

ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM TÚNEIS NO TRANSPORTE DE CARGAS E PRODUTOS PERIGOSOS

HENRIQUE NAOKI SHIMABUKURO
UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO (UNINOVE)
henrique@abramet.org.br

Introdução

O crescimento e desenvolvimento industrial, tecnológico e químico da sociedade moderna resultaram na expansão do transporte rodoviário de cargas e produtos perigosos. A expansão da malha rodoviária brasileira não acompanhou esse crescimento na mesma proporção, culminando no surgimento de vários túneis no traçado das vias e acidentes dentro desses túneis.

Contexto Investigado

Os acidentes em túneis, não são freqüentes, porém representam sério risco ao bem estar, à saúde e à vida. Os danos à saúde humana vão de graves lesões a vítimas fatais. Ocorre, ainda, a possibilidade de danos ao meio ambiente e à propriedade privada.

Diagnóstico da Situação-Problema

Na análise dos riscos e acidentes em túneis consideram-se as características do meio, do veículo e do condutor. Somam-se as decisões do condutor, a velocidade imposta, a intensidade do tráfego, frequência de acidentes e a condição do transporte dentro do túnel. Consideram-se, ainda as condições da via, as condições climáticas adversas, comportamentos criminosos e falhas humanas.

Intervenção Proposta

Durante uma eventual evacuação, os riscos, em caso de acidentes do tipo incêndio ou explosão, são agravados pelo comportamento dos usuários dos veículos, pois não possuem noção do risco/perigo. Diante disso, avaliar o comportamento humano em situações de estresse.

Resultados Obtidos

A ameaça à vida e à saúde não é a exposição ao fogo, mas também a inalação de fumaça. Assim, o controle da propagação da fumaça é um dos recursos dos sistemas de ventilação do túnel.

Contribuição Tecnológica-Social

Esta pesquisa tem a finalidade de alertar e estimular a todas as classes envolvidas, assim como outros pesquisadores brasileiros em novos estudos à procura de sugestões e soluções para os acidentes em túneis, pois cada túnel possui características diferentes, o que pressupõe variadas possibilidades de eventos para um mesmo fator causal do acidente.

**ACIDENTES RODOVIÁRIOS EM TÚNEIS
NO TRANSPORTE DE CARGAS
E PRODUTOS PERIGOSOS**

1. Introdução

O crescimento e desenvolvimento industrial, tecnológico e químico da sociedade moderna trouxeram necessidades diversas, que resultaram na expansão do transporte rodoviário de cargas e produtos perigosos (PP), embora a expansão da malha rodoviária brasileira não tenha acompanhado esse crescimento na mesma proporção. A ampliação da malha viária **culminou no surgimento de vários túneis no traçado das rodovias**. Conseqüentemente foi seguido do aumento do número de acidentes rodoviários, **inclusive com acidentes dentro desses túneis**. Esses acidentes em túneis, apesar de não serem muito frequentes representam sério risco ao bem estar, à saúde e à vida. Os danos à saúde humana vão de graves lesões a vítimas fatais. Ocorre, ainda, a possibilidade de danos ao meio ambiente e à propriedade privada. Havendo vítimas ou não, seus custos são vultosos, até pela necessidade de verificação de danos estruturais dentre as avarias que possam ter ocorrido. Ao meio empresarial, além dos problemas citados, o ônus do comprometimento à imagem de suas marcas.

Conforme Freitas & Porte (1995), os acidentes químicos, com explosões e incêndios são causa de inúmeras fatalidades. São mais comuns nas plantas industriais e também durante o transporte, por este motivo os trabalhadores locais e população adjacente são as vítimas em maior número. A dispersão de material químico ou de nuvens tóxicas decorrentes dos incêndios é igualmente perigosa, pois não se limita ao tempo e espaço, ou seja, pode alcançar grandes distâncias ou agir por longo tempo. Bubbico *et al* (2004), consideram que os acidentes rodoviários com PP representam risco à população lindeira, na área de impacto. O veículo transportador é considerado fonte de risco móvel, pois pode ser objeto de acidente a qualquer momento durante sua movimentação.

