

## AMPLIANDO A ABRANGÊNCIA DE UMA ESTRATÉGIA DE AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA NA MOBILIDADE URBANA PARA OUTROS MODOS E LOCAIS

**Luiza Gagno Azolin**

**Antônio Néelson Rodrigues da Silva**

Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

**Nuno Pinto**

The University of Manchester

School of Environment, Education and Development

### RESUMO

Esta pesquisa tem como objetivos inserir o transporte público em uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana, diante de uma hipotética crise de combustível em que o transporte privado motorizado não pudesse ser utilizado, e realizar um estudo de caso em uma cidade no Reino Unido. A partir de dados de uma Pesquisa Origem e Destino, as viagens necessárias e essenciais podem ser classificadas em resilientes (persistentes, excepcionais ou adaptáveis) e vulneráveis (transformáveis). Analisando diferentes cenários com Distâncias Máximas Possíveis (DMP) de serem percorridas por modos ativos e com variadas condições de funcionamento do transporte público, é determinado o nível de resiliência na mobilidade urbana. Assim, a partir da avaliação da influência da inserção do transporte público em diferentes circunstâncias, é possível identificar as rotas que geram melhoria na resiliência quando colocadas em operação, além de realizar uma comparação com estudos equivalentes aplicados a cidades brasileiras.

### 1. INTRODUÇÃO

O predomínio do uso do petróleo no setor dos transportes (BP, 2018), a previsão de que sua produção chegará a um limite máximo (Krumdieck *et al.*, 2010) e a ocorrência de crises, como a paralisação no transporte de produtos em geral e de combustível enfrentada pelos brasileiros em 2018 (Da Silva *et al.*, 2019), evidenciam a necessidade de se identificar as vulnerabilidades do setor de transportes e, então, buscar maneiras de reduzir as consequências das perturbações (Berdica, 2002).

Um sistema que, diante de uma interrupção, é capaz de resistir aos impactos (Jin *et al.*, 2014), se adaptar às novas condições (Gaitanidou *et al.*, 2017) ou ainda se transformar (Mehmood, 2016) para se recuperar e se manter em bom desempenho, é considerado resiliente. No que se refere às análises dos sistemas de transporte e à aplicação da resiliência inter-relacionando diferentes modos de transporte, a literatura existente ainda é escassa (Leobons *et al.*, 2019).

Assim, os objetivos deste trabalho são inserir o transporte público em uma estratégia para avaliação da resiliência na mobilidade urbana, diante da situação hipotética de oferta restrita de combustível, e realizar um estudo de caso em um centro urbano do Reino Unido com economia fortemente industrializada, o que exige um sistema de mobilidade robusto e resiliente. Além do interesse nos resultados específicos, tal análise possibilitará uma comparação com cidades brasileiras já estudadas.

### 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Holling (1973) introduziu o uso do termo “resiliência” na análise de sistemas ecológicos como a capacidade de um sistema resistir a possíveis distúrbios e persistir em funcionamento. Para Walker *et al.* (2004), um sistema resiliente apresenta adaptabilidade, que assegura estabilidade através do ajuste às mudanças impostas (Folke *et al.*, 2010), e transformabilidade, situação em que novos domínios de estabilidade são formados (Fernandes *et al.*, 2017).

Os estudos que utilizam a resiliência aplicada aos sistemas de transporte consideram como eventos causadores da interrupção: desastres naturais (Chan e Schofer, 2016), desastres de origem humana (Cox *et al.*, 2011), crises econômicas ou energéticas (Fernandes *et al.*, 2017; Martins *et al.*, 2019), interrupções de redes (sem especificar o episódio causador) (Jin *et al.*, 2014), entre outros. Nas análises, algumas pesquisas avaliam um modo de transporte específico (Chan e Schofer, 2016), outras consideram a integração entre diferentes modos, avaliando situações em que a demanda não atendida de um possa ser satisfeita por outro (Cox *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2014) ou sob circunstâncias em que há a necessidade de se adequar o modo de transporte (Martins e Rodrigues da Silva, 2018; Martins *et al.*, 2019).

Krumdieck *et al.* (2010) analisam os efeitos de uma possível crise energética nos sistemas de mobilidade urbana. Os autores propõem que as viagens sejam classificadas em *opcionais*, *necessárias* e *essenciais*. Diante de uma crise, caso fossem eliminadas, as duas últimas categorias causariam maiores impactos. Neste contexto, Fernandes *et al.* (2017) propõem um conceito para resiliência da mobilidade urbana onde a mobilidade é analisada em três aspectos: a *persistência*, quando o padrão de mobilidade é mantido; a *adaptabilidade*, quando o padrão precisa ser modificado para manutenção da funcionalidade do sistema; e a *transformabilidade*, situação em que há a necessidade de se realizar alterações no sistema que afetem a população socialmente e economicamente.

