

## **Análise da resiliência do transporte público da cidade do Rio de Janeiro frente a escassez de combustíveis fósseis.**

Autores: Rafael Ribeiro Falcão da Silva<sup>1</sup>; Luiza Arouca Dias<sup>1</sup>; Marcelino Aurélio Vieira da Silva<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro) – PET (Programa de Engenharia de Transportes)

Endereço: Av. Horácio Macedo, 2030 - Bloco H - Sala 106 - Cidade Universitária da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ, 21941-914

**SINÓPSE** – O trabalho mostra o nível de dependência em relação ao uso de combustíveis fósseis nos deslocamentos de acesso e internos da cidade do Rio de Janeiro utilizando transporte público através da análise da bilhetagem eletrônica georreferenciada.

**PALAVRAS-CHAVE** – Transporte público; Combustíveis fósseis; Resiliência.

### **INTRODUÇÃO**

Apesar dos investimentos em combustíveis alternativos e mais sustentáveis, o setor de transportes continua dependente do uso de petróleo. Em 2040, estima-se que a demanda por combustíveis fósseis seja equivalente a 85% de todos os deslocamentos realizados no mundo (BP, 2018). Ao considerar a natureza finita dessa fonte de energia, é sabido que sua produção em algum momento atingirá um pico e pensar numa transição energética é fundamental para antecipar o período de redução da disponibilidade desse insumo (Krumdieck et al., 2010). Visto a importância do transporte para a economia, perdas nesse setor acarretariam perdas econômicas.

Nos últimos 100 anos, alguns eventos de impacto global ocasionaram em mudanças no modo de vida das populações das cidades, dentre elas: a 1ª e 2ª Guerra Mundial, a Crise de 29 e as crises do petróleo de 1973 e 1979, a pandemia do COVID-19 etc. No caso das crises do petróleo, com o aumento do preço dos combustíveis, as condições de mobilidade dos espaços urbanos foram afetadas, principalmente das cidades que mais privilegiavam o transporte individual (Fernandes et al., 2019).

Além disso, acontecimentos a nível nacional e regional impactaram o transporte das cidades brasileiras como é o caso das persistentes greves dos caminhoneiros frente a alta no preço do diesel que se intensificaram a partir de maio de 2018. Para mais, a alta nos preços dos combustíveis fósseis influencia na elevação da tarifa dos transportes públicos, aumentando a impedância e dificultando os deslocamentos. Esse contexto coloca em questão a resiliência do setor de transportes frente a ameaça de escassez de combustíveis fósseis.

O conceito de resiliência aplicado ao contexto urbano vem de uma adaptação de uma perspectiva ecológica, sendo o trabalho mais antigo encontrado sobre esse tema o de Holling (1973). Nesse cenário, a observação do modo como sistemas ecológicos lidavam com tensões e distúrbios causados por fatores externos serviu de inspiração para fundamentar a análise direcionada às cidades (Davic e Welsh, 2004).

Sob a dinâmica de sistemas socioecológicos e considerando que a resiliência não está associada apenas à capacidade de um sistema persistir, foram adicionados mais dois aspectos: a adaptabilidade e a transformabilidade (Walker et al., 2004). Assim, a resiliência socioecológica representa uma interpretação mais abrangente da resiliência onde os sistemas estão suscetíveis aos mais variados distúrbios. Nesse caso, os sistemas estão aptos a se adaptarem, o que permite seu desenvolvimento dentro do domínio de estabilidade existente (Folke et al., 2010), e a se transformarem, encontrando novos estados de equilíbrio, aceitando mudanças em sua estrutura e funcionamento e se readequando.

A partir da visão de Folke et al. (2010), Fernandes et al. (2017) incorporaram os conceitos de persistência, adaptabilidade e transformabilidade na análise da mobilidade urbana. A persistência está relacionada à continuidade do padrão da mobilidade previamente praticado sem prejuízo ao cotidiano. A adaptabilidade corresponde à capacidade de se alterar os padrões de mobilidade, sem comprometer a qualidade de vida. Já na transformabilidade as alterações causam impactos econômicos e sociais, pois não é possível persistir ou se adaptar.