Segundo Haack (1992), incêndios em túneis rodoviários ou ferroviários são considerados problemáticos por todo o mundo, não só pelo perigo às pessoas, mas também pelo dano material causado pelos mesmos, a exemplo de acidentes ocorridos na Europa, Ásia e América do Norte. Na Alemanha, acidentes em túneis ocorreram com a particularidade de graves problemas durante o salvamento das vítimas. Os danos materiais causados pelo fogo estão relacionados à intensidade do calor que podem afetar as pistas de rolamento afetando o tráfego de veículos, mas dificilmente afetam a estabilidade das estruturas do túnel. Os gases produzidos pela combustão somados ao calor intenso formam uma mistura muito agressiva dificultando a fuga e resgate às vítimas.

É importante salientar que, considerando-se as inúmeras estradas que cortam o país ou vias urbanas que passam pelas grandes metrópoles e que possuam túneis em seus trajetos, parece ser unanimidade em não haver preocupação com a possibilidade de acidentes dentro desses túneis. Tal fato, muitas vezes ocorre por desconhecimento da população ou do próprio poder público relacionado às conseqüências dos acidentes nessas galerias.

2. OBJETIVO

Diante do crescente desenvolvimento tecnológico e químico da indústria brasileira impulsionando o transporte de produtos químicos e de PP com aumento das estatísticas dos acidentes rodoviários com esses produtos, o presente estudo tem por objetivo alertar para a possibilidade de acidentes químicos maiores dentro de túneis nas vias urbanas e estradas brasileiras. Dessa forma, propõe iniciar e estimular estudos referentes à possibilidade de acidentes químicos, principalmente PP em túneis à semelhança dos países europeus, porém, antes que essas catástrofes aconteçam em território nacional. Tem, ainda, o objetivo de estimular novos estudos em busca de experiência, sugestões e soluções.

3. METODOLOGIA

A metodologia aplicada foi fazer uma breve revisão bibliográfica na literatura, principalmente internacional de estudos e experiências relacionadas aos acidentes em túneis, tendo em vista o número muito pequeno de trabalhos nacionais relacionados ao tema. Os bancos de dados mais utilizados foram o *Web of Science* e, principalmente o *Science Direct* com a utilização das palavras chave: *tunnel fires, tunnel safety, air flow, smokes flow, critical ventilation, longitudinal ventilation, evacuation e human behavior in fires*.

4. A PERCEPÇÃO DO RISCO

De acordo com Vrijling, (1995), o desenvolvimento fez prosperar as atividades industriais de forma tão perigosa quanto às catástrofes naturais. Assim, estabeleceu-se a percepção do risco e segurança, onde o risco é aceitável à semelhança da segurança. Para Wildavsky & Dake (2013), esse desenvolvimento faz as pessoas observarem a tecnologia como boa ou perigosa e perceberem os perigos como grandes ou pequenos, variando desde guerras até preocupações econômicas. Diante disso, o potencial de percepção de risco é realizado por comparação. Já Kuhnen (2009), diz que a mitigação ou prevenção de riscos precisam considerar a percepção. O conhecimento, compreensão e aceitação do risco se fazem necessários para a diminuição da vulnerabilidade da população. A sensação de insegurança, exposição ao perigo ou ainda como instabilidade e exposição a riscos leva a entender que há forte ligação entre vulnerabilidade e risco.

Sanchez & Bertolozzi (2007), afirmam que a vulnerabilidade pode ser entendida como um conjunto de aspectos coletivos, cujo contexto leva a maior susceptibilidade a doenças ou agravos. Para Marandola & Hogan, (2005), o termo vulnerabilidade não

pode ser compreendido sem que se considere o conceito de risco colocando em foco os perigos sociais, os tecnológicos e os perigos naturais. No que se refere a vulnerabilidade, Acselrad (2006) associa a maior ou menor sensibilidade das pessoas, lugares, infra-estruturas ou ecossistema na predisposição ao risco. Diante disso, para a SSI-UFPE (2009), é necessário estabelecer a diferença entre risco e perigo. O perigo é a origem ou situação com elevado potencial de perda, enquanto o risco é a condição que aumenta ou diminui a probabilidade desse potencial de perda. Assim, o risco como manifestação do perigo pode levar danos físicos ou fatalidade à população.

