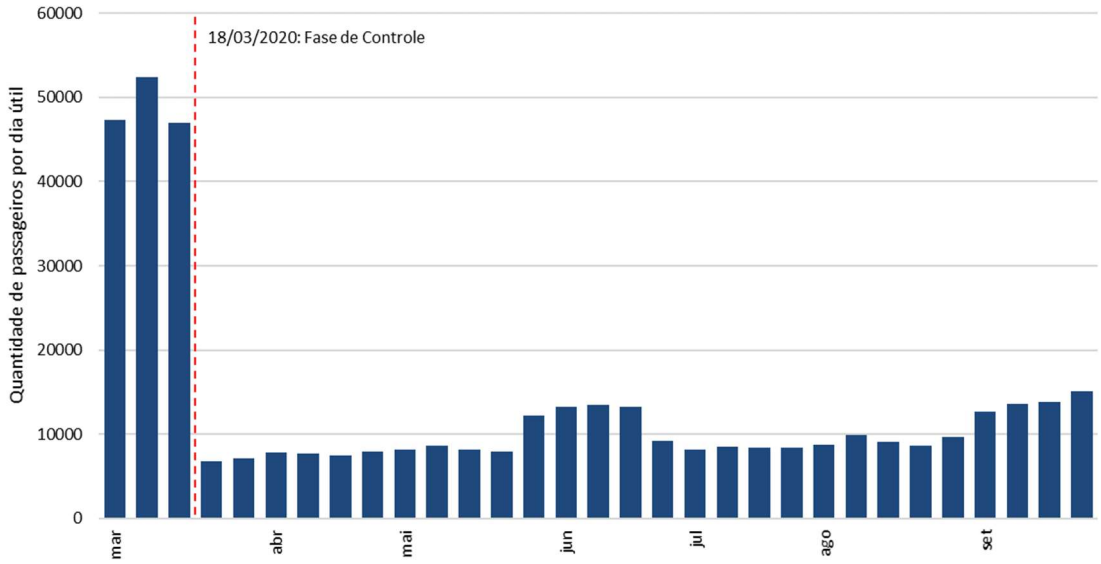
Figura 15 - Demanda diária de passageiros nos sábados de março a setembro de 2020



Fonte: O autor, 2020.

Com comportamento similar à demanda diária dos sábados, a movimentação diária de passageiros no metrô aos domingos sofreu forte impacto. No dia 8 de março registou uma demanda diária de 52.442 passageiros por dia, enquanto que, no primeiro domingo após o decreto da fase de controle da PBH, dia 22 de março se 2020, a demanda registrada foi de 6.757 passageiros, a menor do ano de 2020, até o mês de setembro. A queda percentual na demanda observada nesse intervalo de 14 dias foi de 87,12%. A Figura 16 ilustra a demanda diária do metrô aos domingos de março a setembro de 2020:

Figura 16 - Demanda diária de passageiros nos domingos de março a setembro de 2020

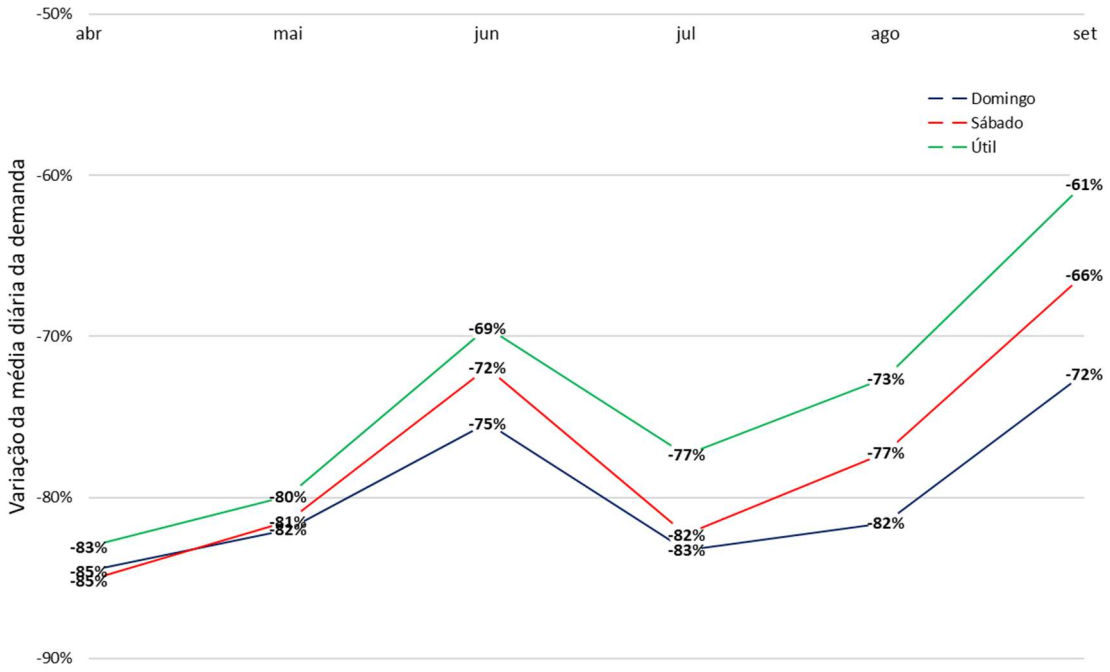


Fonte: O autor, 2020.

Analisando a variação percentual da demanda a cada mês, em relação ao período do mês de março anterior a pandemia foi possível observar que nos primeiros meses a redução da demanda do metrô se deu de forma parecida entre os dias úteis sábados e domingos. Nos meses seguintes, a redução foi menor nos dias úteis que no fim de semana. Em abril a queda na demanda dos dias úteis foi de 83% em relação a março, sábado e domingo apresentaram redução de 85%. Em setembro, a queda observada nos dias úteis foi de 61% em relação ao período anterior a pandemia, enquanto a queda observada aos sábados foi de 66% e aos domingos de 72%. Essa análise indica que houve uma maior adesão às medidas de isolamento social nos fins de semana com o passar do tempo, e que as retomadas das atividades podem ter induzido o aumento da demanda principalmente nos dias úteis. A

Figura 17 ilustra a variação percentual da demanda média diária da primeira semana de cada mês em relação a primeira semana de março:

Figura 17 – Variação da demanda média diária da primeira semana de cada mês em relação a primeira semana do mês de março



Fonte: O autor, 2020.

