



O CONCEITO DE RESILIÊNCIA APLICADO A SISTEMAS DE TRANSPORTES

Camila Maestrelli Leobons
Vânia Barcellos Gouvêa Campos
Renata Albergaria de Melo Bandeira
Programa de Engenharia de Transportes –PGT
Instituto Militar de Engenharia - IME

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar como o conceito de resiliência, já há algum tempo utilizado para caracterizar cidades, pode ser útil para avaliar sistemas de transporte, tendo como foco a mobilidade em áreas urbanas. Entende-se que este tema, surgido inicialmente na área ambiental, pode também ser um instrumento de análise de sistemas de transportes, visando identificar suas fragilidades e como estas devem ser tratadas por meio de medidas estruturais ou operacionais para reduzir o impacto de eventos climáticos ou causados pelo homem na mobilidade urbana. Desta forma, apresenta-se, neste trabalho, como o conceito de resiliência vem sendo considerado no contexto de cidades, mas principalmente na área de transporte. O artigo também apresenta uma proposta de indicadores de resiliência para sistemas de transportes e a forma como esta pode ser calculada.

ABSTRACT

This paper aims to present how the concept of resilience, already used for characterizing cities in terms of sustainability, can also be applied for evaluating transport systems, specially focusing on mobility in urban areas. The concept of resilience, which was initially created in the field of environmental studies, can also be an instrument for assessing transport systems, aiming to identify their weaknesses and how they should be addressed through structural or operational measures in order to reduce the impact of climatic or man-made events on urban mobility. Therefore, this paper presents how the concept of resilience is being considered in the context of cities, but most importantly in the field of transportation. Finally, we propose a set of resilience indicators for transport systems and how the resilience can be calculated.

1 INTRODUÇÃO

O termo ‘resiliente’ tem sua origem do latim *resiliens* ou *resiliens*, que são as formas nominais no particípio presente do verbo *resilire*, cujo significado é “saltar para trás, voltar; ser impelido, relançado; retirar-se, recuar; dobrar-se, encolher-se, diminuir-se; rebentar, romper”. Já na língua inglesa, o termo ‘resiliente’ (*resilient*) teria surgido em 1674 com o conceito de “elástico, com rápida capacidade de recuperação” e só no ano de 1824 a palavra resiliência teria aparecido no dicionário com o mesmo sentido (“elasticidade; capacidade rápida de recuperação”) (Dicionário Houaiss, 2017).

O Dicionário Houaiss (2017) apresenta duas interpretações para a palavra resiliência: (1) uma no sentido físico como a “propriedade que alguns corpos apresentam de retornar à forma original após terem sido submetidos a uma deformação elástica”; (2) e outra no sentido figurado como “capacidade de se recobrar facilmente ou se adaptar à má sorte ou às mudanças”. O Dicionário Michaelis (2017) também destaca essas duas acepções: (1) no sentido físico como “elasticidade que faz com que certos corpos deformados voltem à sua forma original”; (2) e no sentido figurado como sendo a “capacidade de rápida adaptação ou recuperação”.

O termo resiliência aparece associado a diferentes áreas de conhecimento. Dentre essas, estão ciência dos materiais, engenharia, psicologia, ecologia e ciências sociais. O entendimento da resiliência, no sentido físico destacado nos dicionários retrata seu conceito na ciência dos materiais. A resiliência no campo da Engenharia deriva da resiliência da ciência dos materiais e é caracterizada pela capacidade do material em retornar ao seu estado original após deformação do mesmo. Em psicologia, a resiliência expressa a habilidade do indivíduo em



superar adversidades quando submetido a riscos (Colucci, 2012; Ferreira, 2016).

Na área ambiental, o conceito de resiliência foi originalmente introduzido por Holling (1973) para ajudar a compreender a capacidade dos ecossistemas em persistir no estado original quando sujeitos a perturbações. Este conceito foi posteriormente revisto por alguns pesquisadores, como Gunderson (2000), Folke (2006) e Scheffer (2009).

Um estudo realizado em 1995 pela European Environmental Agency (EEA, 1995), considerando o aspecto ecológico da sustentabilidade, apontava a resiliência como um dos cinco princípios urbanos de sustentabilidade: (i) capacidade ambiental: as cidades devem ser projetadas e gerenciadas dentro dos limites impostos pelo seu ambiente natural; (ii) reversibilidade: as intervenções planejadas no ambiente urbano devem ser reversíveis tanto quanto possível de forma a não colocar em risco a capacidade da cidade de se adaptar a novas demandas por mudanças nas atividades econômicas e da população sem prejudicar a capacidade ambiental; (iii) resiliência: uma cidade resiliente é capaz de se recuperar de pressões externas; (iv) eficiência: obter o máximo de benefício econômico por cada unidade de recurso utilizado (eficiência ambiental) e o maior benefício humano em cada atividade econômica (eficiência social); e (v) igualdade: igualar o acesso às atividades e serviços para todos os habitantes, isto é importante para modificar o insustentável modelo de vida devido a desigualdade social.