5. O COMPORTAMENTO HUMANO FRENTE AO RISCO

Assim, segundo Meireles (2008), na análise dos riscos em túneis são consideradas as características do meio, do veículo e do condutor, a quem é atribuído a interação desses fatores na ocorrência do acidente. Somam-se a esses fatores as decisões do condutor, a velocidade imposta, a intensidade do tráfego, frequência de acidentes e a condição do transporte dentro do túnel. Esses fatores somam-se às condições da via, as condições climáticas adversas, comportamentos criminosos e falhas humanas. No processo de tomada de decisões do condutor, é importante a experiência do mesmo. Além dos fatores descritos, cabe avaliar sua distância com as paredes do túnel, a luminosidade do túnel, o comprimento do túnel, que vão influenciar na velocidade imposta, pois uma diminuição repentina da velocidade pode interferir negativamente.

Boer & van Zanten (2005) consideram que um agravante na análise e avaliação do risco de acidentes em túneis pode ser o fato de motoristas e pedestres enxergarem o túnel de formas diferentes. O motorista em altas velocidades tem a noção de uma passagem estreita e rápida sem observar detalhes da parede que parecem estar correndo, os sinais luminosos nela contidos parecem *flashes* de luz e as saídas de emergência não são percebidas. A visão do túnel, na velocidade do pedestre, aproximadamente 5 km/h, permite observar uma passagem enorme e larga, além da visualização de todos os detalhes da parede, Figura 1.



Figura 1. À esquerda, a perspectiva visual do motorista enquanto dirige a alta velocidade. À direita, a perspectiva visual do pedestre a uma velocidade aproximada de 5 km/h.

Fonte: Boer & van Zanten (2005).

Durante uma eventual evacuação, os riscos, em caso de acidentes do tipo incêndio ou explosão, são agravados pelo comportamento dos usuários dos veículos, pois não possuem noção do perigo e também não tem noção de detalhes da parede como portas de saída de emergência. A falta de noção do risco/perigo leva os motoristas e passageiros dos veículos a permanecerem no local de seus veículos (não abandonam seus bens) e somente abandonam o local após avisos quanto ao perigo, já decorridos algum tempo da comunicação da ameaça, tempo suficiente para a fumaça ocupar completamente o túnel e muitas vezes ser fatal, Figura 2.



Figura 2. Fotos tiradas 1'31'' e 4'49'' após o início do congestionamento causado por acidente de caminhão à frente, mostrando que os ocupantes dos veículos não abandonam os abandonam mesmo após a fumaça ocupar o túnel dificultando quase que completamente a visão.

Fonte: Boer & van Zanten (2005).

6. ACIDENTES EM TÚNEIS NOS ESTADOS UNIDOS, ÁSIA E EUROPA

Estudos de Philip & Egilsrud (1984), mostram que nos Estados Unidos, são poucos os acidentes com produtos perigosos em túneis que resultam em incêndio. Isso porque o transporte de PP em túneis das estradas americanas é proibido. Essa proibição é decorrente de um incêndio causado por um caminhão transportando produtos químicos, em 1949, no Holland Túnel (nome do túnel em homenagem ao engenheiro que o projetou, Clifford M. Holland) sob o rio Hudson na cidade de New York. Diante disso, são escassos os documentos relatando esse tipo de acidente nos bancos de dados americanos. Os poucos relatos existentes mostram que entre os anos de 1976 e 1981, a

freqüência de incêndios em túneis variava de 6,89 a 7,50 acidentes por milhão de milhas percorridas nas estradas americanas, enquanto que para caminhões tanque a freqüência destes acidentes variava de 3,97 a 5,98 e uma média de 4,91 acidentes por milhão de milhas percorridas, destes, cerca de 1,7% resultavam em incêndios. Apesar da proibição, os caminhões tanque com PP apresentavam, proporcionalmente, 70% mais possibilidades de incêndio em relação ao transporte de cargas convencionais.