5.2 Retomada

Com os gráficos exibidos no item anterior, é possível exibir uma tendência de retomada a partir do mês de abril. A Prefeitura de Belo Horizonte, através do seu Comitê de Enfrentamento à Epidemia, instituído em 17 de março de 2020, pelo decreto nº 17.297, adotou medidas de prevenção e controle do contágio do novo coronavírus. Com a evolução do número de mortes e casos de COVID-19 em Belo Horizonte, foram adotadas medidas de reabertura gradual do comércio ou novo fechamento para conter o avanço da transmissão do vírus. A Tabela 4 relaciona os decretos publicados pela PBH que autorizaram ou suspenderam a reabertura gradual de atividades na cidade, durante o período de estudo deste trabalho, entre março e setembro de 2020:

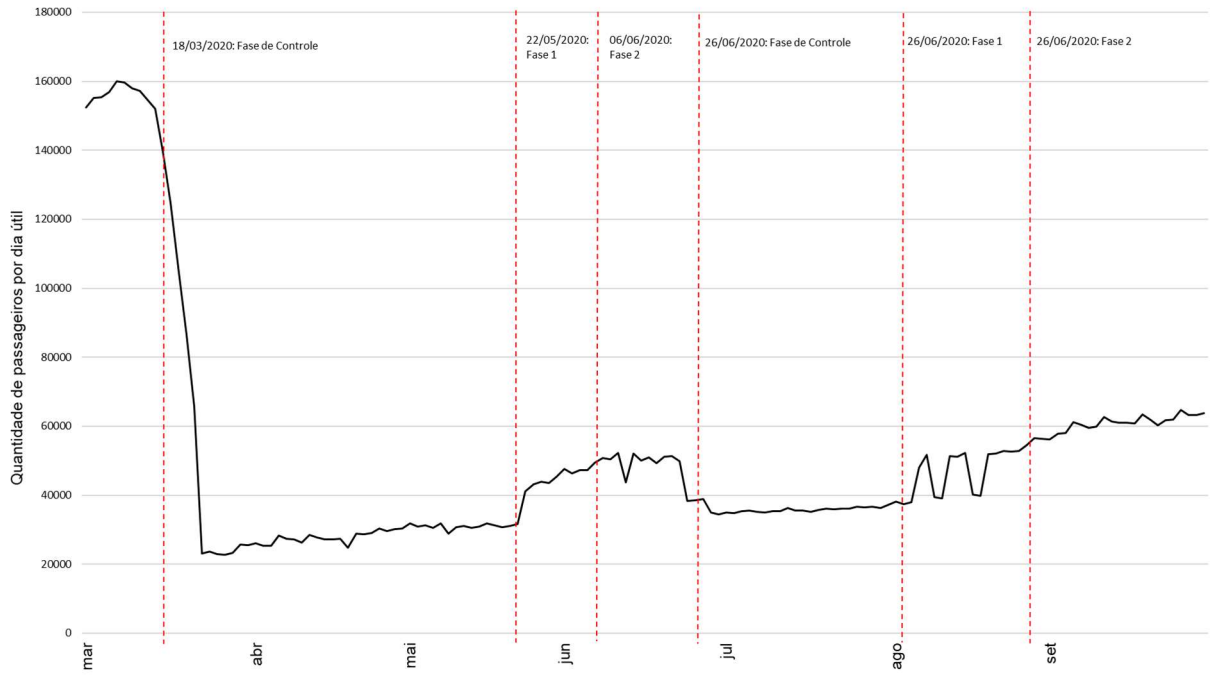
Tabela 4 – Decretos de reabertura e fechamento de atividade em Belo Horizonte

Data Publicação	Data Aplicação	Decreto	Fase	Resumo
18/03/2020	20/03/2020	Nº 17.304 DE 18 DE MARÇO DE 2020	Fase de controle	Suspensão temporária dos Alvarás de Localização e Funcionamento
22/05/2020	25/05/2020	Nº 17.361 DE 22 DE MAIO DE 2020	Fase 1	Retomada gradual de atividades suspensas: comércio varejista, salões de beleza, shopping center, etc.
06/06/2020	08/06/2020	Nº 17.372 DE 5 DE JUNHO DE 2020	Fase 2	Parques públicos, bares, restaurantes e lanchonetes com restrições de horário, museus, etc.
26/06/2020	29/06/2020	Nº 17.377 DE 26 DE JUNHO DE 2020	Fase de controle	Suspensão temporária dos Alvarás de Localização e Funcionamento
04/08/2020	06/08/2020	Nº 17.406 DE 4 DE AGOSTO DE 2020	Fase 1	Retomada gradual de atividades suspensas: comércio varejista, salões de beleza, shopping center, etc.
28/08/2020	31/08/2020	17.423, DE 28 DE AGOSTO DE 2020	Fase 2	Parques públicos, bares, restaurantes e lanchonetes com restrições de horário, museus, etc.

Fonte: adaptado de PBH, 2020.

Analisando os dados de demanda com as datas de reabertura das atividades e controle, é possível observar que nos casos de suspenção de atividades a demanda vinha em sequência decrescente antes da medida tomada pela PBH e do seu Comitê de Enfrentamento à Epidemia. Nos casos de reabertura gradual de atividades, é possível dizer que a taxa de crescimento da demanda do metrô aumentou após o decreto de reabertura. A Figura 18 ilustra o volume diário de passageiros nos dias úteis entre março e setembro de 2020, com as datas dos decretos da PBH relacionados ao fechamento ou reabertura gradual das atividades na cidade:

Figura 18 – Demanda diária de passageiros nos dias úteis e datas de reabertura ou fechamento de atividades comerciais em Belo Horizonte