Também a questão da resiliência vem sendo enfatizada nos estudos sobre ajuda humanitária devido ao aumento do número de desastres naturais ocorridos no mundo. Neste caso, são desenvolvidos estudos que têm como foco o processo de restabelecimento da normalidade econômica e social de regiões atingidas por desastres.

No Brasil, Fernandes *et al.* (2015) desenvolveram, um estudo que relacionava o conceito de resiliência da mobilidade urbana sob a perspectiva energética e sociológica, visando compreender a mobilidade frente a ameaças, como aumento inesperado do preço do combustível ou redução da disponibilidade de recursos energéticos, como petróleo e gás.

Observa-se que, por questões sociais ou econômicas, as cidades têm passado, atualmente, por situações que dificultam o deslocamento em algumas regiões, gerando grandes transtornos para a população, como por exemplo, a ocorrência de passeatas ou grandes eventos esportivos e de entretenimento, além dos problemas de enchentes e deslizamentos em alguns casos. Neste contexto, melhorar a resiliência compreende uma variedade de estratégias e atividades de mitigação, tais como procedimentos para reestabelecimento das rotas de deslocamento, de atuação em emergências e processos de evacuação. O reestabelecimento da normalidade nos deslocamentos após um evento tem também como suporte a gestão e redução dos riscos associados com os nós-chave, links e fluxos nos sistemas.

Diante das diferentes definições, busca-se neste trabalho apresentar o conceito de resiliência associado a cidades e posteriormente à questão de transporte. Assim, na seção 2, são apresentadas as visões de diferentes autores sobre a resiliência aplicada a cidades e, na seção 3, discute-se o conceito de resiliência relacionada com sistemas de transportes. Na seção 4, apresenta-se uma proposta de indicadores e uma formulação para avaliar o nível de resiliência de uma cidade. Finalmente, na seção 5, são apresentadas considerações finais e sugestões de aprimoramento deste trabalho.



2 RESILIÊNCIA RELACIONADA A CIDADES

A preocupação com a resiliência em cidades veio da necessidade de “reagir” aos impactos do crescimento populacional e de lidar com incertezas e desafios de ameaças ao funcionamento normal da cidade. Entretanto, apesar do termo resiliência em cidades ser recente, ao ser introduzido por Godschalk (2003), cujo trabalho focou em desastres, a aplicação de seu propósito já vinha sendo praticada por meio de medidas de adaptação a eventos climáticos. No entanto, mesmo com diversas ações para sua implementação, ainda não existe um consenso em sua definição (Meerow et al., 2016).

Com foco em desastres de grande proporção, como um terremoto, e especificamente, na resposta ao desastre, Comfort (1999) define resiliência como a capacidade de se adaptar os recursos e as competências existentes a novas situações e condições de operação. Assim, o conceito compreende tanto a capacidade de se ajustar a níveis "normais" ou antecipar potenciais níveis de estresse, bem como de se adaptar a choques repentinos e demandas extraordinárias. Neste contexto, o conceito pode ser considerado como abrangendo medidas pré-evento que visem evitar danos e perdas relacionadas, além de definir estratégias de pós-evento para enfrentar e minimizar os impactos de desastres.

Também com foco na área de desastre natural, Bruneau *et al.* (2004) consideram que, em qualquer momento, a performance real ou potencial de qualquer sistema pode ser medida por uma conjunto de multidimensional de medidas de desempenho. Num dado momento, o desempenho de um sistema pode mudar, algumas vezes gradualmente, outras vezes de forma abrupta. Desastres geram mudanças abruptas na performance de um sistema, levando a uma restauração gradual aos níveis normais, dependendo dos recursos empregados. Esta caracterização do desempenho do sistema leva a uma concepção mais ampla de resiliência. A resiliência pode ser entendida como a capacidade do sistema para reduzir as chances de um evento-choque, em absorver o impacto quando o evento acontece (redução abrupta de desempenho) e de se recuperar rapidamente depois de um choque (reestabelecer o desempenho normal). Mais especificamente, para Bruneau et al. (2004), um sistema resiliente é aquele que apresenta: Probabilidade de falha reduzida; redução das consequências, em termos de vidas perdidas, de danos e de condições econômicas e sociais negativas; e redução do tempo de recuperação (restauração de um específico sistema ou conjunto de sistemas para o seu nível "normal" de desempenho).