Uma abordagem quantitativa para avaliar a resiliência na mobilidade urbana diante de uma situação de crise energética é apresentada por Martins e Rodrigues da Silva (2018). Ao compor diferentes cenários com Distâncias Máximas Possíveis (DMP) de serem percorridas a pé e por bicicleta, os autores classificam as viagens *necessárias* e *essenciais* em quatro categorias: *persistentes*, *adaptáveis*, *transformáveis* e *excepcionais*. Entretanto, a estratégia proposta só considera a possibilidade de escassez total de combustível, admitindo apenas a utilização dos modos ativos, além de não avaliar transportes públicos e privados motorizados de forma distinta. Martins *et al.* (2019) aplicaram tal estratégia na cidade de São Carlos-SP e na Região Metropolitana de Maceió-AL, o que possibilitou identificar a relação entre os níveis de resiliência e a renda dos indivíduos. Porém, observa-se que os estudos de caso realizados adotando essa metodologia ainda estão restritos às regiões brasileiras.

### 3. METODOLOGIA

Primeiramente, a região a ser avaliada é definida com a condição de que se tenham disponíveis os dados da Pesquisa Origem e Destino (OD) e dos itinerários das linhas de transporte público da mesma. Além disso, é interessante selecionar um local com características razoavelmente semelhantes a pelo menos uma das cidades brasileiras já estudadas, possibilitando a comparação dos resultados.

Para aplicar a estratégia proposta, as distâncias em rede entre os centroides das zonas de tráfego são obtidas com um Sistema de Informação Geográfica (SIG), assim como no método proposto por Martins *et al.* (2019). Então, diferentes cenários para os modos ativos (CA) são compostos, para os quais devem ser determinadas as Distâncias Máximas Possíveis (DMP) de serem percorridas a pé e por bicicleta, com a única restrição de que a distância máxima para o modo a pé deve ser sempre menor do que para o modo bicicleta. A definição das DMP é necessária porque se considera que características locais e dos indivíduos podem influenciar nos valores limites admitidos para viagens realizadas por estes modos (Martins *et al.*, 2019). Então, cada par de DMP a pé e para bicicleta determinado compõe um CA a ser avaliado.

As zonas de tráfego percorridas por cada linha de transporte público em operação na região estudada, nos percursos de ida e volta, são identificadas com a utilização de um SIG. Então, a Matriz de Trechos Atendidos (MTA) é composta. A MTA apresenta se um trecho é ou não atendido por uma determinada linha de transporte público a partir dos números 1 e 0, respectivamente. Considerando uma situação em que apenas uma parcela do sistema de transporte possa ser colocada em operação, supõe-se que deva existir uma ordem de prioridade entre as linhas. Dessa forma, é proposto o cálculo da demanda potencial (DP), para cada linha de transporte público, que é determinada pelo somatório do número de viagens motorizadas referentes aos trechos atendidos pela linha analisada. Quanto maior a DP, maior a prioridade da linha. Os cenários de funcionamento de transporte público (CP) são construídos adicionando as linhas, uma por vez, seguindo a ordem de prioridade estabelecida. A cada CP é associada uma MTA que corresponde à junção das matrizes das linhas em operação no respectivo cenário.

A partir de todas as combinações possíveis entre os cenários de modos ativos (CA) e de funcionamento de transporte público (CP) são construídos os cenários resultantes (C). Para cada C, as viagens *necessárias* e *essenciais* são identificadas segundo as categorias *persistentes*, *excepcionais*, *adaptáveis* ou *transformáveis*, sendo as três primeiras consideradas como de viagens resilientes e a última como de viagens vulneráveis. São classificadas como *persistentes* as viagens realizadas a pé ou por bicicleta que possuem distâncias dentro dos limites das respectivas DMP determinadas para o cenário e viagens realizadas por transporte público com distâncias acima da DMP para bicicleta, com trechos origem-destino atendidos de acordo com o respectivo CP. São consideradas *excepcionais* as viagens realizadas por modos ativos com distâncias acima das DMP. São identificadas como *adaptáveis*: viagens realizadas por modos motorizados com distâncias dentro dos limites das DMP e viagens realizadas por modos privados motorizados, com distâncias acima da DMP para bicicleta e com trechos atendidos pelo transporte público em operação. Viagens que não possam ser realizadas nem por modos ativos de transporte, nem através do transporte público, são classificadas como *transformáveis*.

Então, a resiliência da mobilidade urbana é obtida a partir da proporção de viagens resilientes em relação ao total de viagens avaliadas. A partir deste estudo será possível analisar a variação da resiliência na mobilidade em diferentes circunstâncias e a influência do transporte público, considerando-o em variados níveis de funcionamento. Assim, espera-se que a estratégia proposta possa ser utilizada como uma ferramenta na gestão dos sistemas de transporte para tornar a mobilidade mais resiliente em uma possível crise.

