

TÚNEL DO MARÃO - ASPETOS SOBRE SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIO

Dirceu Santos¹, Nelson Tico¹, Carlos Lagarinhos¹, Carlos Ferreira de Castro², Nuno Reis³, Bernardo P. B. Monteiro⁴

¹Teixeira Duarte Engenharia e Construções, S.A., Lagoas Park, Edifício 2, 2740-265 Porto Salvo, Portugal

²Action Modulers, Estrada Principal Nº 29 R/c Paz 2640-583 Mafra, Portugal

³Cenor Consultores, R. Vigias 2, Piso 1, Parque das Nações, 1990-506 Lisboa, Portugal

⁴IP Engenharia, S.A., Rua José da Costa Pedreira, 11, 1750-130 Lisboa, Portugal

Sumário

Tipicamente a segurança de um túnel rodoviário assenta em quatro pilares: Infraestrutura, Veículos, Operação e Utentes. No presente artigo pretende-se apresentar a estratégia definida para atuar nos pilares Operação e Utentes. Pela sua natureza, estes dois fatores estão condicionados pela imprevisibilidade do comportamento humano, quer do lado das pessoas que circulam no túnel, quer das que asseguram a operação. Com vista a controlar esta imprevisibilidade foi definido um Plano de Emergência Interno, do qual se pretendem apresentar os principais aspetos.

Palavras-chave: Túnel do Marão; Segurança; Incêndio; Plano de Emergência Interno.

1 INTRODUÇÃO

O túnel do Marão com as suas duas galerias unidirecionais de 5.680 m passará a ser o maior túnel rodoviário português, triplicando a extensão do segundo maior túnel em Portugal continental. Do ponto de vista de segurança contra risco de incêndio é uma infraestrutura única em Portugal.

De um modo geral a segurança de um túnel rodoviário pode definir-se em quatro *pilares*: Infraestrutura, Veículos, Operação e Utentes [1]. Os primeiros dois *pilares* são relativamente fáceis de controlar, quer pela adoção de soluções de segurança, em fase de projeto, observando os requisitos regulamentares, quer pelas condições que os veículos rodoviários têm de cumprir para que possam circular em qualquer rodovia. Já no que concerne aos procedimentos que a Operação deve observar e aos comportamentos que os Utentes devem adotar, é bastante mais complexo assegurar as condições necessárias à segurança. Nesta perspetiva, a segurança de um túnel desta envergadura é mais sensível ao modo como é usado, que ao modo como foi construído. Refira-se aqui que o túnel foi desenvolvido tomando como base de cálculo um incêndio de muito grandes dimensões (70 MW) no seu interior, a que corresponde uma probabilidade de ocorrência muitíssimo baixa. Do mesmo modo, toda a fase de projeto e construção foi sujeita a vários níveis de controlo, tanto por entidades licenciadoras como fiscalizadoras, observando assim os requisitos regulamentares portugueses [2] e europeus [3].

Procura-se assim neste artigo apresentar a estratégia definida para atuar nos “*pilares de segurança*” Operação e Utentes. Com efeito, deve realçar-se que estes dois *pilares* estão condicionados pela imprevisibilidade do comportamento humano tanto do lado das pessoas que circulam no túnel, como das que asseguram a operação. Neste contexto, de modo a mitigar estes dois fatores foi definido um sistema de gestão da segurança que integra o Plano de Emergência Interno e foi proposto um folheto específico para o caso do Túnel do Marão com o qual se pretendem divulgar os principais comportamentos a adotar quer em caso de circulação normal quer em caso de emergência.

2 O RISCO DE INCÊNDIO

Os acidentes no interior de túneis tendem a ter consequências mais gravosas do que os acidentes a céu aberto. Este aspeto deve-se essencialmente à configuração fechada do interior dos túneis. Neste particular, os incêndios são uma perigosa ameaça para as pessoas, já que produzem fumos, gases tóxicos e calor. Muitas vezes estes produtos são lançados para o exterior apenas pelos emboquilhamentos, pelo que a sua área de influência acaba por ser muito superior ao local onde teve início (em particular nos sistemas de ventilação longitudinal). Por outro lado, este tipo de ambiente dificulta a evacuação, quer pelo limitado número de saídas de emergência, quer pela dificuldade na sua identificação por parte dos utentes. Também os condicionalismos de acesso, das equipas de emergência, sejam elas, bombeiros ou equipas médicas, é um aspeto a ter em conta na avaliação da severidade das situações. Além dos efeitos sobre as pessoas, estes acidentes, podem também causar danos na própria estrutura do túnel e nos seus equipamentos.