Ainda no contexto de desastre natural, os investigadores do MCEER-*Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research* (Bruneau *et al.*, 2007; Rose, 2004 b), visando avaliar os atributos e determinantes da resiliência, propuseram o sistema R4 (*Robustness, Redundancy, Resourcefulness, Rapidity*), que se trata de um conjunto de características que compõe as propriedades da resiliência:

- Robustez: a potência, ou a capacidade de elementos, sistemas e outras unidades de análise em suportar um determinado nível de estresse ou demanda sem sofrer degradação ou perda da função;
- Redundância: existência de elementos, sistemas ou outras unidades de análise substitutos, isto é, capaz de satisfazer os requisitos funcionais em caso de ruptura, degradação ou perda de funcionalidade;
- Restauração/ Recursos: a capacidade de diagnosticar e priorizar os problemas e iniciar soluções, identificando e mobilizando recursos materiais, monetários, de informação e



tecnologia e de recursos humanos;

- Rapidez: capacidade de atender às prioridades e atingir os objetivos em tempo hábil a fim de conter as perdas e evitar uma interrupção prolongada.

Merrow *et al.* (2016) realizaram uma revisão sistemática da literatura sobre o conceito de resiliência em cidades partindo de 1973, ano em que Holling apresentou a “resiliência moderna”, até 2013. Os autores buscaram no banco de dados da Scopus e da Web of Science pelos termos “urban resilience” (resiliência urbana) e “resilient cities” (cidades resilientes) no título, resumo ou palavras-chave, encontrando 172 publicações, que foram analisadas quanto à presença de uma definição original de resiliência urbana. A busca resultou em 22 diferentes definições e, ao mesmo tempo, foram acrescentadas mais 3 definições a partir da revisão dos trabalhos levantados.

A revisão dos trabalhos encontrados por Meerow *et al.* (2016) identificou seis “tensões conceituais” essenciais para a definição da resiliência urbana. Para Meerow *et al.* (2016), tensões conceituais são as concepções em que as publicações levantadas se mostraram contraditórias quanto a seu posicionamento. São elas: (1) definição de urbano, (2) equilíbrio vs. não-equilíbrio, (3) resiliência como um conceito positivo vs. neutro (ou negativo), (4) caminhos para resiliência (persistência, transição ou transformação), (5) adaptação específica vs. adaptabilidade geral, e (6) prazo de ação.

Como nenhuma das definições levantadas abordou todas essas tensões, Meerow *et al.* (2016) propuseram uma nova definição flexível o suficiente para ser empregada por diversas disciplinas e atores (*stakeholders*):

“Resiliência urbana é a capacidade de um sistema urbano e de todas as suas redes socioecológicas e sociotécnicas constituintes ao longo do tempo e do espaço: (1) de manter ou retornar rapidamente as funções desejadas frente a perturbações, (2) de se adaptar à mudança, e (3) de transformar rapidamente sistemas que limitam a capacidade adaptativa atual ou futura.”

Dessa forma, Meerow *et al.* (2016) descrevem os sistemas urbanos como sistemas complexos formados de elementos ecológicos, sociais e técnicos e constituídos por 4 subsistemas interconectados: redes de governança, fluxos de materiais e energia em rede, infraestrutura e forma, e dinâmicas socioeconômicas. As redes de governança compreendem os diversos tomadores de decisão. Os fluxos abrangem todos os infinitos materiais produzidos ou consumidos, como água, energia, comida, bens de consumo e resíduos. A infraestrutura e forma se referem a tudo o que foi construído, incluindo as redes de transporte. Por fim, a saúde pública, o capital monetário, a educação, a demografia, a mobilidade, e a equidade e justiça são as dinâmicas socioeconômicas que vão moldar os outros subsistemas (Meerow *et al.*, 2016).

Na questão do equilíbrio, o posicionamento de Meerow *et al.* (2016) segue a grande parte dos acadêmicos assumindo uma ideia de não-equilíbrio ou saltar para frente (*to bounce forward*). Esse pensamento mostra que o sistema só precisaria manter suas funções desejáveis, sem necessariamente retornar ao seu estado anterior, o que caracteriza a resiliência de sistemas ecológicos e que se opõe à resiliência da engenharia que admite apenas um único estado de



equilíbrio (Meerow *et al.*, 2016). Essa visão da estabilidade da resiliência ecológica em cidades também é defendida por Lotto *et al.* (2017).

3 RESILIÊNCIA PARA SISTEMAS DE TRANSPORTES

A resiliência para sistemas de transportes pode ser entendida sob o ponto de vista da mobilidade. Esta pode variar, em consequência de um colapso, quanto a movimentação de pessoas dentro de uma região até a impossibilidade de se restabelecer a situação pós evento de forma rápida, mesmo que seja com um nível mais baixo de serviço. Assim, como identificar a possibilidade de uma “imobilidade” ocorrer em consequência a um de evento? A questão é que se pode ter uma região com um bom nível de mobilidade, porém com um baixo nível de resiliência nos transportes, ocasionando uma situação de colapso, assim como se pode ter uma região com baixa mobilidade, porém, com um bom nível de resiliência nos transportes. Isto se deve a estrutura do próprio sistema de transporte que pode apresentar características que facilitem uma mudança nas rotas de deslocamento, capacidade estocada e um bom plano de adequação às situações.