A resiliência, então, a partir dessa discussão, está ligada à capacidade de um sistema de persistir, adaptar e se transformar, (Gaitanidou, Tsami e Bekiaris, 2017), frente a ameaças internas ou externas, apresentando-se como uma maneira de avaliação de sistemas complexos em que existem interações dinâmicas entre diferentes escalas e fatores (Fernandes et al., 2017) além de estar preparado para se adaptar a mudanças inéditas e inesperadas (Ahern, 2011).

No cenário nacional da mobilidade, segundo dados da NTU (2023), cerca de 55% dos deslocamentos diários dependem diretamente da disponibilidade de combustíveis fósseis. Ao desconsiderar os deslocamentos a pé (39%), ou seja, os de distâncias pequenas, aproximadamente 88% das viagens são realizadas por meios que utilizam derivados de petróleo. Em relação ao transporte público, apenas 14,3% das viagens não utilizam tais combustíveis.

Considerando a necessidade que as cidades dependentes de combustíveis fósseis tem em aumentar os seus níveis de resiliência – realocando investimentos não só para o controle dos preços do petróleo, mas para alternativas mais sustentáveis de deslocamento (Cervero et al., 2009), este trabalho pretende entender o nível de resiliência do transporte público da cidade do Rio de Janeiro frente a ameaça de escassez de combustíveis fósseis através da análise da bilhetagem georreferenciada, classificando seus deslocamentos em persistentes, adaptáveis e transformáveis.

## DIAGNÓSTICO, PROPOSIÇÕES E RESULTADOS

A cidade do Rio de Janeiro, com população de aproximadamente 6,2 milhões de habitantes, possui uma grande importância econômica e social para a Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ). Milhões de pessoas circulam diariamente através de sua complexa rede de transportes, que é composta por: centenas de linhas municipais e intermunicipais; três corredores de Bus Rapid Transit (BRT); três linhas de metrô, com 41 estações; três linhas do Veículo Leve Sobre Trilhos (VLT), com 29 estações; cinco ramais de trem urbano, com 104 estações distribuídas em diversos municípios da RMRJ; e uma rede hidroviária que interliga a cidade com suas ilhas e com o município de Niterói. As estações dos modos elétricos podem ser observadas na Figura 1.

Além disso, a população que se desloca pelo Rio de Janeiro pode usufruir de dois benefícios tarifários: o Bilhete Único Carioca, de abrangência municipal, e o Bilhete Único Intermunicipal, benefício social para quem possui renda inferior ou igual a R\$3.205,20 e utiliza pelo menos um modo intermunicipal. Estes podem ser habilitados e utilizados nos modos de transporte público disponíveis através do cartão RioCard.

Por isso, para esta pesquisa foram utilizados os dados de bilhetagem eletrônica georreferenciada dos cartões RioCard (expresso e vale transporte) que transacionaram no dia 24 de maio de 2023 no sistema municipal e intermunicipal da cidade do Rio de Janeiro, com o objetivo de entender a movimentação das pessoas que tiveram como origem e/ou destino a capital fluminense. Foram identificados 1.185.619 cartões que serviram para as análises apresentadas neste item.

