

CATEGORIA 1

O impacto dos fatores externos

na variação média da demanda de passageiro no MetrôRio em dias úteis

INTRODUÇÃO

O MetrôRio possui como atribuição a operação e a manutenção das linhas do metrô do Rio de Janeiro, sendo sua missão pautada pelo fornecimento de soluções para a mobilidade urbana com rapidez, previsibilidade e confiabilidade. Tendo isso em vista, um importante tópico estratégico a ser estudado é a demanda de passageiros e o seu comportamento.

Segundo Ling et al. (2018), a melhora do serviço de transporte está diretamente relacionada a uma operação inteligente e eficiente financeiramente. Dessa maneira, exige-se precisão e robustez nas estimativas de demanda dos passageiros, possibilitando um direcionamento otimizado para a utilização da capacidade do transporte analisado ¹.

¹ Fonte: Predicting subway passenger flows under different traffic conditions. PLoS ONE 13(8): e0202707. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202707>

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Diante desse cenário, diversos estudos propuseram a utilização de modelos estatísticos de série temporal. Pioneiramente, Ahmed e Cook (1979) propuseram o ajuste de um modelo ARIMA para a demanda de tráfego em rodovias, mas sua precisão foi considerada insatisfatória². A partir desse estudo, diversos pesquisadores se aprofundaram no tema, Williams e Hoel (2003) sugeriram a utilização de um modelo SARIMA, elucidando a importância da componente sazonal nos modelos propostos³.

Com a evolução computacional, iniciou-se a utilização de outras metodologias de estimação como as redes neurais artificiais. Assim, Smith e Demetsky (1997) analisaram algumas técnicas de modelagem, mas as redes neurais não foram o modelo mais significativo para a previsão do fluxo de tráfego⁴. Em contrapartida, Vlahogianni et al. (2005) propôs a utilização de redes neurais na previsão de curto prazo do fluxo de tráfego, adicionando uma otimização multicamada fundamentada em algoritmos genéticos, e obtiveram como resultado um modelo satisfatório⁵.

É possível notar, com a exposição dos estudos, que as metodologias utilizadas nas análises estão em constante evolução e são aplicadas de acordo com o objetivo do pesquisador. Diante disso, o presente estudo apresenta uma análise para dados

² Fonte: Analysis of freeway traffic time-series data by using Box-Jenkins techniques. Disponível em: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1979/722/722-001.pdf>

³ Fonte: Modeling and Forecasting Vehicular Traffic Flow as a Seasonal ARIMA Process: Theoretical Basis and Empirical Results. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2003\)129:6\(664\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:6(664)).

⁴ Fonte: Traffic flow forecasting: comparison of modeling approaches. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1997\)123:4\(261\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1997)123:4(261)).

⁵ Fonte: Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2005.04.007>.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



metroviários e a influência exercida por fatores externos na demanda de passageiros nas estações analisadas.

Aplicação no Metrô

O metrô, de acordo com Wang et al. (2013), é conceituado como a espinha dorsal do transporte público devido as suas características de grande demanda de passageiros, velocidade e conveniência⁶. Com isso, entender todos os fatores que possam influenciar no comportamento da demanda de passageiros se faz necessário para oferta um serviço melhor e para realizar uma operação inteligente.

Sob essa perspectiva, este estudo se propõe a utilizar métodos estatísticos para mensurar a significância do impacto de fatores externos na demanda de passageiros. Os fatores externos avaliados serão jogos de futebol, manifestações, eventos culturais e chuva. Para o processo analítico, é assumido independência entre os fatores, sendo criadas variáveis *dummies* para representar cada um dos eventos citados e analisá-los individualmente.

Inicialmente, é desenvolvida uma análise baseada na utilização de dendogramas para agrupar as estações conforme a semelhança no comportamento da demanda. Esse processo permite a criação de novas variáveis agrupando as estações de acordo com o resultado anterior. Assim, é possível tomar decisões estratégicas para um grupo de

⁶ Fonte: Vulnerability Analysis and Passenger Source Prediction in Urban Rail Transit Networks. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080178>.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



estações similares e não mais de forma individualizada, trazendo celeridade ao processo decisório estratégico.

Após essa análise de agrupamento, as variáveis agrupadas são utilizadas como variável resposta do modelo linear generalizado da família Gama. A variável explicativa é a variável *dummy* representando o fator externo analisado individualmente. O modelo proposto é avaliado conforme o seu ajuste e a significância da variável explicativa, agregando a análise da razão de chance e proporcionando, então, a mensuração do impacto na demanda de passageiros em caso de ocorrência do evento estudado.

O banco de dados utilizado foi construído de acordo com a necessidade do estudo, então adicionou-se as variáveis *dummies* utilizadas no banco de dados diário da companhia MetrôRio. Além disso, aplicou-se um filtro para a utilização dos dias úteis e um filtro para os dias não caracterizados como atípicos – processo interno definido pela análise de inteligência da companhia - ambos foram selecionados para manter o objetivo do estudo em analisar o impacto na demanda em dias considerados habituais. O período analisado na base de dado é referente a 1 de março de 2017 até 26 de junho de 2023.

DIAGNÓSTICO

Com o objetivo de entender a atuação de fatores externos no comportamento da demanda de passageiros no metrô, desenvolveu-se uma análise exploratória buscando uma investigação inicial sobre as variáveis do banco de dados.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

Conforme a Figura 1, quando explorada a relação entre a demanda do sistema completo e os fatores analisados, sugere-se que não existe uma alteração relevante no valor da mediana tanto na ocorrência do fator quanto na não ocorrência, exceto no fator evento cultural. Em contrapartida, quando caracterizada a ocorrência dos fatores é possível observar que a distribuição se altera, variando os valores de mínimo e máximo, além da expressiva diferença entre os valores da amplitude interquartílica dos boxplots.

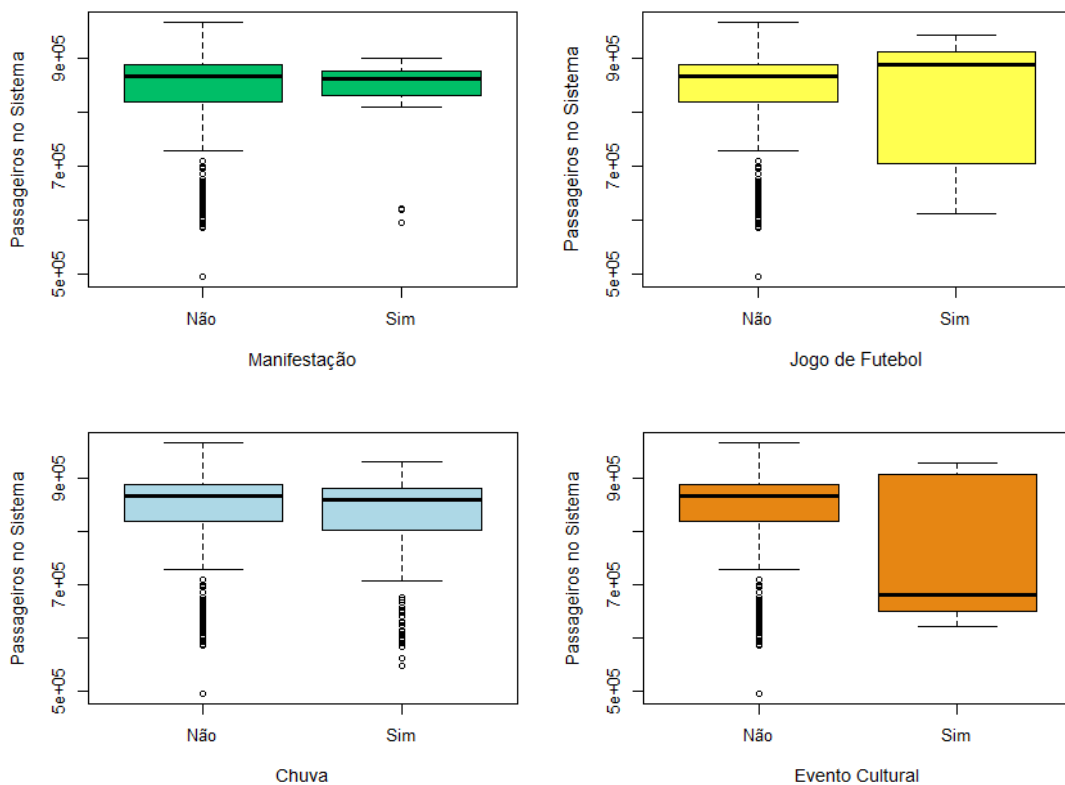


Figura 1 – Boxplots da relação entre a ocorrência dos fatores externos e a demanda de passageiros no sistema do metrô⁷.

