

MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DA RESILIÊNCIA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE PÚBLICO COLETIVO URBANO POR ÔNIBUS

Pedro Henrique da Silva
Pastor Willy Gonzales Taco
Programa de Pós-Graduação em Transportes
Universidade de Brasília

RESUMO

O transporte é uma das principais infraestruturas críticas que diante de uma falha pode comprometer o bem estar da população. A aplicação de métodos que visem avaliar a resiliência constitui uma ferramenta importante para a melhoria do nível de serviço dos sistemas. Estudos que identifiquem atributos de resiliência para a operação por linhas de ônibus urbanos são incipientes. O objetivo do estudo é desenvolver um método para avaliar a resiliência dos sistemas de transporte público coletivo urbano por ônibus, na ocorrência de eventos disruptivos. As principais etapas metodológicas são revisão da literatura, desenvolvimento, aplicação do método e análise dos resultados.

1. INTRODUÇÃO

A resiliência é um campo do conhecimento estudado em diversas áreas, e para os transportes é fundamental compreender seus conceitos e colocá-los em prática para melhoria do desempenho e nível dos serviços prestados. O sistema de transportes urbano por ônibus está suscetível a eventos de disrupção, devido à sua complexidade e interdependência (Cashili *et. al.*, 2015), que podem comprometer a capacidade operacional, como por exemplo, as paralizações por parte dos trabalhadores, além de outras ações antrópicas ou causas naturais. Além disso, em uma situação de perturbação ou disrupção da rede, as pessoas tendem a mudar de meio de transporte, principalmente para o uso do automóvel, gerando externalidades negativas (Nguyen-Phuoc *et. al.*, 2018). O conceito de resiliência e sua aplicação prática para o transporte pode contribuir para a habilidade do sistema de absorver falhas ou perturbações e diminuir a probabilidade de colapso da operação, como no caso de linhas convencionais de ônibus urbano. A resiliência é definida como a capacidade dos sistemas de transporte de absorver e retornar rapidamente às condições normais após variações, mudanças, perturbações, rupturas e desastres (Hollnagel *et. al.*, 2014; Cashili *et. al.*, 2015; Mattson e Jenelius, 2015).

Os estudos relacionados à resiliência têm atraído à atenção da comunidade acadêmica e houve um aumento significativo no número de publicações na última década (Loo e Leung, 2017), o que demonstra a relevância e a atualidade do tema. Além disso, a ocorrência de eventos disruptivos que tiveram impactos a nível nacional no sistema de transporte reforça a necessidade de aprimoramento das infraestruturas críticas. A abordagem da resiliência aplicada ao sistema de transporte público urbano por ônibus é importante, pois em grande parte das cidades esse sistema se constitui um dos principais meios de transporte utilizados. Ainda assim, uma eventual falha que comprometa a operação por ônibus nas cidades pode contribuir para o aumento dos custos operacionais do sistema e do tempo de viagem dos passageiros. Ademais, o presente estudo tem potencial de apoiar o conhecimento do tema perante grupos de pesquisa e ainda promover a disseminação da produção acadêmica relativa à resiliência.

Portanto, faz-se necessário quantificar a resiliência e determinar quais atributos do sistema devem ser considerados para análise. Adjetey-Bahun *et. al.*, (2016) discutiram a complexa tarefa de mensuração da resiliência do sistema metroviário de Londres com base em

indicadores operacionais, utilizando dados como contagem de passageiros e o tempo total de atraso após uma perturbação. Ainda assim, os estudos que objetivam avaliar a resiliência dos sistemas de transportes são incipientes, principalmente os relacionados à operação por ônibus.

Desta forma, o presente estudo busca responder à seguinte pergunta de pesquisa: Como quantificar a resiliência do transporte público por ônibus com base em indicadores? O objetivo geral da pesquisa é desenvolver um método para avaliar a resiliência dos sistemas de transporte público urbano por ônibus, na ocorrência de eventos disruptivos que possam comprometer o nível de serviço do sistema. Foram definidos os seguintes objetivos específicos, identificar os atributos que caracterizam a resiliência do sistema na visão dos usuários, operadores e gestores do transporte urbano por ônibus e ainda, aplicar o método proposto com o objetivo de validar os atributos identificados no Sistema de Transporte Público Coletivo por Ônibus de Brasília (DF).

