

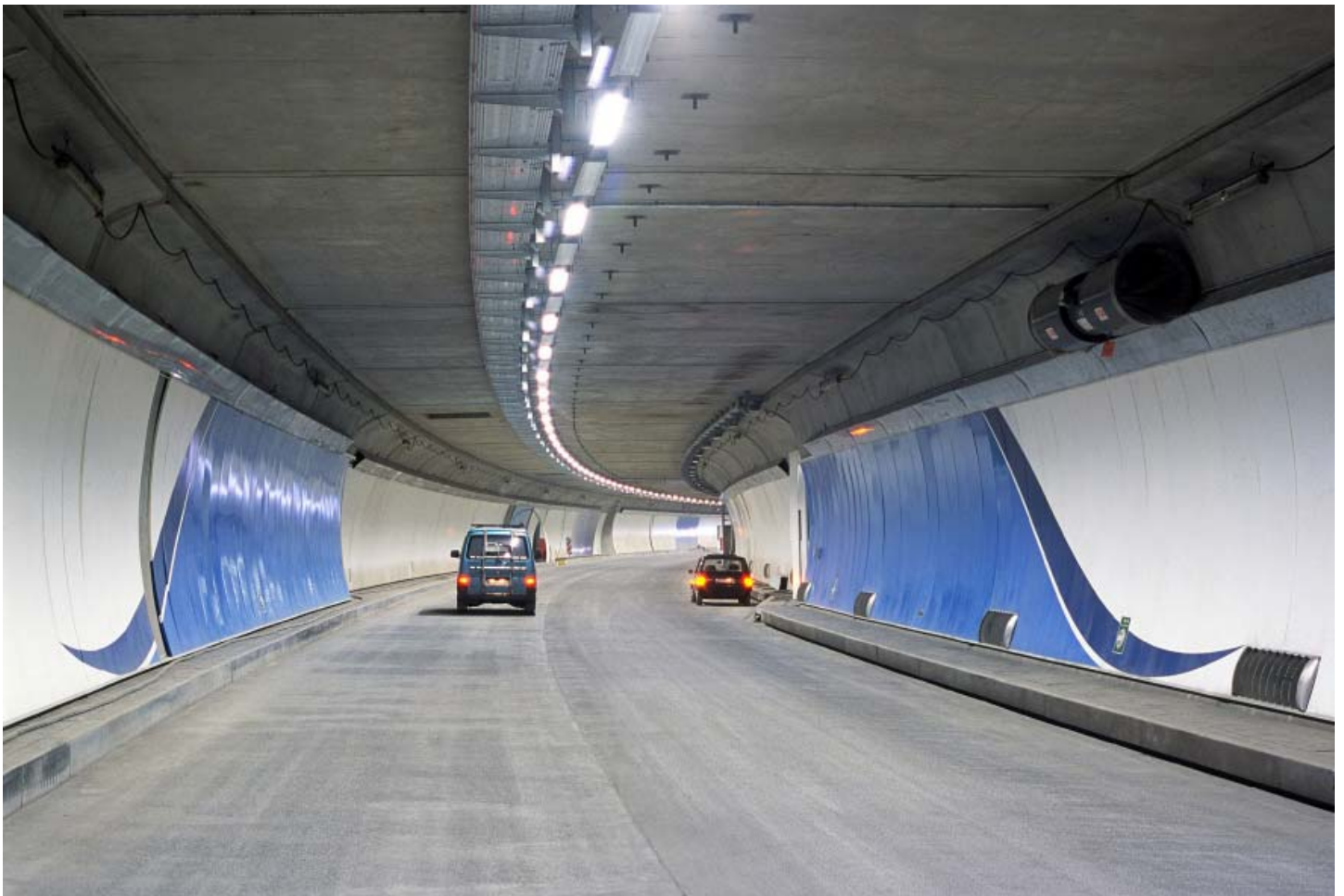


ERMCO

MELHORAR A SEGURANÇA CONTRA INCÊNDIOS EM TÚNEIS:

A solução do pavimento em betão

**O PAVIMENTO DE ESTRADAS EM BETÃO MELHORA
A SEGURANÇA NOS TÚNEIS**



© photo-daylight.com, Copyright free for all publications edited by CEMBUREAU/BIBM/ERMCO Members including web sites

