

# DEFINIÇÃO DE VIAS COM PERMISSÃO PARA O TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS EM JOINVILLE-SC

**Virgínia de Almeida Santos**  
Centro Tecnológico de Joinville  
Universidade Federal de Santa Catarina  
**Cassiano Augusto Isler**  
Escola Politécnica  
Universidade de São Paulo

## RESUMO

O objetivo deste artigo é estabelecer vias com permissão à circulação de caminhões para o transporte de produtos perigosos no município de Joinville, Santa Catarina, apresentando o menor risco à população. Esse tipo de transporte desloca substâncias que podem representar algum tipo de risco quando são acondicionados e/ou conduzidas de forma inadequada, trafegam em áreas críticas, tornando-se, portanto relevantes para a manutenção da segurança e saúde pública possivelmente exposta. O risco relaciona a probabilidade de ocorrer acidente em adição à consequência. Utilizando o algoritmo de caminho mínimo, estimando o risco considerando o fluxo existente e as condições do local que se dá o transporte, testando diferentes cenários para diferentes acessos ao município, concluiu-se que menos pessoas são potencialmente atingidas utilizando exclusivamente o acesso Norte. Assim, é possível contribuir para o processo de tomada de decisão pelo setor público, uma vez que não existe atualmente uma medida restritiva em Joinville.

## ABSTRACT

The goal of this paper is to identify the routes that can receive the Hazardous Materials Transport in the city of Joinville, Santa Catarina, presenting the lowest risk to the population. This transport is one that displaces substances that may represent some kind of risk when they are improperly packed, driven and/or travel in critical areas, and are therefore relevant to the maintenance of safety and public health possibly exposed. Risk relates the probability of an accident occurring in addition to the consequence. Applying a shortest path algorithm, estimating the risk considering the existing flow and the place conditions where the transport takes place, testing different scenarios to different access of the city, it was concluded that fewer people are potentially affected using exclusively North access. Thus, it is possible contribute to the decision making process by the public sector, since there is currently no restrictive measure in Joinville.

## 1. INTRODUÇÃO

Produto perigoso é todo material que representa algum tipo de ameaça à segurança pública, ao meio ambiente ou à saúde da população, seja de origem natural ou obtido por algum processo artificial (ANTT, 2012). A identificação para o transporte, manuseio, movimentação e armazenamento desses produtos é padronizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) segundo a NBR 7500 (ABNT, 2014).

Historicamente, foi somente após a Segunda Guerra Mundial que o transporte desse tipo de carga se tornou tema de discussão. A partir de 1975, com a iniciativa da Organização das Nações Unidas (ONU), iniciou-se a regulamentação do transporte de produtos perigosos, rotulando-se aproximadamente 2 mil produtos por atribuição de uma numeração específica (SANTA CATARINA, 2013).

Entretanto, foi com a ocorrência de diversos acidentes que surgiram as primeiras medidas governamentais de controle (SANTA CATARINA, 2013). Nacionalmente, o motivador para essas ações foram os acidentes envolvendo pentaclorofenato de sódio (popularmente conhecido como Pó da China) no Rio de Janeiro, e pelo descarrilamento de uma carga de substância inflamável envolvendo explosão em Salvador (BRASIL, 1985).

O Brasil foi o país pioneiro na América Latina a considerar a importância do transporte de

produtos perigosos e criar uma regulamentação para a atividade. Todavia, o Decreto Nº 62.127, conhecido como a Lei da Faixa Branca (BRASIL, 1968), era a única referência legal existente até a data. Posteriormente, foi aprovado o Decreto Nº 96.0444 (BRASIL, 1988), uma das primeiras regulamentações para o controle efetivo do transporte de produtos perigosos no país (DER, 2014).

Desde então, tentativas para esse tipo de controle têm sido realizadas em âmbito nacional, estadual e municipal, estabelecendo padrões de segurança, identificação dos produtos e documentação. A fim de minimizar potenciais danos em acidentes (sejam para o meio ambiente, população ou economia) é interessante que vias urbanas com permissão para o transporte de produtos perigosos sejam estabelecidas, uma vez que podem gerar danos irreversíveis. Para isso considera-se fatores como densidade populacional, fragilidade ambiental e regiões com histórico de acidentes (SANTA CATARINA, 2013).

Em Joinville-SC, o transporte de produtos perigosos não conta com uma política de restrição horária ou delimitação de vias com permissão para esse tipo de transporte. Assim, o objetivo deste artigo é estabelecer vias com permissão à circulação de caminhões para o transporte de produtos perigosos no perímetro urbano do município. As rotas são definidas por um procedimento que minimiza o número total de habitantes atingidos sob a hipótese de ocorrência de acidentes nas vias entre os acessos à área urbana do município e locais específicos de demanda pelos produtos.