O presente relatório de dissertação está estruturado em uma breve revisão bibliográfica a respeito de medidas de resiliência de sistemas de transportes, além da proposta metodológica da dissertação em andamento e as considerações finais.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A população mundial está cada vez mais urbana e dependente de infraestruturas críticas, além disso, a ocorrência de eventos disruptivos de causas naturais e antrópicas podem se intensificar com as mudanças climáticas e as instabilidades econômicas, políticas e sociais, o que reforça a necessidade de estudos que possam avaliar a resiliência da rede. O sistema de transporte é um exemplo de infraestrutura crítica que sua incapacidade ou destruição têm impacto significativo no bem-estar, saúde, segurança dos cidadãos e economia da região, além disso, sua configuração é interdependente e complexa. Desta forma, diferentes abordagens de medição de resiliência estão sendo adotadas para o sistema de transportes.

Em uma revisão sistemática da literatura, Hosseini *et. al.*, (2016), verificaram que os estudos que avaliam a resiliência dos transportes têm abordagem quantitativa e foram classificados em dois grupos, métricas gerais de resiliência (probabilística e determinística) e modelos baseados em estruturas (modelos de otimização, modelos de simulação e modelos de lógica *fuzzy*). As abordagens de métricas gerais de resiliência fornecem um meio quantitativo para avaliar a resiliência comparando o desempenho do sistema antes e depois da interrupção, independentemente da sua estrutura. Em geral, caracteriza-se em determinísticas e probabilísticas, cada uma delas é usada para descrever o comportamento do sistema estático e dinâmico, sem se concentrar nas características específicas do sistema. Uma abordagem baseada em desempenho determinístico não incorpora a incerteza na mensuração (por exemplo, probabilidade de ruptura), enquanto uma abordagem probabilística considera a estocástica associada ao comportamento do sistema. Uma abordagem dinâmica baseada no desempenho explica o comportamento dependente do tempo, já a estática é livre de medidas de resiliência dependentes do tempo. Os modelos estruturais examinam como a estrutura de um sistema afeta sua resiliência, assim sendo, o comportamento do sistema deve ser observado e suas características devem ser modeladas ou simuladas.

Em um estudo da resiliência dos portos de vias navegáveis interiores, Pant *et. al.*, (2014), introduziram medidas estocásticas de resiliência, incluindo o tempo para a restauração total do sistema, que mede o tempo total gasto do momento em que as atividades de recuperação

começam até o momento em que todas as atividades de recuperação são finalizadas; o tempo para resiliência total do serviço do sistema, que mede o tempo total gasto do momento em que a recuperação começa até o momento em que o serviço do sistema é totalmente restaurado; e o tempo para $\alpha \times 100\%$ de resiliência que mensura o tempo total gasto desde o momento em que a recuperação começa até o momento em que $\alpha \times 100\%$ da funcionalidade do sistema é recuperada. A distinção entre estas três medidas é particularmente importante na comparação de estratégias de recuperação do sistema.

Em relação à rede intermodal de transporte de cargas, Chen e Miller-Hooks (2012) argumentaram que o desempenho da rede pós-desastre não depende apenas da capacidade inerente da mesma de absorver mudanças externas, mas também sobre as ações que podem ser tomadas imediatamente após o desastre para restaurar o desempenho do sistema. A medição da resiliência deve levar em consideração o nível de esforço exigido (custo, tempo, recursos) para devolver a rede à funcionalidade normal (ou uma porção fixa da mesma) ou o impacto de um dado nível de esforço (em termos de custo, tempo, recursos) em restaurar a rede ao seu nível original ou fração de funcionalidade. Assim, a resiliência de rede é definida como a fração de demanda esperada pós-desastre, que para uma dada configuração de rede, possa ser satisfeita por custos de recuperação específicos (orçamentários temporais e físicos).

Para o transporte de passageiros, Adjetej-Bahun *et. al.*, (2016) propuseram um modelo baseado em simulação para quantificar a resiliência do sistema metroviário, onde foram integrados todos os subsistemas que compõe o sistema e analisadas suas interdependências, como o de telecomunicações, energia elétrica, transporte e subsistemas de organização.

3. MÉTODO

O presente estudo tem o caráter de pesquisa explicativa quanto à sua finalidade. O tipo de pesquisa proposto para o desenvolvimento do estudo tem como propósito identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, conforme define Gil (2010).

