

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VULNERABILIDADE NO PROCESSO DE ESCOLHA DE ROTAS DO TRANSPORTE URBANO DE CARGA: ESTUDO DE CASO BASEADO NA MEDIÇÃO DO RISCO DE UM EVENTO NÃO REGULAR E IMPREVISÍVEL

J. E. D. Santos e B. V. Bertoncini

RESUMO

O presente trabalho analisa a influência da vulnerabilidade no processo de escolha de rotas da distribuição física de cargas em áreas urbanas, aplicando o conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) ao medir o risco de um evento não-regular e imprevisível, considerando os efeitos da ocorrência de falhas e das intervenções provocadas pelas obras e manutenções em vias públicas, realizadas em um sistema de abastecimento de água e esgoto, de uma cidade. Através deste conceito, os segmentos críticos à rede foram hierarquizados e utilizados na realização de simulações, gerando cenários que reproduzem a influência das impedâncias, como vias interrompidas e restritas à circulação de veículos de carga, nos custos agregados. Com a realização deste experimento, pôde-se perceber que estas impedâncias são causas significativas à redução do nível de acessibilidade para veículos de carga em áreas urbanas, indicando aumento de cerca de 70% nos custos se comparado a rede sem restrição.

1. INTRODUÇÃO

A dificuldade de antecipação dos sinais de fraqueza da rede gera consequências substanciais na acessibilidade entre pontos específicos da mesma, provocando seu colapso quando esta atinge a sua capacidade máxima, o que pode ser causado pela degradação de um pequeno número de arcos, impondo aos transportadores custos adicionais. Distúrbios, tais como acidentes, condições climáticas, eventos aleatórios e, em especial, as obras viárias, conduzem a uma variação em curto prazo da demanda e do fornecimento das facilidades efetivas. A confiabilidade da rede se dá pela frequência da ocorrência repetitiva desses distúrbios que afetam diretamente o tempo de viagem, onde quanto mais intensa a frequência destes acontecimentos, menor será sua confiabilidade (BERDICA, 2002).

Incidentes regulares são mais prováveis que distúrbios não-regulares, porém, os não-regulares, possuem um maior efeito sobre o sistema de transportes. Os distúrbios imprevisíveis possuem, também, um efeito maior sobre o sistema do que os previsíveis, isto devido às medidas de prevenção tomadas para conter os distúrbios previstos, no entanto, algumas obras e manutenções em vias públicas possuem um caráter mais corretivo que preventivo contra certas falhas, e podem ser classificadas como sendo um evento de característica não-regular e imprevisível, o que poderá incidir em maior impacto sobre a rede (SNELDER *et al.*, 2012).

A respeito dos eventos não-regulares e imprevisíveis, surge o argumento sobre quais medidas podem ser tomadas a fim de reduzir a vulnerabilidade da rede, bem como quando e onde estas devem ser aplicadas. Por isso, algumas questões foram abordadas a fim de complementar tal pensamento, que seriam: como, através da análise do seu efeito e probabilidade, é possível medir o risco de um evento não-regular e imprevisível? Como a análise do risco deste pode influenciar

na avaliação da vulnerabilidade da rede? Como a análise dos impactos da vulnerabilidade da rede, se tornam relevantes para o processo de escolha de rotas alternativas e para a atividade de transporte urbano de cargas?

Portanto, o objetivo central deste trabalho é analisar a influência da vulnerabilidade no processo de escolha de rotas na distribuição física de cargas em áreas urbanas. Para tal, buscar-se-á mensurar o risco de um evento não-regular e imprevisível, através da aplicação do conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade, com base na análise dos registros históricos de intervenções no sistema de abastecimento de água e esgoto de uma cidade, ocasionados pela ocorrência de falhas no mesmo. A posteriori, se verificará a relevância da mensuração deste evento na vulnerabilidade da rede viária, como forma de trazer uma contribuição importante à atividade de distribuição de mercadorias em áreas urbanas, incorporando tais efeitos nos algoritmos de escolha de rotas, o que irá tornar o processo mais eficiente e com redução de custos.

2. VULNERABILIDADE E CONFIABILIDADE DA REDE URBANA

Segundo Taylor *et al.* (2003) o papel da acessibilidade em uma rede urbana tem se tornado importante para o estudo do fenômeno do transporte de cargas nestas áreas, podendo ser expressa como um custo de viagem necessário para acessar uma via, em particular, comparando rotas ótimas com alternativas. Recentemente, tem-se tido maior conhecimento de que as redes urbanas estão se tornando cada vez mais vulneráveis a determinados distúrbios, onde, com a degradação de um ou mais arcos da rede, esta começará a operar em um regime gradativamente mais próximo a sua capacidade, isto é, apresentando-se mais sensível a quaisquer variações no fluxo ou capacidade em consequência de alguma interrupção parcial ou total da via (WATLING *et al.*, 2012).