#### 4. ESTUDO DE CASO

Para a realização do estudo de caso, a princípio foi escolhida a cidade de Manchester, situada no noroeste da Inglaterra. A Grande Manchester é composta por oito distritos e duas cidades, dentre elas Manchester e Salford. O sistema de transporte público oferecido é composto por ônibus, trem e VLT (Veículo Leve sobre Trilhos), tal como Maceió. Segundo estatísticas divulgadas pelo TfGM (2015), a região conta com mais de 600 rotas de ônibus oferecidas aos passageiros que realizam mais de 225 milhões de viagens anuais por este modo. A rede do serviço de trens cobre cerca de 150 milhas onde são realizadas em torno de 25 milhões de viagens a cada ano, com aproximadamente 21000 passageiros no pico da manhã. Em 2014 foram registradas 30 milhões de viagens nas oito linhas de VLT. O contato com os órgãos responsáveis para obtenção dos dados necessários, referentes à cidade de Manchester, já foi iniciado. Além da semelhança com Maceió, pela disponibilidade de mais de um modo de transporte público, Manchester e São Carlos possuem forte produção industrial baseada no

desenvolvimento tecnológico, apesar de apresentarem estruturas urbanas com diferentes proporções. Isto justificaria outra possível comparação dos resultados.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Processo 130795/2018-6), à FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo 2017/50309-9), à CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (Código de Financiamento 001) e à Universidade de São Paulo, pelo apoio para a realização da pesquisa.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Berdica, K. (2002) An Introduction to Road Vulnerability: What Has Been Done, Is Done and Should Be Done. *Transport Policy*, v. 9, n. 2, p. 117-127.
- BP (2018) BP Energy Outlook 2018. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/energy-outlook/bp-energy-outlook-2018.pdf>>. Acesso em: 28 nov. 2018.
- Chan, R. e J. L. Schofer (2016) Measuring Transportation System Resilience: Response of Rail Transit to Weather Disruptions. *Natural Hazards Review*, v. 17, n. 1.
- Cox, A.; F. Prager e A. Rose (2011) Transportation Security and the Role of Resilience: A Foundation for Operational Metrics. *Transport Policy*, v. 18, n. 2, p. 307-317.
- Da Silva, B. L.; T.A. Sarmiento; V. E. da S. Santos e F. B. R. Tavares (2019) Crise Petrolífera e o Descaso Ferroviário: Da Dependência ao Colapso. *Revista da Universidade Vale do Rio Verde*, v. 17, n. 1, p. 1-10.
- Fernandes, V. A.; R. Rothfuss; V. Hochschild; W. R. da Silva e M. P. de S. Santos (2017) Resiliência da Mobilidade Urbana: Uma Proposta Conceitual e de Sistematização. *Transportes*, v. 25, n. 4, p. 147-160.
- Folke, C.; S. R. Carpenter; B. Walker; M. Scheffer; T. Chapin e J. Rockström (2010) Resilience Thinking: Integrating Resilience, Adaptability and Transformability. *Ecology and Society*, v. 15, n. 4.
- Gaitanidou, E.; M. Tsamib e E. Bekiaris (2017) A Review of Resilience Management Application Tools in the Transport Sector. *Transportation Research Procedia*, v. 24, p. 235-240.
- Holling, C. S. (1973) Resilience and Stability of Ecological Systems. *Annual Review of Ecology and Systematics*, v. 4, p. 1-23.
- Jin, J. G.; L. C. Tang; L. Sun e D. H. Lee (2014) Enhancing Metro Network Resilience Via Localized Integration with Bus Services. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 63, p. 17-30.
- Krumdieck, S.; S. Page e A. Dantas (2010) 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.
- Leobons, C. M.; V. B. G. Campos e R. A. de M. Bandeira (2019) Assessing Urban Transportation Systems Resilience: A Proposal of Indicators. *Transportation Research Procedia*, v. 37, p. 322-329.
- Martins, M. C. M. e A. N. Rodrigues da Silva (2018) Uma Estratégia para Avaliação da Resiliência na Mobilidade Urbana. *Transportes*, v. 26, n. 3, p. 75-86.
- Martins, M. C. M.; A. N. Rodrigues da Silva e N. Pinto (2019) An Indicator-based Methodology for Assessing Resilience in Urban Mobility. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, disponível online em: <<https://doi.org/10.1016/j.trd.2019.01.004>>. Acesso em: 27 fev. 2019.
- Mehmood, A. (2016) Of Resilient Places: Planning for Urban Resilience. *European Planning Studies*, v. 24, n. 2, p. 407-419.
- TfGM (2015) Transport for Greater Manchester. Disponível em: <[https://web.archive.org/web/20150704034705/http://www.tfgm.com/Corporate/Media\\_Centre/Pages/facts\\_figures.aspx](https://web.archive.org/web/20150704034705/http://www.tfgm.com/Corporate/Media_Centre/Pages/facts_figures.aspx)>. Acesso em: 05 jun. 2019.
- Walker, B.; C. S. Holling; S. R. Carpenter e A. Kinzig (2004) Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems. *Ecology and Society*, v. 9, n. 2.

---

Luiza Gagno Azolin (luiza.azolin@usp.br)

Antônio Néelson Rodrigues da Silva (anelson@sc.usp.br)

Departamento de Engenharia de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo  
Av. Trabalhador São-carlense, 400 - São Carlos, SP, Brasil

Nuno Pinto (nuno.pinto@manchester.ac.uk)

Oxford Rd, Manchester M13 9PL, United Kingdom