Túnel Cointe (ligação E 25 – E 40) em Liège, Bélgica: uso de pavimento de estradas em betão para maior segurança em túneis

O comprimento total dos túneis usados para transporte na Europa é superior a 15.000 km. Os túneis são indispensáveis para manter a infra-estrutura dos transportes. Na Suíça, por exemplo, cerca de 50% das estradas planeadas para construção para conclusão da rede rodoviária em 2015 atravessam túneis. Contudo, os túneis não são apenas utilizados para atravessar montanhas. Estão a ser cada vez mais construídos sob cidades, e.g., Estocolmo e Paris, para descongestionamento do tráfego à superfície. Os túneis estão também a ser construídos sob canais navegáveis, e.g., os túneis de Oresund e do Great Belt na Escandinávia.

Os túneis rodoviários e ferroviários, assim como as passagens subterrâneas, podem representar um risco para o público, que

pode ser minimizado através da escolha adequada dos materiais e do projecto.

Recentes incêndios em túneis de grande envergadura na Europa (ver o quadro seguinte) provaram ser necessário seleccionar adequadamente os materiais de construção para garantir uma elevada segurança e um acesso seguro ao tráfego. Estes incêndios são inevitavelmente de grande intensidade, originando danos estruturais e até perda de vidas humanas. Estima-se que as temperaturas que se atingem nestes incêndios sejam extremamente elevadas (superiores a 1.000° C). O fogo propaga-se muito rapidamente, ardendo durante muito tempo (até 53 horas).

RECENTES ACIDENTES DE INCÊNDIOS EM TÚNEIS NA EUROPA

Incêndio	Tipo de túnel	Ano	Duração e temperatura	Vítimas	Veículos danificados
St. Gotthard Suíça	Estrada (1 túnel subterrâneo) 16,3 km	2001	24 horas 1200°C	11 mortos	10 automóveis 23 camiões
Gleinalm Áustria	Estrada (1 túnel subterrâneo) 8,3 km	2001	37 minutos	5 mortos	2 automóveis
Kitzsteinhorn Áustria	Funicular 3.2 km	2000	Desconhecidas	155 mortos	1 comboio vaivém
Tauern Áustria	Estrada (1 túnel subterrâneo) 6,4 km	1999	14 horas 1200°C	12 mortos	26 automóveis 14 camiões
MonteBranco França – Itália	Estrada (1 túnel subterrâneo) 11,6 km	1999	53 horas 1000°C	39 mortos	10 automóveis 23 camiões
Palermo Itália	Estrada	1999	Desconhecidas	5 mortos	19 automóveis 1 autocarro
Eurotúnel	Caminho-de-ferro 52 km	1996	10 horas 1100°C	2 feridos	1 comboio vaivém

Fonte: várias publicações

Estes acidentes transformaram este tipo de obras num verdadeiro desafio em termos de segurança e ambiente. O encerramento e a reparação destas construções acarretam sérias consequências económicas e ambientais.

A opinião pública e a comunicação social chamam a atenção para estes casos e forçam as entidades regulamentadoras a tomar rápidas medidas alternativas e a reconhecer que determinados aspectos importantes não receberam a devida atenção. A principal preocupação destas entidades consiste em melhorar as condições de salvamento e de salvamento autónomo das pessoas envolvidas em acidentes em túneis rodoviários, centrando as suas atenções na auto-evacuação dos utentes da estrada e no tempo de resposta em caso de emergência.

Todavia, até à data, tem sido dada pouca atenção ao material usado na construção rodoviária. Os projectistas preocupam-se mais com a segurança estrutural, a robustez e a estabilidade do túnel, não especificando uma solução para a superfície da estrada, que é por vezes construída em asfalto tradicional.

Com as preocupações referidas em mente, é importante ter também em consideração a qualidade do pavimento da estrada. Em caso de incêndio em túneis de tráfego, um pavimento de estrada incombustível e não tóxico contribui para a segurança das pessoas (utentes e equipas de salvamento), e protege o equipamento e a estrutura do túnel, ajudando a preservar o ambiente.

Existem vantagens significativas na construção do pavimento de estradas em betão. O betão é incombustível e não liberta emissões nocivas em caso de incêndio, proporcionando a máxima segurança num incêndio de grandes dimensões. Além disso, a composição dos betões tem evoluído de modo a proporcionar estabilidade e robustez estruturais na construção do próprio túnel.