Entre os principais etapas metodológicas da pesquisa estão:

- Fase 1 – Revisão bibliográfica: Será realizada revisão sistemática da literatura pelo método TEMAC (Teoria do Enfoque Meta Analítico), proposto por Mariano e Santos (2017), nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*. Os principais temas investigados são: resiliência de sistemas de transporte, operação do transporte público por ônibus, vulnerabilidade, eficiência e desempenho de redes de transporte. Terá como objetivo obter a base teórica para o desenvolvimento do estudo.
- Fase 2 – Desenvolvimento do método: A fase consistirá nas seguintes etapas para a avaliação da resiliência da operação de ônibus urbano: i) Caracterização e contextualização da área de estudo; ii) Definição das variáveis que representam a resiliência do sistema; iii) Verificação junto aos usuários, operadores e gestores dos ônibus a respeito dos indicadores propostos; iv) Definição dos indicadores de resiliência; v) Coleta de dados; vi) Criação de cenários de interrupção na rede; vii) Avaliação dos impactos nas linhas de ônibus; viii) Análise dos resultados e propostas de medidas mitigadoras;
- Fase 3 – Aplicação do método: Consiste na simulação da operação do sistema em um estudo de caso do transporte urbano coletivo urbano por ônibus do Distrito Federal com diferentes cenários como greves, falhas de infraestrutura, interrupções em vias urbanas, entre outros.

- Fase 4 – Análise dos resultados: Será utilizado o procedimento de inferência *fuzzy* para estabelecer a importância relativa dos indicadores analisados. Com o desenvolvimento do método e sua aplicação, as informações poderão ser utilizadas para o planejamento, operação e gestão do sistema.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do método para a avaliação da resiliência e identificação dos atributos que contribuem para capacidade de recuperação do sistema após eventos disruptivos, poderá ser utilizada como ferramenta para o planejamento das infraestruturas de transporte, com a finalidade de melhoria da confiabilidade e redução dos custos operacionais. Conseqüentemente, o sistema de transporte público urbano resiliente pode promover a atratividade do serviço em comparação com outros meios de transporte, em especial, do transporte individual, e assim encorajar potenciais usuários a utilizarem o ônibus como meio de deslocamento, desta forma, constitui-se como uma medida de fomento à equidade social e melhoria da qualidade de vida da população.

Diferentes abordagens e indicadores para avaliação da resiliência têm sido investigados para diversas infraestruturas de transportes, porém, faz-se necessário analisar tais atributos para cenários e contextos distintos.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento da pesquisa por meio de uma bolsa de mestrado, assim como o apoio do Programa de Pós-Graduação em Transportes da Universidade de Brasília.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adjetej-Bahun, K.; B. Birregah; E. Châtelet e J. Planchet (2016) A model to quantify the resilience of mass railway transportation systems. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 153, n. 1, p. 1-14.
- Caschili, S.; F. R. Medda e A. Reggiani (2015) Guest editorial: Resilience of Networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 81, n. 1, p. 1-3.
- Chen, L. e E. Miller-Hooks (2012) Resilience: An Indicator of Recovery Capability in Intermodal Freight Transport. *Transportation Science*, v. 46, n. 1, p.109-123.
- Gil, A. C. (2010) *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. Editora Atlas, São Paulo, SP.
- Hollnagel, E.; C. P. Nemeth e S. Dekker (2014) *Resilience engineering in practice: Becoming resilient*. Ashgate Publishing Limited, Burlington, Vermont.
- Hosseini, S.; K. Barker e J. E. Ramirez-Marquez (2016) A review of definitions and measures of system resilience. *Reliability Engineering & System Safety*, v. 145, n. 1, p.47-61.
- Loo, B. P. Y. e K. Y. K. Leung (2017) Transport resilience: The Occupy Central Movement in Hong Kong from another perspective. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 106, n. 1, p. 100-115.
- Mariano, A. e M. R. Santos (2017) Revisão da Literatura: Apresentação de uma Abordagem Integradora. *Anais do XXVI Congresso Internacional Aedem*, Reggio di Calabria, v. 1, p. 427-443.
- Mattsson, L. e E. Jenelius (2015) Vulnerability and resilience of transport systems – A discussion of recent research. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, v. 81, n. 1, p.16-34.
- Nguyen-Phuoc, D. Q.; G. Currie.; C. Gruyter e W. Young (2018) How do public transport users adjust their travel behaviour if public transport ceases? A qualitative study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, v. 54, n. 1, p. 1-14.
- Pant, R.; K. Barker; J. E. Ramirez-Marquez e C. M. Rocco (2014) Stochastic measures of resilience and their application to container terminals. *Computers & Industrial Engineering*, v. 70, n. 1, p.183-194.

Pedro Henrique da Silva (engpedrohs@gmail.com)

Pastor Willy Gonzales Taco (pwgtaco@gmail.com)

Programa de Pós-Graduação em Transportes, Universidade de Brasília

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Anexo SG-12, 1º andar – Asa Norte, Brasília, DF, Brasil