O risco de incêndio pode definir-se pelo somatório dos produtos entre probabilidade e a gravidade das consequências dos vários eventos possíveis [4], [5], [6]:

$$R = \sum_i^n P_{evento}(i) \cdot Gravidade_{evento}(i) \quad (1)$$

Neste contexto, para controlar o risco de incêndio pode agir-se em qualquer um dos operandos da multiplicação. Seja reduzindo a probabilidade de ocorrência de um determinado evento, seja reduzindo a gravidade das consequências que dele podem advir. Para tal, recorre-se com frequência ao conceito de "*pilares de segurança*". Em particular, no caso dos túneis rodoviários, os "*pilares de segurança*" são: Infraestrutura, Veículos, Operação e Utentes [1], considerando cada um fundamentalmente os seguintes aspetos:

Infraestrutura – Relativo aos aspetos relacionados com o desenvolvimento físico do túnel, onde se consideram as características do traçado, da secção transversal, instalações técnicas e de segurança, etc.

Veículos – Correspondente às características do tráfego, nomeadamente a distribuição de veículos ligeiros, pesados, transporte de mercadorias, transporte de mercadorias perigosas, transporte de pessoas, etc. Incluem-se ainda aqui as condições técnicas de segurança dos veículos.

Operação – Consideram-se aqui as condições associadas à exploração dos túneis, quer em situação normal quer em situação de emergência. Para além das equipas que operam os centros de controlo dos túneis, destacam-se ainda as equipas de operação de emergência interna, integrando estas muitas vezes as equipas de exploração e apoio rodoviário, ou mesmo as equipas de manutenção [7]. Estão aqui também incluídos os serviços de emergência externos, os quais integram os diversos meios de socorro públicos e forças de segurança.

Utentes - Este *pilar* corresponde aos ocupantes dos veículos, os quais se pretendem proteger com as várias medidas de segurança. No entanto, os próprios têm um papel muito importante na salvaguarda das suas condições de segurança, pese embora este aspeto seja frequentemente subvalorizado não só pelos próprios, como pelos diversos agentes de segurança.

Da articulação entre os "*pilares de segurança*" aqui referidos com a definição de risco (1) verifica-se que o controlo do risco é um processo que é feito a dois tempos. O primeiro corresponde ao projeto e construção da infraestrutura e o segundo ao período de vida do túnel (fase de exploração). Neste sentido, a fase de projeto e construção tem um papel muito importante para a segurança de um túnel, atuando na definição das condições da infraestrutura (um *pilar*), cabendo à fase de exploração subsequente a responsabilidade de atuar sobre os restantes *pilares*. Dito de outro modo, a garantia das condições de segurança de um túnel não termina na construção do mesmo. Com efeito, da eficácia com que é feita a Operação, muito depende a garantia de segurança. Do mesmo modo, da forma como são desenvolvidas ações de sensibilização junto da comunidade em geral (*pilar* utentes) sobre os comportamentos a adotar quer em situação normal, quer de emergência, muito depende também a garantia de segurança.

Neste sentido foi desenvolvido um Plano de Emergência Interno para o Túnel do Marão, que se enquadra obviamente no *pilar* "Operação", com o qual se pretendem controlar os aspetos mais relevantes relacionados com

a exploração do túnel e com impacto na segurança do mesmo. Foi ainda desenvolvido um folheto de segurança cujo objetivo é o de servir de apoio na divulgação dos comportamentos que os utilizadores do túnel deverão adotar (*pilar "utentes"*). Note-se que, conforme já referido, estes dois documentos pretendem contribuir para obviar os aspetos associados à imprevisibilidade do comportamento humano.