Os operadores do túnel e as autoridades regulamentadoras são pressionados a tomar medidas para especificar os pavimentos em betão em todas as novas construções de túneis. O decreto-lei austríaco de Setembro de 2001, que estabelece o uso de pavimentos em betão para novos túneis com um comprimento superior a um quilómetro, pode ser usado como base de referência. (Ver a caixa das actuais medidas legislativas nacionais).

As autoridades de combate aos incêndios recomendam que: “o pavimento das estradas deve ser incombustível, não deve emitir fumos tóxicos e deve ser de cor clara para melhorar a visibilidade. Deve, por conseguinte, preferir-se como material o betão em detrimento do pavimento de asfalto tradicional que se incendeia e emite gases tóxicos”.

Uma citação do Congresso do CTIF (Comité Internacional de Prevenção & Extinção de Incêndios): “Serão os túneis suficientemente seguros?”. Regensdorf, Suíça, 8 de Novembro de 2002.

PAVIMENTO EM BETÃO EM TÚNEIS RODOVIÁRIOS E EM PASSAGENS SUBTERRÂNEAS

Melhorar a segurança geral em túneis rodoviários exige *pavimentos de estrada incombustíveis e não tóxicos* que garantam segurança máxima para as pessoas, para as instalações e para o ambiente.



© photo-daylight.com, Copyright free for all publications edited by CEMBUREAU/BIBM/ERMCO Members including web sites

Túnel Kinkempois (ligação E25 – E40) em Liège, Bélgica, com pavimento em betão.

As vantagens dos pavimentos em betão em túneis e em passagens subterrâneas são as seguintes:

- **Maior segurança para as pessoas e para a estrutura**
- **Maior durabilidade do pavimento da estrada, das instalações e da estrutura**
- **Manutenção reduzida**
- **Contribuição para a protecção do ambiente e para o desenvolvimento sustentável**

Estes factores-chave devem ser tidos em consideração desde a fase do projecto do túnel, mediante uma abordagem global com vista a maximizar a segurança das pessoas e das mercadorias, aumentar a protecção do ambiente e otimizar os resultados.

- **Maior segurança para as pessoas e para a estrutura**

O pavimento da estrada em betão incombustível e não tóxico contribui para a segurança em túneis.

Medidas activas (ventilação, extracção de fumos, alarmes, detecção) são factores que contribuem para a segurança contra incêndios em túneis. Contudo, as melhores medidas passivas devem também ser tomadas em consideração, tais como a utilização de materiais totalmente incombustíveis, ou seja, os pavimentos em betão.

Em caso de incêndio, o pavimento em betão apresenta bons desempenhos que facilitam a auto evacuação dos utentes da estrada e o acesso das equipas de salvamento (equipas de incêndios e serviços de urgência).

- **O pavimento de estrada em betão é incombustível e não tóxico**

Graças à sua composição puramente mineral, o betão é um material inerte, estável e não inflamável.

O betão é, por conseguinte, classificado como um material de elevado factor de segurança contra incêndios, não contribuindo de modo algum para a carga térmica.

Em caso de incêndio, o pavimento de estrada em betão garante boas condições para a evacuação das pessoas e intervenção das equipas de salvamento e dos bombeiros, uma vez que o pavimento em betão não se incendeia.

O pavimento de estrada em asfalto arde a uma temperatura de cerca de 500° C (muito abaixo da temperatura observada em incêndios em túneis) e aumenta a carga térmica. Em caso de incêndio, o aumento da temperatura causado pela combustão do pavimento em asfalto pode danificar o equipamento do túnel e os sistemas de segurança, o que põe em risco tanto a evacuação das pessoas como a intervenção de salvamento.

O Laboratório da Universidade de Cergy Pontoise (França) realizou testes de fogo comparativos sobre o comportamento a elevada temperatura (de acordo com a curva de fogo ISO 834) de amostras de asfalto e de betão usados para o pavimento em estradas (Ver as figuras 1 e 2).

Os resultados deste estudo¹ sobre o comportamento térmico e a toxicidade (análise química dos fumos e gases emitidos durante a combustão do asfalto) indicam que o **asfalto tem um elevado poder calorífico**.