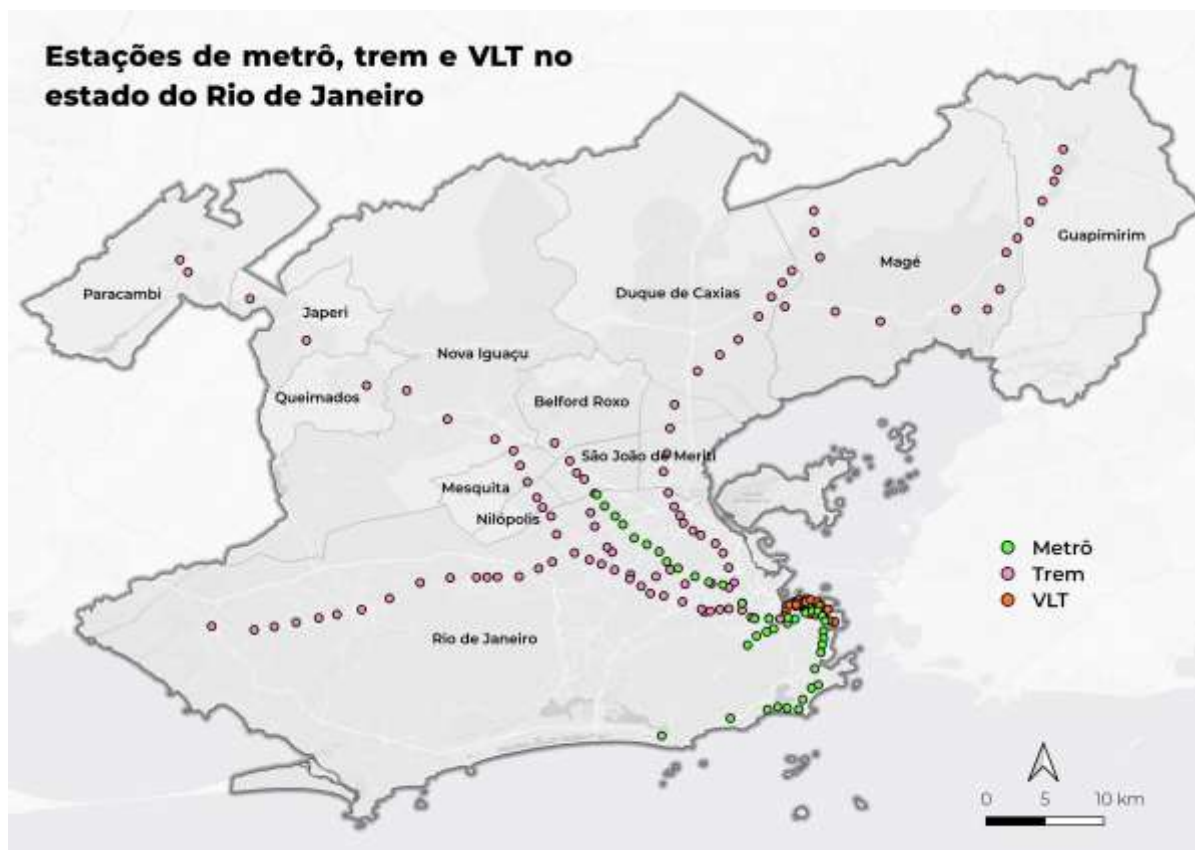


Figura 1: Mapa com as estações de modos elétricos do Rio de Janeiro  
 Fonte: Elaboração própria, 2023.

A primeira parte da análise consiste em entender quantos deslocamentos são realizados apenas com a utilização de modos elétricos (trem, metrô e VLT), não sendo permitido nenhum trecho feito por modo movido a combustível fóssil (ônibus, BRT, barcas e vans). Para esses casos, o contexto de escassez de combustível fóssil não representaria ameaça direta para a manutenção do padrão de deslocamento. Dos 1.185.619 cartões validados, 139.350 se encaixaram nessa categoria (12% do total), sendo esses classificados como viagens persistentes. Os outros 88% se dividem em viagens adaptáveis e transformáveis de acordo com a Figura 2.

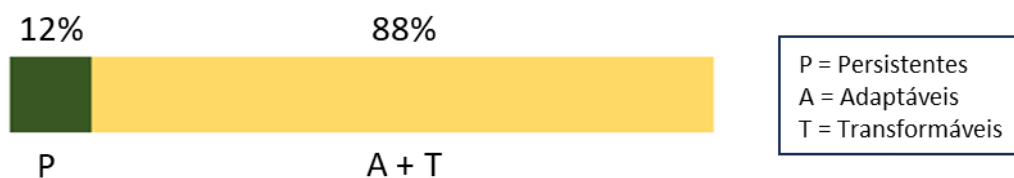


Figura 2: Divisão de viagens persistentes e adaptáveis + transformáveis  
 Fonte: Elaboração própria, 2023.