Todavia, é comum que se perceba uma grande intensidade de veículos de carga acessando a rede urbana, para atender seus destinos localizados nestas imediações. Contudo, segundo Sullivan *et al.* (2010), estas redes apresentam uma ampla gama de opções de facilidades o que possibilitam diferentes formas de acesso, à custos semelhantes, onde a variação do tempo é ínfima favorecendo a confiabilidade da rede, mas, este tipo de situação, não se aplica aos veículos de carga, uma vez que suas rotas sofrem com outras interferências como às medidas restritivas à circulação, reduzindo o nível de acessibilidade, impondo custos adicionais se comparado aos demais caminhos. Este tipo de circunstância torna a rede ainda mais vulnerável se adicionado algum evento imprevisível que venha interromper o desempenho das suas atribuições, causando variações no tempo de viagem devido a reduzida possibilidade de acesso, afetando a sua confiabilidade, como visto na Figura 1.

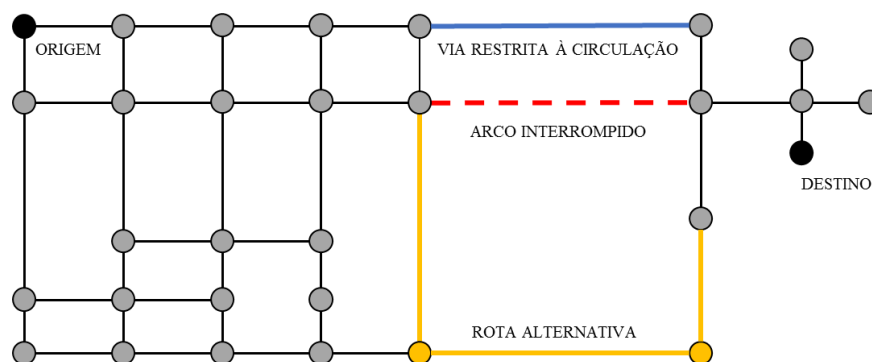


Fig. 1 Exemplo de rota alternativa devido à interrupção e impedância de um arco

A análise da dependência maior ou menor da rede, dado o desempenho de um determinado arco ou conjunto de arcos, torna essa rede vulnerável ou não. Para Taylor *et al.* (2006), a análise da vulnerabilidade da rede, com base na consideração dos impactos socioeconômicos provocados pela degradação de um ou mais arcos, ajudam a determinar quais segmentos podem ser considerados críticos para a rede, podendo caracterizá-los como àqueles que irão difundir mais impactos sobre a mesma.

A confiabilidade da rede condiz em se realizar o nível de serviço proposto, baseando-se na capacidade em relação à demanda atual, por um período de tempo previsto, e nas condições operacionais encontradas. Segundo Immers *et al.* (2004), mesmo que haja uma pequena variação no tempo de viagem em relação ao tempo médio de um arco, quando comparado a um conjunto, o usuário poderá experimentar um tempo de viagem ainda dentro do aceitável, o que torna a rede confiável, ou seja, a confiabilidade da rede se dá quando os custos esperados da viagem são aceitáveis, mesmo que os usuários evidenciem quaisquer percepções negativas sobre o estado em que se encontra (SNELDER *et al.*, 2012).

Portanto, para Taylor *et al.* (2003), a vulnerabilidade e a confiabilidade são conceitos relacionados, mas a ênfase dada à vulnerabilidade está relacionada ao quanto a rede é suscetível e às consequências, econômicas e sociais, que a falha no arco pode provocar, e não somente para a probabilidade de falha. O que não significa que calcular a probabilidade da ocorrência de distúrbios não seja importante, além do mais, a confiabilidade do sistema é de total importância para o seu funcionamento, pois se intervenções forem feitas a fim de se reduzir os riscos da ocorrência de distúrbios, influenciará diretamente no desempenho e na sua confiabilidade reduzindo os custos do transporte de cargas.

2.1. Risco de um Evento Imprevisível e Não-Regular

Para Berdica (2002), o risco está geralmente associado a algo que tem consequências negativas para a vida, a saúde e/ou o ambiente. A definição para o risco envolve uma combinação de duas partes: (i) a probabilidade de um evento de impacto negativo ocorrer; e (ii) a extensão das suas consequências para o ambiente.

Tais eventos podem ser classificados de acordo com a sua previsibilidade, regularidade e efeito. Todavia, Snelder *et al.* (2012), tratam por fazer uma distinção dos distúrbios considerando sua previsibilidade e/ou regularidade. Falhas na instalação da rede elétrica ou hidráulica, são exemplos de distúrbios não-regulares e imprevisíveis, pois, por não ter uma frequência constante de ocorrência, torna-se difícil estimar uma previsão para estes eventos.

Para Berdica (2002), a forma como o risco leva o sistema de transportes ao mau funcionamento, abrange uma determinada gama de combinações de probabilidades e consequências, que determinam a forma como o comportamento do incidente incide sobre a rede. Pequenos eventos não-regulares, onde as falhas são altamente improváveis, podem acabar resultando em sérias implicações. Isto destaca a importância de uma definição de riscos que toma estes dois aspectos em consideração. Uma maneira de explicar isso, é através da construção de uma matriz de risco, cujo princípio é exemplificado na Figura 2.