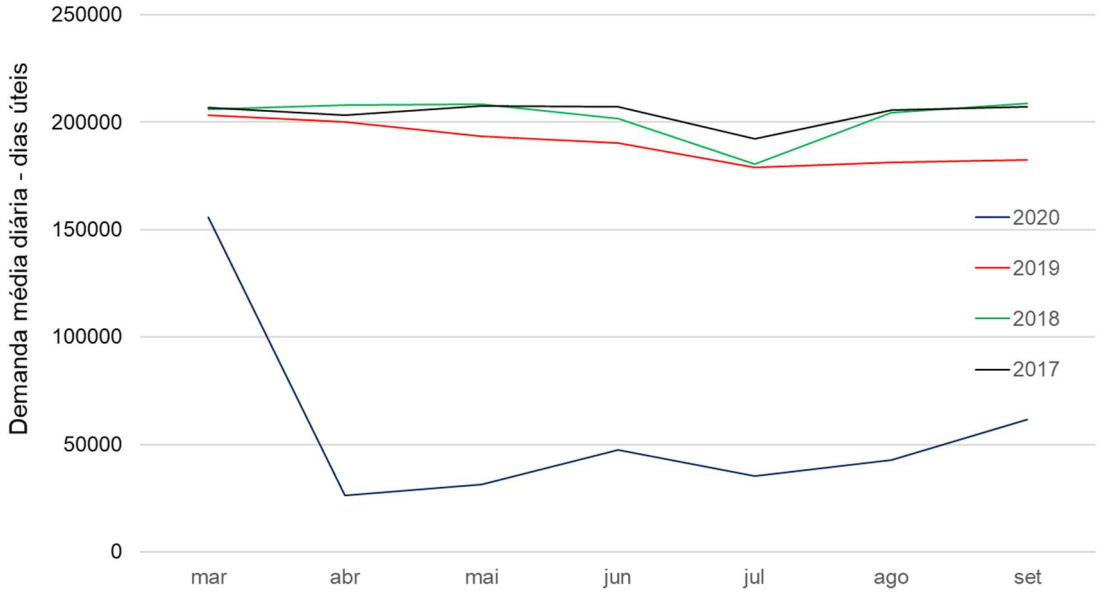


Fonte: O autor, 2020.

5.3 Variação histórica da demanda

Uma análise da demanda em comparação com os anos anteriores à pandemia, pode auxiliar no entendimento do impacto causado pela transmissão do novo coronavírus. Comparando a demanda do ano de 2020 com os anos anteriores, é possível observar que mesmo no período anterior à pandemia, o ano de 2020 registrava até então, médias diárias de movimentação de passageiros menores que o mesmo mês em anos anteriores. A Figura ilustra a demanda média diária dos dias úteis das primeiras semanas de cada mês, entre março e setembro, de 2017 a 2020:

Figura 19 – Demanda média diária dos dias úteis da primeira semana de cada mês



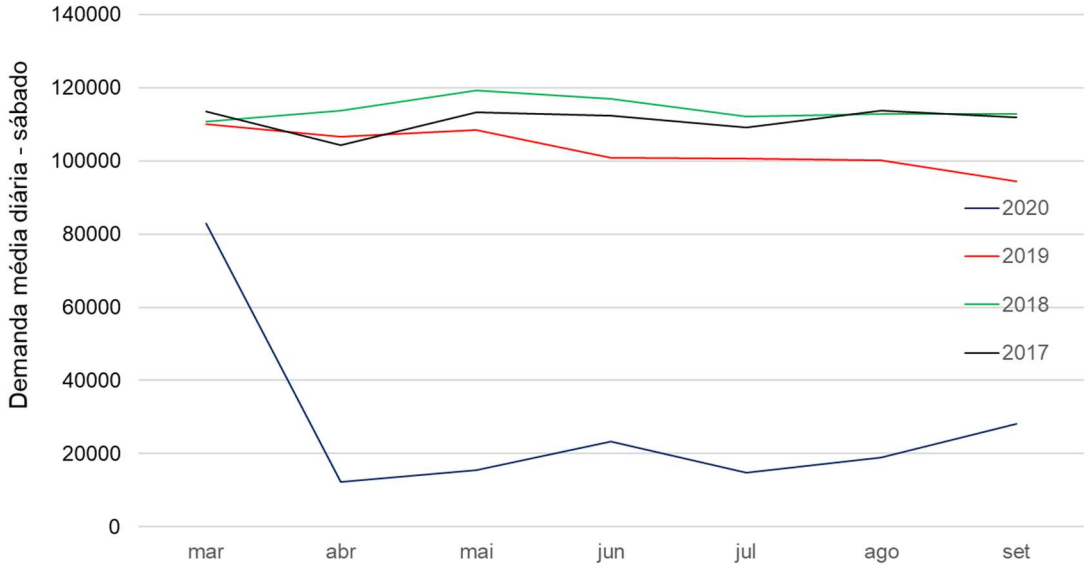
Fonte: O autor, 2020.

O mês de março de 2020 registrou uma demanda média diária na primeira semana 25% menor que a primeira semana de março de 2017, redução muito maior do que a observada dos anos de 2018 e 2019, se comparados a 2017 (redução máxima de 1,7%). Essa queda não pode ser atribuída a pandemia, visto que a demanda média diária vinha em tendência de crescimento se comparada aos meses de janeiro e fevereiro. Já os meses seguintes apresentaram um valor maior na redução de demanda. O mês de abril registrou a maior redução da demanda média diária da primeira semana, se comparado ao ano de 2017, entre os meses analisados, 87%, enquanto setembro a menor, 70,3%. Foi possível observar que a redução de demanda do ano de 2020 aos outros três anos anteriores ocorreu de forma parecida.

Foi observado um comportamento parecido nas demandas aos sábados e domingos, já com redução na média diária no mês de março de 2020, em relação aos anteriores, antes da pandemia e redução mais acentuada nos meses seguintes. Nas análises dos sábados e domingos, foi considerada a média diária de todos os sábados e todos os domingos do mês, com exceção de março de 2020, onde foram considerados apenas os dias anteriores a 11 de março, data em que a OMS declarou a transmissão do novo coronavírus como pandemia. As