Em seguida, foram analisados os demais deslocamentos da base de dados. As viagens adaptáveis seriam as que poderiam ser substituídas por caminhada ou que permitissem o acesso a pé aos sistemas de transporte elétricos. Dessa forma, considerando a distância máxima possível de caminhada dos manuais de caminhabilidade do ITDP (2017) como até 1km da residência até o acesso ao sistema de transporte foi considerada uma distância de

até 2km para a soma da distância do ponto de origem até o embarque do sistema elétrico (caminhada inicial) e a distância do ponto de desembarque até o destino (caminhada final) ilustrada na Figura 3. Já as viagens transformáveis teriam distâncias maiores que 2km feitas a pé, tornando a viagem inviável para os parâmetros de infraestrutura de transporte público do cenário atual.

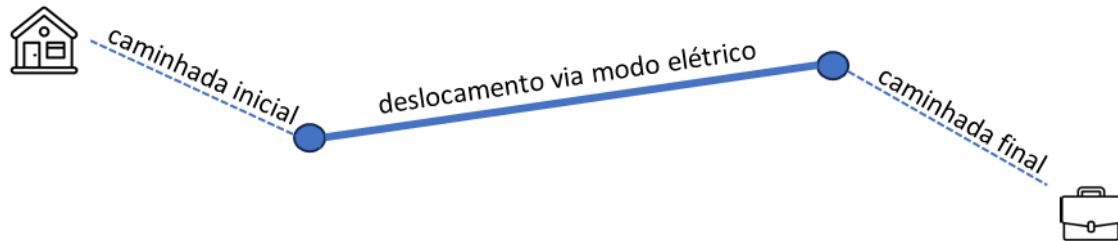


Figura 3: Esquemático dos deslocamentos considerando caminhada + modo elétrico  
Fonte: Elaboração própria, 2023.

Para isso, com o georreferenciamento do embarque de cada trecho do passageiro, foi elaborado um script para aferir as latitudes e longitudes dos pontos de origem e destino de cada passageiro e então calcular as distâncias que seriam percorridas a pé através da ferramenta *Travel Time* associada ao QGIS para a utilização do modo elétrico ou ainda para realizar o deslocamento apenas por caminhada, sendo considerada a menor distância.

Como não há georreferenciamento do desembarque, esse dado foi obtido através da lógica de validação dos passageiros. Vale destacar que os pontos de origem e destino são relativos ao embarque e desembarque por modos movidos a combustível fóssil para que seja possível avaliar a possibilidade de adaptação. Para os cartões com apenas uma transação não é possível verificar o par embarque-desembarque e por isso, esses cartões tiveram que ser excluídos da análise. Para cartões com 2, 3 ou 4 validações e pelo menos uma delas sendo por modo movido a combustível fóssil foi observado a dinâmica de transações levando em consideração a validação seguinte, considerando trechos com integração ou não e assim, compreender o comportamento do passageiro durante o dia e então, concluir o seu ponto de destino. Para esses 3 casos, os arranjos válidos considerados estão na Figura 4.

Para os cartões com 2 transações, no caso de uma integração tarifária, sendo a primeira validação em um modo de transporte movido a combustível fóssil (TCF) e o segundo em um modo de transporte elétrico (TE) pode se aferir o desembarque do TCF como o embarque do TE. Tratando-se de duas transações não integradas de TCF, o ponto de destino é considerado como o embarque da segunda transação.

Para os cartões com 3 transações de TCF, tendo uma integração entre as duas primeiras transações, o destino seria o ponto de embarque do terceiro trecho. Do contrário, com a integração entre a segunda e terceira transação, o destino seria o ponto de embarque da segunda transação.

Para os cartões com 4 transações, foram verificadas as integrações entre TCF e TE. Para 4 transações com integração entre TCF, o ponto de destino seria o ponto de embarque do terceiro trecho. Nos casos de integração entre TCF e TE, começando com TCF o destino foi o ponto de integração com o TE. Começando com um TE, o destino foi a segunda transação do TCF.