Após esta introdução apresenta-se uma revisão teórica sobre as estratégias de controle no transporte de produtos perigosos em âmbito nacional e internacional, além de modelos propostos para caracterização do risco. Na seção 3 é descrito o método utilizado para definição das rotas que restringem a circulação de veículos transportadores de produtos perigosos em Joinville-SC. Na seção 4 são apresentados os resultados da aplicação do método, indicando-se o cenário que resulta no menor número de número total de habitantes atingidos sob a hipótese de ocorrência de acidentes nas vias. Finalmente, na seção 5 são apresentadas as conclusões sobre os resultados.

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Costa (2009) esclarece que, no contexto internacional, a regulamentação para o transporte de produtos perigosos tem como referência o *Recommendations on the Transport of Dangerous Goods* (ONU, 2011), conhecido como *Orange Book* e com atualizações periódicas bienais.

No Brasil, os produtos químicos que representam algum tipo de perigo quando transportados são aqueles que se enquadram em uma das nove classes regulamentadas pela Resolução 420 de 2004 (BRASIL, 2004a), atualizada pela Resolução 701 de 2004 (BRASIL, 2004b), ambas da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). A normatização e fiscalização quanto ao transporte desses produtos são atribuições do Ministério dos Transportes e da Secretaria Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2003).

Segundo a NBR 7500 (ABNT, 2014), um painel de segurança de um veículo com identificação de uma carga perigosa contém o número de risco (dois dígitos) e o número da ONU (quatro dígitos), indicando o produto transportado e a classe de risco, respectivamente. Além disso, o rótulo de segurança exibe o símbolo do risco, nome e número da classe ou subclasse de risco.

É importante ressaltar a diferença entre produto perigoso e carga perigosa, sendo o último qualquer tipo de carga que apresente alguma ameaça durante o transporte, como por exemplo, bobinas de aço pelo modo rodoviário (Queiroz, 2014). Uma série de medidas deve ser executada após a ocorrência de um acidente rodoviário envolvendo produtos perigosos, como a identificação do tipo de incidente, caracterização do terreno, determinação de medidas a serem tomadas e escolha da ação possível imediata (BRASIL, 2003).

No Brasil, o Decreto 96.044 de 18/05/1988 (BRASIL, 1988) estabelece as diretrizes nacionais sobre os procedimentos em caso de emergências, acidentes ou avarias decorrentes do transporte de produtos perigosos. Dispõe também sobre os direitos, obrigações, responsabilidades, as condições de transporte (como itinerário, declaração do tipo de carga, quantidade, origens e destinos), fiscalização, infrações e penalidades.

Na esfera municipal, poucas cidades no país possuem legislação própria que tratam do transporte de produtos perigosos. No município de São Paulo, por exemplo, tem-se a lei 11.368 de 17 de maio de 1993 (SÃO PAULO, 1993) que dispõe sobre rotas e horários permitidos, assim como medidas cabíveis em caso de descumprimento. É exigido um cadastramento prévio dos transportadores de produtos perigosos e o registro anual do fluxo de cargas embarcado, especificando classe do produto e volume anual transportado.

Os conceitos de perigo e risco estão interligados quanto ao transporte de produtos perigosos, o primeiro associado ao produto em função de sua composição química e o segundo à maneira como essa substância vincula-se a outro fator, como transporte e exposição (ANTT, 2012).

Para mensurar o risco no transporte de produtos perigosos pelo modo rodoviário, Ramos (1997) propôs a avaliação e seleção de rotas por meio de um índice de risco definido por histórico de acidentes, volume de tráfego e densidade demográfica.

No contexto de definição de rotas para o transporte de produtos perigosos e de vias com restrição à circulação, Harwood et al. (1990) apresentou um modelo a partir do histórico de acidentes envolvendo caminhões para a seleção de rotas adequadas ao tráfego de produtos perigosos. Costa (2009) aplicou um método para a definição da sub-rede de transporte de produtos perigosos em áreas urbanas por meio de um Método de Análise Hierárquica.

Kara et al. (2003) propuseram dois algoritmos para definição de rotas para o transporte de produtos perigosos. No primeiro os autores buscam minimizar a probabilidade de incidentes entre a origem e o destino e no segundo visam minimizar a população exposta a uma distância pré-estabelecida a partir do eixo da via por onde o veículo trafega. Um algoritmo de caminho mínimo foi proposto considerando correções na impedância dos arcos devido às interseções entre buffers de vias e aplicaram-no a um exemplo em Ontário, Canadá.

Erkut e Ingolfsson (2005) utilizaram uma abordagem de equilíbrio em redes de transportes para definir rotas para o transporte de produtos perigosos com o objetivo de minimizar a consequência total de acidentes dada uma demanda conhecida pelos produtos em locais específicos.