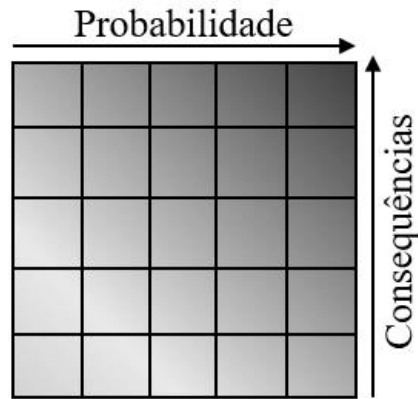


Fig. 2 Matriz de Risco: combinações de probabilidade e consequência

A partir da matriz de risco apresentada acima, pode-se classificar o comportamento do evento quanto a sua regularidade e efeito na rede. Acidentes de trânsito, por exemplo, podem ser localizados na parte inferior direita da matriz, enquanto que eventos não-regulares, como obras e manutenções em vias públicas, podem ser localizados na parte superior esquerda, pois seu impacto sobre a rede incide com mais efeito, que os acidentes. Eventos regulares e de maiores consequências para a rede e, por isso, deve-se tomar um nível de atenção maior.

Diante disto, estimar as probabilidades obras e trabalhos de manutenção nas vias públicas torna-se difícil. A sua previsibilidade é baseada a partir de dados históricos de manutenção em longo período, o que implica que as circunstâncias do ambiente, em torno do evento, permanecem as mesmas em todos os momentos, em que nem todas as conexões causais são conhecidas, segundo Immers *et al.* (2004).

Para analisar este tipo de evento, neste trabalho, utilizar-se-á do conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), a fim de medir a relevância do efeito/impacto do risco de um evento não-regular e imprevisível, como obras e manutenções em vias públicas, diante do pressuposto da influência da vulnerabilidade da rede urbana no processo de escolha de rotas, bem como nos custos da atividade de distribuição de mercadorias.

3. APLICAÇÃO DO CONCEITO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

Antecipar, prevenir e corrigir falhas, constitui um dos principais objetivos da MCC, sendo necessário o conhecimento sobre o modo como os sistemas falham. Para isso, as falhas podem ser classificadas em diversos aspectos: quanto à origem; extensão; velocidade; manifestação; criticidade; e idade (SELLITTO *et al.*, 2002). Ademais, as falhas podem ser classificadas como potencial e/ou funcional. Estas, no entanto, descrevem a forma como a falha pode ser observada, podendo ser classificada como evidente, oculta e múltipla.

No caso dos sistemas de abastecimento de água e esgoto, falhas podem vir a provocar a intervenção na rede de transportes por meio de obras e manutenções. Essa situação possui característica de falha funcional múltipla, uma vez que não pode ser detectada de forma imediata, mas, sim, através de uma segunda como o dano causado à superfície da infraestrutura viária, ao provocar uma obstrução parcial ou total da via. Para entender o comportamento da falha, é necessário que se conheça o modo, a causa, os efeitos, suas consequências, a severidade e o seu grau de risco, baseando-se no comportamento da falha amparado em uma base de dados histórica.

3.1. Análise do Tempo de Falha

Para Sellito *et al.* (2002), através de diversas ferramentas, é possível identificar, avaliar, quantificar e hierarquizar modos, potenciais falhas, severidade e possíveis consequências das falhas e a confiabilidade do item para o sistema. Muitas dessas possuem caráter estatístico, utilizando-se de estimadores, métodos e modelos probabilísticos, como: Distribuição Lognormal; de Weibull; Gumbel; Regressão; Kaplan-Meier; Exponencial; Tempo Médio Entre Falhas; dentre outros, que auxiliam na análise da falha a partir do seu histórico de ocorrências.

Para este trabalho, preocupou-se apenas em buscar quantificar e hierarquizar a severidade e principais consequências, respectivamente, que uma falha no sistema de abastecimento de água e esgoto pode provocar na rede viária, tendo como base o seu tempo de exposição ao risco. Para isso, realizou-se análises do tempo de falha, através de modelos probabilísticos em confiabilidade, como a estimação do Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), e do Fator de Confiabilidade, caracterizada pela função de taxa de falha constante.

Conceitualmente, o TMEF busca prever a ocorrência de uma falha vir a acontecer, com base em um histórico de falhas anteriores, como mostra a Equação (1). Já o Fator de Confiabilidade, consiste em modelar dados através da taxa de falha, quando a probabilidade de falha torna-se constante, independentemente da idade do equipamento, sendo ideal para modelar dados de longos períodos e com baixo risco de falha, como mostra a Equação (2).

$$\text{TMEF} = (\Delta_{f1} + \Delta_{f2} + \dots + \Delta_{fn}) / N_{df} \quad (1)$$

Onde:

TMEF: Tempo médio entre falhas;

Δ_{f1} : Tempo entre o início e a primeira falha;

Δ_{f2} : Tempo entre a primeira e a segunda falha;

Δ_{fn} : Tempo entre as duas últimas falhas;

N_{df} : Quantidade de vezes em que a falha ocorreu.

$$1-C = e^{-t/\text{TMEF}} \quad (2)$$

Onde:

C: Função Confiabilidade;

e: Log Neperiano;

t: Tempo desejado para estimar a ocorrência da falha.

4. DO OBJETO DE ESTUDO

Para que se pudesse comprovar a utilidade das ferramentas e dos conceitos citados, a fim de mostrar a influência da vulnerabilidade no processo de escolha de rotas no transporte urbano de cargas, baseando-se na análise do risco de um evento não-regular e imprevisível, buscou-se delimitar um trecho da rede viária da cidade de Fortaleza, Ceará, para estudo de caso, estabelecendo critérios considerando alguns aspectos que a compõem, como apresentado na Figura 3.