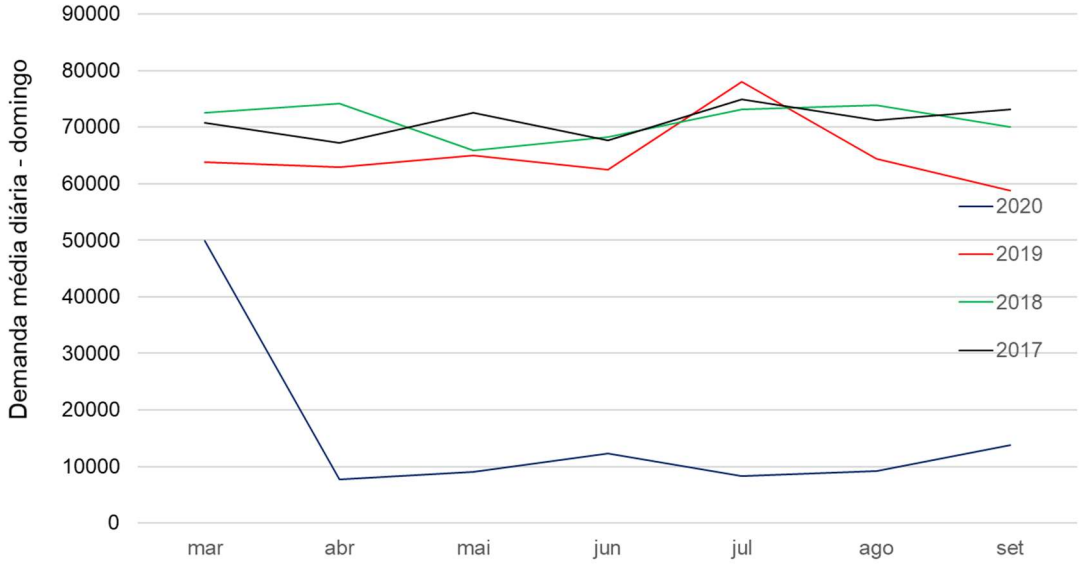
Figuras Figura e Figura 19 ilustram a demanda média diária dos sábados e domingos, respectivamente, de cada mês entre março e setembro, de 2017 a 2020:

Figura 20 - Demanda média diária dos sábados de cada mês



Fonte: O autor, 2020.

Figura 19 - Demanda média diária dos domingos de cada mês



Fonte: O autor, 2020.

É possível observar que o mês de março de 2020, no período anterior a pandemia, apresentou uma redução de demanda considerável se comparado

em relação aos outros anos. Foi observada uma redução também na demanda dos dias úteis e dos sábados a partir de maio de 2019, comparando com os anos anteriores. Essa redução foi observada aos domingos a partir do mês de agosto de 2019. Parte dessa perda de demanda pode ser atribuída ao valor da tarifa, que sofreu reajustes progressivos a partir de maio de 2019. A análise seguinte busca ilustrar como ocorreu o comportamento da demanda após os aumentos do valor da tarifa cobrado ao usuário.

5.3.1 Valor da tarifa

Um fator importante a se considerar na análise da demanda de transporte público é o valor da tarifa. Nas análises anteriores constatou-se que a demanda do metrô de Belo Horizonte se comportou de maneira similar nos anos entre 2017 a 2019. Entretanto, a partir de maio de 2019, foi observada uma redução na demanda média diária em relação aos anos anteriores. Foi neste mês em que ocorreu o primeiro reajusta da tarifa, que aumentou gradualmente até março de 2020. Analisando o gráfico da Figura 20 é possível observar que há uma tendência de redução da demanda após o primeiro reajuste, seguindo assim até o último deles, antes da pandemia. É necessário um estudo mais aprofundado sobre o impacto real da variação do valor da tarifa na demanda do metrô.

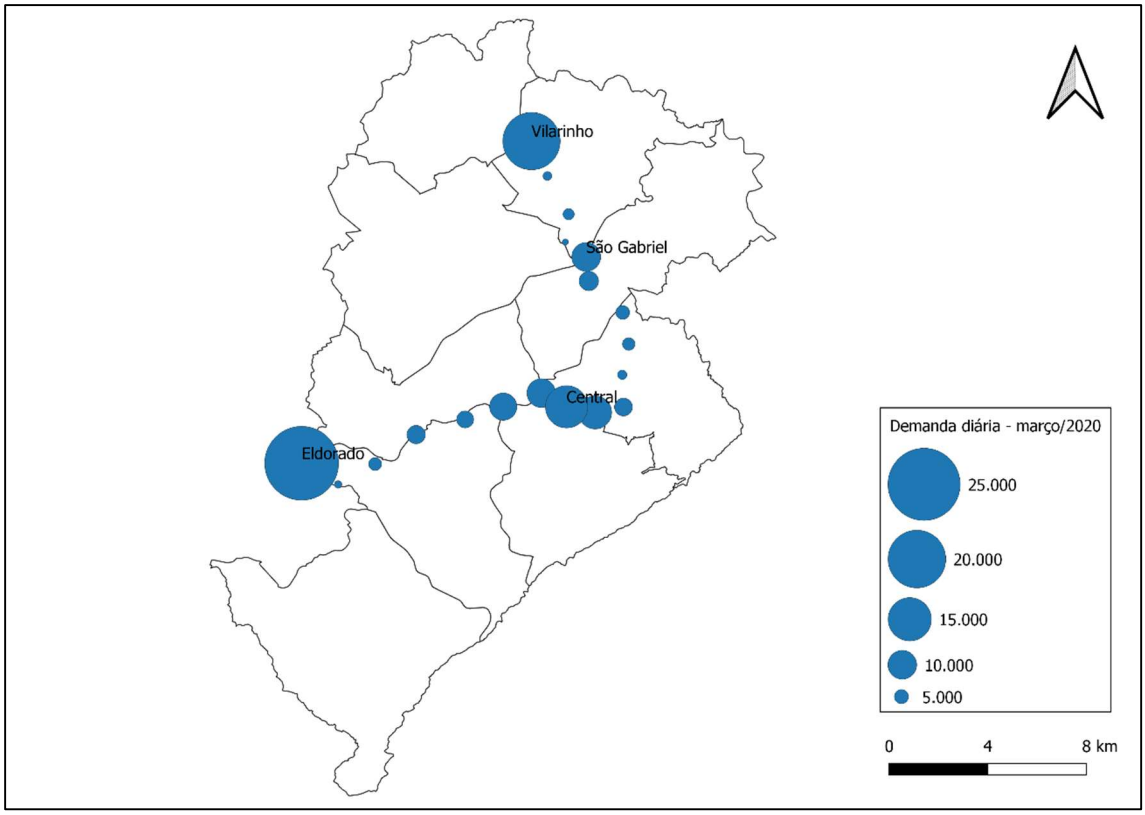
Figura 20 - Demanda média diária em dias úteis e datas de reajuste da tarifa

Fonte: O autor, 2020.

5.4 Análises Espaciais

Nessa etapa da análise, será avaliado se o impacto causado pela pandemia se deu de maneira uniforme nas estações do sistema ou se houve algum padrão entre as variações da demanda de acordo com as características de cada região. É importante salientar que a demanda média é muito diferente entre as estações do metrô, sendo importante, analisar a variação de forma relativa. O mapa da Figura 21 ilustra como se comportava a demanda em cada estação no período anterior a pandemia, em uma semana típica de março:

Figura 21 – Demanda média diária de março de 2020 antes da pandemia



Fonte: O autor, 2020.

