



## SEGURANÇA EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS URBANOS

João Palma <sup>1</sup>, C. Oliveira Costa <sup>2</sup> e João Viegas <sup>3</sup>

<sup>1</sup> LNEC, Lisboa, Portugal, [jpalma@lnec.pt](mailto:jpalma@lnec.pt)

<sup>2</sup> LNEC, Lisboa, Portugal, [ocosta@lnec.pt](mailto:ocosta@lnec.pt)

<sup>3</sup> LNEC, Lisboa, Portugal, [jviegas@lnec.pt](mailto:jviegas@lnec.pt)

**Palavras-chave:** Túneis rodoviários, segurança, segurança funcional, factor humano.

**Sumário:** A presente comunicação trata de aspectos da segurança em túneis rodoviários, com realce para os situados em ambiente urbano, colocando em evidência certas vertentes que não fazem tradicionalmente parte da concepção e implementação dos sistemas automatizados destinados à redução de risco, propondo uma abordagem com a metodologia da Segurança Funcional.

### 1. INTRODUÇÃO

Os túneis rodoviários de grande dimensão constituem empreendimentos com requisitos especiais quanto à segurança dos utentes, acarretando custos de investimento e de exploração consideráveis em recursos materiais e humanos com essa finalidade. No caso dos túneis urbanos as exigências tendem a aumentar em consequência de maiores volumes de tráfego, da possibilidade de congestionamentos, da intrusão de peões, da maior vulnerabilidade de equipamentos e infraestruturas ao furto e ao vandalismo.

Nas maiores cidades portuguesas já existem numerosos túneis rodoviários de dimensão considerável (Benfica, Venda Nova, Grilo, Amoreiras, João XXI, Soares dos Reis).

As principais causas de perigo para os utentes dos túneis rodoviários dizem respeito a condições adversas para os condutores por deficiência de visibilidade, atmosfera perigosa (tóxica), materiais caídos na via, veículos parados ou em contramão, acumulação de água e ocorrência de incêndio ou de explosão. Uma vez que os túneis são equipados com numerosos sistemas e instalações as falhas destes últimos também constituem fatores de risco.

### 2. TECNOLOGIAS PARA A REDUÇÃO DE RISCO

Fora do domínio da conceção viária, a redução de risco neste tipo de infraestrutura assenta primordialmente na tecnologia à qual se associa a intervenção humana especializada. A primeira vertente envolve instalações e sistemas automatizados para realizarem diversas funções de segurança, com destaque para: iluminação, ventilação, desenfumagem, combate a incêndios, drenagem de inundações, deteção automática de incidentes, sinalização, controlo de altura, aviso aos utentes, evacuação. Os sistemas que realizam estas funções estão, por sua vez, dependentes de outros sistemas infraestruturais de automação, comunicação e energia. A intervenção humana, por seu lado, situa-se ao nível de supervisão, manutenção e atuação em situações de resposta de emergência.

Existe legislação europeia e nacional sobre requisitos mínimos de segurança a satisfazer em certos túneis rodoviários, mas a mesma não se traduz em exigências tecnológicas e até se abstrai de aspetos desta índole que devem constituir preocupações para a engenharia. Por conseguinte, existe espaço e oportunidade para a

inovação e a validação de soluções tecnológicas para a segurança nos túneis rodoviários, aspetos em que o LNEC tem estado envolvido no passado recente e pode trazer contributos relevantes.

Com efeito, a experiência do LNEC no acompanhamento deste tipo de empreendimentos, bem como na sua inspeção e verificação de segurança, tem proporcionado o contacto com o desempenho de diversos tipos de tecnologias utilizadas – e o conhecimento das suas limitações – e de situações de risco normalmente ignoradas.

### 3. CADEIAS DE SEGURANÇA FUNCIONAL

Nos projetos de engenharia habituais de sistemas e instalações são concebidas soluções, é feito o dimensionamento e são selecionados equipamentos e materiais para satisfazer exigências de desempenho. Porém, em sistemas automatizados de segurança, há que ter em conta também as consequências de falhas nos mesmos e providenciar soluções de mitigação do acréscimo risco que tais ocorrências provoquem.

Para tal há que identificar as respetivas cadeias de deteção-decisão-ação e fazer a sua conceção e dimensionamento usando abordagens específicas de Segurança Funcional. Estão nestas condições, por exemplo, os sistemas que medem a luminância à entrada das galerias e controlam a iluminação interior, os sistemas que medem a poluição e a opacidade do ar no interior das galerias e controlam a sua renovação, os sistemas que detetam incêndios e comandam o processo de desenfumagem, os sistemas que detetam veículos com excesso de altura e desencadeiam o aviso aos condutores, os sistemas que detetam incidentes com veículos no interior do túnel (p.ex. em contramão) e atuam na sinalização variável, etc.

### 4. INTEGRAÇÃO DO FATOR HUMANO

Em quase todas as cadeias de segurança funcional referidas, que dependem principalmente de sistemas automáticos, existem também aspetos com intervenção humana, a cargo de pessoal operador, que fazem parte integrante dessas cadeias ou que são complementares (redundantes) de elementos das mesmas.

Defende-se que esta vertente também seja objeto de estudo, com recurso a métodos desenvolvidos para análise e quantificação do erro humano, de forma a permitir que seja encarada explicitamente na conceção dos sistemas de segurança, por um lado, e na caracterização das competências necessárias aos operadores, por outro.

### 5. AVALIAÇÃO DA SEGURANÇA FUNCIONAL

O desempenho dos sistemas automáticos com funções específicas de segurança nos túneis deve ser estudado usando os métodos e as métricas de avaliação do comportamento à falha das cadeias de segurança funcional. Nessa abordagem há que ter em conta a arquitetura de redundâncias, a qualificação dos equipamentos para funções de segurança, o autodiagnóstico e a capacidade de reparação ou de reconfiguração em caso de avarias, e ainda o fator humano.

A avaliação do desempenho deste tipo de sistemas deve abranger o ciclo de vida de segurança dos mesmos, incluindo conceção, construção, testes, colocação em serviço, sem esquecer as ocasiões particularmente críticas de alteração ou renovação. A avaliação por via experimental faz apelo a programas de teste especialmente vocacionados para a verificação de comportamentos em cenários extremos, como a perda parcial de recursos, a insuficiência da operação humana, a falha de energia e o corte de comunicações.

### 6. CONCLUSÕES

O estudo dos aspetos referidos com a abordagem metodológica da segurança funcional não fez, até agora, parte da legislação ou das recomendações internacionais para os túneis rodoviários, mas a sua necessidade nestes empreendimentos torna-se notória face à variedade de funções de segurança que, cada vez mais, é colocada na dependência da tecnologia dos sistemas automatizados.