- A superfície do asfalto arde entre 428° C e 530°C após 8 minutos de aquecimento.
- Os primeiros vapores emitidos são sentidos 5 minutos após o início do aquecimento. Os gases emitidos são tóxicos, sendo alguns sufocantes (CO₂) e cancerígenos.
- O asfalto perde as suas características mecânicas (estando apenas presentes os agregados mas já sem estarem ligados pelo asfalto) e deixa de poder cumprir o seu propósito fundamental.

Em comparação,

- O betão é incombustível e não emite fumos.
- O betão não muda de forma quando submetido a elevada temperatura, conservando uma grande parte das suas características mecânicas.

Fontes: *Caracterização do asfalto exposto a elevada temperatura: Aplicação a um caso de incêndio de pavimento em asfalto*, Albert Noumowe, Universidade de Cergy Pontoise, 2003. (Versão inglesa).

Revestimento do pavimento em asfalto hidrocarbonizado ou em betão em situação de incêndio, Albert Noumowe, EPU Edições Publibook Université, Paris, 2003. (Versão francesa).

¹ *Caracterização do asfalto exposto a elevada temperatura: Aplicação a um caso de incêndio de pavimento em asfalto*, Albert Noumowe, Universidade de Cergy Pontoise, 2003. (Versão inglesa).

Revestimento do pavimento em asfalto hidrocarbonizado ou em betão em situação de incêndio, Albert Noumowe, EPU Edições Publibook Université, Paris, 2003. (Versão francesa).

As Figuras 1 e 2 mostram os resultados do teste que consiste em aquecer num forno durante uma hora provetes prismáticos de

asfalto (esquerda) e de betão (direita) até uma temperatura de 750° C de acordo com a curva ISO.



Figura 1. Comparação de provetes de asfalto (esquerda) e de betão (direita) depois de os aquecer até uma temperatura de 750° C.

Fonte: Caracterização do asfalto exposto a elevada temperatura: Aplicação a um caso de incêndio do pavimento em asfalto, Albert Noumowe, Universidade de Cergy Pontoise, 2003.