3 CARATERIZAÇÃO DO TÚNEL

Neste capítulo apresenta-se uma descrição sucinta do túnel do Marão, considerando as principais características de construção civil e, do mesmo modo, os aspetos mais relevantes em termos de instalações técnicas. Em sintonia com o anteriormente referido acerca dos *"pilares de segurança"*, este capítulo refere-se ao *"pilar"* Infraestrutura.

3.1 Disposições construtivas

O túnel do Marão desenvolve-se em duas galerias independentes de tráfego unidirecional, com uma orientação sensivelmente Este-Oeste, uma extensão de 5680 m e um declive constante de cerca de 2,5 % ascendente de ponte para nascente. Cada galeria tem uma faixa de rodagem com duas vias de circulação de 3,5 m de largura, uma bermagem de segurança com 2,5 m e um passeio pedonal de cerca de 1 m de cada lado (dois passeios por galeria).

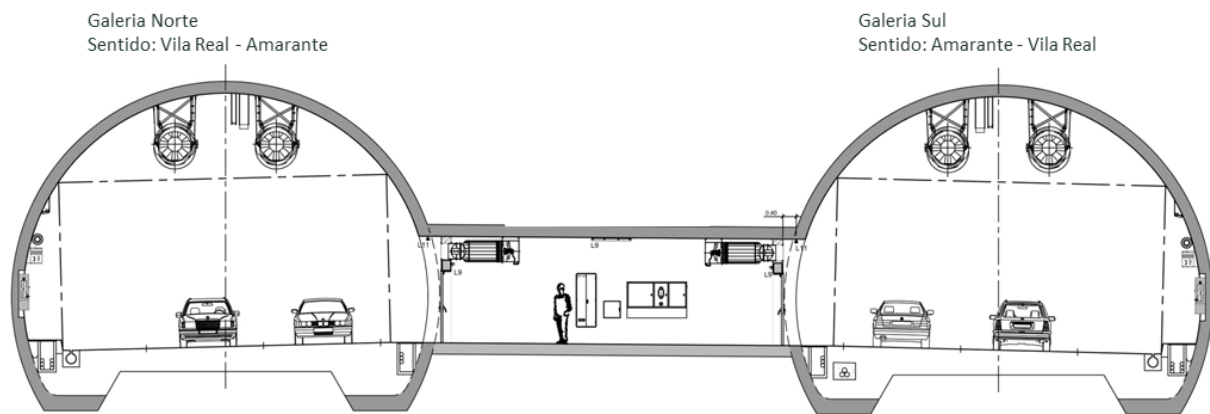


Fig.1. Secção transversal do Túnel do Marão

Na figura anterior apresenta-se uma secção transversal do túnel onde se pode observar, para além dos aspetos já referidos, uma galeria de emergência que interliga as duas galerias de circulação rodoviárias. Com efeito, de 400 m em 400 m há uma galeria de emergência, perfazendo um total de treze, conforme se pode observar na figura seguinte.

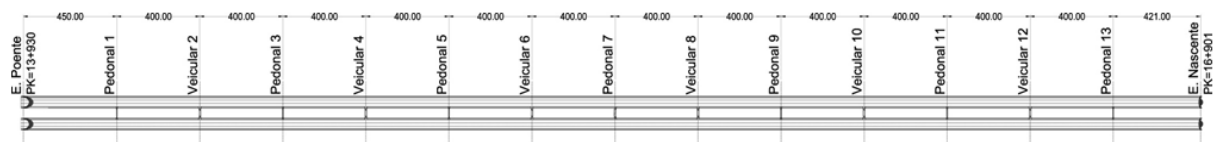


Fig.2. Planta do túnel com 13 galerias de emergência

Estas galerias de emergência são de dois tipos. Sete são exclusivamente para a circulação de pessoas, tendo uma secção transversal conforme se representa na figura 3 e as restantes 6 servem simultaneamente para a circulação de pessoas e o acesso de veículos de emergência, nomeadamente de veículos de bombeiros (figura 4).