O handbook de Batta e Kwon (2013) é uma referência relevante sobre artigos científicos propostos para o estudo de transporte de produtos perigosos. Existem diversas revisões de literatura sobre o tema como Luedtke e White (2002), Erkut et al. (2007), Centrone et al. (2008) e, mais

recentemente, Yilmaz et al. (2016) apresentaram uma abrangente revisão, com um panorama mundial sobre acidentes pelos diferentes modos de transportes, métodos de estimativa de risco, roteirização, scheduling, resposta a incidentes e planejamento de redes.

### 3. MÉTODO

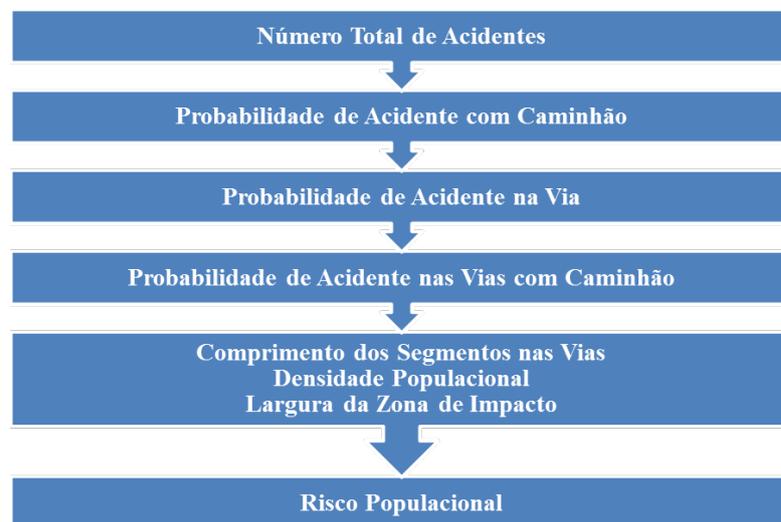
Para atingir o objetivo deste artigo é necessário mensurar a gravidade dos fatores que contribuem para a ocorrência de acidentes com este tipo de carga, aqui estabelecida em termos de suas consequências. Para isso, serão definidos cenários com estimativa das respectivas consequências totais dos acidentes para viabilizar a escolha daquele que resulta no menor número de habitantes atingidos em caso de ocorrência de sinistros com os veículos que os transportam.

Uma vez que risco pode ser definido como a probabilidade de ocorrência de um evento perigoso associada à sua consequência (USDOT, 2018), aquela variável será quantificada para as vias candidatas à permissão ao tráfego de produtos perigosos, para seleção daquelas que apresentem o menor número de habitantes atingidos caso um acidente ocorra.

Assim, a partir do risco estimado para cada via é possível calcular o risco total ao considerar a rota que um veículo percorre entre um dos acessos à cidade até destinos específicos consumidores de produtos perigosos, buscando minimizar o risco total associado ao número de habitantes atingido caso este veículo sofra um acidente.

Neste artigo, a proposta de Harwood et al. (1990) para modelagem do risco foi adaptada mediante as informações sobre o histórico de acidentes disponível na cidade de Joinville-SC, resultando no fluxograma da Figura 1 e subsequente detalhamento.

**Figura 1:** Fluxograma para modelagem do risco



O número de acidentes total refere-se às contagens discriminadas em cada via de uma rede de tráfego previamente definida, provenientes de informações da Defesa Civil e/ou autoridades competentes responsáveis pelo registro de acidentes no município.

O cálculo da probabilidade de ocorrência de acidente envolvendo caminhão refere-se ao potencial de acidentes envolvendo caminhões quanto ao número total de acidentes no ambiente urbano conforme a Equação (1).

$$P_c = \frac{N_c}{N_{total}} \quad (1)$$

em que  $P_c$  = probabilidade de ocorrência de acidente envolvendo caminhão;

$N_c$  = número de acidentes envolvendo caminhão;

$N_{total}$  = número total de acidentes.

A partir do conjunto de vias do município, extraídas de um mapa georreferenciado, é possível calcular a probabilidade de ocorrências em uma via específica em função do número total de acidentes conforme a Equação (2).

$$P_v = \frac{N_v}{N_{total}} \quad (2)$$

em que  $P_v$  = probabilidade de ocorrer acidente na via  $v$ ;

$N_v$  = número de acidentes na via  $v$ ;

$N_{total}$  = número total de acidentes no município.

A probabilidade ocorrência de um acidente em uma via específica e deste ter envolvimento com caminhão é dada pela multiplicação do valor total de probabilidade de ocorrência de acidentes envolvendo caminhões pelos respectivos valores de probabilidade de ocorrer acidente na via. Ou seja, a probabilidade  $P_v^c$  de ocorrência de acidentes na via  $v$  envolvendo caminhões pode ser calculada pela Equação (3).

$$P_v^c = P_c \cdot P_v \quad (3)$$

em que  $P_v^c$  = probabilidade de ocorrer acidente na via  $v$  envolvendo caminhão.