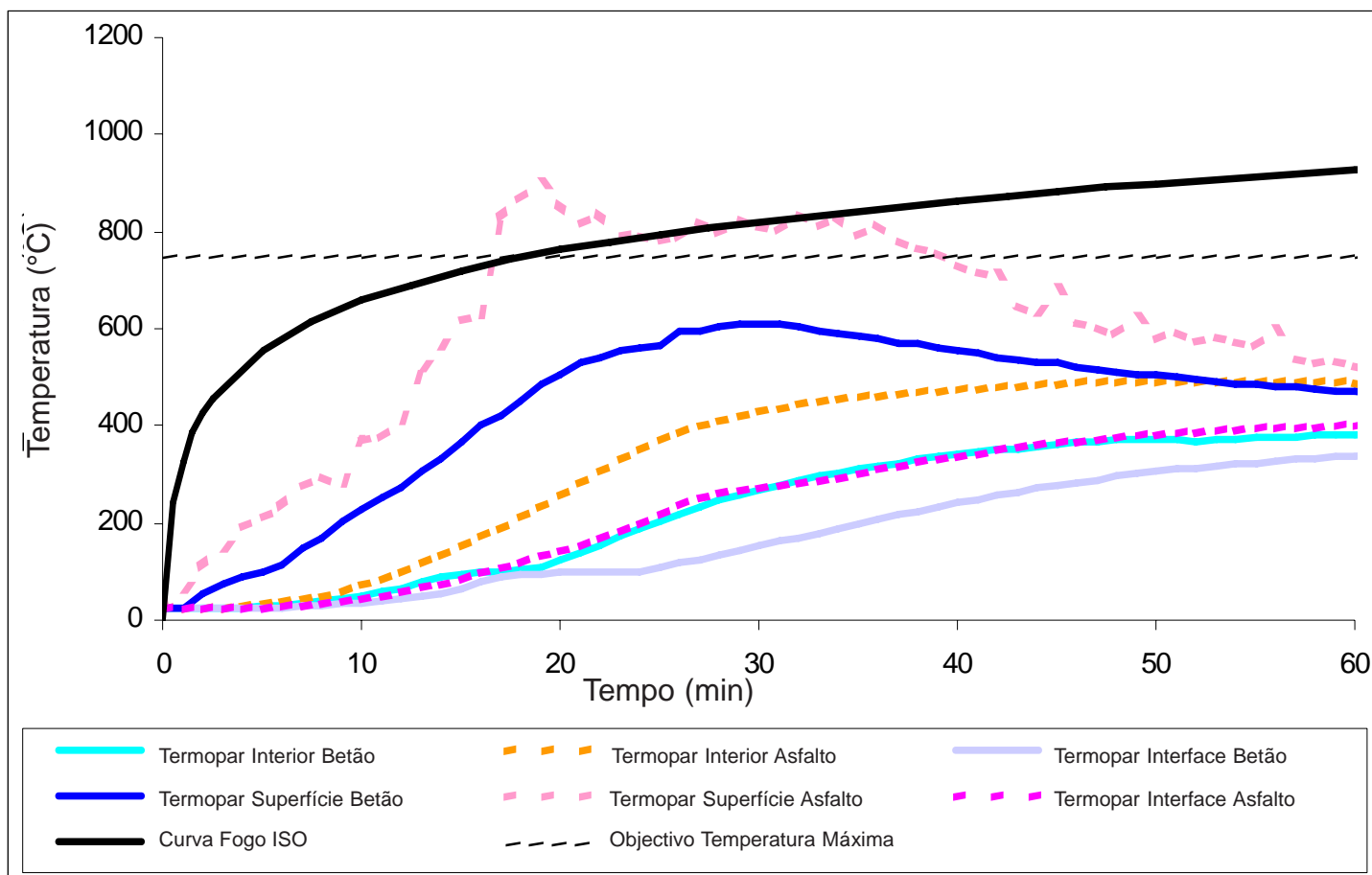


Figura 2. Comparação dos gráficos de temperatura para betão e asfalto durante um período de 1 hora.

Fonte: Caracterização do asfalto exposto a elevada temperatura: Aplicação a um caso de incêndio do pavimento em asfalto, Albert Noumowe, Universidade de Cergy Pontoise, 2003.

A título de exemplo, um pavimento de estrada com uma camada de base em agregado de betume britado de 25 cm coberto por uma camada de desgaste de asfalto de 5 cm tem um potencial calorífico de aproximadamente 1.600 MJoules por m².

Em comparação, um veículo ligeiro (i.e., um automóvel médio) produz durante a sua combustão total 18.000MJoules (Ver o quadro seguinte).

Tipo	Potencial calorífico em MJ Energia libertada durante a combustão
1 m ² de pavimento de estrada em asfalto	1.600
1 automóvel médio	18.000
1 camião médio (incluindo a carga combustível)	125.000

No incêndio de Monte Branco em Março de 1999, o pavimento da estrada em asfalto ficou danificado numa extensão de 1.200 m. A combustão deste pavimento de asfalto libertou uma energia calorífica adicional equivalente à combustão de 85 automóveis ou de 12 camiões.

Fontes: Relatório de 30 de Junho de 1999 da missão administrativa de investigação técnica do incêndio ocorrido em 24 de Março de 1999 no túnel rodoviário do Monte Branco, Ministério do Interior – Ministério do Equipamento, dos Transportes e da Habitação.

Túnel do Monte Branco – Temperaturas atingidas no pavimento e reacção do pavimento ao fogo, Documento interno, Laboratório Central das Pontes & Pavimentos, França, Dezembro de 2000.

Relatório de actividades 2001 do LCPC, Laboratório Central das Pontes & Pavimentos, França, 2002.

Estudos específicos dos perigos, Guia metodológico do CETU, Centro de Estudos dos Túneis, Dossier Piloto dos Túneis, Edição de 2002.

- **O pavimento de estrada em betão não liberta emissões nocivas**

Tem-se que:

Os pavimentos de estrada em asfalto emitem fumo, gases poluentes e tóxicos (dióxido e monóxido de carbono, etc.) e substâncias nocivas.

Os pavimentos de estrada em asfalto libertam fuligem que reduz a visibilidade através dos pára-brisas e obstrui os filtros dos veículos de salvamento.

Consequências:

- A evacuação das pessoas é retardada e/ou posta em causa.
- A intervenção da equipa de salvamento e dos bombeiros é retardada e/ou posta em causa.

- **O pavimento de estrada em betão não muda de forma com elevadas temperaturas, preservando uma grande parte das suas características mecânicas.**

Tem-se que:

Os pavimentos de estrada em asfalto perdem as suas características mecânicas.

Além da combustão do asfalto, só permanecem os agregados mas sem estarem ligados entre si pelo aglutinante, pelo que o material deixa de cumprir o seu propósito principal, dificultando os serviços de salvamento.