Tais aspectos, condizem: (i) as características de uso do solo, a fim de que se analise a recorrência de fluxo de veículos de carga nesta área delimitada; (ii) registro do histórico de intervenções na

rede de abastecimento de água e esgoto, devido a ocorrência de falhas na mesma; e (iii) a presença de medidas que impunham restrição à circulação de veículos de carga nessa área.

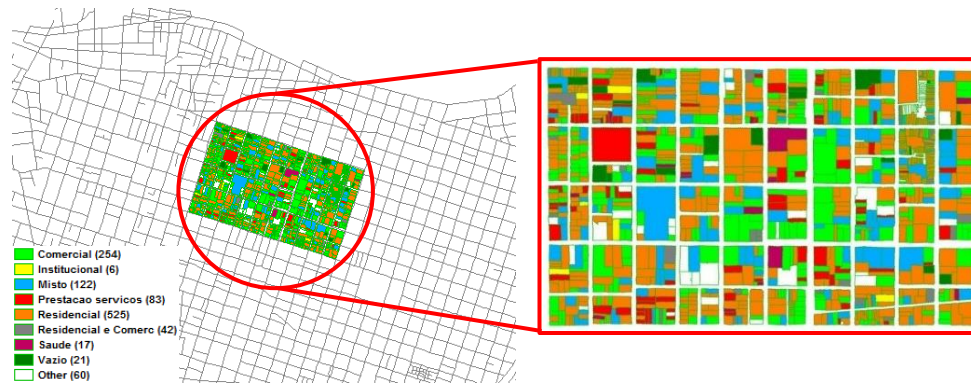


Fig. 3 Delimitação da rede urbana para estudo de caso

Com base na Figura 3, a respeito da rede escolhida para estudo de caso, pode-se observar que há uma grande variedade de pontos de interesse, de caráter econômico e social, representando o uso do solo nesta região, o que ajuda a entender como se comporta o fluxo de veículos de carga. Em adição, o fato de existir uma característica residencial um tanto quanto densa, auxiliou na coleta dos dados históricos sobre quais vias sofreram intervenções, como obras e manutenções, realizadas no sistema de abastecimento de água e coleta de esgoto dessa área, e que foram obtidos juntamente com a empresa CAGECE, Companhia de Água e Esgoto do Ceará, responsável pelos serviços e divulgação dos dados.

Além de distinguir as vias de acordo com os dados de intervenção, buscou-se identificar, na rede, quais as que apresentam restrição à circulação de veículos de carga, conforme portaria AMC N° 218 de 05/11/2012, Art. 2, que instrui sobre os corredores e áreas específicas da cidade de Fortaleza, Ceará, que impõem restrição à circulação de veículos de carga com base nas dimensões e no Peso Bruto Total (PBT), em horários e dias específicos. A partir da Figura 4, ilustra-se, em verde, as vias segundo os dados coletados na CAGECE e, em azul, as vias que representam os corredores restritos, além da identificação (ID) atribuída a cada segmento em vermelho, e em cada vértice/interseção em preto.

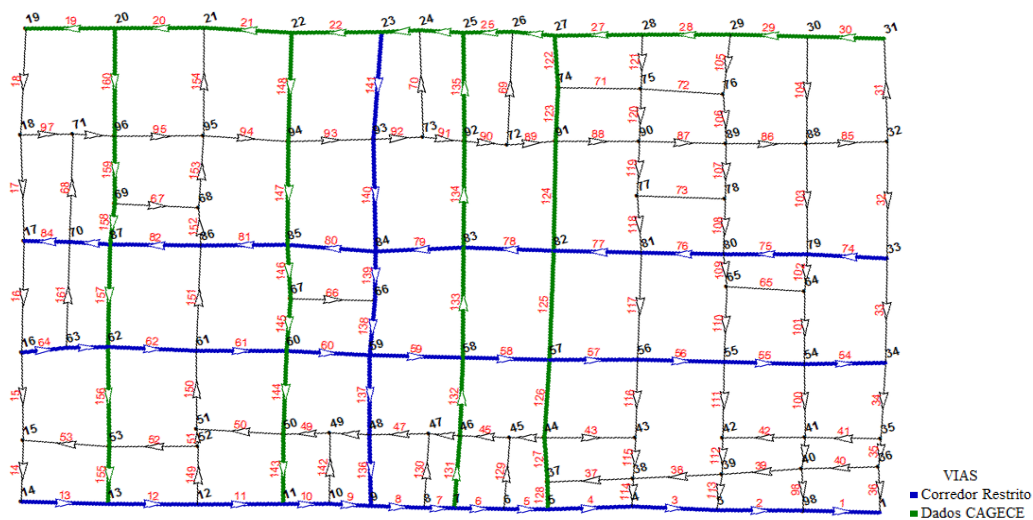


Fig. 4 Vias que apresentam dados da empresa e restritos à circulação

4.1. Análise do Risco

Nesta etapa de análise do risco, de um evento não-regular e imprevisível, determinou-se como primeiro objetivo hierarquizar os segmentos de acordo com a sua probabilidade e consequência para a rede, a partir do tratamento dos dados históricos sobre as intervenções ocorridas no sistema de abastecimento de água e esgoto, como decorrência das falhas ocorridas no mesmo.