O comprimento do segmento é dado pela divisão da extensão total da via pelo número de segmentos que a compõe. A densidade populacional é aquela em que o segmento está inserido referente à cada bairro. A largura da zona de impacto é estimada como um buffer à uma distância preestabelecida quanto ao eixo da via.

Finalmente, a estimativa do risco em cada via populacional na rede de tráfego de Joinville em termos de número de habitantes potencialmente atingidos sob a hipótese de ocorrência de um acidente envolvendo produtos perigosos é realizada segundo a Equação (4).

$$C_v = P_v^c \cdot D_v \cdot A_v \quad (4)$$

em que  $C_v$  = risco (custo) no arco  $v$  (*habitantes*);

$D_v$  = densidade populacional (*habitantes/km<sup>2</sup>*) referente ao arco  $v$ ;

$A_v$  é a área (*km<sup>2</sup>*) potencialmente atingida pelos efeitos da ocorrência de um acidente envolvendo pelo menos um caminhão.

A área  $A_v$  refere-se à multiplicação da largura da zona de impacto pelo comprimento do segmento. Assim, é possível calcular o risco de cada segmento da rede e adicionar essa informação na base de dados do sistema de informação geográfica que representa a rede de transporte.

Resumidamente, a partir do histórico de acidentes calcula-se a parcela de participação de acidentes com caminhão em relação ao total, a parcela de participação de cada via em relação ao total, obtendo-se a probabilidade de acidentes em cada via com caminhão como resultado da multiplicação dos dois itens anteriores. Finalmente, a multiplicação desta última probabilidade pelo comprimento do segmento na via, a densidade populacional no segmento de via e a largura da zona de impacto resulta no risco populacional, em número de pessoas potencialmente expostas em caso de acidentes.

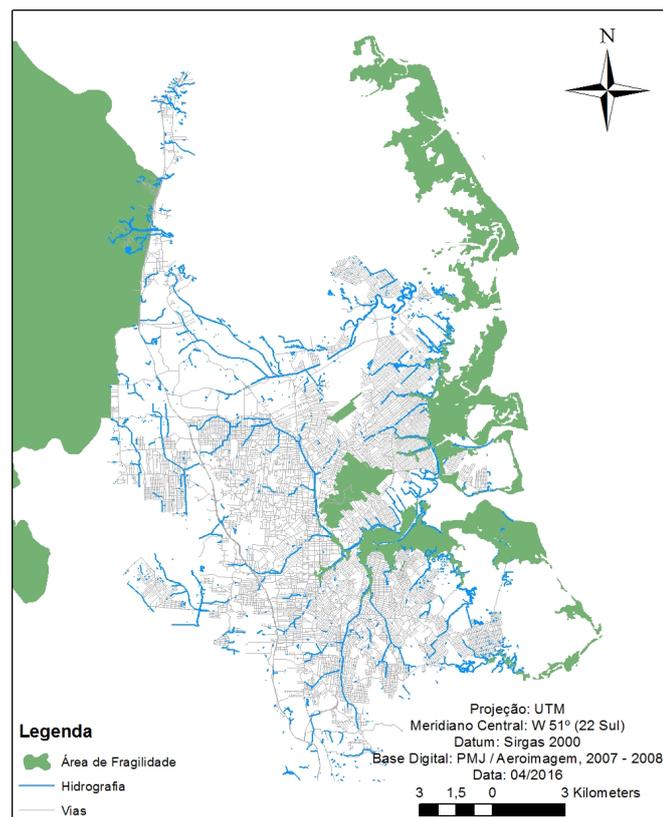
Do ponto de vista de definição de uma rede de tráfego, os segmentos de via correspondem aos arcos da rede e o número de pessoas potencialmente atingidas pode ser interpretado como o custo caso um acidente ocorra. Assim, a ponderação dos arcos da rede pelo risco populacional viabiliza o cálculo do conjunto de vias que minimiza o risco total caso sejam utilizadas em uma rota entre pares Origem-Destino preestabelecidos, tratados como nós da rede de transporte.

Uma vez estabelecido o risco em cada arco da rede, é possível utilizar o conceito de caminho mínimo por meio da aplicação de um modelo matemático de programação linear inteira ou, de maneira eficaz para redes de grande porte, utilização de um algoritmo de caminho mínimo como, por exemplo, o Algoritmo de Dijkstra Cormen et al. (1990). Nesse caso, os custos nos arcos são representados pelo risco populacional estabelecido nesta seção.

#### 4. ROTAS PARA TRANSPORTE DE PRODUTOS PERIGOSOS

O município de Joinville é caracterizado pelo relevo plano, com rios e mangues que caracterizam áreas de fragilidade ambiental no ambiente urbano, cujas vias podem ser observadas em quanto à ocupação do solo e hidrografia na Figura 2.