Para Rose (2004a,) a resiliência consiste de duas componentes: intrínseca e adaptativa. A este respeito, o indicador de resiliência da rede consiste em propriedades inerentes de rede, por exemplo, redundâncias, e um conjunto de medidas de adaptação, ou seja, atividades de recuperação, identificando, assim, a necessidade de estudar dois componentes principais de uma interrupção do sistema.

De acordo com Adams *et al.* (2012), desastres, ocasionados por questões climáticas, erro humano, ou intenção humana, devem sensibilizar quanto à necessidade de planos de ação para restaurar rapidamente a mobilidade. Assim, a resiliência da rede de transporte é a capacidade de absorver os efeitos de uma interrupção e voltar rapidamente para níveis normais de operação. Medidas de resiliência são úteis para avaliar e prever perturbações e a recuperação, e para orientar os investimentos na infraestrutura que protegem contra essas interrupções ou que aceleram a recuperação após um colapso no sistema.

Murray-Tuite (2006), no contexto do transporte, considera que a mobilidade é uma das principais dimensões da resiliência de uma região. Alguns fatores resultantes do desempenho de um sistema, tais como mobilidade e confiabilidade, estão relacionados com uma série de indicadores, sendo a velocidade de deslocamento um indicador base (McCormack e Hallenbeck 2006).

Melhorar as estratégias de resiliência no transporte inclui uma ampla variedade de atividades de mitigação, tais como procedimentos para reestabelecimento das rotas de deslocamento, suporte a emergências, e processos de evacuação. O reestabelecimento da normalidade nos deslocamentos após um evento tem como suporte a gestão e redução dos riscos associados aos nós-chave, *links* e fluxo nos sistemas.

Entende-se que, principalmente, nas grandes cidades, é importante que se identifique o nível de resiliência, e a partir deste, se estabeleçam ações que possam ser implementadas para reduzir os impactos e garantir o restabelecimento da normalidade dos deslocamentos no menor tempo possível, tanto na movimentação de pessoas quanto de carga.

Num domínio mais amplo, a resiliência de sistemas de transportes foi definida por Battelle



(2007, apud King, 2015), Ortiz *et al.* (2009), Ta *et al.* (2009), Faturechi e Miller-Hooks (2014), D’Lima e Medda (2015), Fotouhi *et al.* (2017). Em redes de transportes, Murray-Tuite (2006), Adams *et al.* (2012), Freckleton *et al.* (2012), Adjetey-Bahun *et al.* (2016) e Fotouhi (2017) conceituaram a expressão. No campo da resiliência em ativos, o significado foi retratado por Dojutrek *et al.* (2016). Tierney e Bruneau (2007) com base na estrutura R4 consideraram que a *Robustez* reflete a capacidade da rede e elementos para suportar forças de falhas sem degradação significativa do sistema; *Redundância* é na medida em que as rotas alternativas e modos de transporte podem ser empregados se alguns elementos são perdidos; a *Restauração* é a disponibilidade de materiais, suprimentos e equipes para restaurar a funcionalidade; e *Rapidez* é a capacidade para restaurar a funcionalidade em tempo hábil pela identificação e material, monetária, informativos e de recursos humanos da mobilização. Assim, *Rapidez* depende *Robustez*, *Redundância*, e *Restauração*.

No cenário de desastres, Osogami *et al.* (2013) consideraram que um sistema de transportes resiliente possibilita uma rápida evacuação, resgate e distribuição de suprimentos de assistência, entre outras atividades que reduzem o impacto de desastres naturais e aceleram a recuperação. Por outro lado, Battelle (2007, apud King, 2015) considera a resiliência como uma propriedade que possibilita ao sistema compensar suas perdas e permite que o mesmo funcione inclusive quando sua infraestrutura está destruída ou danificada.

No contexto de desempenho, Faturechi e Miller-Hooks (2014) realizaram uma revisão da literatura de avaliações de desempenho do sistema de transportes em desastres encontrando aproximadamente 200 publicações. Tais trabalhos focaram em diversas abordagens: avaliação do risco, da vulnerabilidade, da confiabilidade, da robustez, da flexibilidade (adaptabilidade), da resistência (“*survivability*”) e da resiliência. Como as definições dessas características se mostraram inconsistentes na literatura levantada, Faturechi e Miller-Hooks (2014) adotaram as definições mais frequentes. Isto posto, definiram resiliência como a capacidade de resistir, absorver e adaptar, e retornar às suas funções normais e concluem que essa se constrói nas fraquezas e forças dos outros fatores, apresentando uma esquematização para mostrar os limites e interações entre esses conceitos.

Seguindo a mesma linha de resiliência como medida de desempenho, Heaslip *et al.* (2009 apud Serulle, 2011) e Heaslip *et al.* (2010, apud King, 2015) definem a resiliência de um sistema de transportes como a capacidade deste em manter seu nível de serviço ou de retornar a este dentro de um prazo específico. Ainda, Tamvakis e Xenidis (2012) caracterizam a resiliência como a capacidade de um sistema em reagir a estresses que desafiam seu desempenho.