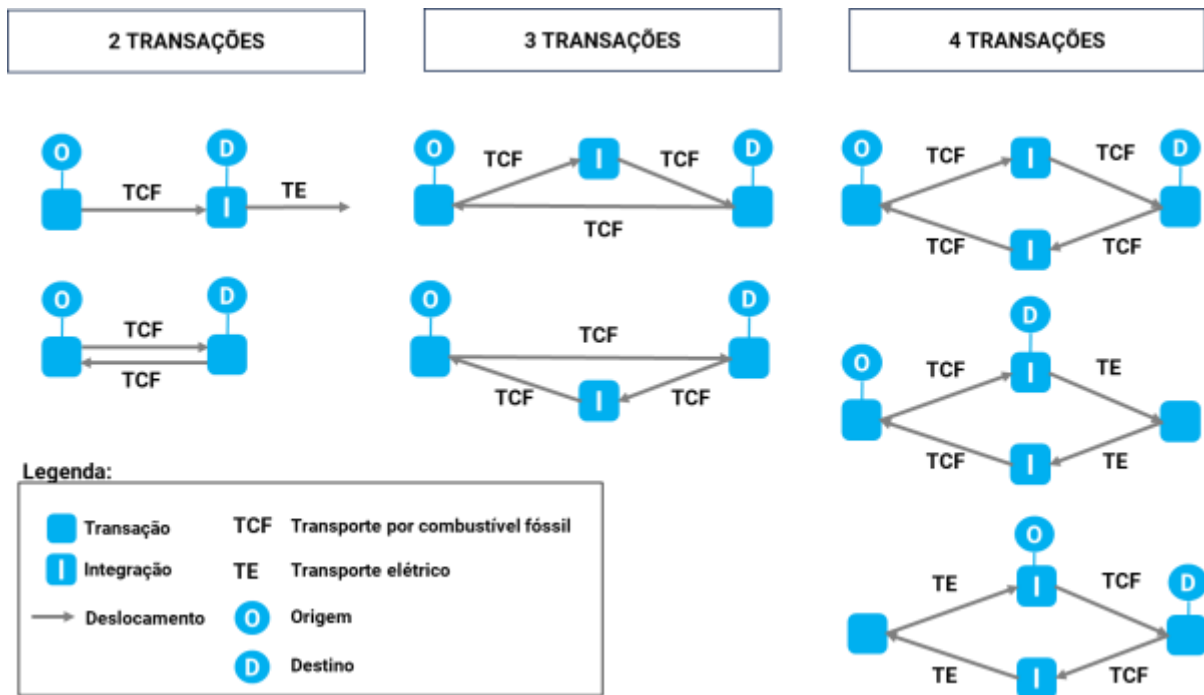


Figura 4: Arranjos de transações consideradas na análise  
 Fonte: Elaboração própria, 2023.

Os cartões com 5 ou mais transações não foram considerados pela dificuldade em se aferir corretamente as origens e destinos pelo comportamento de múltiplos destinos. Sendo assim, seria necessário mais que a investigação dos dados de bilhetagem. Dessa forma, a análise abrangeu os arranjos explicados na Figura 4. Mesmo assim, os cartões com 5 ou mais transações não representavam uma parcela considerável da amostra, não prejudicando a análise.

Dentre os arranjos de transações que possuíam georreferenciamento e pelo menos um trecho feito por TCF, foram verificados 146.152 cartões que foram utilizados para o cálculo das distâncias percorridas por caminhada. Para essa análise será considerado que os cartões excluídos aqui teriam o mesmo comportamento e por isso as porcentagens encontradas serão relacionadas ao todo. Dessa forma, foi obtida uma mediana das distâncias dos cartões de 3,0km (primeiro quartil = 1,566 e terceiro quartil de 9,467). Com isso pode se perceber que a maioria das distâncias estão no intervalo de 0 a 9,467. A Figura 5 mostra o histograma de distribuição dessas distâncias.

Para a amostra de pelo menos um trecho feito por TCF, 33% dos deslocamentos precisariam de até 2km de caminhada para serem realizados com o auxílio do sistema elétrico ou apenas pelo modo a pé, sendo essas então as viagens consideradas adaptáveis. Para valores maiores, limitações físicas de cada pessoa como levantadas no material do ITDP (2017) atuam de forma a impedir a manutenção desses deslocamentos e mesmo que parte dessas pessoas conseguisse realizá-los estaria fora do recomendado pelo estudo prévio. Dessa forma, a parcela de viagens adaptáveis se manteve em até 2km. 25,2% das viagens necessitariam de uma caminhada de 2 a 4km, 17,7% de 4 a 10 e acima de 10, o equivalente a 24,1% das viagens.