Para isso, efetuaram-se os cálculos de TMEF, de acordo com as datas em que as intervenções foram realizadas, e do Fator de Confiabilidade, assumindo um tempo (t) igual a 10 dias para que se estime a probabilidade de uma falha vir a ocorrer durante este período, como citados anteriormente através da Equação (1) e Equação (2), respectivamente, em cada um dos segmentos em que foram coletados tais dados.

Ademais, nestes segmentos, foram identificados pelos números que correspondem ao início e fim do mesmo, além do Tempo Médio de Conserto (TMC) em que o mesmo necessitou para que a falha fosse mitigada, como exemplifica a Tabela 1. No total, estes cálculos foram efetuados nos 37 segmentos que possuíam os dados dos registros históricos.

Tabela 1 Exemplo de cálculos realizados em determinado arco da rede

ARCO 30 (A30)			
Nº	Data da Intervenção	TMEF	TMC
1813	06/03/2012		11:33:06
1727	17/06/2012	103 Dias	04:38:05
1761	25/06/2012	8 Dias	09:02:38
1750	25/11/2012	153 Dias	12:54:25
1752	20/02/2013	87 Dias	07:37:50
1729	16/08/2013	177 Dias	02:47:15
	TOTAL	528 Dias	48:33:18
	MÉDIA	1 Falha a cada 88 Dias	06:10 h/conserto
		Tempo (t)	10 dias
		Fator de Confiabilidade	11%

Feito isso, buscou-se classificar tais segmentos de acordo com o seu fator de risco e sua consequência a partir do TMC, considerando os maiores valores apresentados, a fim de hierarquizar os mesmos. Desta forma, após esta classificação, foram separados cinco arcos que se apresentaram como de maior risco para a rede, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 Classificação dos cinco segmentos mais críticos

Arco	TMEF	TMC	Fator de Confiabilidade
21	1 falha a cada 62 dias	13:43 h/conserto	15%
125	1 falha a cada 78 dias	16:26 h/conserto	12%
133	1 falha a cada 75 dias	15:58 h/conserto	13%
148	1 falha a cada 54 dias	15:20 h/conserto	17%
160	1 falha a cada 94 dias	14:43 h/conserto	10%

Assim, após a realização dos cálculos, todas as informações obtidas foram inseridas em diversas Matriz de Risco, como mostra a Figura 5, com o intuito de identificar quais os segmentos mais críticos para a rede, considerando a sua probabilidade e consequência, esta sendo baseada no tempo de exposição do segmento à falha.

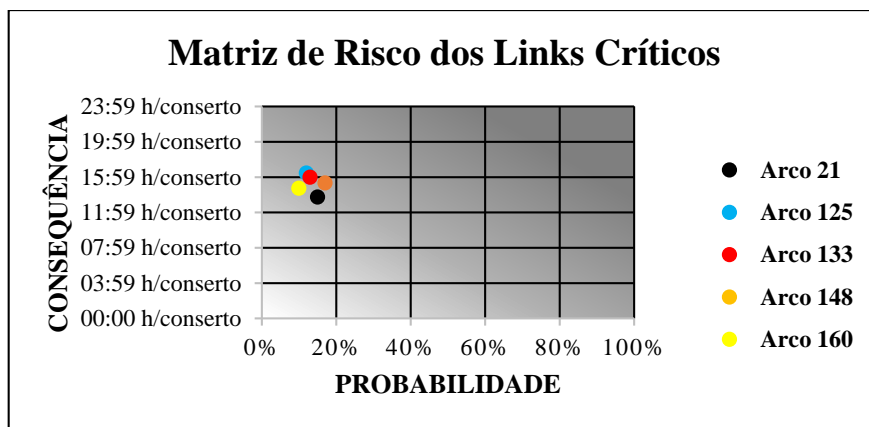


Fig. 5 Matriz de risco dos segmentos críticos

Após o levantamento e hierarquização dos segmentos considerados críticos à rede, nesta etapa de análise de risco, desenvolveu-se experimentos através da geração de cenários com o intuito de simular a interrupção de tais segmentos, a fim de representar os impactos da ocorrência de intervenções, resultantes das eventualidades falhas registradas no sistema de abastecimento de água e esgoto, nos custos da atividade de distribuição de cargas em áreas urbanas.

4.2. Do Experimento

A realização do experimento se deu através da distribuição dos fluxos O-D, na rede em questão, por meio do uso do *software* TransCad®, em sua versão 4.5, desenvolvido pela *Caliper Corporation*, onde trata-se de um sistema de informações georeferenciadas aplicadas à problemas de transporte (SIG-T), cujo algoritmo de escolha de rota segue o modelo desenvolvido por Dijkstra (1959). A partir desta ferramenta, estruturou-se a rede inserindo as informações referentes às características dos segmentos.

Para escolha dos pares O-D, considerou-se as características de uso do solo como referência para escolha de cada par, assumindo pontos de interesse que possivelmente apresentem movimentação de veículos de carga, além da possibilidade de os mesmos acessarem os segmentos que são restritos à circulação de veículos de carga, bem como os aqueles que foram hierarquizados como segmentos críticos para a rede, como mostra a Figura 7.