No contexto de transporte de carga, Ortiz *et al.* (2009) consideraram um sistema resiliente como aquele capaz de prover serviços na presença de pequenas perturbações e se recuperar rapidamente de grandes rupturas. Por outro lado, para Ta *et al.* (2009), resiliência é a capacidade do sistema em absorver as consequências de uma ruptura, reduzir seus impactos e manter a mobilidade das mercadorias.

Quando trataram de eventos climáticos, Chan e Schofer (2015) definiram resiliência em um sistema de transporte como a “capacidade deste em vivenciar um evento negativo, potencialmente prejudicial e retornar a um estado de operação saudável num tempo razoável após o evento”. Santos (2014) ressaltou a maior vulnerabilidade deste sistema frente a



ameaças a sua performance, especificamente às relacionadas ao clima, enquanto que Zhao et al. (2013) destacam a menor capacidade adaptativa em relação a outros sistemas urbanos, pois, uma vez que sua infraestrutura é construída, é difícil de mudar.

Para VTPI (2017), resiliência é sinônimo para confiabilidade e gerenciamento de riscos e seria definida como a capacidade do sistema em acomodar condições variáveis e inesperadas sem uma falha catastrófica, refletindo assim a incerteza ou incapacidade de saber qual combinação de condições irá ocorrer no futuro.

A nível de redes, Murray-Tuite (2006) conceitua resiliência em uma rede rodoviária como a propriedade que indica a performance da rede sob condições incomuns, sua velocidade de resposta, e a quantidade de suporte externo necessário para a restauração de seu estado funcional original. Por outro lado, Adams *et al.* (2012) definem a resiliência em transporte de cargas como a “capacidade em absorver os efeitos de uma ruptura e retornar rapidamente a níveis de operação normais”. Da mesma forma, Freckelton *et al.* (2012) definem a resiliência de uma rede de transportes como a sua capacidade em absorver eventos de ruptura graciosamente e retornar a um nível de serviço igual ou maior que antes do evento dentro de um prazo razoável. Numa abordagem do transporte terrestre, Leu *et al.* (2010) caracteriza a resiliência em redes como a capacidade em manter o foco e atender seus objetivos principais frente a desafios ao redor o ambiente operacional.

Sob outra perspectiva, Adjetey-Bahun *et al.* (2016) adotaram o conceito de resiliência apresentado por Bruneau *et al.* (2003): capacidade da rede de mitigar os perigos, conter seus efeitos, e se recuperar rapidamente com a menor redução da qualidade de vida possível. Dessa forma, uma rede de transportes resiliente reduz a probabilidade de falhas, suas consequências e o tempo de recuperação. Por outro lado, Fotouhi *et al.* (2017) consideram a resiliência de uma rede de transportes como a “capacidade em suportar um evento de ruptura e se adaptar rapidamente através de ações imediatas”.

Na escala de ativo, Dojutrek *et al.* (2016) definem a resiliência como a “capacidade do ativo em suportar a ameaça”.

Por fim, a nível organizacional, Hughes e Healy (2014) utilizam o conceito de resiliência definido no Plano Nacional de Infraestrutura de 2011 da Nova Zelândia (*National infrastructure plan 2011*): “capacidade dos setores público, privado e civil em suportar rupturas, absorver perturbações, agir efetivamente numa crise, adaptar a condições variáveis (incluindo mudança climática) e crescer ao longo do tempo”.

Por meio da análise das definições apresentadas no contexto de transporte, observa-se que não existe um conceito único para a resiliência no contexto de sistemas de transporte. Ainda, as definições apresentadas se mostram contraditórias quanto à relação da resiliência com fatores como a vulnerabilidade, confiabilidade, robustez, flexibilidade, resistência e gerenciamento de riscos. Assim, buscando uma forma de prover um instrumento de análise da resiliência em Transportes, com base nos conceitos apresentados, propõe-se, a seguir, um conjunto de indicadores para avaliar a resiliência em Transportes.



4 INDICADORES DE RESILIÊNCIA EM RELAÇÃO AOS SISTEMAS DE TRANSPORTES

A partir dos conceitos de resiliência apresentados na seção 3, buscou-se identificar como estes poderiam ser tratados de forma a servir de instrumento de planejamento da mobilidade de uma região. Entende-se que uma medida de resiliência pode ser utilizada para evidenciar fragilidades na movimentação de pessoas e de carga numa região ou cidade. Estas fragilidades podem estar relacionadas à própria infraestrutura ou a operação dos sistemas.

Em relação à infraestrutura, pode-se avaliar a resiliência quanto a corredores e /ou pontos estratégico/críticos de circulação de veículos, que quando inoperantes por algum evento climático ou causado pelo próprio homem, podem dificultar ou mesmo inviabilizar, durante algum período, o deslocamento de pessoas entre duas regiões. Porém, um maior número de pontos críticos não indica maior fragilidade do sistema, pois isto, ambigualmente, pode representar uma maior disponibilidade de rotas quando estes não estão num mesmo corredor.