- **O pavimento de estrada em betão contribui para a segurança do utilizador através de uma melhor visibilidade, vigilância dos condutores e distância de travagem mais curta.**

Quaisquer obras subterrâneas devem ser consideradas potencialmente perigosas pelos utilizadores das estradas. No sentido de garantir uma maior segurança rodoviária, deve criar-se uma certa descontinuidade entre o interior e o exterior do túnel.

A claridade e o brilho são propriedades intrínsecas do betão:

- O brilho do pavimento da estrada em betão garante uma melhor visibilidade para os utilizadores das estradas.
- O brilho do pavimento de estrada em betão requer menos iluminação eléctrica, reduzindo, por conseguinte, o consumo de energia, assim como o investimento inicial e os custos de manutenção.

A modulação da planura da estrada pela selecção da superfície apropriada permite ao condutor manter-se vigilante através da percepção acústica.

A distância de travagem numa superfície de betão é menor do que numa superfície de asfalto devido a uma melhor aderência ao solo.

Em conclusão, o combate a incêndios em túneis torna-se consideravelmente mais difícil quando há acessibilidade restrita, grande quantidade de fumo e enorme radiação de calor.

Os bombeiros recomendam, por conseguinte, a utilização nos interiores de materiais resistentes ao fogo para melhorar a protecção contra incêndios nos túneis (Ver a citação do CTIF na página 2).

➤ **Maior durabilidade do pavimento da estrada, das instalações e da estrutura**

O pavimento de estrada em betão incombustível dá aos proprietários do túnel a garantia de que as suas construções serão salvaguardadas.

Os danos limitados com um pavimento em betão reduzem o tempo das reparações, permitindo, conseqüentemente, uma rápida retoma da operacionalidade do túnel.

Os danos de propriedade são devidos à elevada carga térmica. Qualquer adição de material combustível que contribua para a carga térmica irá provocar danos acrescidos nas unidades de controlo do túnel e nas suas instalações. O encerramento de túneis por longos períodos pode inevitavelmente conduzir a uma considerável perturbação do tráfego e a um aumento do risco de acidentes.

➤ **Manutenção reduzida**

O pavimento de estrada em betão garante a durabilidade das características mecânicas do pavimento (sem formação de “rodeiras”), a uniformidade da superfície e a aderência ao solo.

O uso de pavimento de estrada em betão tem, por conseguinte, as seguintes vantagens:

- Redução dos ciclos de manutenção / reparação e, conseqüentemente, menos obras rodoviárias, e menos encerramentos de túneis com itinerários alternativos que causam danos para o meio ambiente.
- Redução de obras rodoviárias na presença de utilizadores da estrada e, por conseguinte, menos trabalhadores no local, que representam uma provável fonte de acidentes.

Com o pavimento em betão:

- ⇒ Redução do risco de acidentes.
- ⇒ Diminuição dos custos de manutenção.
- ⇒ Protecção do ambiente.

➤ **Contribuição para a protecção do ambiente e para o desenvolvimento sustentável**

O pavimento de estrada em betão tem uma longa vida útil, economizando matérias-primas e contribuindo deste modo para o desenvolvimento sustentável.

Durante a fase operacional, o pavimento de estrada em betão num túnel requer menos manutenção e reparação, e reduz o consumo de energia (iluminação eléctrica). O resultado é o de limitar a poluição no túnel e reduzir os danos para o meio ambiente causados por itinerários alternativos no caso de encerramento do túnel.

O betão é resistente ao combustível dos automóveis: um derrame acidental de combustível não danifica o pavimento e os produtos perigosos podem ser directamente escoados para goteiras construídas para esse efeito.

Na fase final de vida, o pavimento em betão pode ser reciclado em agregados que podem ser utilizados em camadas de estrada ou em novo betão.

A durabilidade do betão garante a uniformidade da superfície do pavimento e a aderência ao solo com melhores resultados em termos ambientais (respeito pela pureza do ar, solos, pessoas, etc.) através de:

- ⇒ Reduzida utilização de materiais fósseis e reduzido consumo de energia.
- ⇒ Melhor qualidade do ar.
- ⇒ Poluição reduzida.

O pavimento de estrada em betão incombustível não emite fuligem que se cola às paredes e precisa de ser limpa, o que representa danos ambientais.