5.4.1 Agrupamento Regional

A primeira análise espacial realizada, foi feita de maneira mais agregada. As estações foram divididas em quatro grupos de acordo com sua localização e o vetor de transporte que se encontram em Belo Horizonte. O agrupamento das estações está ilustrado na

Tabela 5:

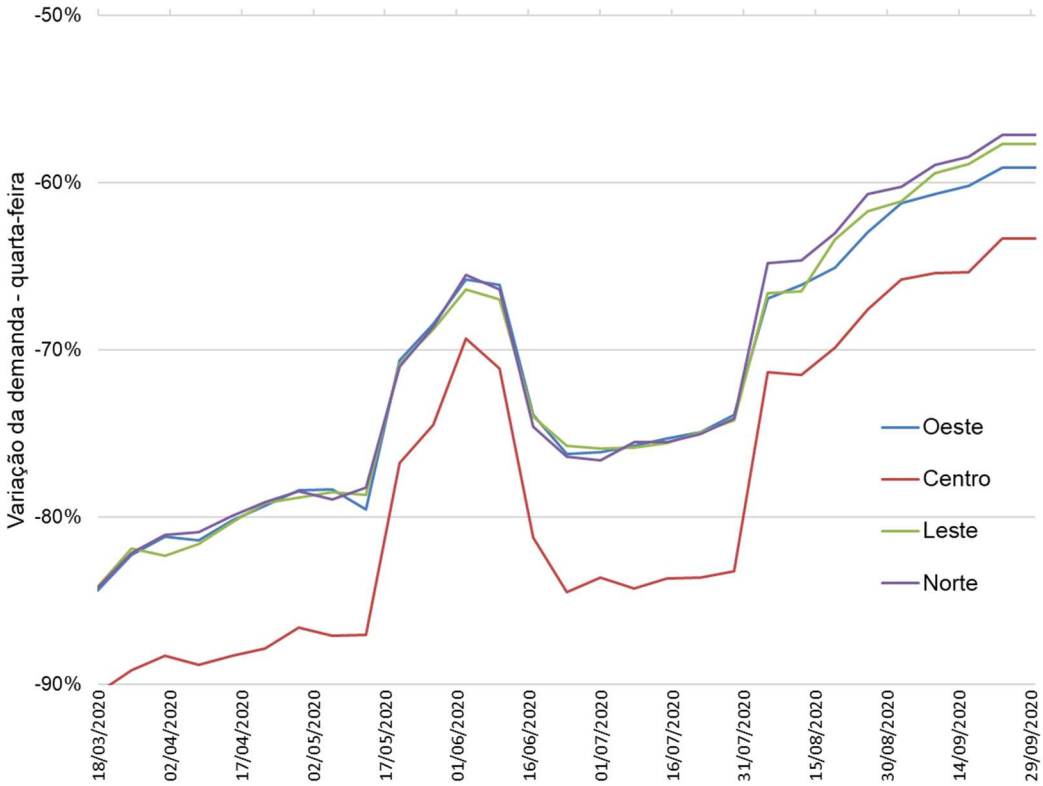
Tabela 5 – Agrupamento das estações de acordo com sua localização

Oeste	Central	Leste	Norte
• Eldorado • Cidade Industrial • Vila Oeste • Gameleira • Calafate • Carlos Prates	• Lagoinha • Central	• Santa Efigênia • Santa Tereza • Horto Florestal • Santa Inês • José Cândido	• Minas Shopping • São Gabriel • Primeiro de Maio • Waldomiro Lobo • Floramar • Vilarinho

Fonte: O autor, 2020.

Após a divisão dos grupos, foram analisadas as variações das demandas de cada agrupamento a partir de 18 de março de 2020, quando a OMS já havia declarado a transmissão da COVID-19 como pandemia e a PBH suspendido os alvarás de funcionamento de algumas atividades não essenciais. Para as análises espaciais a seguir, foram consideradas as movimentações diárias de passageiros às quartas-feiras, por se tratar do dia útil médio da semana, sofrendo assim, na maioria dos casos, menos influência do fim de semana na demanda. A Figura 22 ilustra a variação da demanda às quartas-feiras de cada agrupamento em relação ao dia 04/03/2020, última quarta-feira antes da declaração da OMS:

Figura 22 – Variação da demanda em relação ao dia 04/03/2020 por agrupamento regional – quartas-feiras



Fonte: O autor, 2020.

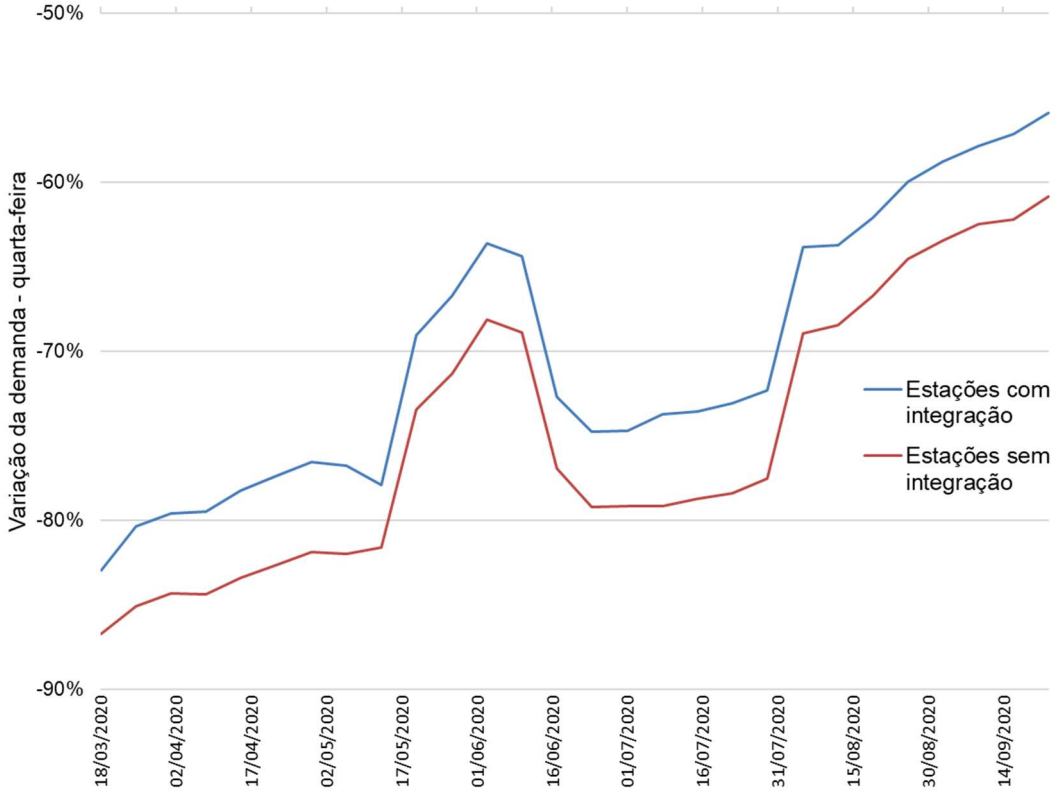
Observando os dados de cada agrupamento, é possível observar que o impacto na região Central foi maior que no restante, que se deu de forma semelhante. É importante ressalta que a Estação Lagoinha faz integração com o Terminal Rodoviário Governador Israel Pinheiro, de onde partem e chegam a grande maioria das viagens de ônibus de outros estados e do interior de Minas Gerais. As autoridades de saúde recomendavam evitar ao máximo viagens de longa duração durante a pandemia.