⁷ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Quando avaliado o comportamento pelas linhas do metrô no Rio de Janeiro, é possível perceber que cada linha possui particularidades a serem analisadas e consequentemente estatísticas e distribuições diferentes entre si. Esse comportamento é evidenciado pelos gráficos elaborados na Figura 2, ao qual constata-se alterações nas medianas, nas distribuições, nos valores de mínimo e máximo e na amplitude interquartílica das linhas analisadas para o efeito externo de jogos de futebol.

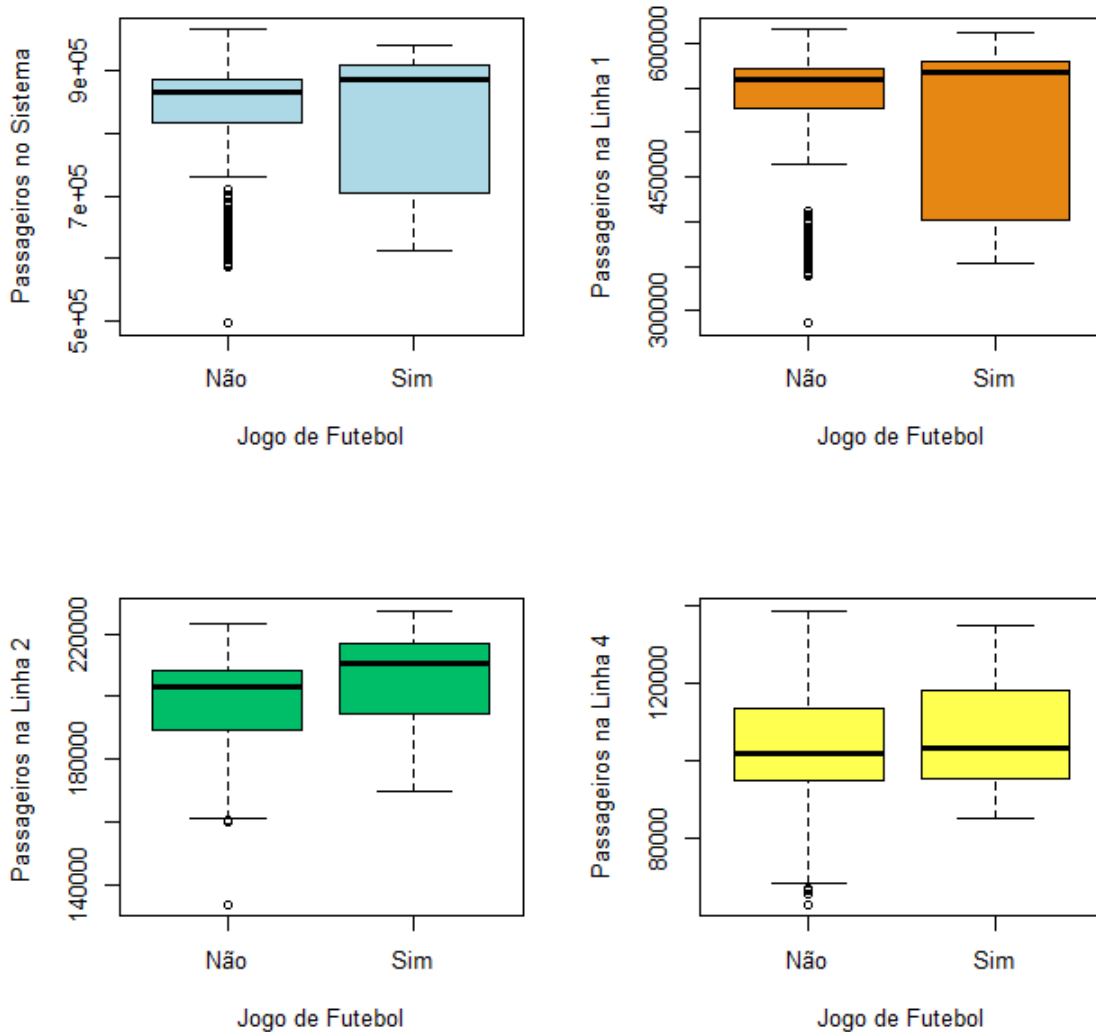


Figura 2 – Boxplots da relação entre a ocorrência do fator jogo de futebol e a demanda de passageiros por linha do metrô⁸.

Observando essa diferença, elaborou-se uma análise, por estação do metrô, para avaliar o comportamento da variação média da demanda a partir da ocorrência ou não do fator externo. Desta maneira, como mostra a Figura 3, comprova-se que cada estação possui um desempenho particular, nesse caso, continuando a analisar o evento externo jogo de futebol, observa-se a estação Maracanã (MRC) contendo a maior variação positiva observada, indicando um comportamento esperado. Ainda conforme aguardado, uma variação positiva na estação São Cristóvão, por estar próxima do estádio do Maracanã, e Antero de Quental (ATQ), que é responsável pelas conexões através do Metrô na superfície de alguns bairros da zona sul do município do Rio de Janeiro.

⁸ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

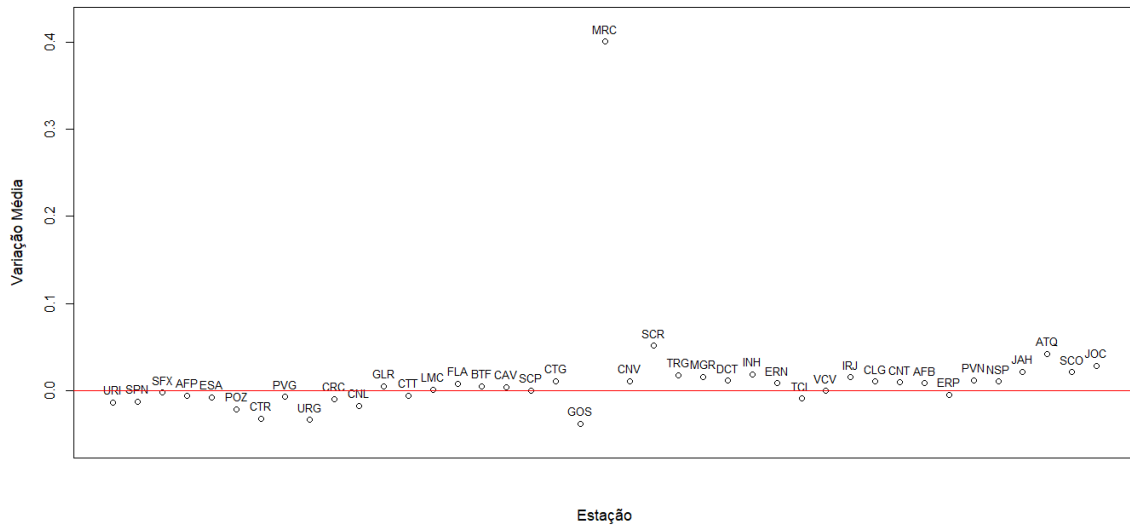


Figura 3 – Variação média da demanda relacionando a ocorrência e não ocorrência do jogo de futebol por estação⁹.