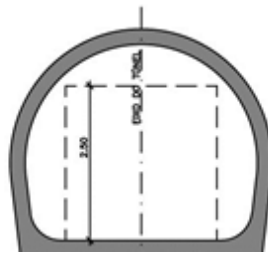


Fig.3. Galeria de emergência pedonal

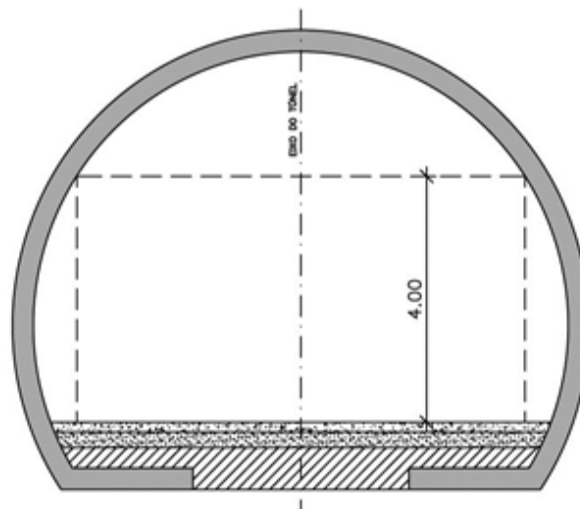


Fig.4. Galeria de acesso a veículos de emergência

3.2 Sistemas e Equipamentos de Segurança Ativa

Na figura 5 apresenta-se de modo esquemático a localização dos diversos sistemas na secção transversal do túnel. Não se pretende aqui fazer uma descrição exaustiva da totalidade dos sistemas de segurança do túnel, realçam-se apenas os mais relevantes. O túnel está dotado de um sistema de ventilação longitudinal que visa simultaneamente promover a ventilação higiénica e o controlo de fumo em caso de incêndio. Está dimensionado para uma potência de incêndio 70 MW, a que corresponde um incêndio de grandes dimensões e é do tipo longitudinal puro, promovendo, portanto, o arrastamento do fluxo sempre no sentido do tráfego. De destacar para além do sistema de iluminação interior constituído por aparelhos do tipo LED com corpo em aço inoxidável e alimentados com cabos resistentes ao fogo, o sistema de deteção automática de incidências associado ao sistema de videovigilância, o qual permite detetar automaticamente qualquer tipo de ocorrência anómala em toda a extensão do túnel (p.ex. objeto caído na via ou veículo em contramão). Realça-se também o sistema de deteção de incêndio constituído por cabo de fibra ótica instalado no teto do túnel e os sistemas de sensorização ambiental que permitem medir as concentrações de monóxido de carbono e de óxidos de azoto, bem como a visibilidade interior. Constitui ainda um aspeto relevante o facto de a totalidade dos sistemas de segurança do túnel serem alimentados por um sistema de energia elétrica com duas ligações redundantes à rede de alimentação pública e suportado por grupos geradores de emergência, assegurando-se o seu funcionamento, mesmo em caso de falha dos dois ramais de energia elétrica. Refira-se ainda que os cabos de alimentação de energia elétrica circulam por baixo dos passeios, conforme se pode observar na figura seguinte, aspeto que confere um nível de fiabilidade adicional, mesmo em caso de incêndio de grandes dimensões, uma vez que os cabos não estão expostos à ação do incêndio.



Fig.5. Secção Transversal – Sistemas e Equipamentos de Segurança Ativa

4 FILOSOFIA DE SEGURANÇA

Tendo em consideração a caracterização da infraestrutura física do Túnel do Marão até aqui apresentada, tanto do ponto de vista de construção civil, como dos Sistemas e Equipamentos de Segurança Ativa, apresenta-se na figura seguinte a filosofia de segurança.