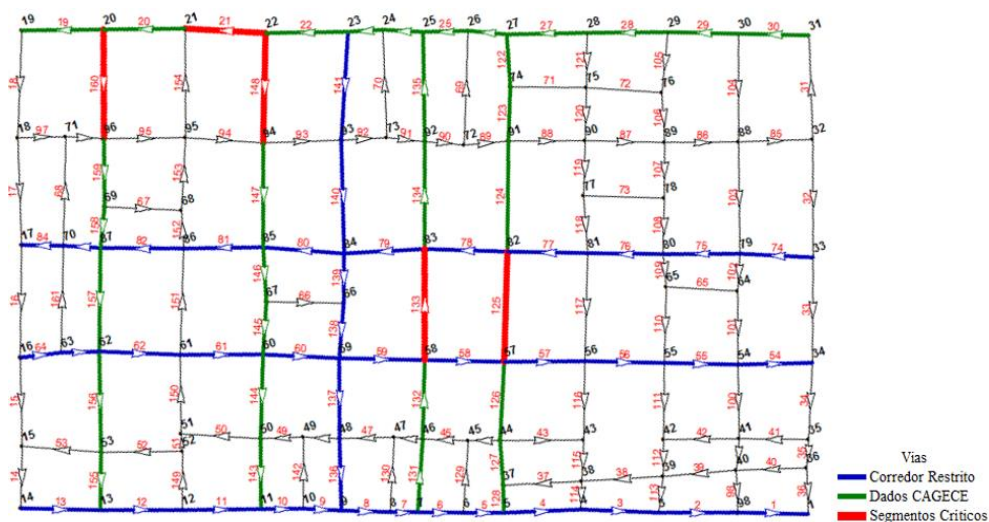


Fig. 7 Segmentos críticos à rede

A princípio, para a distribuição dos fluxos O-D, determinou-se três pontos de origem e cinco pontos de destino onde foram escolhidos três caminhos mínimos considerando a premissa de fluxo livre, valorando cada par O-D com base na distância. Assim, com base nas informações de uso do solo, como mostra a Figura 8, os nós 33, 57 e 78 foram determinados como origens, e os nós 21, 53, 85, 92 e 96 como destinos.

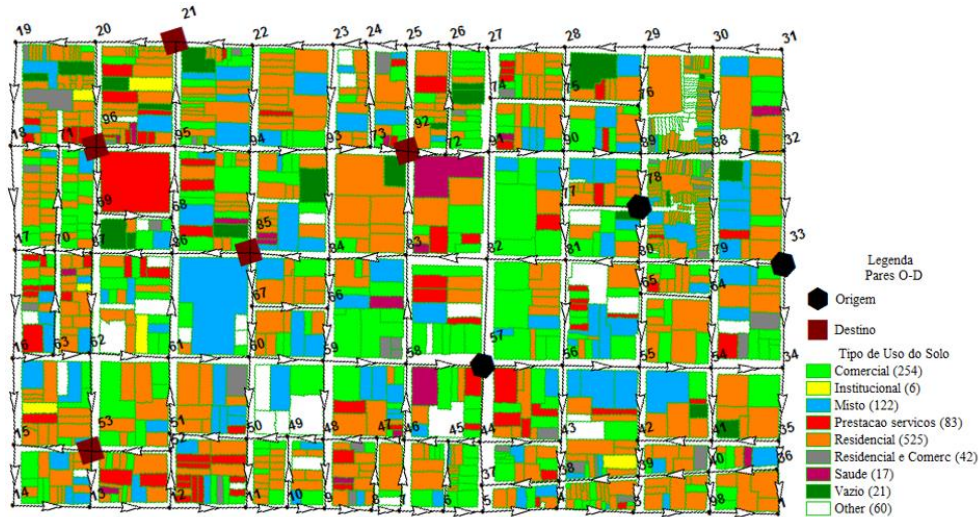


Fig. 8 Pontos de distribuição do fluxo O-D na rede

Com isso, três caminhos mínimos foram simulados entre cada par O-D, considerando as seguintes possibilidades de rota como cenários: (i) rede sem nenhuma restrição; (ii) rede com corredores restritos à circulação de veículos de carga; e (iii) rede com corredores restritos e um segmento crítico interrompido. Assim, foram realizadas três simulações de caminho mínimo reproduzindo cada um dos cenários, para cada par O-D, como mostra a Figura 9, exemplificando a simulação de tais caminhos, tomando como base o par 33-53, considerando a interrupção do segmento 125 para o cenário III.