Assim, um agrupamento hierárquico das estações de metrô foi desenvolvido, buscando agrupá-las de acordo com a similaridade da variação média. Para isso, construiu-se uma matriz de distância para cada um dos fatores externos analisados a partir da medida de distância Euclidiana. Derivada do teorema de Pitágoras, a distância Euclidiana consiste na raiz quadrada da soma da diferença quadrática entre x e y em suas respectivas dimensões. Assumindo os pontos A = (x₁, y₁) e B = (x₂, y₂), temos que:

$$d(A, B) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Após essa construção, avaliou-se a quantidade de grupos necessários para cada um dos fatores analisados com base na análise gráfica. De acordo com a Figura 4, é possível observar que a partir da 6ª observação, a distância entre os pontos fica estável, não

⁹ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

evidenciando a necessidade de aumentar a quantidade de grupos para a matriz de distância analisada. Desse modo, para o fator externo jogo de futebol considerou-se 6 grupos de estações que possuem um comportamento similar entre si.

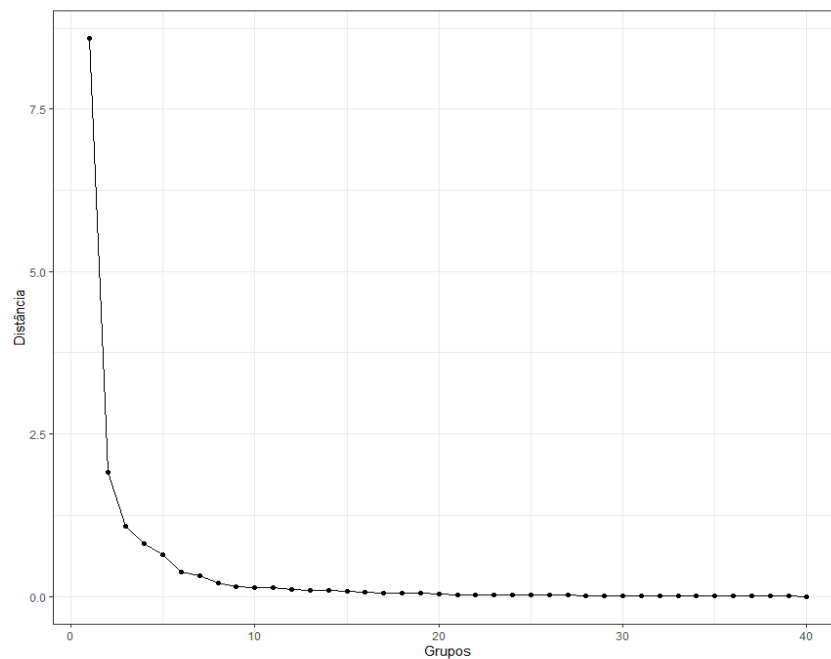


Figura 4 – Distância dos grupos para o fator externo jogo de futebol¹⁰.

Fator Externo	Quantidade de Grupos
Jogos de Futebol	6
Manifestações	8
Eventos Culturais	9
Chuva	7

Figura 5 – Quantidade de grupos construídos para cada fator externo¹¹.

Com a matriz de distância e a quantidade de grupos analisadas, definiu-se que o algoritmo aglomerativo a ser utilizado seria o método de Ward. Para Mingoti (2005), os

¹⁰ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

¹¹ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

grupos produzidos pelo método de Ward são os mais heterogêneos possíveis, porém o mais homogêneo dentro de cada grupo¹². Esse processo permite o agrupamento das estações com o comportamento mais similar possível. Ainda para Mingoti (2005), esse algoritmo é conhecido como “Mínima Variância”, onde inicialmente cada observação é um grupo e a cada iteração calcula-se a soma de quadrados dentro do grupo para ser utilizada como medida de homogeneidade¹³. O resultado da aplicação desse método encontra-se na Figura 6.

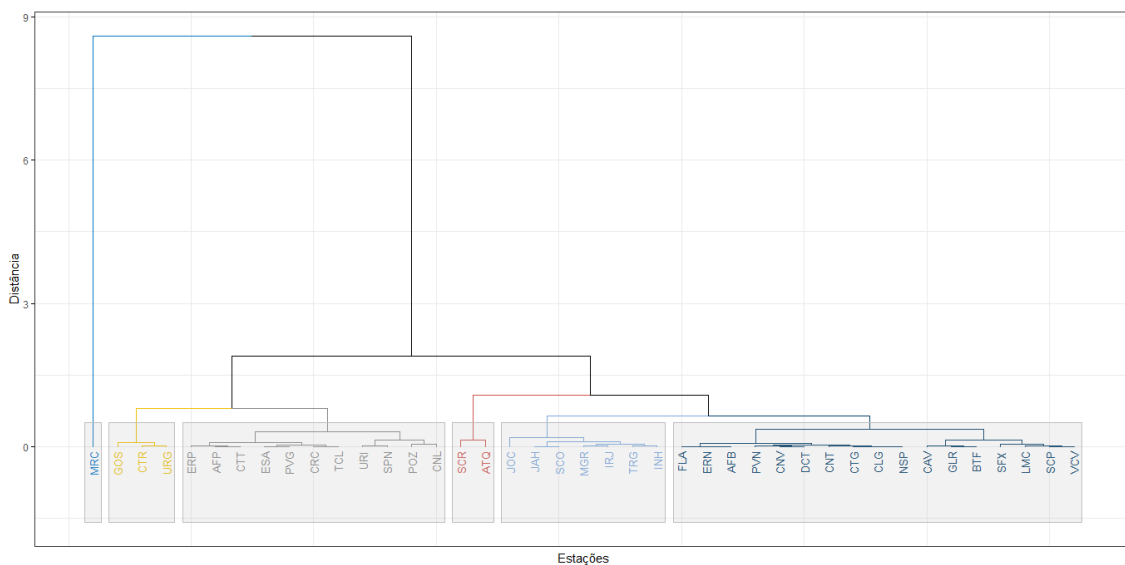


Figura 6 – Dendrograma das estações a partir da aplicação do método Ward para o fator externo jogo de futebol¹⁴.

¹² Fonte: Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.

¹³ Fonte: Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada.

¹⁴ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Todos os processos analíticos aplicados ao fator externo jogo de futebol como exemplo, foram desenvolvidos para os outros fatores externos analisados nesse estudo, podendo ser consultados e avaliados na seção dos anexos.

Diante da definição dos agrupamentos das estações mais similares, iniciou-se o processo de modelagem estatística para entender o impacto de cada um dos fatores externos no comportamento da demanda para cada grupo de estações analisados. Para isso, a metodologia do modelo linear generalizado foi aplicada aos dados visando o ajuste do modelo para análise dos parâmetros estimados.

Segundo Agresti (2002), os modelos lineares generalizados podem ser considerados uma ampliação dos modelos de regressão linear. Essa relação é analisada dada a possibilidade de incorporação de distribuições de probabilidade para a variável resposta não gaussiana e modelando uma função média¹⁵. Fundamentado nisso, para Dobson (2002), a ocorrência é devido à verificação de 3 (três) propriedades:

- 1 – A distribuição da variável resposta precisa pertencer à família exponencial.
- 2 - Assumindo θ_i como uma função de $E(Y_i) = \mu_i$, o ajuste do modelo linear generalizado será realizado a partir de uma transformação, tal como:

$$g(\mu_i) = \eta_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}$$

onde \mathbf{x} corresponde a matriz das variáveis explicativas de dimensão $n \times k$, e $\boldsymbol{\beta}$ corresponde o vetor de parâmetros desconhecidos com dimensão k .

¹⁵ Fonte: Categorical Data Analysis, 2002.

3 - Quando a equação $g(\cdot)$ é monótona e diferenciável, e transforma μ_i em η_i , ou seja

$$\eta_i = g(\mu_i), i = 1, \dots, n.$$

Essa equação é chamada de função de ligação e η_i é chamado de preditor linear¹⁶.

Com a verificação dessas 3 (três) propriedades, se torna possível a estimação dos parâmetros que consiga explicar a relação entre a variável explicativa e o valor esperado da variável resposta. No entanto, é necessário investigar a significância estatística desse parâmetro, evidenciando que a estimação proposta é diferente de zero e, portanto, explica o comportamento observado na variável resposta.