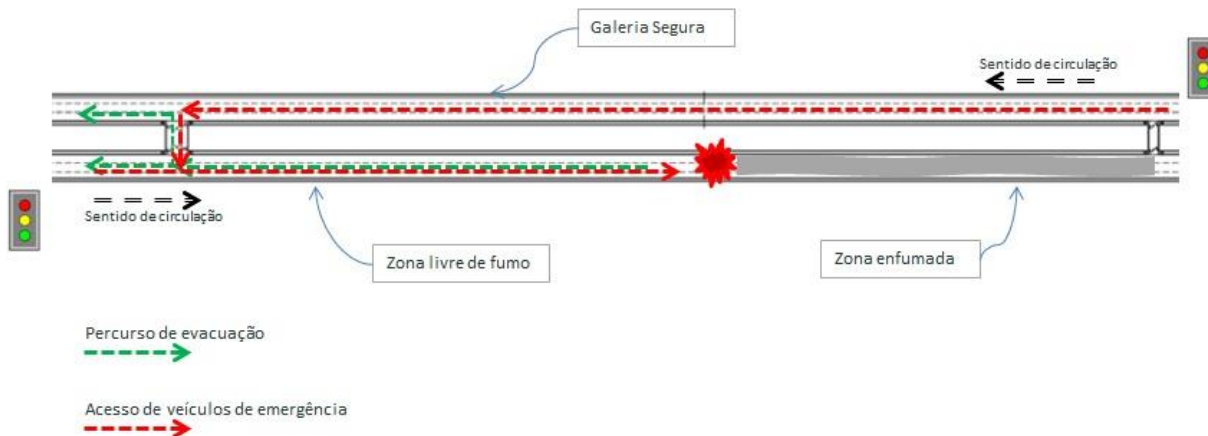


Fig.6. Filosofia de Segurança

Nesta figura podem observar-se tanto os percursos seguros (caminhos de evacuação) para os utentes, como as possibilidades de acesso por parte dos serviços de emergência em caso de incêndio. Em particular, verifica-se o modo como é promovido o arrastamento do fumo, garantindo que a zona a montante do incêndio fica livre de fumos. Verifica-se ainda de que modo a galeria não acidentada participa na segurança da primeira, assegurando tanto a evacuação dos utentes como o acesso dos serviços de emergência. Para que a filosofia de segurança aqui descrita funcione é muito importante que o Plano de Emergência Interno seja de facto efetivo.

5 PLANO DE EMERGÊNCIA INTERNO

Conforme referido, o Plano de Emergência Interno visa atuar no “*pilar de segurança*” Operação. Neste contexto foi desde logo estabelecido como requisito fundamental para o seu sucesso, a necessidade de que fosse um

documento simples de interpretar pelos seus utilizadores (serviços de emergência internos). Do mesmo modo, também a estrutura hierárquica e o canal de comunicação entre os vários intervenientes estão perfeitamente definidos, conforme se ilustra do fluxograma seguinte.

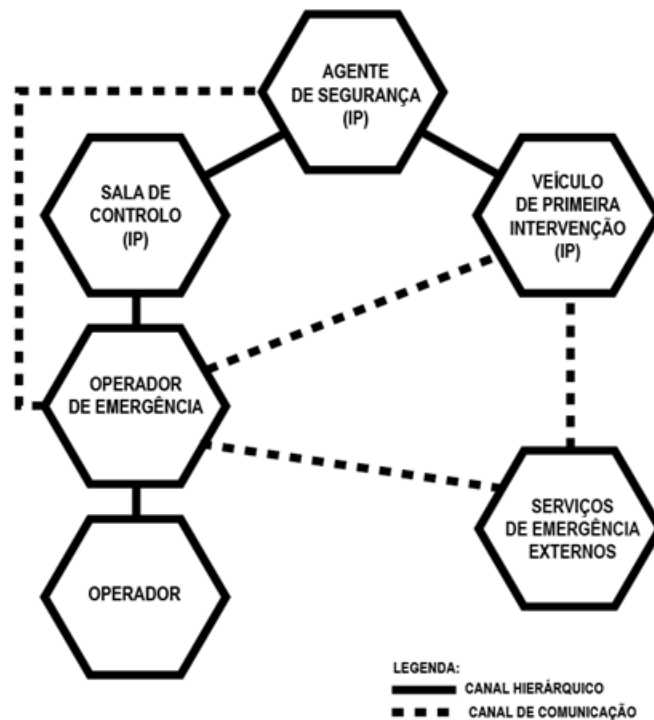


Fig.7. Serviços de emergência internos

5.1 Cenários de Emergência

Foram definidos dois tipos de cenários de emergência em função do nível de resposta requerida aos serviços emergência internos e externos e da necessidade de encerramento imediato do túnel.