A segurança relacionada à possibilidade de um desastre no interior de um túnel não era valorizada por sua pouca demanda, tornando irrelevante sua percepção quanto a danos e consequências. A atitude de negligência pelos tomadores de decisão começou a mudar a partir do ano de 1999, quando ocorreram dois graves acidentes (Mont Blanc e Tauern), onde o número de mortos relacionados a esses acidentes, além de outros acidentes em túneis, retrospectivamente, chamaram a atenção, Quadro 1. Outro fato também se mostrou impressionante, o impacto dos custos, pois só para a Itália o acidente do túnel de Mont Blanc teve um custo indireto de 400 milhões €/ano, Marques (2008). Desde 1978, à exceção de um acidente no Japão e outro nos Estados Unidos, todos os grandes acidentes em túneis ocorreram na Europa.

Quadro 1 – Lista dos mais significativos acidentes em túneis dos últimos anos

| Ano | Nome | País | Extensão (m) | Mortes |
|------|---------------------|-----------------|--------------|--------|
| 1978 | Velsen | Países Baixos | 770 | 55 |
| 1979 | Nihonzaka | Japão | 2000 | 9 |
| 1982 | Celdecott | EUA | 1000 | 7 |
| 1983 | Pecorile | Itália | 600 | 8 |
| 1989 | Brenner | Áustria | 412 | 2 |
| 1995 | Pfänder | Áustria | 6800 | 3 |
| 1996 | Isola delle Femmine | Itália | 148 | 5 |
| 1999 | Mont-Blanc | França – Itália | 11600 | 39 |
| 1999 | Tauern | Áustria | 6000 | 12 |
| 2001 | Gleinalm | Áustria | 8800 | 5 |
| 2002 | San Gotard | Suíça | 12600 | 11 |
| 2005 | Frejus | França – Itália | 12900 | 2 |

Fonte: Marques, (2008)

O ano de 1999 foi considerado um marco a partir da ocorrência dos acidentes em túneis nas cidades de Mont Blanc, entre a França e a Itália, e em Tauern, na Áustria, Figuras 3 e 4. Assim, as primeiras leis relacionadas a esse tipo de acidentes foram aprovadas em 2004. Em Portugal, a regulamentação a esse respeito só iniciou em 2006, Meireles (2008).



Figura 3. Túnel de *Mont Blanc* após a tragédia
Fonte: Meireles, (2008).



Figura 4. Túnel de *Tauern* após a tragédia
Fonte: Meireles, (2008).

De acordo com Scabbia (2007), embora não haja uma frequência elevada de acidentes em túneis envolvendo PP pelo mundo, em alguns dos casos apresenta acidentes com maior gravidade pela presença destes produtos: *Nihonzaka* (Japão - 1979), *Kajiwara* (Japão - 1980), *Calcott* (EUA - 1982), *Isola delle Femmine* (Itália - 1996), *Tauern* (Áustria - 1999) e *Dalseong* (China - 2005). Propostas de gerenciamento de risco e de medidas adotadas em alguns desses túneis, sugeriram, dentre vários critérios, o controle de velocidade, pistas unilaterais, melhoria da iluminação, proibição de ultrapassagem e proibição de veículos transportando PP, como condições de liberação de uso e operação comercial dos túneis.

7. OS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

Para Brahim *et al* (2013), incêndios em túneis são fenômenos físicos que possuem grande influência da geometria do túnel, como inclinação, capacidade de ventilação e pressão do vento, além das reações químicas dos produtos envolvidos na origem do incêndio. Dessa forma, a maior ameaça à vida e à saúde não é somente a exposição direta ao fogo, mas também a inalação de fumaça. Assim, o controle eficiente da propagação da fumaça é um dos mais importantes recursos no desenho dos sistemas de ventilação do túnel. Nesse sentido, os sistemas de ventilação longitudinal utilizados em túneis são controlados pela velocidade longitudinal e a velocidade crítica da ventilação. A primeira é utilizada para melhorar a clareza e visibilidade das rotas de evacuação dos usuários, assim como para o combate ao incêndio. Oka & Atkinson (1996), dizem que estes detalhes são importantes quando se observa que incêndios em túneis podem apresentar altas taxas de calor. O fogo pode produzir chamas com comprimento maiores que a altura da maioria dos túneis, determinando a variação crítica da velocidade das chamas do incêndio.