Assim como proposto por Agresti (2002), para avaliar a significância do parâmetro estimado ($\hat{\beta}$) utilizou-se o teste de Wald, no qual, a partir de um teste de hipóteses, o parâmetro é submetido a uma análise individual buscando elucidar que sua estimação é diferente de 0 (zero)¹⁷. As hipóteses avaliadas são:

$$H_0: \beta_i = 0 \quad vs \quad H_1: \beta_i \neq 0, \quad i = 1, 2, \dots, k$$

Sob hipótese nula (H_0), a estatística de teste é dada por:

$$W = \left(\frac{\hat{\beta}_i}{\hat{\sigma}(\hat{\beta}_i)} \right)^2$$

onde $\hat{\sigma}(\hat{\beta}_i)$ representa o desvio padrão de $\hat{\beta}_i$.

¹⁶ Fonte: An introduction to generalized linear models.

¹⁷ Fonte: Categorical Data Analysis, 2002.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Desta maneira, $W \sim \chi_1^2$. Assim, ao nível de significância α , se $W \geq \chi_{(1-\alpha;1)}^2$, então rejeita-se H_0 , caso $W < \chi_{(1-\alpha;1)}^2$, então não se rejeita H_0 .

Obtendo a significância dos parâmetros, de acordo com Dobson (2002), pode-se analisar a razão de chances para interpretação do modelo, onde a função de ligação será transformada¹⁸ – utilizando a segunda propriedade dos modelos lineares generalizados – e aplicada no parâmetro analisado, evidenciando quantitativamente a sua influência na variável resposta do modelo. Assumindo X como variável explicativa, temos:

$$\text{Razão de Chances} = \frac{P(Y | X = 1)}{P(Y | X = 0)} = \frac{g(\beta_0 + \beta_1)}{g(\beta_0)} = g(\beta_1)$$

Uma importante característica da variável resposta demanda de passageiros é o intervalo de valores possíveis que ela pode assumir, sendo restrito ao intervalo $[0, +\infty]$. Diante disso, a distribuição de probabilidade a ser utilizada é a distribuição Gama, que dentro de suas propriedades faz parte da família exponencial e, considerou-se a função logaritmo natural (*log*) como função de ligação. Deste modo, todas as propriedades foram atendidas para a utilização do modelo linear generalizado na estimação do modelo proposto. Além disso, é possível interpretar a influência da variável analisada a partir da aplicação da razão de chances, o principal objetivo desse estudo.

¹⁸ Fonte: An introduction to generalized linear models.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os agrupamentos propostos das estações foram:

Efeito Externo	Jogos
Grupo 1	MRC
Grupo 2	GOS, CTR, URG
Grupo 3	POZ, CNL, AFP, CTT, ESA, ERP, CRC, PVG, TCL, URI, SPN
Grupo 4	SCR, ATQ
Grupo 5	TRG, INH, MGR, IRJ, JOC, JAH, SCO
Grupo 6	CNT, AFB, ERN, FLA, CLG, CTG, CNV, PVN, DCT, NSP, BTF, GLR, CAV, SFX, LMC, SCP, VCV

Figura 7 – Quadro de resultado do agrupamento realizado para o efeito externo jogo de futebol¹⁹.

Efeito Externo	Chuva
Grupo 1	GOS
Grupo 2	URI, CNL, IRJ, PVN, ESA, SCP, VCV
Grupo 3	CAV, SFX, AFP, AFB, LMC, CTT, NSP, GLR, SPN, POZ, CRC, CNT
Grupo 4	CTR, DCT, JOC, MGR
Grupo 5	CTG, ERP, TGR, FLA, ERN, BTF, INH, URG, TCL
Grupo 6	CLG, MRC, JAH
Grupo 7	SCR, CNV, SCO, PVG, ATQ

Figura 8 – Quadro de resultado do agrupamento realizado para o efeito externo chuva²⁰.

¹⁹ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

²⁰ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Efeito Externo	Manifestação
Grupo 1	CLG, AFP, CNL, SCR
Grupo 2	ESA, MGR, INH, ERN, POZ, CRC
Grupo 3	URG, PVG, CTT, FLA, TCL, BTF, LMC, CTR, URI, SPN, SFX
Grupo 4	CNT, AFB, ERN, FLA, CLG, CTG, CNV, PVN, DCT, NSP, BTF, GLR, CAV, SFX, LMC, SCP, VCV
Grupo 5	GLR, JOC
Grupo 6	GOS, SCO, MRX, CAV, NSP,
Grupo 7	CTG, JAH, AFB, PVN, ATQ
Grupo 8	VCV, ERP, CNV, SCT, TRG, SCP, IRJ

Figura 9 – Quadro de resultado do agrupamento realizado para o efeito externo manifestação²¹.

Efeito Externo	Cultural
Grupo 1	TRG, MGR, IRJ, CLG, ERN, AFB, MRC, CNT
Grupo 2	SCO
Grupo 3	JAH, ATQ, JOC
Grupo 4	PVN, NSP
Grupo 5	TCL, CNV, PVG, SCP, BTF, CTT, LMC
Grupo 6	CAV, DCT, ERP, GLR, SCR, FLA, CTG
Grupo 7	CNL, POZ, URG, CRC
Grupo 8	URI, ESA, SPN, GOS, VCV
Grupo 9	CTR, SFX, AFP

Figura 10 – Quadro de resultado do agrupamento realizado para o efeito externo evento cultural²².

Esses grupos foram utilizados para compor a variável resposta do modelo, ou seja, foi aplicada a média da demanda de passageiro por estação que pertence ao agrupamento. Assim, foi possível utilizar a variável *dummy* que representa o fator externo e então analisar o impacto que a sua ocorrência causa na demanda de passageiro do grupo em

²¹ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

²² Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



questão. Todos os modelos foram analisados univariadamente. Dessa maneira, obtiveram-se os seguintes resultados para os modelos propostos:

Efeito Externo	Grupo	Parâmetro Estimado	P-valor	Razão de Chances
Jogo de Futebol	1	0.3367	$\cong 0$	1.4004
Jogo de Futebol	2	-0.0341	0.1110	-
Jogo de Futebol	3	-0.0116	0.5700	-
Jogo de Futebol	4	0.0449	0.0028	1.0459
Jogo de Futebol	5	0.0225	0.1120	-
Jogo de Futebol	6	0.0063	0.5900	-

Figura 11 – Quadro de resultado dos modelos ajustados para o efeito externo jogo de futebol²³.

Efeito Externo	Grupo	Parâmetro Estimado	P-valor	Razão de Chances
Chuva	1	-0.0400	0.0028	0.9608
Chuva	2	-0.0162	0.0845	-
Chuva	3	-0.0208	0.0548	-
Chuva	4	-0.0079	0.4570	-
Chuva	5	-0.0122	0.2690	-
Chuva	6	0.0052	0.5710	-
Chuva	7	-0.0023	0.7770	-

Figura 12 – Quadro de resultado dos modelos ajustados para o efeito externo chuva²⁴.

Efeito Externo	Grupo	Parâmetro Estimado	P-valor	Razão de Chances
Manifestação	1	0.0318	0.345	-
Manifestação	2	0.0007	0.982	-
Manifestação	3	0.0108	0.7240	-
Manifestação	4	-0.0922	$\cong 0$	0.9119
Manifestação	5	-0.0582	0.0669	-
Manifestação	6	-0.0330	0.1020	-
Manifestação	7	-0.0186	0.1620	-
Manifestação	8	-0.0097	0.6410	-

Figura 13 – Quadro de resultado dos modelos ajustados para o efeito externo manifestação²⁵.

²³ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

²⁴ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

²⁵ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Efeito Externo	Grupo	Parâmetro Estimado	P-valor	Razão de Chances
Evento Cultural	1	-0.0244	≅ 0	0.9759
Evento Cultural	2	0.0970	≅ 0	1.1019
Evento Cultural	3	0.0524	0.0858	-
Evento Cultural	4	0.0110	0.2780	-
Evento Cultural	5	-0.1029	≅ 0	0.9023
Evento Cultural	6	-0.0662	0.0012	0.9360
Evento Cultural	7	-0.2364	≅ 0	0.7895
Evento Cultural	8	-0.1381	≅ 0	0.8710
Evento Cultural	9	-0.1884	≅ 0	0.8283

Figura 14 – Quadro de resultado dos modelos ajustados para o efeito externo evento cultural²⁶.