TÚNEIS FERROVIÁRIOS

No quadro de uma política de transportes intermodal (camiões em comboios), o desenvolvimento de vias-férreas é uma prioridade das Redes Trans-Europeias de Transportes promovidas pela Comissão Europeia.

Uma solução simples consiste em colocar as vias-férreas num pavimento de betão incombustível e não tóxico, o que permite um acesso mais rápido das equipas de salvamento e até mais perto do acidente do que no caso de leitos de agregados, uma vez que é difícil tirar vantagem de medidas preventivas em túneis de grande comprimento ou de grande profundidade.

PAVIMENTOS DE ESTRADA EM BETÃO CONTRIBUEM PARA UMA MAIOR SEGURANÇA NOS TÚNEIS

A segurança de um túnel depende de um conjunto de medidas.

Medidas infraestruturais preventivas e medidas operacionais de protecção contra incêndios em conjunto com medidas de combate aos mesmos implicam a escolha e utilização de materiais adequados (resistentes ao fogo).

Devemos dar tantas garantias quanto possível para acautelar a segurança e, conseqüentemente, evitar quaisquer materiais (para

a estrutura ou equipamento) susceptíveis de ser perigosos devido à sua combustão, produção de fumos e de gases agressivos.

A solução de betão para o pavimento de túneis melhora a segurança e reduz os custos globais.

O betão é um material que é inerentemente seguro num incêndio e que não contribui de modo algum para a carga térmica.

BIBM, CEMBUREAU e ERMCO

- Exigem que se tomem medidas regulamentares com vista a garantir a segurança em túneis.
- Recomendam a especificação de pavimentos de estrada em betão incombustível e não tóxico **bem como as técnicas e os materiais mais adequados para garantir a segurança das pessoas e instalações, protegendo em simultâneo o ambiente e oferecendo uma solução económica.**

O decreto-lei austríaco (Ver a caixa das actuais medidas legislativas nacionais) pode ser usado como base de referência.

Actuais medidas legislativas nacionais

O *decreto-lei austríaco* de Setembro de 2001 referente às directivas para projectos de túneis, "Projektierungsrichtlinien RVS 9.234", estabelece a utilização de pavimentos de estradas em betão em novos túneis com mais de um quilómetro de comprimento.

Na *Eslováquia*, o Ministério dos Transportes e a Administração Rodoviária Eslovaca exigem, desde 2001, o uso de pavimentos de estradas em betão em novos túneis.

Em *Espanha*, as autoridades públicas recomendam o uso de pavimentos de estradas em betão em túneis.

Os objectivos a ser alcançados por uma regulamentação relativa à segurança contra incêndios em túneis (tal como definido pelo PIARC¹) são:

- Salvar vidas, facilitando a evacuação.
- Facilitar as operações de salvamento e de combate aos incêndios.
- Evitar explosões.

- Limitar os danos nos túneis (equipamento, edifícios vizinhos, engenharia civil).

Através de (conforme definido pelo Grupo TRANS/AC de Peritos em Segurança em Túneis Rodoviários²):

- Prevenção do risco,
- Redução das conseqüências.

¹ PIARC Relatório do Comité para Túneis Rodoviários (C5) sobre "Controlo de incêndios e fumos em túneis rodoviários", 05.05.B publicado em 1999.

² *Recomendações do Grupo de Peritos em Segurança em Túneis Rodoviários* – Relatório final, TRANS/AC.7/9, Conselho Económico e Social das Nações Unidas, 10 de Dezembro de 2001.

© Copyright: CEMBUREAU/BIBM/ERMCO
Abril de 2004

All rights reserved. No part of this document may be reproduced, stored in a retrieval system or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the publisher.



Rue d'Arlon 55 - BE-1040 Brussels
Tel.: + 32 2 234 10 11 — Fax: + 32 2 230 47 20
E-mail: secretariat@cembureau.be
Internet: www.cembureau.be



Rue Volta 12 - BE-1050 Brussels
Tel.: + 32 2 735 60 69 — Fax: + 32 2 734 77 95
E-mail: mail@bibm.org
Internet: www.bibm.org

ERMCO

Rue Volta 8 - BE-1050 Brussels
Tel.: + 32 2 645 52 12 — Fax: + 32 2 735 14 67
E-mail: secretariat@ermco.org
Internet: www.ermco.org