**Figura 2:** Rede viária, hidrografia e áreas de fragilidade ambiental de Joinville-SC

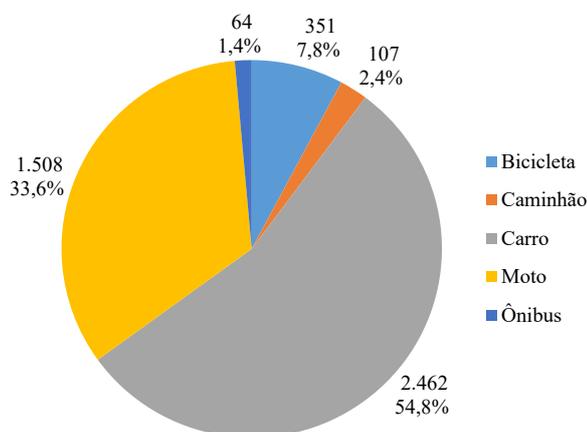


Fonte: Defesa Civil de Joinville, 2016

Para a definição da rede de tráfego foi utilizado um banco de dados que representa as vias e os bairros do município de Joinville em um sistema de informação georreferenciado fornecido pela Defesa Civil de Joinville. A obtenção do número total de acidentes foi baseada no histórico de ocorrências registrado pelo Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville, que indicou de 4.399 acidentes no ano de 2015 em proporção por tipo de veículo indicada na Figura 3.

Na Figura 3 é possível observar que a proporção de acidentes envolvendo caminhões é a quarta mais representativa em comparação com o total de ocorrências observadas, equivalente a 2,4% do total. Com o registro de acidentes diferenciado para cada tipo de veículo, é possível calcular a probabilidade de ocorrências que envolvem um ou mais caminhões.

**Figura 3:** Quantidade de acidentes com vítimas na cidade de Joinville no ano de 2015



Fonte: Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville, 2015

O histórico apresenta o tipo de veículo envolvido e o número de acidentes em cada via de Joinville no ano de 2015, viabilizando a identificação das vias que possuem maior número de acidentes e aquelas que envolvem caminhões no período de um ano.

A caracterização das vias por tipo de acidente e a quantidade de ocorrências é a etapa inicial para a determinação da taxa de acidentes com caminhões. Com o objetivo de sintetizar a rede de tráfego para as vias de maior representatividade no município, optou-se pela seleção daquelas com 10 ou mais acidentes no ano de 2015. Assim, 55 das 575 vias do município foram selecionadas resultando em uma base de dados composta por 3.148 acidentes no ano.

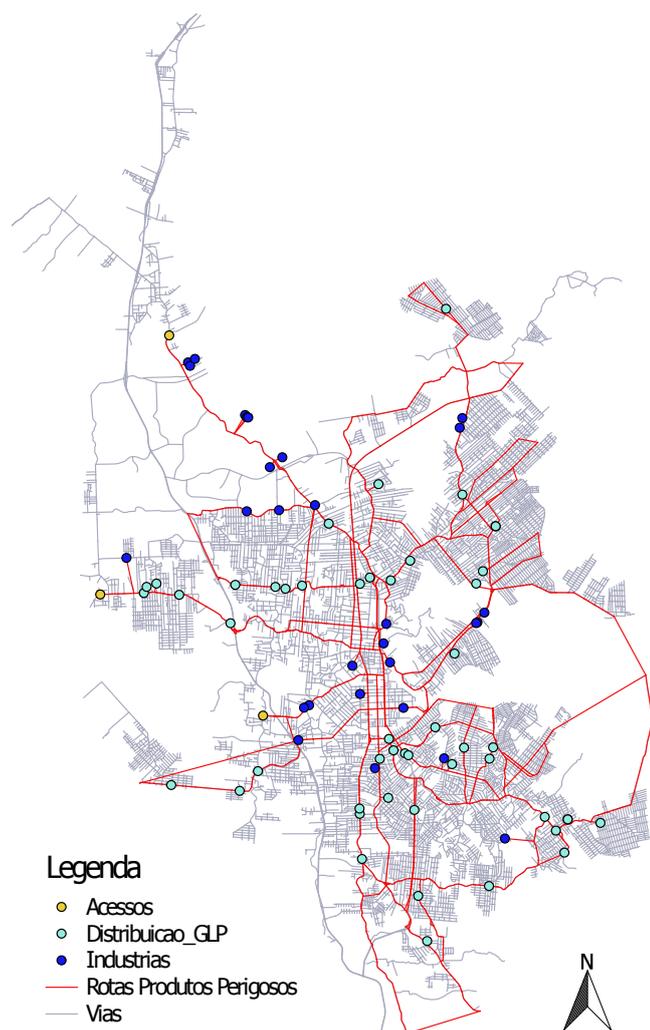
Na sequência, os nós de origens (acessos à cidade) e os nós de destinos (indústrias que demandam produtos perigosos e estabelecimentos de distribuição de Gás Liquefeito de Petróleo, GLP) foram adicionados à rede viária georreferenciada. A distribuição espacial das vias selecionadas e os nós podem ser observados na Figura 4, destacadas do mapa viário de Joinville.