O ajuste dos modelos foi realizado com nível de significância de 5%. Dessa maneira, é possível perceber que nem todos os grupos de estações possuem uma variação média da demanda de passageiros estatisticamente significativa. Evidenciando, portanto, que o impacto do efeito externo analisado não ocorre de forma uniforme para todas as estações.

Além disso, alguns comportamentos são opostos, quando um grupo de estações possui queda na demanda, um outro grupo possui aumento para o mesmo fator, como é o caso do evento cultural. Assim, podemos tomar conclusões sobre os grupos de estações a partir da razão de chances:

- Na ocorrência de jogos de futebol, o grupo 1 aumenta a demanda em aproximadamente 40%, enquanto o grupo 4 incrementa 4,59% quando comparado a dias úteis sem jogos de futebol.

²⁶ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



- Quando o efeito externo chuva é registrado, a demanda do grupo 1 diminui em 3,92% comparado a um dia sem o registro de chuva.
- Na ocorrência de manifestações, a demanda para o grupo 4 diminui em 8,81% quando comparado aos dias úteis sem o registro de manifestações.
- A realização de um evento cultural pode alterar consideravelmente a demanda de passageiros de acordo com os grupos de estações analisados, por exemplo, para o grupo 2 ocorre um aumento de 10,19% quando comparado a um dia que não ocorre o evento, em contrapartida, os grupos 1, 5, 6, 7, 8 e 9 possuem queda na demanda variando entre 2,41% e 21,05%.

CONCLUSÕES

Esse estudo se propôs a entender a relação entre os fatores externos e a demanda de passageiros, diante disso buscou-se na literatura referências que fundamentassem a ideia sem que houvesse rupturas teóricas e acadêmicas. Como exposto, muito se estuda sobre a demanda de passageiros nos mais variados meios de transporte e conseqüentemente, desenvolve-se muitas pesquisas visando a evolução metodológica das análises propostas.

Observando que o comportamento em dias úteis é similar em algumas estações, fez-se necessário uma análise de agrupamento visando os objetivos pertinentes a missão da companhia MetrôRio. Pensando de uma maneira agrupada, as ações de contingência

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



podem ocorrer de forma mais célere no momento da atuação da equipe operacional, conseguindo se antecipar ao que se espera para o grupo de estações analisado.

Além disso, através da proposição da metodologia de modelos lineares generalizados, pôde-se inferir sobre o valor esperado no impacto em caso de ocorrência do efeito externo analisado. Esse valor esperado ajuda nas tomadas de decisões estratégicas da empresa, podendo elaborar um planejamento mais aderente ao que possa ocorrer em casos não controlados, além de possibilitar um ajuste financeiro garantindo a otimização de recursos energéticos, pessoais e de infraestrutura.

Desse modo, esse estudo propôs novas formas de atuação estratégica na ocorrência de um efeito externo inesperado, buscando minimizar os danos financeiros que possam derivar desse acontecimento. Assim, a organização por grupos de estações possibilita rapidez, os valores esperados dos impactos possibilitam previsibilidade e, na ação conjunta dos dois pilares anteriores, o MetrôRio possibilita o desenvolvimento de confiabilidade nos seus clientes. Cumprindo, portanto, a sua missão como companhia ao suprir as necessidades da população, reduzindo superlotações ou ociosidades desnecessárias, além de assegurar a sustentabilidade financeira e a continuidade dos serviços ofertados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Ling X, Huang Z, Wang C, Zhang F, Wang P (2018) Predicting subway passenger flows under different traffic conditions. PLoS ONE 13(8): e0202707. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202707>. Consulta realizada em 29 de julho de 2023.

Ahmed MS, Cook AR. Analysis of freeway traffic time-series data by using Box-Jenkins techniques. Transportation Research Record. 1979; 116. Disponível em: <https://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1979/722/722-001.pdf>. Consulta realizada em 29 de julho de 2023.

Williams BM, Hoel LA. Modeling and Forecasting Vehicular Traffic Flow as a Seasonal ARIMA Process: Theoretical Basis and Empirical Results. Journal of Transportation Engineering. 2003;129: 664–672. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(2003\)129:6\(664\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(2003)129:6(664)) . Consulta realizada em 29 de julho de 2023.

Smith BL, Demetsky MJ. Traffic flow forecasting: comparison of modeling approaches. Journal of Transportation Engineering. 1997;123: 261–266. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-947X\(1997\)123:4\(261\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-947X(1997)123:4(261)). Consulta realizada em 29 de julho de 2023.

Vlahogianni EI, Karlaftis MG, Golias JC. Optimized and meta-optimized neural networks for short-term traffic flow prediction: A genetic approach. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2005;13: 211–234. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2005.04.007>. Consulta realizada em 29 de julho de 2023.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS



Wang J, Li Y, Liu J, He K, Wang P (2013) Vulnerability Analysis and Passenger Source Prediction in Urban Rail Transit Networks. PLoS ONE 8(11): e80178. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0080178>. Consulta realizada em 29 de julho de 2023.

Mingoti, SA. Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005.

Agresti, A. Categorical Data Analysis – 2. ed. – New Jersey: Wiley, 2002

DOBSON, A. J. An introduction to generalized linear models – 2. ed. – Flórida: Chapman & Hall, 2002.

Anexos

- **Agrupamento Chuva**

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

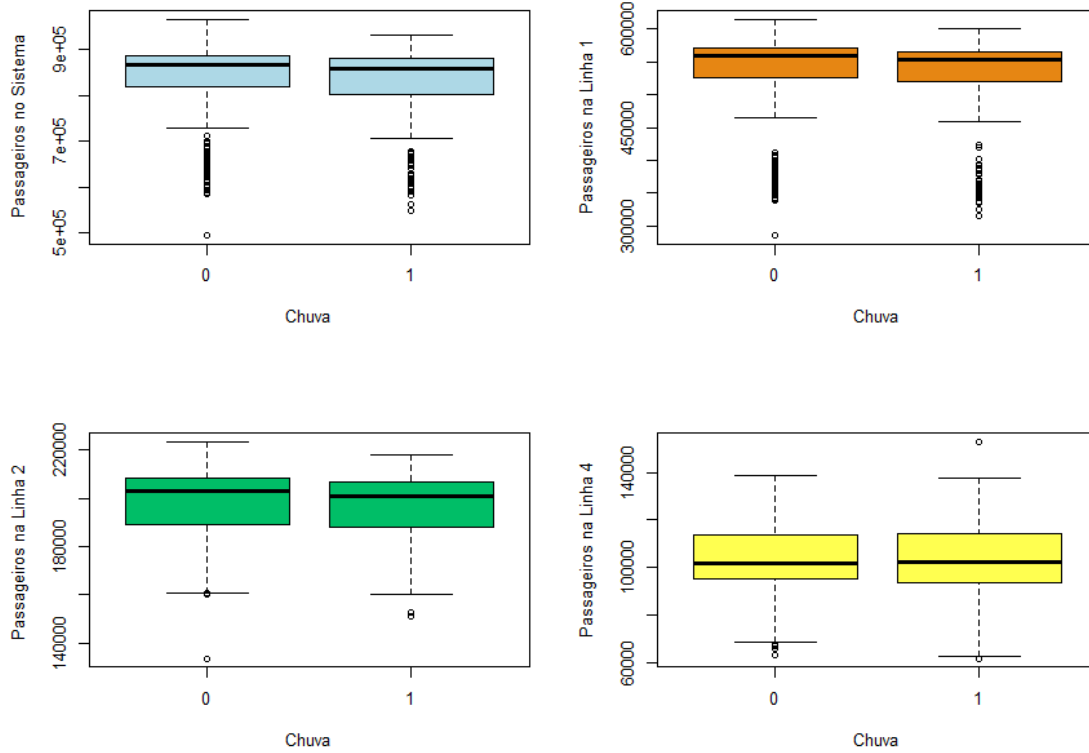


Figura 15 – Boxplots da relação entre a ocorrência do fator externo chuva e a demanda de passageiros por linha do metrô²⁷.