5.4.2 Agrupamento por integração

A fim de se observar se as estações com terminais rodoviários integrados sofreram o mesmo impacto que as estações que não possuem integração, essa divisão foi realizada em dois grupos. O primeiro grupo compreende as estações do metrô que possuem integração com terminais rodoviários municipais ou metropolitanos. A estação Lagoinha não entrou neste grupo pois seu terminal possui características diferentes das demais, hospedando companhias de

ônibus que realizam viagens de longa distância, principalmente para fora do estado de Minas Gerais. As estações incluídas nesse caso foram: Eldorado, José Cândido da Silveira, São Gabriel e Vilarinho. As outras estações foram agregadas no conjunto das que não possuem terminal rodoviário de integração. A metodologia de análise da variação de demanda se deu da mesma forma da análise no agrupamento regional, analisando a demanda das quartas-feiras. Conforme pode ser observado na Figura 23 as estações que não possuem integração com terminal rodoviário, sofreram maior impacto que as que possuem. Essa diferença de impacto apesar de pequena é considerável, e se manteve praticamente no mesmo patamar entre março e setembro.

Figura 23 – Variação da demanda em relação ao dia 04/03/2020 por agrupamento por integração – quartas-feiras



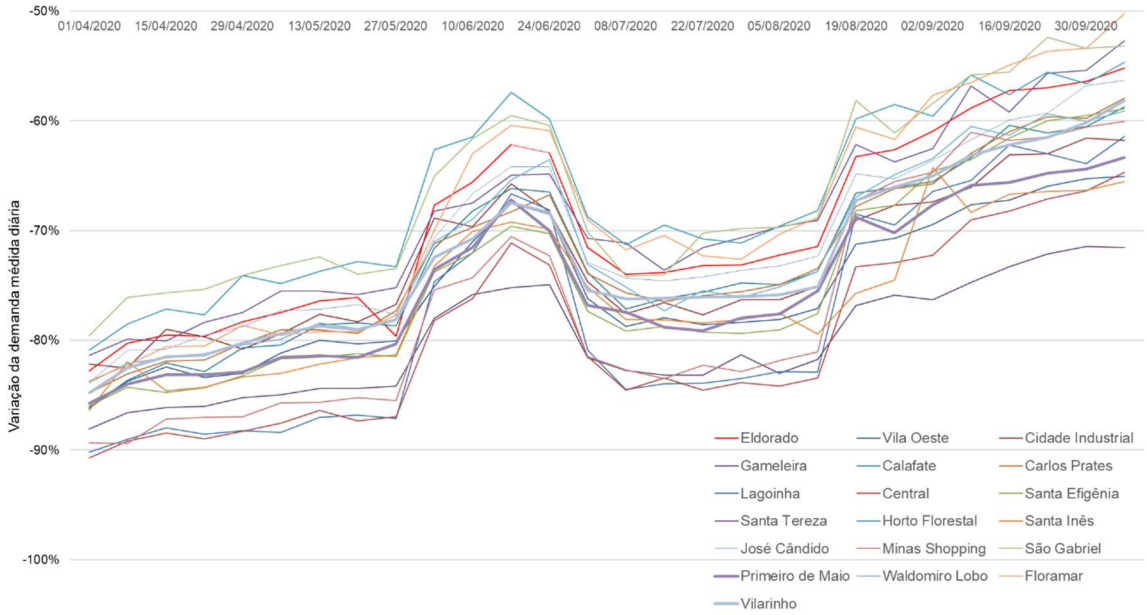
Fonte: O autor, 2020.

5.4.3 Análise segregada

Para a análise da variação da demanda após a pandemia, foram analisadas as variações de demanda entre as quartas-feiras de cada estação. A Figura 24 ilustra a variação da demanda nas quartas-feiras de cada estação em relação a

04/03/2020, última quarta-feira do mês de março sem indícios de impacto sofrido na demanda pela pandemia:

Figura 24 - Variação da demanda em relação a 04/03/2020

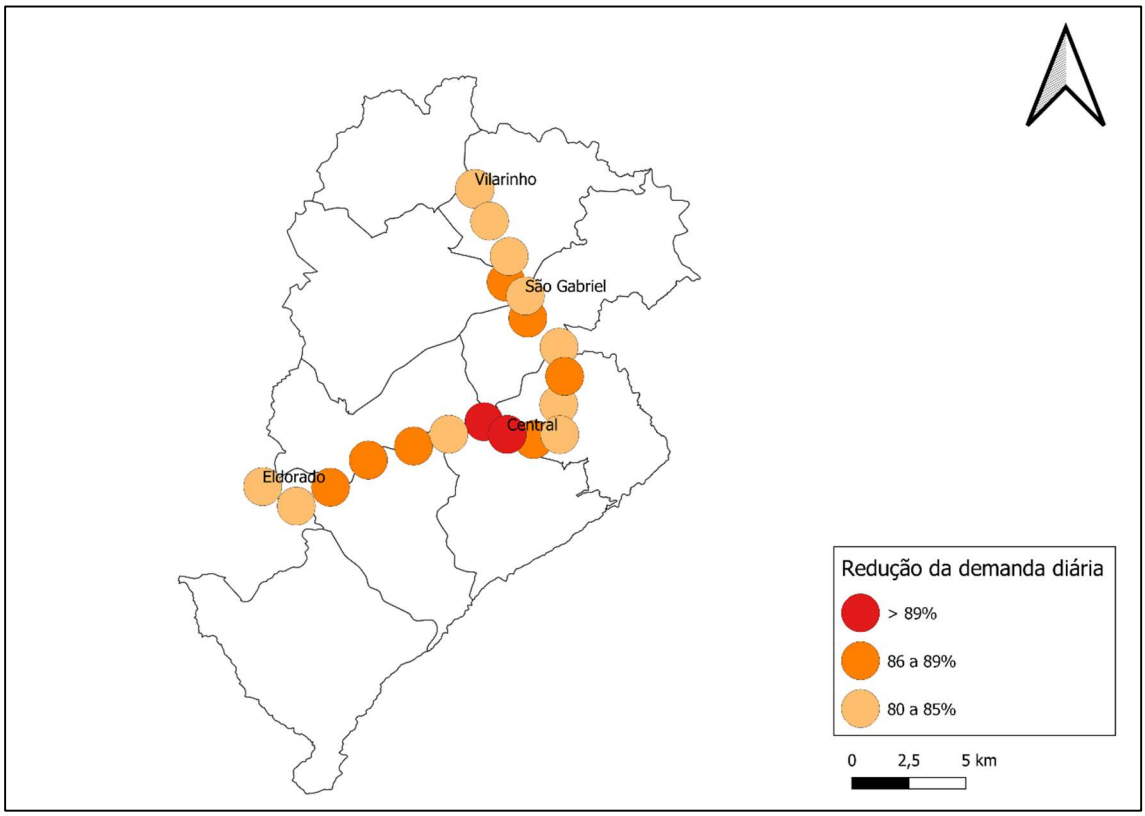


Fonte: O autor, 2020.

É possível observar que as curvas de variação de demanda das estações se comportam de maneira similar, apesar de ser notório que algumas estações tiveram maior redução na demanda que outras. Os mapas elaborados a seguir, buscam observar se houve algum padrão na redução de movimentação de passageiros de acordo com cada estação.

A Figura 25 ilustra a redução percentual observada em 25/03/2020, quarta-feira que registrou a menor movimentação de passageiros desde a declaração da pandemia em 11/03/2020 e o primeiro decreto de suspensão de atividades da PBH em 18/03/2020, em relação a quarta-feira anterior a estes eventos, dia 04/03/2020:

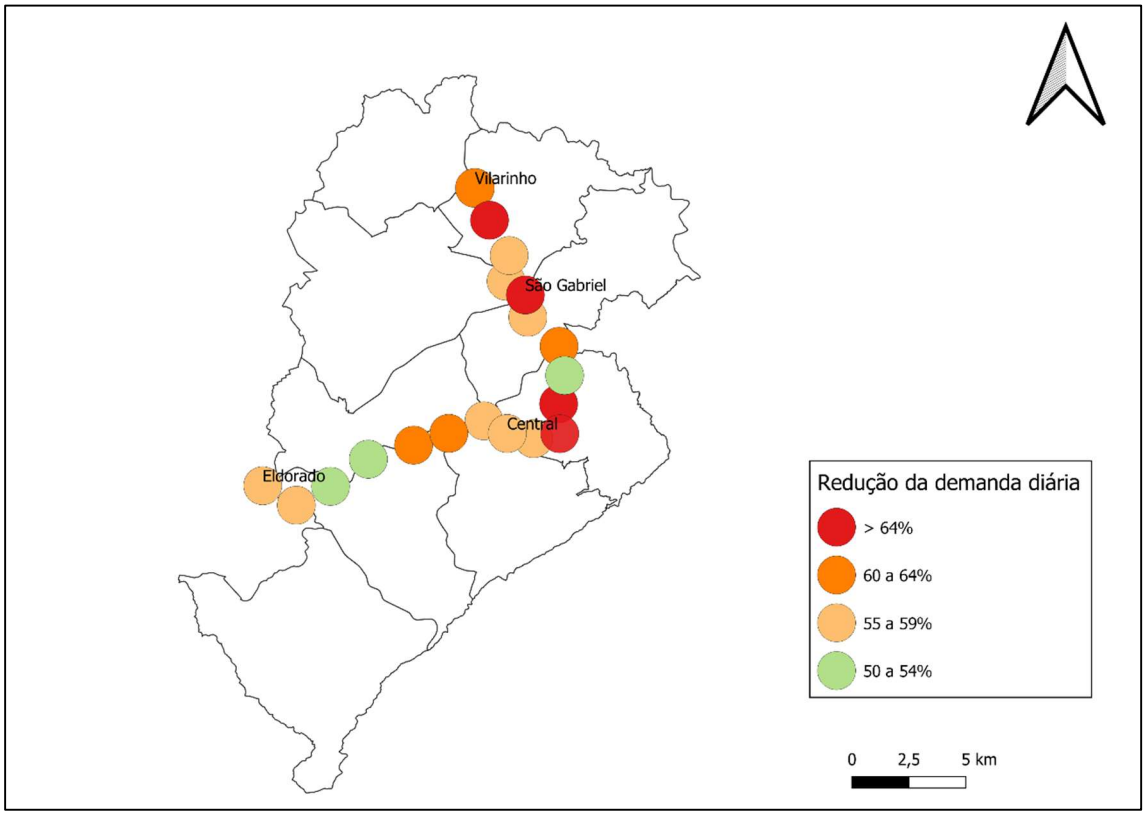
Figura 25 – Redução percentual da demanda no dia 25/03/2020 em relação a 04/03/2020



Fonte: O autor, 2020.

Nota-se que logo após os decretos, o maior impacto observado foi na região central de Belo Horizonte, na Estação Central e na Estação Lagoinha, assim como observado na análise agregada. É possível observar também, que as estações Eldorado, São Gabriel e Vilarinho, onde estão localizados alguns dos principais terminais de ônibus da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), estão entre as estações que sofreram menos impacto logo após os decretos da OMS e da PBH. As variações de demanda não se mantiveram uniformes com o passar tempo, conforme o mapa da Figura 26 ilustra, o impacto se manteve maior nas áreas próximas a região central no até o mês de setembro, mas a retomada da demanda foi menor no vetor Norte do sistema do que no vetor Oeste. Não foi possível observar a mesma relação de perda de demanda em setembro das estações com terminais de integração como ocorreu em março.