5.1.1 Cenários de Emergência de Nível 1 (Laranja)

Estes cenários correspondem a eventos sem vítimas e sem perigo imediato para os utentes do túnel, envolvendo normalmente na resposta apenas meios internos e quando se justifique a presença da autoridade policial. Não implicam o encerramento do túnel, podendo apenas requerer a necessidade de algumas restrições preventivas ao tráfego. No quadro seguinte apresenta-se a lista dos cenários de Nível 1 considerados.

Quadro 1. Cenários de Nível 1

Cenário de Emergência do Nível 1
Pacote suspeito em qualquer ponto ou infraestrutura do túnel
Trânsito lento
Veículo parado no interior do túnel ou junto a um acesso
Objeto na faixa de rodagem
Derrame de líquido na faixa de rodagem
Engarrafamento no interior do túnel
Acidente ligeiro (pequena colisão ou despiste ligeiro s/ vítimas)
Veículo com excesso de altura

Cenário de Emergência do Nível 1
Veículo com condução perigosa
Presença de animal na via
Peão não autorizado no interior do túnel
Incidente na AE a jusante que possa acumular veículos no túnel
Neve ou gelo junto a um emboquilhamento

5.1.2 Cenários de Emergência de Nível 2 (Vermelho)

Este é o nível mais grave, correspondendo a cenários de emergência com vítimas ou com risco de ocorrência de vítimas. A resposta de emergência envolve para além dos meios internos, os serviços de emergência externos, aos quais cabe a responsabilidade de coordenar e comandar a resposta de emergência. Neste nível de emergência o túnel é encerrado na totalidade, com exceção de dois cenários em que apenas se encerra a galeria afetada.

Quadro 2. Cenários de Nível 2

Cenário de Emergência do Nível 2
Acidente grave com vítimas, sem incêndio
Incêndio espontâneo num veículo sem haver colisão prévia
Acidente com incêndio
Incidente com veículo de transporte de matérias perigosas
Incêndio em qualquer ponto ou infraestrutura do túnel
Explosão em qualquer ponto ou infraestrutura do túnel
Veículo em contramão
Ameaça de bomba

5.1.3 Procedimentos de emergência

Para cada um dos cenários de emergência atrás identificados foi desenvolvido um procedimento de emergência. Optou-se por ordenar cada um dos procedimentos de modo cronológico, dividindo-os em colunas onde se representam tanto os serviços de emergência internos como os externos. Conforme se pode observar na figura 8, as funções que cada um dos intervenientes dos serviços de emergência internos deve desempenhar estão claramente estabelecidas. Estão também caracterizadas as informações que cada um deve enviar/receber e as ações a desencadear em função dessa informação. Deve referir-se que embora este Plano de Emergência Interno seja para ser usado pelos serviços internos ao túnel, se inseriu uma coluna com a indicação dos serviços de emergência externos (Bombeiros, GNR, INEM). Optou-se por esta solução para clarificar o modo como os serviços de emergência externos são recebidos e acompanhados *in loco* e a forma como são implementadas (pelos serviços internos) as ações por estes determinadas. De notar que os serviços de emergência internos estão divididos em duas categorias: os Operadores do Centro de Controlo e os Veículos de Primeira Intervenção (VPI). De destacar a importância da presença de dois operadores no centro de controlo. De facto, conforme se pode observar na figura 8, há várias atividades distintas a desencadear em simultâneo, pelo que caso não houvessem dois operadores, não seria possível desencadear as ações necessárias dentro dos tempos requeridos em situação de emergência e para uma infraestrutura desta natureza. Relativamente às competências que os operadores devem ter refira-se *p.ex.* Martin [8] “Um operador de um Centro de Controlo deve ter “sangue frio” (calma), isto é, ter um bom controlo do stress, um elevado sentido de responsabilidade e espírito de decisão. Estas qualidades pessoais são, no mínimo, tão importantes quanto o seu nível de treino”.