Na década de 1980, conforme Haack (1999), a probabilidade de incêndios em túneis rodoviários era da ordem de um caso de incêndio a cada 10×10^9 km percorridos na rodovia. Essa probabilidade cresceu por razões como: aumento da densidade do tráfego, as velocidades crescentes no transporte de cargas, aumento do número de túneis com comprimentos maiores em sua construção, desenvolvimento acompanhado inversamente pelas medidas de segurança adotadas no tráfego nos túneis. Dentre as medidas de segurança adotadas no combate aos incêndios no interior de túneis, são importantes os sistemas de ventilação. São três os diferentes tipos de sistemas mecânicos de ventilação utilizados em túneis rodoviários:

- O sistema longitudinal que é composto por ventiladores ao longo do túnel, cujo jato de ar vai empurrando o ar mais poluído para frente até impulsioná-lo ao exterior do túnel,
- O sistema transversal é constituído por dois sistemas mecânicos autônomos acima do teto e abaixo da faixa de rodagem ao longo do túnel,
- O sistema semi-transversal é uma junção dos dois sistemas anteriores que, agregados empurram mais eficientemente o ar poluído, realizando a troca por ar mais puro.

Conforme Palazzi *et. al.* (2005), a tecnologia empregada nos veículos atuais mudou o conceito de emissão de poluentes. A atenção é voltada à ventilação no controle da fumaça produzida em caso de incêndio. Os sistemas de ventilação mais adotados são os longitudinais, que proporcionam aos seres humanos e animais, poderem evitar o fogo e a exposição à fumaça, propiciando uma trajetória segura de evacuação.

Em seu trabalho, Colella (2010), define velocidade crítica como o mínimo fluxo de ar longitudinal necessário para evitar o fenômeno de “*back-layering*” nos incêndios em túneis. A velocidade crítica decorre de características da fumaça, como temperatura, magnitude da fonte de fogo, além da altura e largura do túnel. O fenômeno “*back-layering*”, por outro lado, é o evento onde ocorre a inversão do fluxo da fumaça pela baixa ventilação longitudinal do túnel. Observa-se, então que a estratificação térmica é uma característica importante para o fluxo do ar e fumaça, como para a distribuição da temperatura. O sistema de ventilação natural é baseado na leveza da fumaça como o primeiro critério para controlá-la, assim como seu confinamento e sua temperatura abaixo do teto do túnel. A presença de gases tóxicos misturados à fumaça deve ser considerada pela possibilidade de ser fatal dependendo do tempo de exposição.

Segundo Palazzi *et al* (2005), o tipo de ventilação, natural ou forçada, no interior do túnel vai determinar o fluxo de ar, da fumaça e da coluna de fogo. A extensão do túnel, eventuais obstáculos, curvas ou inclinações presentes em seu traçado também podem influenciar no incêndio. Porém, a maior gravidade de um eventual acidente desse tipo está apoiada na uniformidade da distribuição do fogo e da fumaça, relacionada às suas propriedades físico-químicas, observada num corte transversal do túnel. A temperatura da chama do fogo evidencia que a velocidade de ventilação crítica está influenciada pelo fogo, pelo fluxo do ar e das paredes do túnel. O fluxo do ar irá causar uma inclinação da chama, com angulação em torno de 45°, devido a aceleração do ar dentro do túnel, mostrando que a mesma não é simétrica, mas em sua porção central e superior ao local do início do fogo pode alcançar temperaturas superiores a 400° C. Esse mesmo fluxo do ar que circula pelo sistema de circulação longitudinal do túnel, promove uma aceleração da fumaça em direção ao teto do túnel, na área do início do fogo, pela diferença de densidade no local. Dessa forma, a fumaça produzida nesse local, se concentra e logo se expande com nova velocidade e aceleração, menores que as anteriores, em direção aos portais de entrada e saída do túnel.

Pelos conceitos da RailSystem (2015), observa-se que em relação aos sistemas de ventilação, a fumaça e os gases tóxicos, após aquecimento, aceleram em direção ao teto, onde são comprimidos, preenchem os vazios do túnel e, então, são impulsionados para os portais de entrada e saída. Na zona do fogo, na ausência de corrente de ar (ventilação natural), a fumaça e os gases tóxicos se dirigem, simetricamente para os dois lados da zona de fogo, Figura 5.