Uma outra visão está relacionada a operação dos sistemas, em que pese o deslocamento de pessoas em transportes públicos. Uma interrupção dos serviços, também por um evento climático ou causado pelo homem, em um determinado modo de transportes de massa, irá sobrecarregar outros sistemas que, não tendo capacidade de absorver, poderão impactar a mobilidade numa cidade.

Numa tentativa de se definir uma forma de avaliar a resiliência de sistemas de transporte numa cidade, ou regiões desta, propõem-se um conjunto de indicadores, conforme apresentado na Tabela 1. Para esta proposta, considerou-se os princípios 4R definidos por Bruneau (2004). Ainda, de acordo com estes princípios considerou-se que Robustez e Redundância estão diretamente relacionados com a forma e disponibilidade de infraestrutura de transporte. Por sua vez, a rapidez e a restauração estão relacionadas à gravidade do evento e à disponibilidade financeira e de pessoas envolvidas, tanto operadores quanto a municipalidade.

Portanto, entende-se que a resiliência de um sistema de transportes pode ser medida em função da robustez e da redundância, possibilitando a definição de estratégias ou mesmo mudanças estruturais que possam ser feitas no sistemas de forma a reduzir o impacto causado por um evento qualquer, aumentando assim a resiliência, e conseqüentemente, ter maior rapidez na recuperação da mobilidade e menor dispêndio de recursos para atingi-la.

Na intenção de desenvolver um processo de avaliação da resiliência, identificam-se dois direcionamentos de análise. Um relacionado à rede estrutural e a capacidade desta e outro quanto a oferta de transporte coletivo

Assim, definindo a resiliência por um indicador, ou um índice agregando um conjunto de indicadores, o nível de resiliência pode ser definido entre regiões, entre uma região e as demais de uma cidade e, a partir desta, o nível de resiliência em transportes na cidade. Este processo se assemelha aos processos usuais de análise de acessibilidade entre regiões.



Tabela 1 – Proposta de Indicadores de Resiliência

Princípio	Infraestrutura	Operação	Indicadores
Robustez	Pontos críticos	Capacidade/demanda	<ul style="list-style-type: none"> • Conectividade da rede (vulnerabilidade) • Capacidade viária • Capacidade do transporte coletivo de massa • Demanda de viagens
Redundância	Rotas alternativas	Modos de transportes	<ul style="list-style-type: none"> • Rotas alternativas em relação aos pontos críticos • Nível de acessibilidade • Número de modos concorrentes
Rapidez	Dimensão do evento	Qualidade da oferta e informação	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo para atingir a normalidade da operação ou próximo desta • Tempo de viagem após evento
Restauração/ Recursos	Equipamentos e pessoas	Reserva de ativos e pessoas	<ul style="list-style-type: none"> • Tempo para início do processo de recuperação do impacto • Disponibilidade de pessoal e recursos para agir

Desta forma, tomando-se como base as formulações apresentadas por Allen et al (1993) para avaliar a acessibilidade integral de diversas sub regiões em uma região e a acessibilidade global desta região, propõe-se que, de forma semelhante, a resiliência em transportes de uma cidade pode ser avaliada pelas Equações 1 e 2.

$$R_i = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n r_{ij} \quad (1)$$

$$IRG = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n r_{ij} \quad (2)$$

Onde :

R_i – é o valor resiliência da região i de uma cidade

r_{ij} - é o valor de resiliência entre as regiões i e j

n – número de regiões em que a cidade foi subdividida.

IRG- índice de resiliência global da cidade

Os resultados das formulações acima têm como objetivo permitir a identificação do nível de resiliência local dentro da cidade, principalmente, entre regiões que apresentem maiores



volumes de viagens diárias e, portanto, necessitando de prioridades de intervenções, como também, comparar cidades e identificar aquelas em que a relação entre o volume de deslocamentos e o risco de eventos climáticos são maiores, e portanto, teriam maior necessidade de recursos para aumentar a resiliência caso esta não seja adequada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Buscou-se neste trabalho apresentar inicialmente, de forma conceitual como a resiliência é entendida e aplicada por alguns autores em estudos relacionados a cidades e em transportes.

Foi possível verificar que, de forma geral, a resiliência está relacionada à recuperação das atividades após um evento, retornando a normalidade ou próximo desta numa região, seja esta relacionada ao transportes ou não. Diferentes formas de se avaliar a resiliência são propostas por alguns autores. E, em relação aos sistemas de transportes, observa-se o foco no sistema rodoviário, quanto a capacidade de fluxo e o tempo de recuperação de um segmento do sistema que sofreu algum tipo de interrupção.