²⁷ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

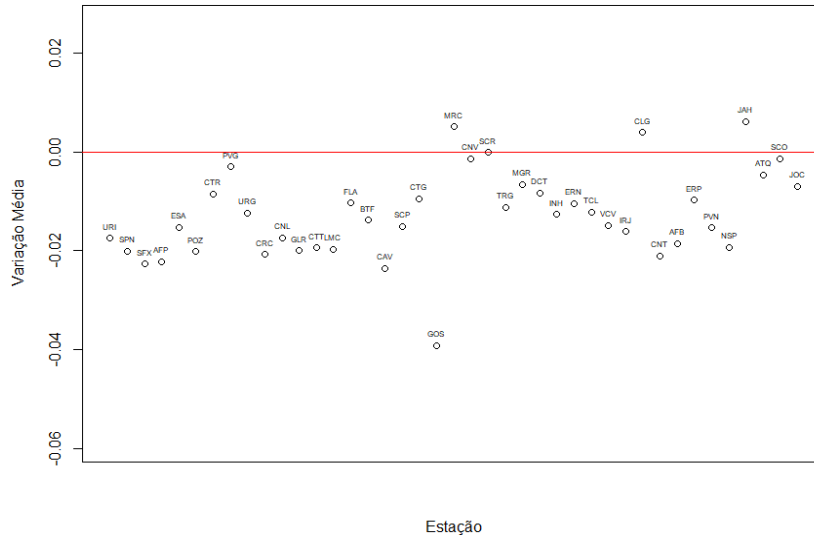


Figura 16 – Variação média da demanda relacionando a ocorrência e não ocorrência de chuva por estação²⁸.

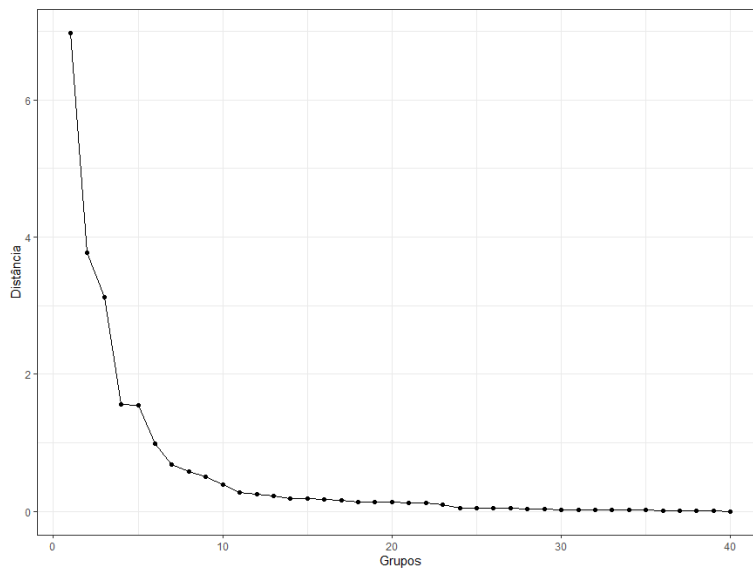


Figura 17 – Distância dos grupos para o fator externo chuva²⁹.

²⁸ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

²⁹ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

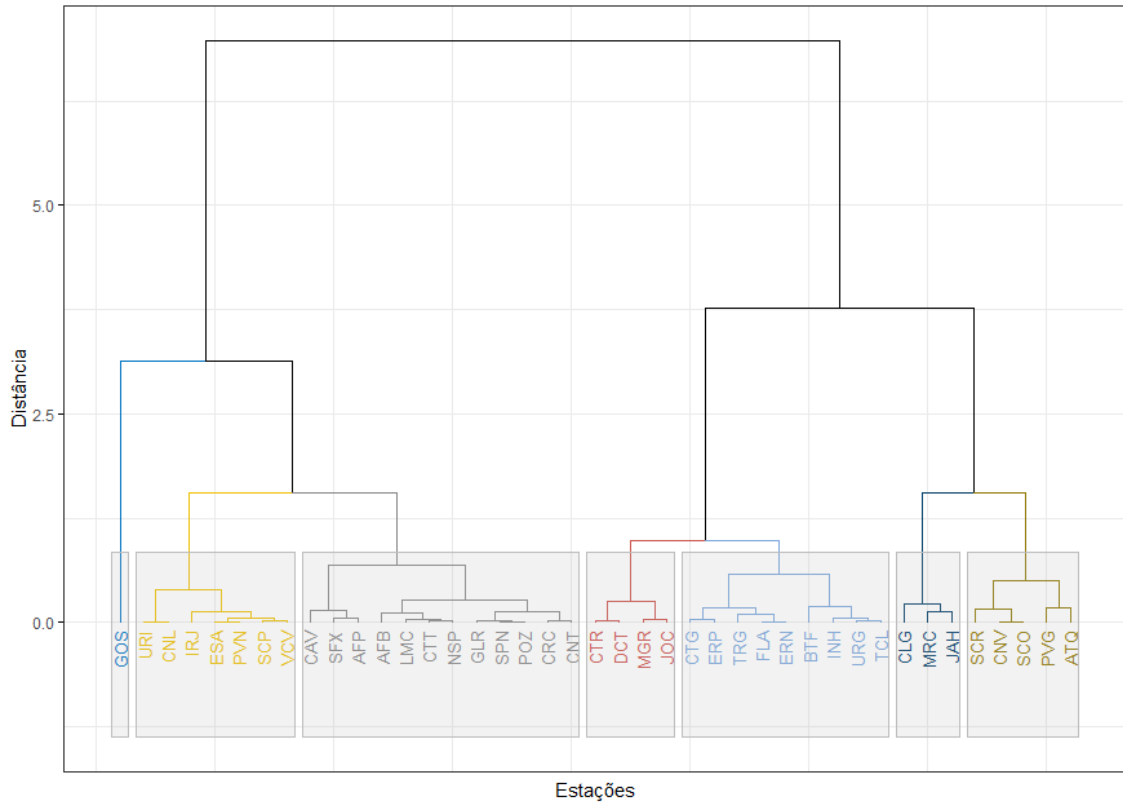


Figura 18 – Dendrograma das estações a partir da aplicação do método Ward para o fator externo chuva³⁰.

³⁰ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

- Agrupamento Manifestação

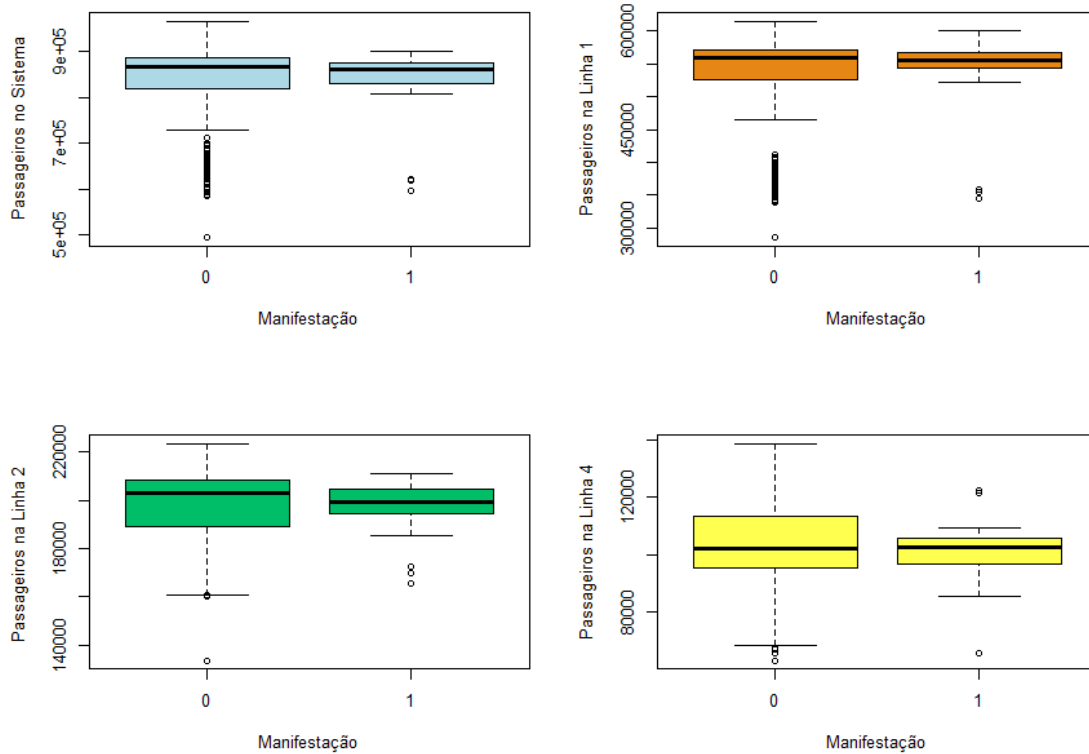


Figura 19 – Boxplots da relação entre a ocorrência do fator externo manifestação e a demanda de passageiros por linha do metrô³¹.