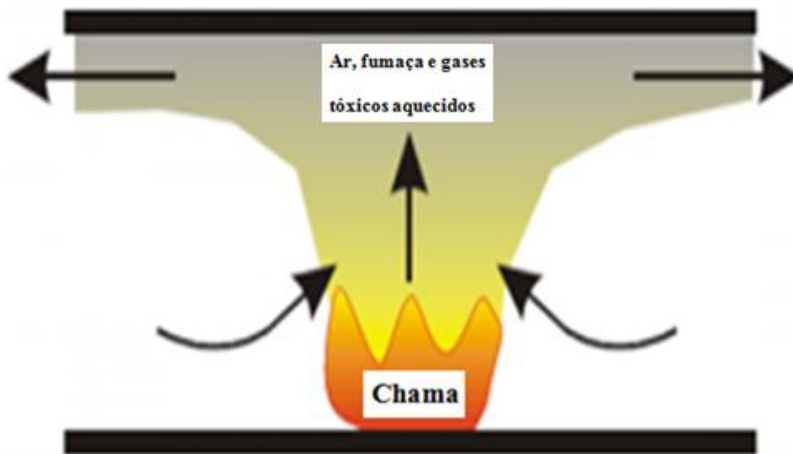


Figura 5. Direção da fumaça e dos gases tóxicos na ausência de corrente de ar.

Fonte: RailSystem (2015).

Na presença de ventilação de ar sem velocidade suficiente ($V_{vent} < V_{chama}$) para empurrar as camadas de ar, fumaça e gases tóxicos aquecidos, parte reflui em sentido contrário, fenômeno chamado “backlayering”, Figura 6. Este fenômeno depende de outros fatores, dentre eles a intensidade da temperatura do fogo e o nivelamento e geometria do túnel.

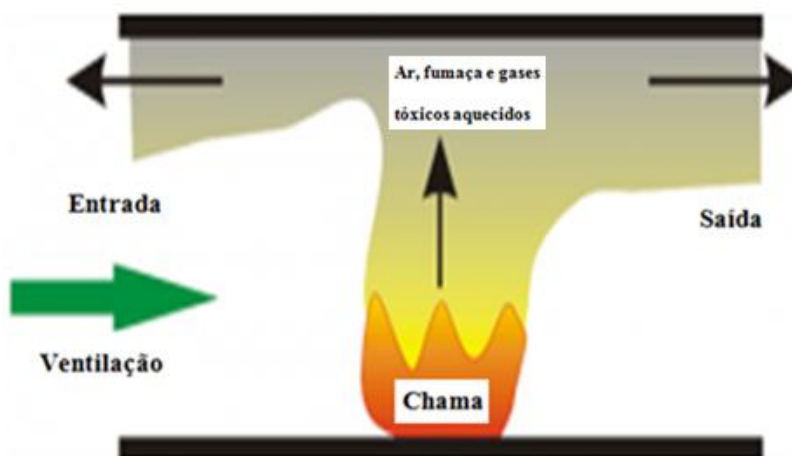


Figura 6. Direção da fumaça e dos gases tóxicos, com $V_{vent} < V_{chama}$, ventilação mecânica insuficiente

Fonte: RailSystem (2015).

Se a velocidade da ventilação for suficientemente forte para empurrar o ar, fumaça e gases tóxicos aquecidos na mesma direção da ventilação, ou seja, de encontro ao portal de saída do túnel, nas condições de ventilação mecânica considerada suficiente: $V_{vent} = V_c$ e $V_{vent} > V_c$, representadas na Figura 7.