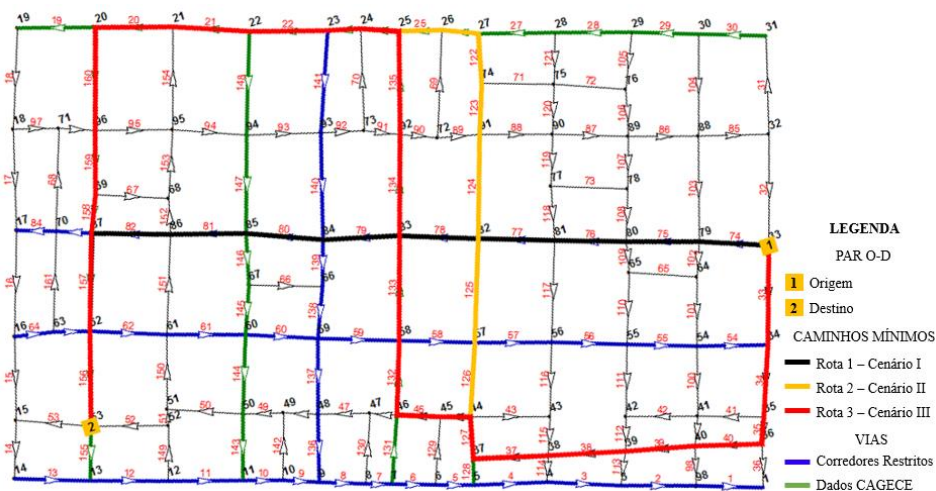


Fig. 9 Exemplo de caminhos mínimos considerando três cenários, entre o par 33-53

Após a simulação de cada um dos cenários, para cada par O-D, gerou-se uma matriz de custos contemplando as informações referentes a cada caminho mínimo, baseando-se na distância entre cada par. Desta forma, pôde-se comparar a eficiência de cada rota gerada pelo *software*, a fim de se possa compreender a influência da ocorrência de um evento não regular e imprevisível, como

as obras e manutenções em vias públicas, no processo de escolha de rotas, fundamentando-se nos custos relacionados à atividade de distribuição de mercadorias em área urbana.

4.3. Da Análise dos Resultados

Ao considerar as impedâncias descritas pelos cenários, durante o processo de simulação, foram geradas matrizes de custos, baseadas na distância entre os pares O-D, onde observou-se uma variação nos valores entre os mesmos, em cada cenário proposto. Desta forma, ao compará-los, no qual se pôde, posteriormente, avaliar a eficiência das rotas geradas, em relação à disponibilidade das facilidades contidas na rede, destinadas a suprir a necessidade de deslocamento da carga entre sua origem e destino.

Ao se considerar as impedâncias existentes, como as restrições à circulação, e o risco de interrupção, em decorrência da eventualidade da falha no sistema de abastecimento de água e esgoto, percebeu-se que o nível de acessibilidade sofre alteração com a imposição dos cenários II e III, devido as alternativas de caminhos ótimos serem limitados.

Esta percepção, a respeito da redução no nível de acessibilidade, pode ser possível ao se observar a variação causada nos custos, referente à distância, em metros, entre cada par O-D, devido a existência de impedâncias na rede. A variação destes custos mostra o quanto a rede é sensível a ocorrência de interrupções, bem como o impacto das medidas restritivas à circulação de veículos de carga, podem refletir negativamente na atividade de distribuição, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 Custos referentes à distância em metro entre cada par O-D

Distância (m) entre pares O-D						
Origens	Destinos					Cenário
	96	85	92	53	21	
57	1.079	515	411	1.078	973	I
33	1.382	849	745	1.411	1.307	
78	1.237	703	600	1.266	1.161	
57	1.290	1.110	717	1.681	1.062	II
33	2.239	2.090	1.456	2.661	2.024	
78	2.121	1.971	1.337	2.542	1.924	
57	1.747	1.588	1.201	2.219	1.671	III
33	2.617	2.247	2.101	2.878	2.331	
78	2.498	2.128	1.983	2.760	2.212	

Através da Tabela 3 é possível observar que, em cada um dos três cenários gerados, cada par O-D apresentou uma variação representativa no custo em relação a dimensão da rede proposta. Ao analisar a variação do custo nos cenários II e III, em comparação ao cenário I, observou-se que as menores variações foram de 8%, entre o par 57-21, e de 38%, entre o par 57-96, para o cenário II e III, com valores de 1.062 e 1.747 metros, respectivamente. Quanto a maior variação do custo da distância, o cenário II apresentou um aumento de 64%, equivalente ao par 78-85, com valor de 1.971 metros, e o cenário III um aumento de 70%, referente ao par 78-92, com um valor de 1.982, em comparação ao cenário I.

Ao perceber tal variação nestes custos, propôs-se valorar a distância, como o preço do combustível por quilômetro, por exemplo, a fim de quantificar o impacto das impedâncias impostas no cenário III, quando comparado ao cenário I, como mostra a Tabela 4, a fim de tornar perceptível o quanto as restrições e interrupções, adotadas nesse cenário, influenciam no comportamento dos custos da

atividade de distribuição de cargas, ao considerar a rede em questão. Diante disso, manteve-se a rede com o fluxo livre, e a base do valor médio do combustível, para veículos de carga, como sendo de 1,31 R\$/km, tendo como base o preço médio do combustível adotado segundo a agência reguladora responsável, ANP, para o estado do Ceará.

Tabela 4 Custo em R\$ do combustível por quilômetro (Cenário III x Cenário I)

Rendimento Médio		2,5 Km/L		Preço Diesel		3,235 R\$/L
Custo Combustível		1,31 R\$/Km				
		DESTINO				
ORIGEM	96	85	92	53	21	CENÁRIO
57	1,40	0,67	0,53	1,39	1,26	
33	1,79	1,10	0,96	1,83	1,69	I
78	1,60	0,91	0,78	1,64	1,50	
57	2,26	2,05	1,55	2,87	2,16	
33	3,39	2,91	2,72	3,72	3,02	III
78	3,23	2,75	2,57	3,57	2,86	

Deve-se considerar que, para essa estimativa de valores, não foram adotados todos os elementos, variáveis e aspectos que compõem o ambiente da rede em questão, como fluxo do tráfego, características geométricas e a capacidade das vias, o comportamento das falhas, segundo suas próprias características individuais, dentre outros, além do mais, tais informações representam o comportamento da variação do custo como sendo para um veículo de carga, e de forma agregada, considerando que as impedâncias adotadas no cenários III interferem nas viagens de todos os usuários.