Compete ao “Operador de Emergência” dirigir o Centro de Controlo supervisionando a atividade do outro “Operador”, avaliar a situação e definir o cenário de emergência em causa, desencadeando os procedimentos relativos a esse cenário. Compete-lhe acionar o Veículo de Primeira Intervenção (VPI) que estiver melhor posicionado para fazer face ao incidente, efetuar o alerta aos serviços de emergência externos e acompanhar os responsáveis dos meios de socorro externos durante o período em que estes se mantenham na sala de controlo.

Ao outro “Operador” compete-lhe efetuar a manobra dos sistemas e equipamentos túnel de acordo com o cenário em questão. Ao Veículo de Primeira Intervenção (VPI) compete-lhe prestar o primeiro auxílio em caso de sinistro e acompanhar os serviços de emergência externos quando estes chegam ao local, assegurando-lhes o apoio de que necessitarem, durante todo o período em que se encontrem no túnel, mantendo simultaneamente os operadores do Centro de Controlo informados do evoluir da situação.

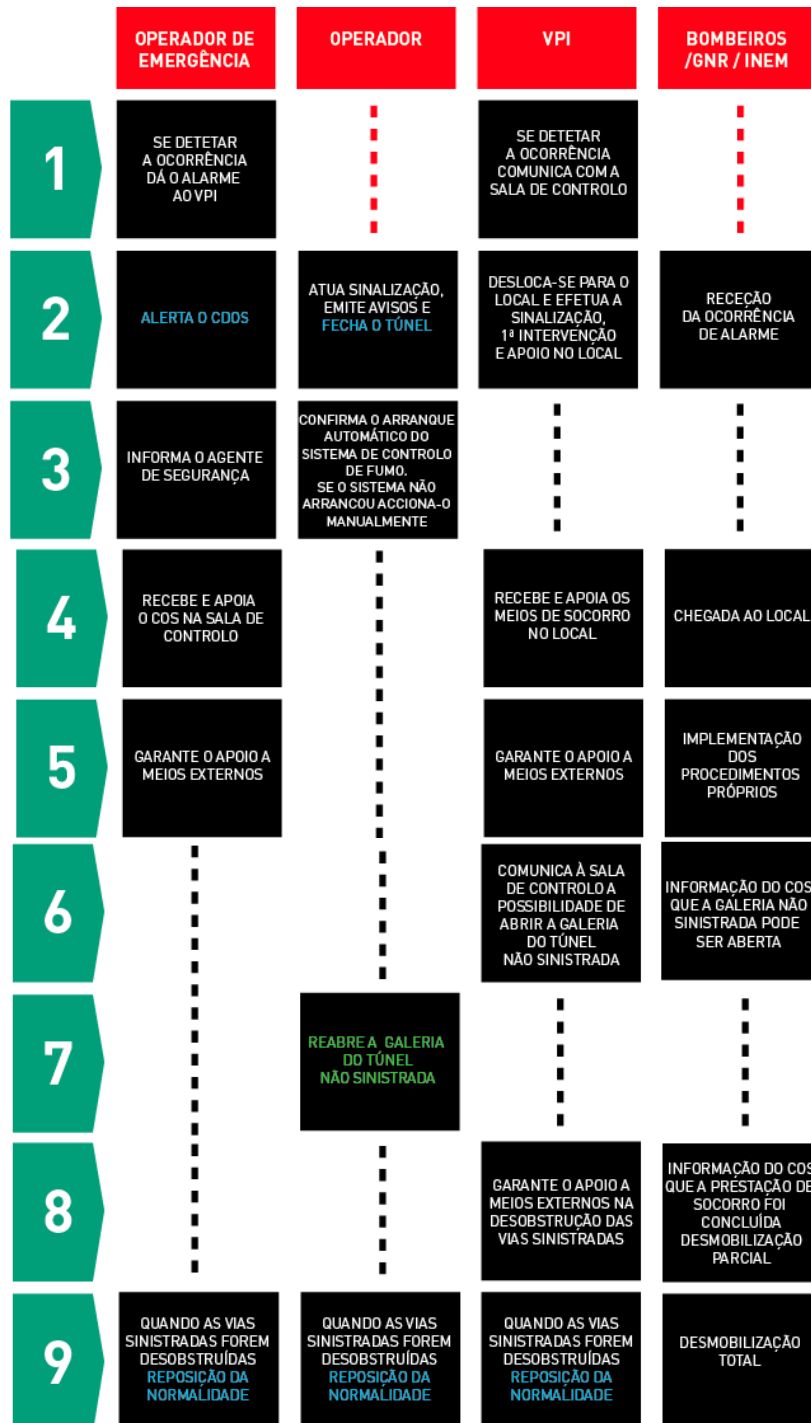


Fig.8. Acidente com Incêndio

6 FOLHETO DE SEGURANÇA

Os três grandes incêndios em túneis rodoviários que ocorreram no centro da Europa na viragem para o século XXI vieram chamar a atenção para alguns aspetos que até aí eram pouco cuidados. Em particular, estes incêndios demonstraram que o modo como as pessoas se comportam nos instantes iniciais do incêndio, é determinante para a segurança [9]. De facto, estes incidentes revelaram a importância dos utentes desencadarem o processo de auto-evacuação antes da chegada dos serviços de emergência. Na sequência, e com base nesta constatação, a diretiva comunitária 2004/54/CE (do Parlamento Europeu e do Conselho) [3] passou a estabelecer a obrigatoriedade da realização de campanhas de informação com o objetivo de divulgar informação aos utentes dos túneis sobre os comportamentos a adotar quer em situação normal, quer em caso de emergência. Com este propósito foi assim desenvolvido um folheto específico para o túnel do Marão, o qual se apresenta na figura seguinte.



Fig.9. Folheto de Segurança do Túnel do Marão