³¹ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

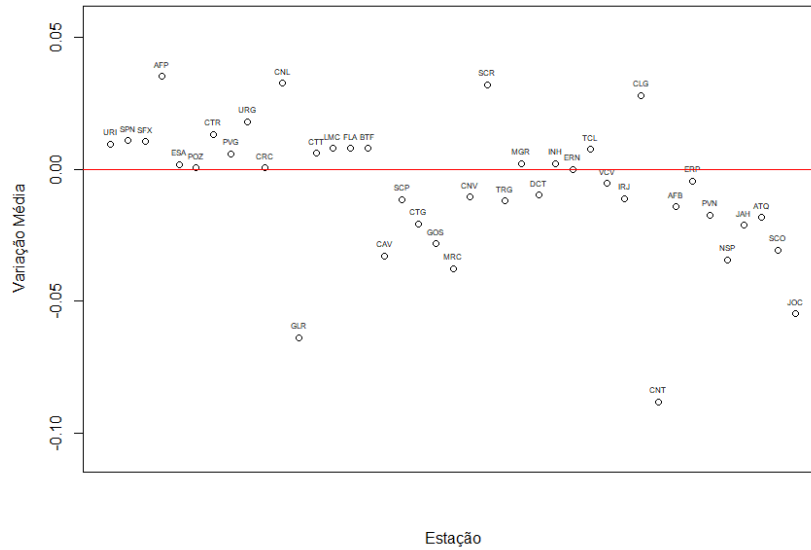


Figura 20 – Variação média da demanda relacionando a ocorrência e não ocorrência de manifestação por estação³².

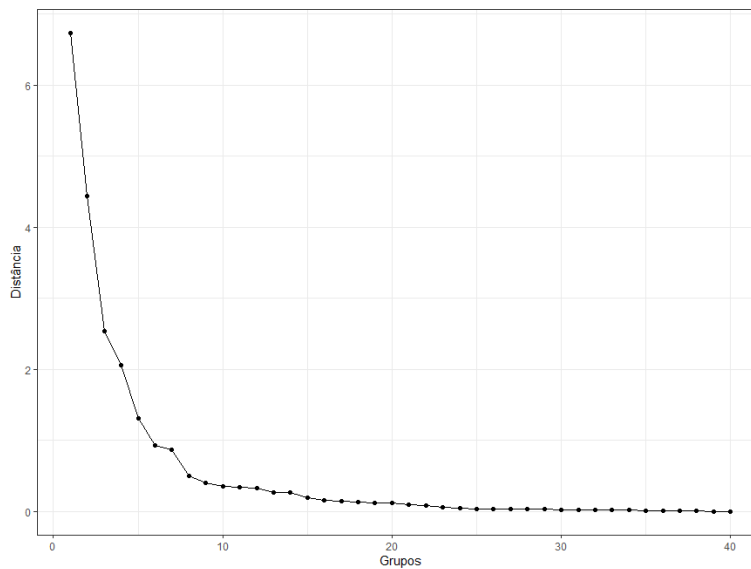


Figura 21 – Distância dos grupos para o fator externo maifestação³³.

³² Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

³³ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

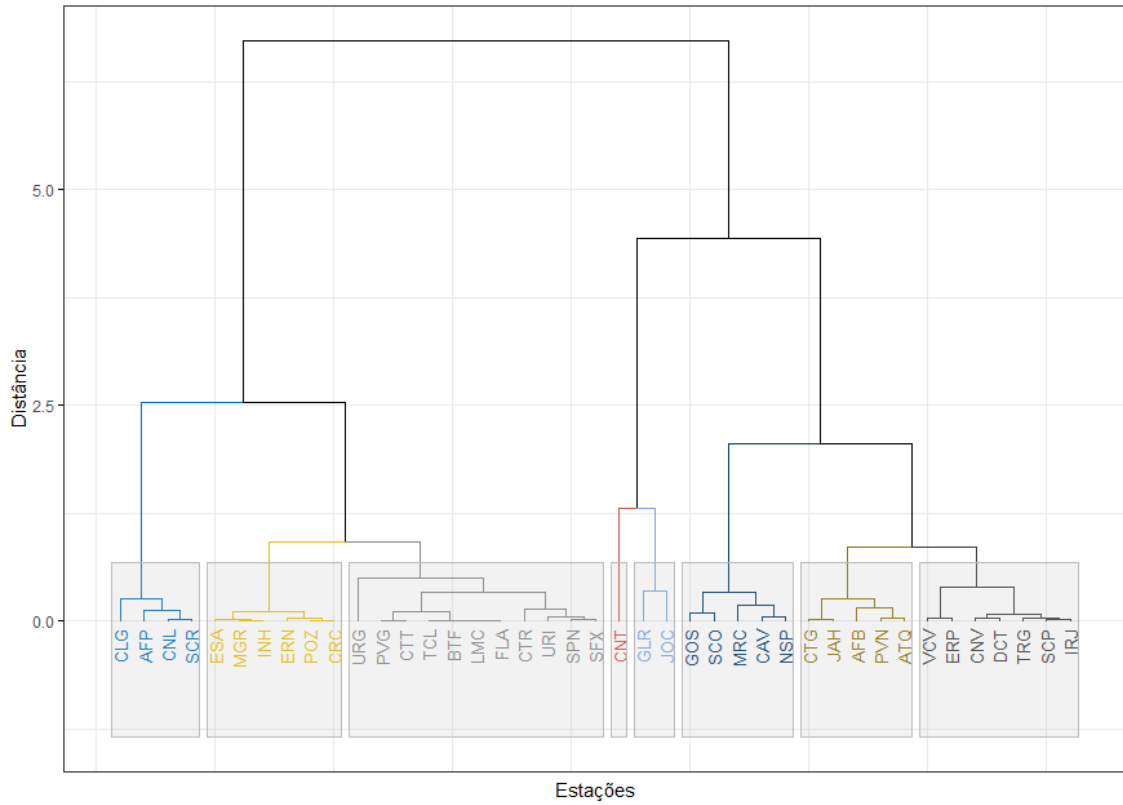


Figura 22 – Dendrograma das estações a partir da aplicação do método Ward para o fator externo manifestação³⁴.