Pelo fato das informações sobre os acidentes não serem especificadas quanto ao tipo de carga transportada, considerou-se o número total de acidentes envolvendo caminhões nas vias indicadas na figura anterior para cálculo do risco, atrelando-se o conceito da carga perigosa ao de produto perigoso no cálculo daqueles parâmetros para as vias.

Na sequência do método, o cálculo da probabilidade de ocorrer acidente na via foi replicado para todas as 55 vias em estudo no município de Joinville pela Equação (3), cuja aplicação pode ser observada nos exemplos da Tabela 1.

A densidade populacional foi obtida para cada bairro a partir da respectiva população total da região dividida pela área territorial em que está distribuída. O mapa de vias georreferenciadas foi utilizado simultaneamente ao de áreas dos bairros, que continham os respectivos atributos de densidade populacional.

**Figura 4:** Vias de Joinville com 10 ou mais acidentes em 2015 e nós de origens e destinos



**Tabela 1:** Probabilidade de ocorrer acidente na via específica com caminhão

Via	Nº Acidentes	$P_v$	$P_v^c$
Avenida Doutor Albano Schulz	12	0,0038	0,0001
Avenida Getulio Vargas	19	0,0060	0,0002
Avenida Jose Vieira	18	0,0057	0,0002
Avenida Jupiter	18	0,0057	0,0002
Avenida Kurt Meinert	15	0,0048	0,0002

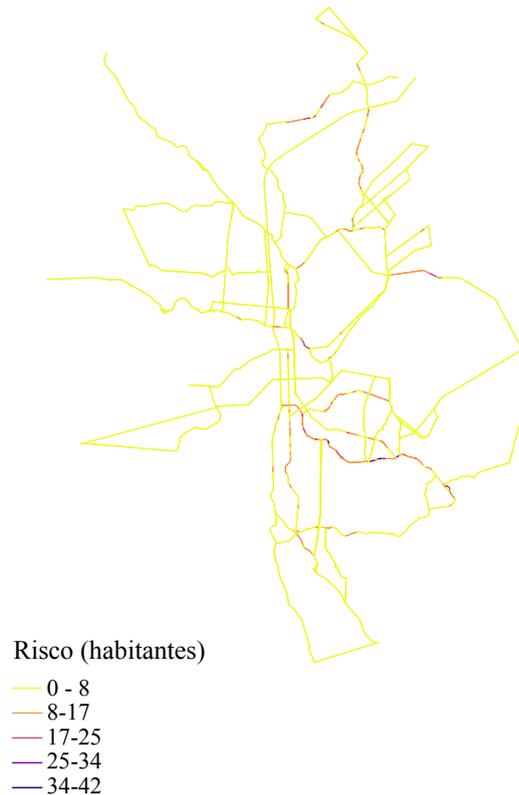
Com o auxílio de um software de geoprocessamento, essas duas camadas georreferenciadas foram unidas, produzindo uma terceira camada de linha representando as vias urbanas com o atributo adicional de densidade populacional no local onde estão inseridas. A largura da zona de impacto refere-se à distância de alcance da consequência do acidente envolvendo produto perigoso, sendo considerada neste trabalho igual a 15 metros do eixo da via urbana.

Foi construído um mapa de calor na rede viária referente ao risco de cada arco calculados pela Equação 4, resultando na Figura 5. A partir da rede urbana da Figura 4 foram estabelecidos cenários que combinam diferentes possibilidades de acesso à área urbana de Joinville pelos

caminhões provenientes da rodovia BR-101: pela Rua Dona Francisca (Acesso Norte), pela Rua XV de Novembro (Acesso Centro) e Rua Anita Garibaldi (Acesso Sul).

Os cenários considerados foram: Acessos Norte, Centro e Sul (Cenário 1); Acessos Centro e Sul (Cenário 2); Acessos Norte e Centro (Cenário 3); Acessos Norte e Sul (Cenário 4); Acesso Centro (Cenário 5); Acesso Sul (Cenário 6); Acesso Norte (Cenário 7).