7 CONCLUSÕES

Apresentaram-se os principais fatores de que depende a segurança de um túnel rodoviário, em particular do túnel do Marão. Explicitou-se a importância da fase exploração, evidenciando-se de que modo esta está condicionada pelo comportamento humano. Com efeito, embora não seja possível antever a reação humana, especialmente em situações de elevado stress, seja dos profissionais de exploração do túnel, seja dos utentes, é ainda assim possível utilizar algumas estratégias que procuram obviar os aspetos negativos relacionados com essa reação. Neste sentido evidenciaram-se as características fundamentais do Plano de Emergência Interno, o qual procura orientar (controlar) o comportamento dos operadores envolvidos na exploração do túnel. Do mesmo modo, apresentou-se também o folheto com informações sobre os comportamentos que os utentes devem adotar não apenas em caso de incêndio, mas também sobre a forma como devem circular em situação normal.

8 REFERÊNCIAS

1. World Road Association (PIARC), “Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels”, 2007.
2. Decreto-Lei n.º 75/2014 de 13 de Maio de 2014, Diário da República 1.ª Série. Nº 91, Ministério da Economia.
3. Diretiva 2004/54/CE de 29 de Abril de 2004, Jornal Oficial da União Europeia L 167, Parlamento Europeu e Conselho.
4. BUKOSKI, Richard, An Overview of Fire Hazard and Fire Risk Assessment in Regulation, *ASHRAE Transactions : Symposia*, Vol. 112, N.º 1, 387-393, 2006.
5. World Road Association (PIARC), “Pratique Actuelle de L’Évaluation des Risques dans Les Tunnels Routiers”, 2012.
6. World Road Association (PIARC), “Quantitative risk assessment model for dangerous goods transport through tunnels (DG QRAM),” 2001.
7. Centre d’Études des Tunnels, Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers, Le Plan d’intervention et de Sécurité (PIS), Octobre 2006.
8. MARTIN, Jean-Claude, Recruiting and training road tunnels operating staff, Centre d’Etudes des Tunnels, 2006.
9. Voeltzel, A. e Dix, A., Analyse Comparative des Incendies des Tunnels du Mont-Blanc, Des Tauern et du Gothard. *Routes Roads*, 324, pp 18-34, Outubro, 2004.