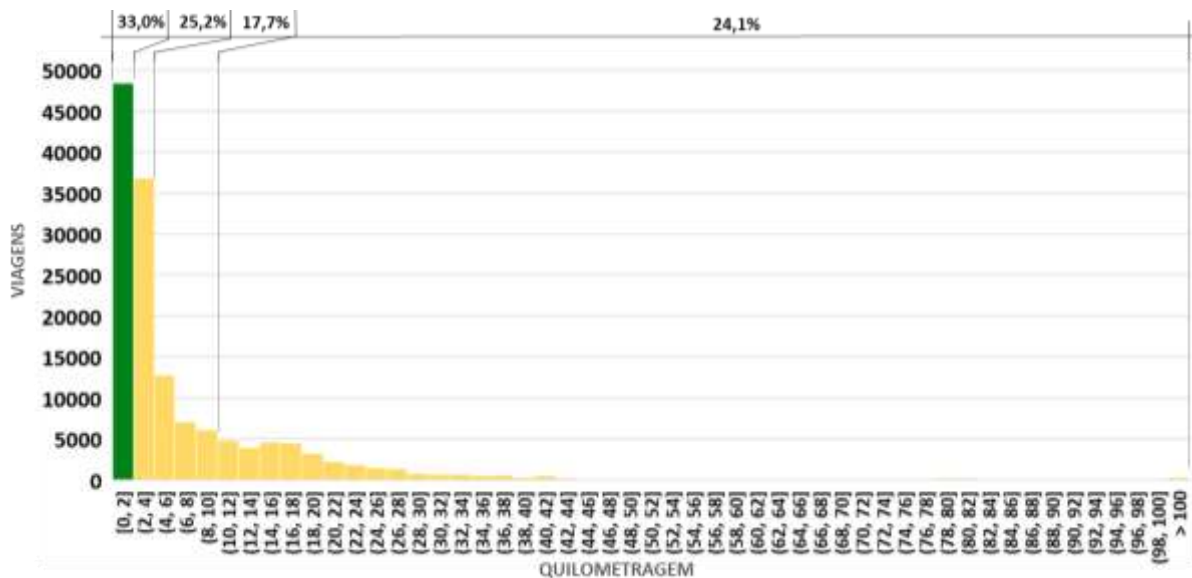


Figura 5: Histograma de distribuição das distâncias de caminhada.  
 Fonte: Elaboração própria, 2023.

Ao olhar apenas para os cartões de distância caminhada de até 2km, pode-se perceber a distribuição em intervalos de 250m. Assim, é possível observar que existe uma maior concentração de viagens com mais de 1km. A distribuição a cada 250m pode ser observada na Figura 6 com a porcentagem em relação ao somatório de 33% do intervalo de [0,2] da figura anterior.