**Figura 5:** Magnitude dos parâmetros para cálculo de risco nas vias de Joinville

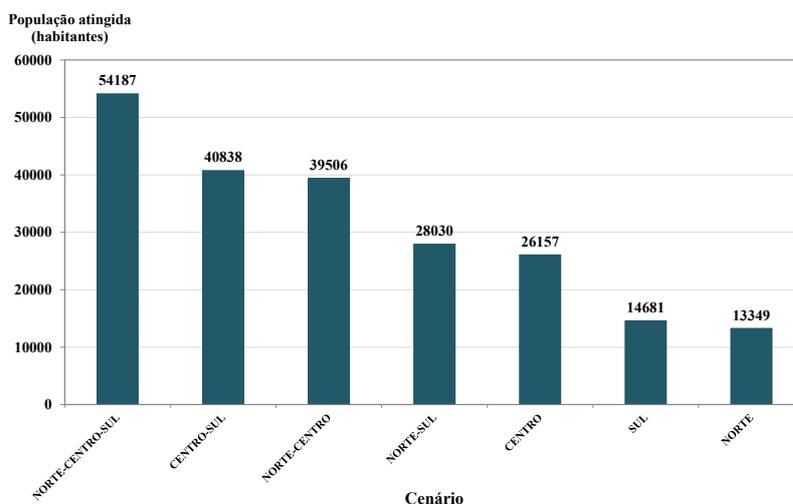


O Algoritmo de Dijkstra foi aplicado a cada um dos cenários para identificação do caminho que resulta no menor número de habitantes potencialmente atingidos (risco) sob a hipótese de ocorrência de um acidente envolvendo caminhão nos arcos que o compõe. O risco total corresponde à soma do risco nos caminhos mínimos entre o(s) acesso(s) considerado(s) e os nós de demanda por produtos.

O risco mínimo calculado em número de pessoas potencialmente expostas pode ser verificado o gráfico da Figura 6. Assim o cenário de menor valor total de habitantes potencialmente expostos, em caso de acidentes em uma das vias da rede de tráfego considerada, é aquele que permite a entrada de veículos transportadores de produtos perigosos exclusivamente pelo Acesso Norte.

Pelo gráfico referente aos resultados obtidos é possível verificar que a liberação dos acessos Norte, Centro e Sul para caminhões transportando produtos perigosos pode resultar em 54.187 habitantes atingidos caso ocorram acidentes nos trechos urbanos da rede sob aquelas condições. Por outro lado, a liberação apenas do acesso Norte do município para tal circulação, de fato a região mais próxima a zona industrial da cidade, resulta em 13.349 potenciais habitantes atingidos, equivalente a aproximadamente 26,4% daquele cenário de maior impacto.

**Figura 6:** Resultados de população potencialmente atingida nos cenários



Finalmente, a Figura 7 representa a rede urbana cujas vias devem ter a permissão de circulação de veículos transportadores de cargas perigosas que minimiza o número de habitantes atingidos sob a hipótese de algum acidente no seu trajeto, para atendimento dos pontos de demanda a partir dos acessos representados na Figura 4.

**Figura 7:** Cenário de menor risco à população com acesso ao Norte de Joinville-SC



## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo apresenta as vias com permissão à circulação de caminhões para o transporte de produtos perigosos que minimizam o número total de habitantes atingidos sob a hipótese de ocorrência de acidentes com caminhões nas vias entre os acessos à área urbana do município e locais específicos de demanda pelos produtos. Uma vez que não existe uma classificação quanto ao tipo de carga transportada por esses caminhões que se envolveram em acidentes, admitiu-se

a totalidade para estimação do risco por ser o tipo de veículo usualmente utilizado no transporte de produtos perigosos. Os resultados obtidos indicaram que o cenário que restringe a circulação dos caminhões em Joinville-SC pelo acesso Norte do município é aquele que minimiza o número total de possíveis habitantes atingidos.

A partir da identificação das vias que podem receber esse tipo de transporte é possível estabelecer restrições quanto ao tipo de produto e quantidade/tonelagem permitida e definir a restrição horária evitando-se os horários de maior volume de tráfego. Assim, com a sinalização correta e suporte de políticas públicas adequadas, a circulação de produtos perigosos na área urbana de Joinville pode se tornar mais segura, inclusive facilitando a fiscalização e reduzindo o tempo de resposta em caso de acidentes por parte das autoridades competentes.