5. CONCLUSÃO

A aplicação do conceito de Manutenção Centrada na Confiabilidade, através do uso das ferramentas como TMEF e Fator de Confiabilidade, por exemplo, são de total utilidade na análise e medição de um evento não-regular e imprevisível, onde se pôde hierarquizar os segmentos críticos através da estimação da probabilidade e da avaliação das consequências, baseando-se no tempo de exposição do segmento ao dano causado à infraestrutura viária, bem como estimar a ocorrência de quando, onde e como as próximas falhas irão ocorrer, promovendo Manutenções Preventivas, buscando otimizar suas intervenções, não incidindo graves impactos em relação ao tempo de paralisação e no fornecimento da capacidade da via, o que afeta diretamente a vulnerabilidade da rede.

Pode-se promover, através da Manutenção Preventiva, redução dos custos monetários e do tempo despendido pela Manutenção Corretiva, bem como uma maior disponibilidade do sistema, aumentando seu nível de confiabilidade, reduzindo o risco da falha e, por conseguinte, seus efeitos no sistema viário. Além do mais, em conjunto à aplicação desta ação preventiva, pode se estabelecer um plano de contingência de rotas alternativas, baseando-se na previsibilidade da falha ou da Manutenção Preventiva, promovendo o equilíbrio da rede e, conseqüentemente, redução nos custos apresentados pelas Tabelas 3 e 4, respectivamente, promovendo aumento no nível de acessibilidade da rede de transportes, mantendo-a em equilíbrio.

Através da realização dos experimentos, pôde-se perceber que a vulnerabilidade da rede urbana não está ligada somente às ações intempestivas que venham a bloquear total, ou parcialmente, as atribuições projetadas para a rede em relação ao nível de serviço, mas, também, a forma como o uso do solo está disperso espacialmente na rede, além das medidas restritivas que reduzem as

oportunidades de acesso, que limitam a oferta de facilidades capazes de favorecer ao equilíbrio da rede quando esta apresenta algum colapso. Da forma como foi abordado, no experimento, notou-se que tais medidas impunham custos adicionais à atividade de distribuição de mercadorias nessas áreas, e se adicionado tais interrupções de links críticos a falhas, estes custos podem subir até 70% o valor do custo generalizado da distância, quando comparado ao cenário em que simulou-se a rede, em questão, sem quaisquer impedâncias.

Deve-se considerar, também, que para uma análise mais minuciosa do risco quanto a severidade das consequências provocadas pelo dano causado a infraestrutura viária, em decorrência da falha no sistema de abastecimento de água e esgoto, se faz necessário compreender o comportamento destas falhas analisando a origem, o modo, a causa, os efeitos, suas consequências, a severidade e o seu grau de risco, bem como os tipos de intervenções que ocorrem na via, e quanto a sua influência na obstrução da mesma, caracterizando-a como parcial ou total, o que irá interferir diretamente na capacidade do segmento em absorver a demanda atual do tráfego.

Agradecimento: Os autores agradecem à FUNCAP e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

Berdica, K. An introduction to road vulnerability: what has been done, is done and should be done. **Transport Policy**, v. 9, n. 2, p. 117-127, 2002.

Dijkstra, E.W. (1959) A note on two problems in connection with graphs. **Numerical Mathematics** 1, 269–271.

Immers, L.H., Stada, J.E., e Yperman, I., (2004). Robustness and resilience of transportation networks; problem survey and examples. **Paper Presented at NECTAR Cluster Meeting on Reliability of Networks**, Amsterdam, March 19–20.

Sellitto, M., Borchadt, M. e Araújo, D. (2002) Manutenção centrada em confiabilidade: uma abordagem quantitativa. **Anais do XXIIº ENEGEP**. Curitiba: ABEPRO.

Snelder, M., Vanzuylen, H. J. e Immers, L. H. (2012) A framework for robustness analysis of road network for short term variations in supply, **Transportation Research Part A**, v. 46, n. 5, p. 828-842.

Sullivan, J. L., Novak, D. C., Aultman-Hall, L. e Scott, D.M. (2010) Identifying critical road segments and measuring system-wide robustness in transportation networks with isolating links: a link-based capacity-reduction approach. **Transportation Research Part A**, v. 44, p. 323–336.

Taylor, M. A. P. e D’Este, G. M. D. (2003). Concepts of network vulnerability and application to the identification of critical elements of transport infrastructure. **Paper Presented at the 26th Australian Transport Research Forum**, Wellington, New Zealand.

Taylor, M. A. P., Sekhar, S. V. C. e D’Este, G. M. (2006) Application of accessibility based methods for vulnerability analysis of strategic road networks. **Network and Spatial Economics**, v. 6, n. 3-4, p. 267-291.

Watling, D. e Balijepali, N. C. (2012) A method to assess demand growth vulnerability of travel times on road network links. **Transportation Research Part A**, v 46, p. 772–789.