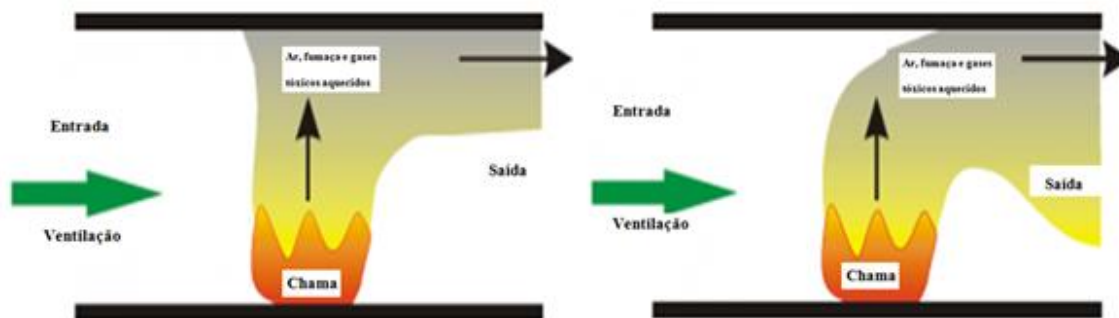


Figura 7. Direção do ar, fumaça e gases tóxicos aquecidos para ventilação mecânica suficiente.

Fonte: RailSystem (2015).

8. CONCLUSÃO

No Brasil, assim como em todo mundo, os produtos perigosos de classe 3 (líquidos inflamáveis), classe 6 (substâncias tóxicas e infectantes), classe 8 (substâncias corrosivas) e classe 2 (gases, gases inflamáveis e gases tóxicos) estão entre os mais presentes nos acidentes rodoviários. Desses acidentes, para Campos *et. al.* (2006), não se pode desprezar a possibilidade de eventos que podem ocorrer em túneis. O espaço subterrâneo, no Brasil, é ocupado sem planejamento ou controle, prevalecendo o interesse privado, à custa de detrimento do conceito de sustentabilidade e crescimento desorganizado.

Um túnel é construído para solucionar problemas como passagem por um rio ou oceano, uma montanha ou ainda encurtar uma rota de transporte. Sempre adotado como última alternativa por sua complexidade de construção e também pelos riscos que ocorrem durante sua construção, permanecendo durante seu tempo de operação e além de sua vida útil. Na Europa há um grande número de túneis extensos, por isso possuem um sistema operacional baseado em supervisões frequentes por meio de sistemas automatizados. Contrariamente, no Brasil são raros os túneis com grande extensão, por isso centraliza sua operação como as ações rodoviárias em campo, Scabbia (2007).

As operações em campo são diferentes em relação às possíveis ações que devem ser adotadas dentro dos túneis em caso de acidentes. Embora o número de acidentes em túneis seja pequena, isto faz com que o preparo e resposta a esses eventos, no Brasil, seja deficiente. Porém, apesar de ocorrer em baixo número, pode ocorrer com gravidade pela possibilidade de grande número de vítimas. Some-se o alto custo desses eventos, a exemplo dos países europeus.

9. SUGESTÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observa-se que grande parte do Custo Brasil ou a desvantagem competitiva da economia brasileira frente a outros países em desenvolvimento, são desperdiçadas em decorrência de acidentes no transporte de cargas. Esses acidentes ocorrem pela falta de

investimentos na melhoria técnica e na infra-estrutura do setor de transportes. Todos os fatores negativos se alinham, com maior probabilidade de causar acidentes, principalmente no transporte rodoviário de cargas e produtos perigosos. O baixo número de acidentes em túneis, nas rodovias brasileiras, não justifica o despreparo das equipes de saúde e outras áreas afins na atuação ao combate às conseqüências desses eventos indesejáveis.

Nota-se que os fatores apresentados agem como bola de neve. Espera-se, alertar e estimular a todas as classes envolvidas, principalmente a área da saúde, classe empresarial, área de seguros e tomadores de decisão. Espera-se, ainda, estimular outros pesquisadores brasileiros em novos estudos à procura de sugestões e soluções para os acidentes em túneis, pois cada túnel possui características diferentes, o que pressupõe variadas possibilidades de eventos para um mesmo fator causal do acidente.