Figura 26 - Redução percentual da demanda no dia 30/09/2020 em relação a 04/03/2020



Fonte: O autor, 2020.

6 CONCLUSÃO

O processo de análise no impacto na demanda de um modo de transporte é complexo dados os diversos fatores que podem influenciar na variação do número de passageiros transportado por este modo. O intuito deste trabalho era compreender o comportamento da demanda do metrô de Belo Horizonte durante a pandemia da COVID-19. Diversos fatores característicos do país e da cidade fizeram com que a movimentação de passageiros no sistema metroviário da cidade seguisse uma tendência de queda ou crescimento.

Foi possível observar que o impacto imediato na demanda do metrô, após a OMS declarar a transmissão da COVID-19 como pandemia e Prefeitura de Belo Horizonte foi de aproximadamente 85%. Outras cidades apresentaram redução na demanda do transporte público similar a Belo Horizonte, logo após o fechamento de atividades, conforme exposta no referencial teórico deste trabalho. A princípio, a redução de demanda aos fins de semana se deu de forma semelhante aos dias úteis, mas com o tempo, a movimentação de passageiros

no metrô de segunda a sexta-feira apresentou retomada mais rápida. A queda maior se manteve no domingo, indicando que as pessoas aos poucos retomavam suas atividades durante a semana e aderiam mais as medidas de isolamento social no fim de semana, especialmente aos domingos.

Outro fator observado é que as medidas tomadas pela Prefeitura de Belo Horizonte que fecharam temporariamente atividades na cidade, ocorreram quando já havia uma tendência de queda da demanda do metrô. Em contrapartida, as medidas de reabertura incentivaram o crescimento na movimentação de passageiros do sistema metroviário da capital.

Nas análises espaciais notou-se que o impacto imediato na demanda do metrô logo após a declaração da pandemia foi maior nas estações na região central de Belo Horizonte. A variação na demanda de cada estação mudou ao longo dos meses, mas em todo o período foi possível observar que as estações que possuem integração com terminal rodoviário sofreram menor impacto do que as estações sem terminal integrado.

Ao analisar um modo de transporte apenas, não é considerado no estudo que pode ter ocorrido uma migração dos usuários para outro modo. Uma análise mais complexa envolvendo o estudo de demanda de outros modos de transporte pode se tornar uma ferramenta extremamente valiosa para o poder público, sendo um auxílio na tomada de decisão relacionadas ao planejamento urbano, medidas de prevenção à pandemia do novo coronavírus e oferta dos sistemas de transporte, seja o operador público ou privado.

7 BIBLIOGRAFIA

ABU-RAYASH, Azzam; DINCER, Ibrahim. Analysis of mobility trends during the COVID-19 coronavirus pandemic: Exploring the impacts on global aviation and travel in selected cities. *Energy Research and Social Science*, v. 68, n. July, p. 101693, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101693>.

ARIMURA, Mikiharu *et al.* Changes in urban mobility in Sapporo city, Japan due to the Covid-19 emergency declarations. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, v. 7, p. 100212, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100212>.

BUCSKY, Péter. Modal share changes due to COVID-19: The case of Budapest. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, v. 8, p. 100141, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100141>.

CBTU. *Linha 1*. Disponível em: <https://www.cbtu.gov.br/index.php/pt/projetos/linha-1-bh>. Acesso em: 8 nov. 2020.

COPPE - UFRJ. A mobilidade urbana e as ações de combate à COVID-19. , 2020.

DE CASTRO LEIVA, Guilherme; DOS REIS, Douglas Sathler; FILHO, Romulo Dante Orrico. Estrutura urbana e mobilidade populacional: implicações para o distanciamento social e disseminação da Covid-19. *Revista Brasileira de Estudos de População*, v. 37, p. 1–22, 2020.

HADJIDEMETRIOU, Georgios M. *et al.* The impact of government measures and human mobility trend on COVID-19 related deaths in the UK. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, v. 6, n. March, p. 100167, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100167>.

JENELIUS, Erik; CEBECAUER, Matej. Impacts of COVID-19 on Public Transport Ridership in Sweden: Analysis of Ticket Validations, Sales and Passenger Counts. *SSRN Electronic Journal*, v. 8, n. June, p. 100242, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100242>.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. *Corona Vírus - Sobre a doença*. Disponível em: <https://coronavirus.saude.gov.br/sobre-a-doenca>.

OPAS. *Folha informativa COVID-19*. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/covid19>. Acesso em: 22 out. 2020.

RUMPLER, Romain; VENKATARAMAN, Siddharth; GÖRANSSON, Peter. An

observation of the impact of CoViD-19 recommendation measures monitored through urban noise levels in central Stockholm, Sweden. *Sustainable Cities and Society*, v. 63, n. August, 2020.

SABERI, Meead *et al.* Understanding the impacts of a public transit disruption on bicycle sharing mobility patterns: A case of Tube strike in London. *Journal of Transport Geography*, v. 66, n. April 2017, p. 154–166, 2018.

SALADIÉ, Òscar; BUSTAMANTE, Edgar; GUTIÉRREZ, Aaron. COVID-19 lockdown and reduction of traffic accidents in Tarragona province, Spain. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, v. 8, p. 100218, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100218>.

SES/MG. *Coronavírus*. Disponível em: <http://www.coronavirus.saude.mg.gov.br/blog/84-grupos-de-risco-para-covid-19>. Acesso em: 22 out. 2020.

TAN, Limin; MA, Changxi. Choice behavior of commuters' rail transit mode during the COVID-19 pandemic based on logistic model. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, n. xxx, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.07.002>.

TEIXEIRA, João Filipe; LOPES, Miguel. The link between bike sharing and subway use during the COVID-19 pandemic: The case-study of New York's Citi Bike. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, v. 6, p. 100166, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trip.2020.100166>.

WHO. *Coronavirus disease (COVID-19) pandemic*. Disponível em: <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019?gclid=Cj0KCQiA7qP9BRCLARIsABDaZzgfh28BAZYFohQ4_QlHuyKw9BCz8B-G-8rsMMRcQ8qrrLU1iBwlWOUaAvXOEALw_wcB>. Acesso em: 9 nov. 2020.