³⁴ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

- Agrupamento Evento Cultural

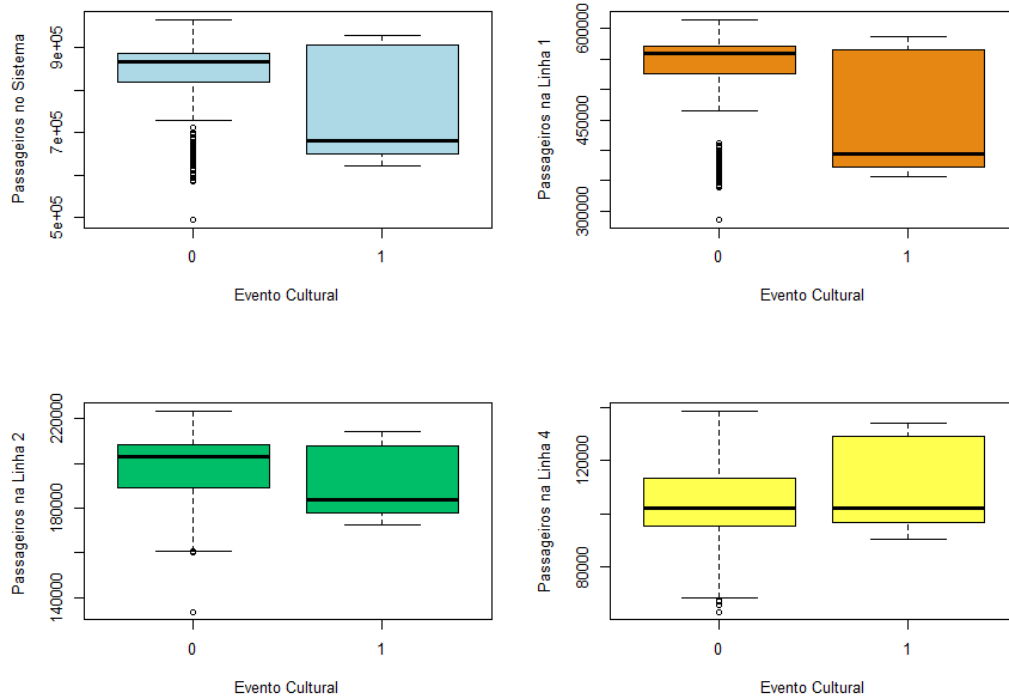


Figura 23 – Boxplots da relação entre a ocorrência do fator externo evento cultural e a demanda de passageiros por linha do metrô³⁵.

³⁵ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

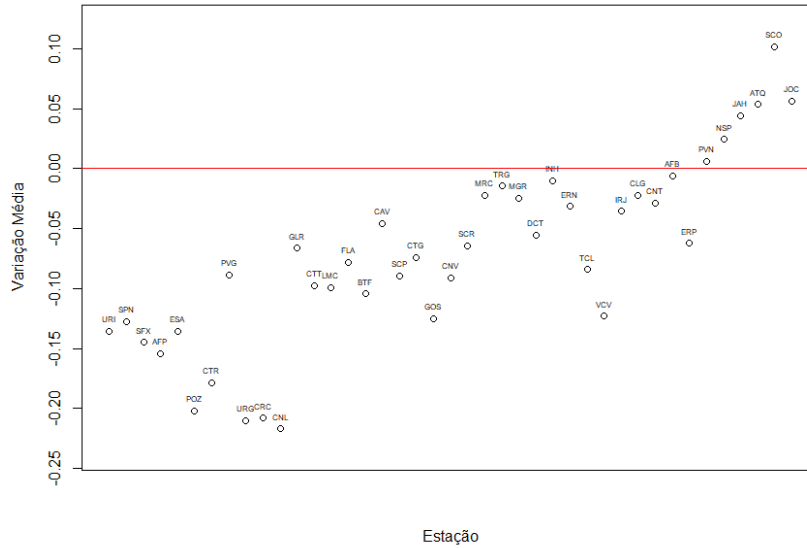


Figura 24 – Variação média da demanda relacionando a ocorrência e não ocorrência de evento cultural por estação³⁶.

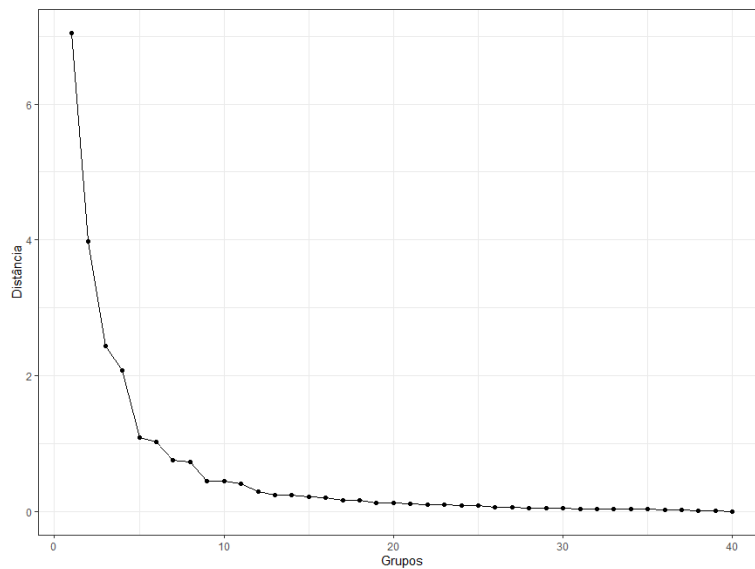


Figura 25 – Distância dos grupos para o fator externo evento cultural³⁷.

³⁶ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

³⁷ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.

29ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
10º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
METROFERROVIÁRIOS

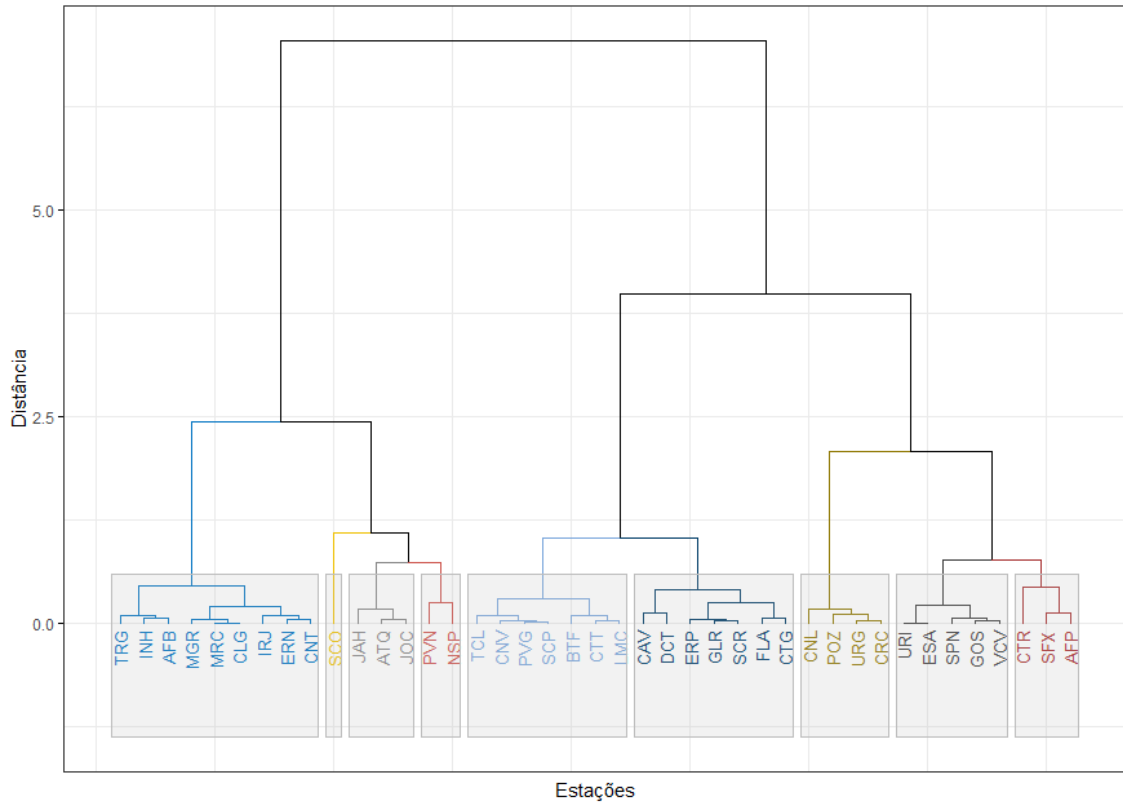


Figura 26 – Dendograma das estações a partir da aplicação do método Ward para o fator externo evento cultural³⁸.

³⁸ Fonte: Dados extraídos internamente em 2023. Elaboração do Autor.