A proposta inicial sobre indicadores de resiliência, apresentada neste artigo, deve ser avaliada de forma a definir quais são mais indicados para quantificar o nível de resiliência de um sistema de transporte numa cidade ou região de estudo qualquer, e assim compor um índice de resiliência. Este índice deverá subsidiar a tomada de decisão quanto a definição e implantação de melhorias, visando contribuir para uma maior resiliência dos sistemas de transportes, reduzindo os impactos na circulação das pessoas, ou seja na mobilidade, quando da ocorrência de um evento positivo ou negativo.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências de fomento CAPES e CNPq pelo apoio no desenvolvimento de pesquisas que resultaram neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, T.; Bekkem, K.; Toledo-Duran, E. (2012). Freight resilience measures. *J. Transp. Eng.*, 1403–1409. doi: 10.1061/(ASCE)TE.1943-5436.0000415.
- Adjetey-Bahun, K.; Birregah, B.; Châtelet, B.; Planchet, J. (2016). A model to quantify the resilience of mass railway transportation systems. *Reliability Engineering and System Safety/ Elsevier, França*, v. 153, p. 1-14, set. 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.03.015>>.
- Bruneau, M, S Chang, R Eguchi, G Lee, T O'Rourke, A Reinhorn, M Shinozuka, K Tierney, W Wallace and D von Winterfelt (2003) A framework to quantitatively assess and enhance the seismic resilience of communities. *EERI Spectra Journal* 19, no.4: 733–752. DOI: <http://dx.doi.org/10.1193/1.1623497>
- CHAN, R.; SCHOFER, J. L. (2016). Measuring Transportation System Resilience: Response of Rail Transit to Weather Disruptions. *Natural Hazards Review*, 17(1). doi: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000200](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000200).
- Chen, L. & Miller-Hooks, E. (2012), Resilience: an indicator of recovery capability in intermodal freight transport, *Transportation Science*, 46(1), 109–23.
- Colucci, A. (2012). Towards resilient cities: Comparing approaches/strategies. *Tema. Journal Of Land Use, Mobility And Environment*, 2012(2). 101–116. DOI: <<http://dx.doi.org/10.6092/1970-9870/921>>
- Comfort, L. (1999). *Shared Risk: Complex Systems in Seismic Response*. Pergamon.Press
- European Environment Agency - EEA (1995), *Europe's Environments: The Dobris Assessment*. Edited by Stanners David & Bourdeau Philippe. Copenhagen.
- D'Lima, M., Medda, F. (2015). A new measure of resilience: An application to the London Underground. *Transp. Res. Part A*, 81 (2015), pp. 35–46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.05.017>
- De Lotto, R.; Di Popolo, V. G. C. M.; Venco, E. M. From Resilience To Flexibility: Urban Scenario To Reduce Hazard. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 12 (4), 789-799. DOI: 10.2495/SDP-V12-N4-789-799
- Dojutrek, Michelle S., Samuel Labi, and J. Eric Dietz. (2014). A Multi-Criteria Methodology for Measuring the