10. Referências

- Acsehrad, H. (2006). **Vulnerabilidade ambiental, processos e relações**, 2–4.
- Brahim, K., Mourad, B., Afif, E. C. & Ali, B. (2013). **Control of Smoke Flow in a Tunnel**. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 6(1), 49–60.
- Bubbico, Roberto, Di Cave, Sergio, Mazzarotta, B. (2004). **Risk analysis for road and rail transport of hazardous materials: a simplified approach**. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 17(6), 477–482. <http://doi.org/10.1016/j.jlp.2004.08.010>
- Campos, G. C., Iyomasa, W. S., Santos, A. J. G., Martins, J. R. S. & Menezes, M. (2006). **O “invisível” espaço subterrâneo urbano**. *São Paulo Em Perspectiva*, 20(2), 147–157.
- Colella, F. (2010). **Multiscale Modelling of Tunnel Ventilation Flows and Fires**. *Thesis*, (May).
- Erkut, E., Tjandra, S. A., Verter, V. (2007). **Hazardous Materials Transportation**. *Handbooks in Operations Research and Management Science* (Vol. 14, pp. 539–621). Elsevier. [http://doi.org/10.1016/S0927-0507\(06\)14009-8](http://doi.org/10.1016/S0927-0507(06)14009-8)
- Freitas, C. M., Porte, M. F. S. (1995). **Acidentes químicos ampliados : um desafio para a saúde pública The increase in chemical accidents : a challenge for public health**. *Revista de Saúde Pública*, (021), 503 – 514.
- Haack, A. (1992). **Fire protection in traffic tunnels— initial findings from large-scale tests**. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 7(4), 363–375. [http://doi.org/10.1016/0886-7798\(92\)90066-Q](http://doi.org/10.1016/0886-7798(92)90066-Q)
- Haack, A. (1999). **Fire protection in traffic tunnels : general aspects and results of the EUREKA Project**. *Tunnel Fire Safety*, 13(4), 377–381.
- Kuhnen, A. (2009). **Meio Ambiente e vulnerabilidade - a percepção ambiental de risco e o comportamento humano**. *Geografia (Londrina)*, 18(2), 37–52.
- Marandola Jr, E. & Hogan, D. J. (2005). **Vulnerabilidades e riscos : entre geografia e demografia**. *Rev. Bras. Est. Pop.*, 22(1), 29–53.
- Marques, T. P. A. (2008). **Análise de risco em túneis rodoviários - O transporte de produtos perigosos**. *Depto de Engenharia Civil - Universidade Do Porto*.

Meireles, A. (2008). **Análise de risco em túneis rodoviários: o caso das colisões.** *Depto de Engenharia Civil - Universidade Do Porto*. Retrieved from <http://repositorio-aberto.up.pt/handle/10216/57767>

Oka, Y. & Atkinson, G. T. (1996). **Control of smoke flow in tunnel fires.** *Fire Safety Journal*, 25, 305–322.

Palazzi, E., Currò, F. & Fabiano, B. (2005). **A Study on Road Tunnel Fires Using Hazmat, with Emphasis on Critical Ventilation Velocity.** *Process Safety and Environmental Protection*, 83(5), 443–451. <http://doi.org/10.1205/psep.04214>

Philip, E. & Egilsrud, P. E. (1984). **Prevention and control of highway tunnel fires.** *U.S. DOT*.

RailSystem (2015). **Critical Velocity for Smoke Control.** Disponível em: <http://www.railsystem.net/critical-velocity/> Acesso em: 25/04/2016.

Sanchez, A. I. M. & Bertolozzi, M. R. (2007). **Pode o conceito de vulnerabilidade apoiar a construção do conhecimento em Saúde Coletiva?** *Ciência & Saúde Coletiva*, 12(2), 319–324.

Scabbia, A. L. G. (2007). **Túneis rodoviários - Proposta de avaliação de conformidade para liberação ao uso e operação comercial.** *Depto Engenharia Mecânica - Escola de Engenharia São Carlos - USP*.

SSI-UFPE. (2009). **Análise de riscos.** https://www.ufpe.br/ssi/index.php?view=article&id=324%3Aar&format=pdf&option=com_content&Itemid=264, 1–2. Acesso em 10.Out.2014

Vrijling, J. (1995). **A framework for risk evaluation.** *Journal of Hazardous Materials*, 43(3), 245–261.

Wildavsky, A., & Dake, K. (2013). **Theories of Risk Perception : Who Fears What and Why ?**, 119(4), 41–60.