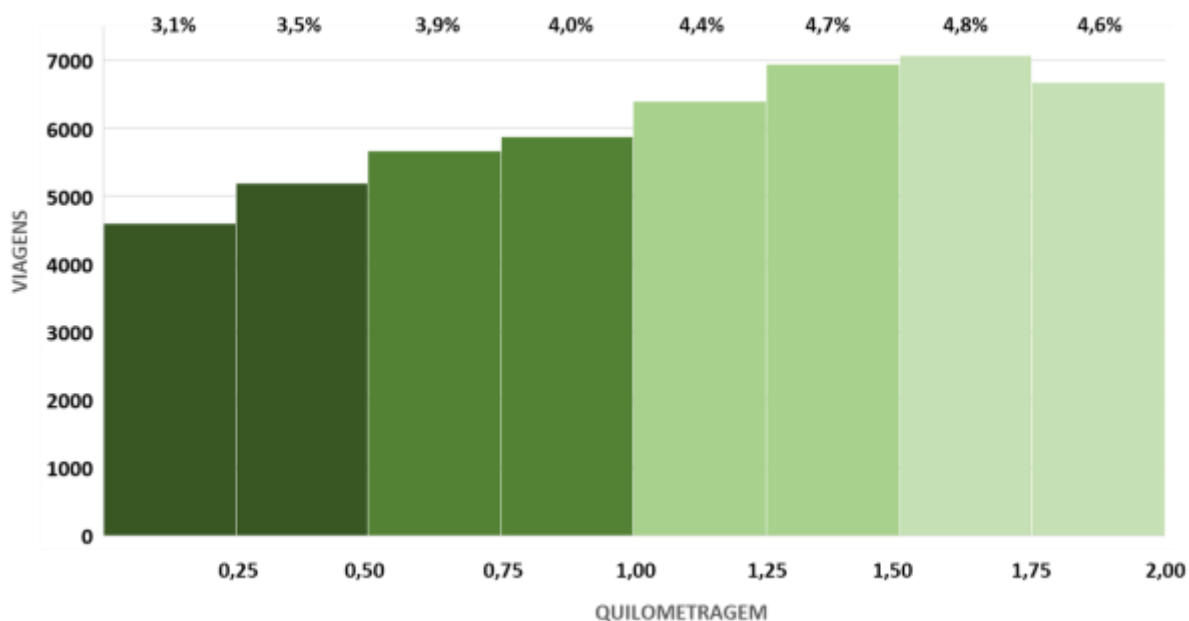


Figura 6: Distribuição das distâncias de caminhada de até 2km.  
 Fonte: Elaboração própria, 2023.

Com isso, pode-se concluir que das viagens com pelo menos um trecho em TCF, 33% poderiam ser realizadas no contexto de escassez de combustível fóssil com a implementação de uma caminhada de até 2km, ou seja, 29% do total. Assim, tem-se uma distribuição de 12% de viagens persistentes, 29% de adaptáveis (41% resilientes) e 59% de transformáveis (não resilientes) de acordo com a Figura 7.

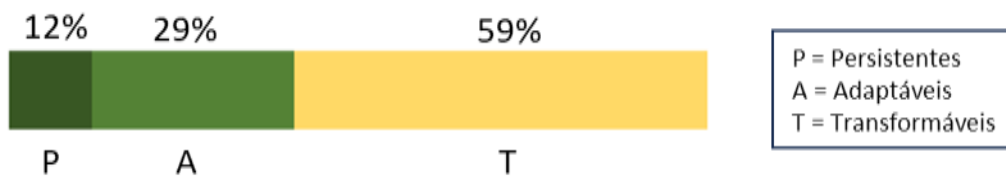


Figura 7: Divisão de viagens persistentes, adaptáveis e transformáveis  
 Fonte: Elaboração própria, 2023.

Considerando 41% das viagens como resilientes, podemos indicar o nível de resiliência da cidade do Rio de Janeiro frente a ameaça de escassez de combustíveis fósseis como média, como categorizado por Martins, Silva e Pinto (2019) que classifica como: muito baixo (0% a 20,0%), baixo (20,1% a 40,0%), médio (40,1% a 60%), alto (60,1% e 80,0%) e muito alto (80,1% a 100%).

## CONCLUSÕES

A metodologia serviu para quantificar a dependência do transporte público do Rio de Janeiro considerando os deslocamentos internos e externos envolvendo a cidade. Dessa forma pôde-se entender o impacto da ameaça da escassez de combustíveis fósseis nos deslocamentos da cidade e partir desse diagnóstico ter suprimento para a elaboração de um plano de melhoria para diminuir a quantidade de viagens consideradas não resilientes ou transformáveis (59%).

Como pontos sensíveis dessa metodologia de análise, pode-se destacar que os pontos georreferenciados estão relacionados aos locais de embarque de transporte público (ponto de ônibus, por exemplo) e não necessariamente os pontos de origem (casa) e destino das pessoas (trabalho, escola etc.) Sendo assim, essas distâncias podem variar um pouco. Além disso, pode haver a influência de algum deslocamento não realizado através do cartão riocard. Entretanto, considerando a quantidade de dados processada, essas inconsistências não prejudicam a análise final e o resultado continua mais preciso e abrangente que informações coletadas através de um possível questionário.