O resultado deste estudo permitirá que empresas transportadoras e órgãos fiscalizadores identifiquem e escolham as rotas que minimizem as consequências de eventuais acidentes na rede de tráfego urbano de Joinville. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos a partir de levantamentos prévios na Defesa Civil de Joinville.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2014). NBR 7500 - Identificação para o transporte terrestre, manuseio, movimentação e armazenamento de produtos. Disponível em: <<http://abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=255687>>. Acesso em: 15/11/2016.
- ANTT (2012). Transporte de produtos perigosos no mercosul. Disponível em: <[http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/transporte\\_terrestre\\_de\\_produtos\\_perigosos\\_-\\_ultima\\_versao.pdf](http://www.antt.gov.br/backend/galeria/arquivos/transporte_terrestre_de_produtos_perigosos_-_ultima_versao.pdf)>. Acesso em: 05/04/2016.
- Batta, R. e C. Kwon (2013). *Handbook of OR/MS models in hazardous materials transportation*. Springer.
- BRASIL (1968). Decreto 62.127 de 16/01/1968. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/D62127.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/D62127.htm)>. Acesso em: 15/11/2016.
- BRASIL (1985). Resolução 5 de 20/11/1985. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA\\_RES\\_CONS\\_1985\\_005.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/legislacao/CONAMA_RES_CONS_1985_005.pdf)>. Acesso em: 15/11/2016.
- BRASIL (1988). Decreto 96.044 de 18/05/1988. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/antigos/d96044.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d96044.htm)>. Acesso em: 04/04/2016.
- BRASIL (2003). Manual de desastres humanos: desastres humanos de natureza tecnológica. Volume 2 - Parte I - Brasília. 452 p.
- BRASIL (2004a). Resolução 420 de 12/02/2004. Disponível em: <<https://www.diariodasleis.com.br/busca/exiblink.php?numlink=1-8-34-2004-02-12-420>>. Acesso em: 15/11/2016.
- BRASIL (2004b). Resolução 701 de 25/08/2004. Disponível em: <[http://redsang.ial.sp.gov.br/site/docs\\_leis/bs/bs8.pdf](http://redsang.ial.sp.gov.br/site/docs_leis/bs/bs8.pdf)>. Acesso em: 15/11/2016.
- Centrone, G., R. Pesenti, e W. Ukovich (2008). Hazardous materials transportation: a literature review and an annotated bibliography. In B. C., B. A., G. E., e S. R. (Eds.), *Advanced Technologies and Methodologies for Risk Management in the Global Transport of Dangerous Goods*, Volume 14, pp. 33–63. IOS Press.
- Cormen, T. H., C. E. Leiserson, e R. L. Rivest (1990). Introduction to algorithms. McGraw-Hill and MIT Press, Cambridge, Mass, 1990.
- Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville (2015). Banco de dados sobre acidentes.
- Costa, E. E. S. (2009). *Metodologia para definição da sub-rede de transporte de produtos perigosos em áreas urbanas*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Defesa Civil de Joinville (2016). Rede viária, hidrografia e áreas de fragilidade ambiental de Joinville, Santa Catarina.
- DER (2014). Manual de produtos perigosos. Secretaria dos Transportes. Disponível em: <<http://200.144.30.103/siipp/arquivos/manuais/Manual20de20Produtos20Perigosos.pdf>>. Acesso em: 11/04/2016.
- Erkut, E. e A. Ingolfsson (2005). Transport risk models for hazardous materials: revisited. *Operations Research Letters* 33(1), 81–89.
- Erkut, E., S. A. Tjandra, e V. Verter (2007). Hazardous materials transportation. In C. Barnhart e G. Laporte (Eds.), *Handbooks in operations research and management science*, Volume 14, pp. 539–621. Elsevier.

- Harwood, D. W., J. G. Viner, e E. R. Russell (1990). Truck accident rate model for hazardous materials routing. Transportation Research Record 1264, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC.
- Kara, B. Y., E. Erkut, e V. Verter (2003). Accurate calculation of hazardous materials transport risks. *Operations research letters* 31(4), 285–292.
- Luedtke, J. e C. White (2002). Hazmat transportation and security: survey and directions for future research. *Department of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA.*
- ONU (2011). Recommendations on the transport of dangerous goods.
- Queiroz, M. T. A. (2014). Acidentes no transporte de cargas/produtos perigosos no colar metropolitano do vale do aço, minas gerais. Disponível em: <[http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos08/3\\_3\\_acidentes20com20cargas20perigosas20-20final.pdf](http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos08/3_3_acidentes20com20cargas20perigosas20-20final.pdf)>. Acesso em: 15/11/2016.
- Ramos, F. B. (1997). Metodologia para escolha de alternativas de rotas para o transporte de materiais perigosos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- SÃO PAULO (1993). Lei 11.368, de 17 de maio de 1993. Disponível em: <[http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/lei\\_113681993\\_1306429388.pdf](http://www.prefeitura.sp.gov.br/cidade/secretarias/upload/chamadas/lei_113681993_1306429388.pdf)>. Acesso em: 05/04/2016.
- SANTA CATARINA (2013). Produtos perigosos. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sc.gov.br/index.php/component/content/category/112-prevencao.html>>. Acesso em: 28/03/2016.
- USDOT (2018). Hazmat intelligence portal. Disponível em: <<https://hip.phmsa.dot.gov/analytics/saw.dll>>. Acesso em: 27/01/2018.
- Yilmaz, Z., S. Erol, e H. S. Aplak (2016). Transportation of hazardous materials (hazmat) a literature survey. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences* 22(1).

---

Virgínia de Almeida Santos (vialmeidasantos@hotmail.com)

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville

Rua Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Joinville, SC

Cassiano Augusto Isler (cassiano.isler@usp.br)

Universidade de São Paulo, Escola Politécnica

Av. Prof. Almeida Prado, 83, Travessa 2 - Edifício Engenharia Civil - São Paulo, SP