- Resilience of Transportation Assets and Prioritizing Security Investments. In The Proceedings of the 10th International Conference of the International Institute for Infrastructure Resilience and Reconstruction (I3R2), 30-37, edited by Randy R. Rapp and William Harland. West Lafayette, Indiana: Purdue University, May 20-22, 2014 (30-37).
- Faturechi, R., and E. Miller-Hooks. 2014a. "Measuring the Performance of Transportation Infrastructure Systems in Disasters: A Comprehensive Review." *Journal of Infrastructure Systems* 21 (1): 04014025. DOI: 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000212..
- Fernandes, V. A., Hothfuss, R., Hochchild, V. Silva, W. R., Santos, M. P. S., Resiliência da Mobilidade: uma proposta conceitual (2015). Anais do XXIX ANPET, Ouro Preto, Minas Gerais.
- Ferreira, K. A. (2016). Resiliência Urbana e a Gestão de Riscos de Escorregamentos: Uma Avaliação da Defesa Civil do Município de Santos – SP. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Civil, USP, São Paulo, Brasil.
- Folke, C. 2006. Resilience: the emergence of a perspective for social-ecological systems analyses. *Global Environmental Change* 16:253-267.
- Fotouhi, H., Moryadee, S., Miller-Hooks, E. (2017) Quantifying the Resilience of an Urban Traffic-electric Power Coupled System. *Reliability Engineering & System Safety/ Elsevier*, 163. DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.ress.2017.01.026>>
- Freckleton, D.; Heaship, K.; Louisell, W.; Collura, J. (2012). Evaluation of transportation network resiliency with consideration for disaster magnitude. Publicado no 91º Annual Meeting of the Transportation Research Board. Washington, D. C., 2012. Disponível em: <<http://docs.trb.org/prp/12-0491.pdf>>.
- Godschalk, D. R. (2003). Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. *Natural Hazards Review*, 4(3), 136–143. DOI: <[http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2003\)4:3\(136\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2003)4:3(136))>
- Gunderson, L.H. 2000. Ecological resilience: in theory and application. *Annual Review of Ecology and Systematics* 31:425-439.
- Hughes, J. F.; Healy, K. (2014). Measuring the resilience of transport infrastructure. AECOM NEW Zealand Ltd, Wellington, Nova Zelândia, fev. 2014. Disponível em: <<http://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/546/docs/546.pdf>>. Acesso: 16 nov. 2015.
- King, J. K. (2015). Analytical Approaches to Investigating Transit Network Resilience. Tese de Mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Toronto, Canadá.
- Leu, L., ABBASS, H.; CURTIS, N. (2010). Resilience of ground transportation networks: a case study on Melbourne. Publicado em 33rd Australasian Transport Research Forum Conference, Canberra 2010.
- McCormack, E., and Hallenbeck, M. E. (2006). "ITS devices used to collect truck data for performance benchmarks." *Transp. Res. Rec.: J. T R. B*, 1957(1), 43–50.
- Murray-Tuite, P. (2006). "A comparison of transportation network resilience under simulated system optimum and user equilibrium conditions." *IEEE Proc.*, 2006 Winter Simulation Conf, Monterey, CA.
- Meerow, S., Newell, J. P., Stults, M. (2016). Defining urban resilience: a review. *Lansc. Urban Plan.*, 147 (2016), pp. 38–49. DOI: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.11.011>>
- Meerow, S., Stults, M. (2016). Comparing conceptualizations of urban climate resilience in theory and practice. *Sustainability* 8 (7), 1–16. DOI: <<http://dx.doi.org/10.3390/su8070701>>
- Ortiz, D. S., Ecola, L., Willis, H. H., 2009. NCHRP Project 8-36, Task 73: Adding resilience to the freight system in statewide and metropolitan transportation plans: Developing a conceptual approach. Transportation Research Board. Disponível em: <[http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP08-36\(73\)_FR.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/docs/NCHRP08-36(73)_FR.pdf)>
- Osogami, T., Imamichi, T., Mizuta, H., Suzumura, T. Idé, T. (2013). Toward simulating entire cities with behavioral models of traffic, *IBM Journal of Research and Development*, v.57 n.5, p.6-6, September 2013. DOI: 10.1147/JRD.2013.2264906
- Patil, G. R.; Bhavathrathan, B. (2016). Effect of Traffic Demand Variation on Road Network Resilience. *Advs. Complex Syst.*, 19. doi: 10.1142/S021952591650003X.
- Rose, A. (2004 a). Defining and Measuring Economic Resilience to Earthquakes. In *Research Progress and Accomplishments, 2003–2004*. Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, 2004, pp. 41–54.
- Rose, A. (2004 b). "Defining and measuring economic resilience to earthquakes." *Disaster Prev. Manage.*, 13(4), 307–314.
- Santos, A. S. (2014). A Importância do Setor de Transporte para o Aumento de Resiliência das Cidades Frente à Mudança Climática: Uma Proposta de Plano de ação para a Cidade do Rio de Janeiro. Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.
- Scheffer, M. 2009. *Critical transitions in nature and society*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey,



USA.

- Serulle, U. N., Heaslip, K., Brady, B., Louisell, W. C., Collura, J. (2011), Resiliency of transportation network of Santo Domingo, Dominican Republic: case study, Transportation Research Record, 2234, 22–30.
- Ta, C., Goodchild, A., Pitera, K. (2009) structuring a Definition of Resilience for Freight Transportation System. Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, Vol. 2097, pp. 19-25. DOI: <<http://dx.doi.org/10.3141/2097-03>>.
- Tierney, K., and Bruneau, M. (2007). “Conceptualizing and measuring resilience.” Transp. Res. News, 14–17.
- VICTORIA TRANSPORT POLICY INSTITUTE (VTPI). (2017). Evaluating Transportation Resilience: Evaluating the Transportation System’s Ability to Accommodate Diverse, Variable and Unexpected Demands with Minimal Risk, 2017. TDM Encyclopedia. Disponível em: <<http://www.vtpi.org/tdm/tdm88.htm>>. Acesso em março de 2017.
- Zhao, P.; Chapman, R.; Randal, E.; Howden-Chapman, P. (2013). Understanding Resilient Urban Futures: A systemic Modelling Approach. Sustainability, 5(7), 3202-3223. doi: [10.3390/su5073202](https://doi.org/10.3390/su5073202).

Vânia Barcellos Gouvêa Campos (vania@ime.eb.br)
Camila Maestrelli Leobons (camila@maestrelli.org)
Renata Albergaria de M. Bandeira (re.albergaria@gmail.com)
Instituto Militar de Engenharia, Seção de Ensino de Engenharia de Fortificação e Construção
Mestrado em Engenharia de Transportes
Praça General Tibúrcio, 80, Praia Vermelha, Rio de Janeiro, RJ