Ao considerar o contexto atual de transição energética, este trabalho mostra como o Rio de Janeiro ainda é muito dependente de combustíveis fósseis devido ao seu sistema elétrico ser limitado a uma pequena parcela da população, sendo o ônibus o modo mais utilizado para os deslocamentos da região. Dito isso, para além dos investimentos na ampliação dos modos elétricos já existentes, deve haver uma preocupação com a mudança da malha energética do sistema de ônibus visto que o sistema de Trem, Metrô e VLT não possuem a flexibilidade e capilaridade que o ônibus possui.

Entretanto, não se pode desprezar as dificuldades econômico-financeiras que o setor de transporte por ônibus já vivencia, sendo necessário investimentos públicos para vencer esse momento de crise e em conjunto, pensar num modelo de transição da malha energética que seja viável e que não cause o colapso do sistema.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Azolin, L. G.; Silva, A. N. R. *Avaliação preliminar da resiliência na mobilidade urbana decorrente do transporte público*. Revista Transportes, v. 28, n. 4, p. 76-88, 2020.

Ahem, J. *From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world*. Landscape and Urban Planning, v. 100, n. 4, p. 341–343, 2011.

Associação Nacional Das Empresas De Transportes Urbanos (NTU). Os grandes números da mobilidade urbana: cenário nacional. 2023. Disponível em: <<https://www.ntu.org.br/novo/AreasInternas.aspx?idArea=7&idSegundoNivel=107>>. Acesso em 05 de março de 2023.

BP. *BP Energy Outlook 2018*. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-eco-nomics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>>. 2018.

Cervero, R., Sarmiento, O. L., Jacoby, E., Gomez, L. F., & Neiman, A. *Influences of built environments on walking and cycling: lessons from Bogotá*. International Journal of Sustainable Transportation, 3(4), pp. 203-226. doi:10.1080/15568310802178314. 2009.

Davic, R. D.; Welsh, H. H. Jr. On the ecological roles of salamanders. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic, 35, 405–434, 2004.

Fernandes, V. A.; R. Rothfuss; V. Hochschild; W. R. da Silva e M. P. de S. Santos. *Resiliência da Mobilidade Urbana: Uma Proposta Conceitual e de Sistematização*. Transportes, v. 25, n. 4, p. 147-160, 2017.

Fernandes, V. A.; Rothfuss, R.; Hochschild, V.; Silva, M. A. V. Da; Silva, W. R. Da; Steiniger, S.; Santos, T. F. Dos. *Urban resilience in the face of fossil fuel dependency: the case of Rio de Janeiro's urban mobility*. Urbe: Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 11, p. 1–19, 2019.

Folke, C.; S. R. Carpenter; B. Walker; M. Scheffer; T. Chapin E J. Rockström. *Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability*. Ecology and Society, v. 15, n. 4, 2010.

Gaitanidou, E.; Tsami, M.; Bekiaris, E. *A review of resilience management application tools in the transport sector*. Transportation Research Procedia, v. 24, p. 235–240, 2017.

Holling, C. S. *Resilience and Stability of Ecological Systems*. Annual Review of Ecology and Systematics, v. 4, p. 1–23, 1973.

Instituto de Políticas de Transporte e Desenvolvimento (ITDP). Padrão de qualidade DOTS. 3ª edição. 2017.

Krumdieck, S.; S. Page e A. Dantas. *Urban Form and Long-term Fuel Supply Decline: A Method to Investigate the Peak Oil Risks to Essential Activities*. Transportation Research Part A: Policy and Practice, v. 44, n. 5, p. 306-322. DOI: 10.1016/j.tra.2010.02.002. 2010.

Martins, M. C.; Silva, A. N. R.; Pinto, N. *An indicator-based methodology for assessing resilience in urban Mobility*. Transportation Research Part D: Transport and Environment, v.77, p. 352-363, 2019.

Walker, B.; C. S. Holling; S. R. Carpenter e A. Kinzig. *Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems*. Ecology and Society, v. 9, n. 2. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>>. 2004.