

MATERIAIS RODOVIÁRIOS INTELIGENTES: PAVIMENTOS FOTOCATALÍTICOS, AUTO-LIMPANTES, ANTI-GELO E TERMORREGULADORES



Prof. Elisabete Freitas, Universidade do Minho



11 crp

sustentabilidade e
resiliência

Sumário

- ✓ **Pavimentos rodoviários inteligentes**
- ✓ **Pavimento fotocatalítico**
- ✓ **Pavimento autolimpante**
- ✓ **Pavimento anti-gelo**
- ✓ **Pavimento termorregulador**
- ✓ **Marcas rodoviárias inteligentes**
- ✓ **Futuro**

Pavimento tradicional



Pavimento inteligente



Pavimento fotocatalítico



Emissões pelo tráfego rodoviário

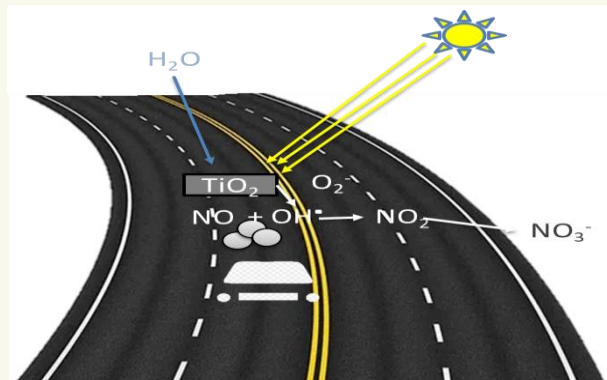
Poluição do Ar NO_x

- ✓ Perigo para a saúde;
- ✓ Efeito estufa;
- ✓ Chuva ácida



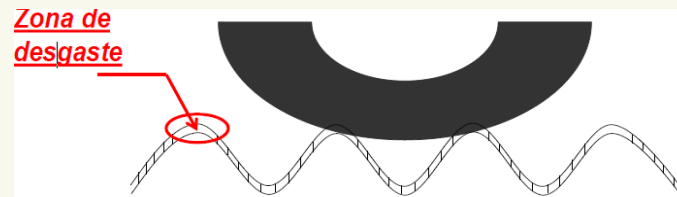
Dylla, H et al. 2012

- ✓ Nanopartículas de TiO_2 ;
- ✓ Solventes utilizados: Álcool, acetona, água, entre outros;
- ✓ Homogeneização: Evita a aglomeração das nanopartículas (fator conhecido por reduzir a eficiência).

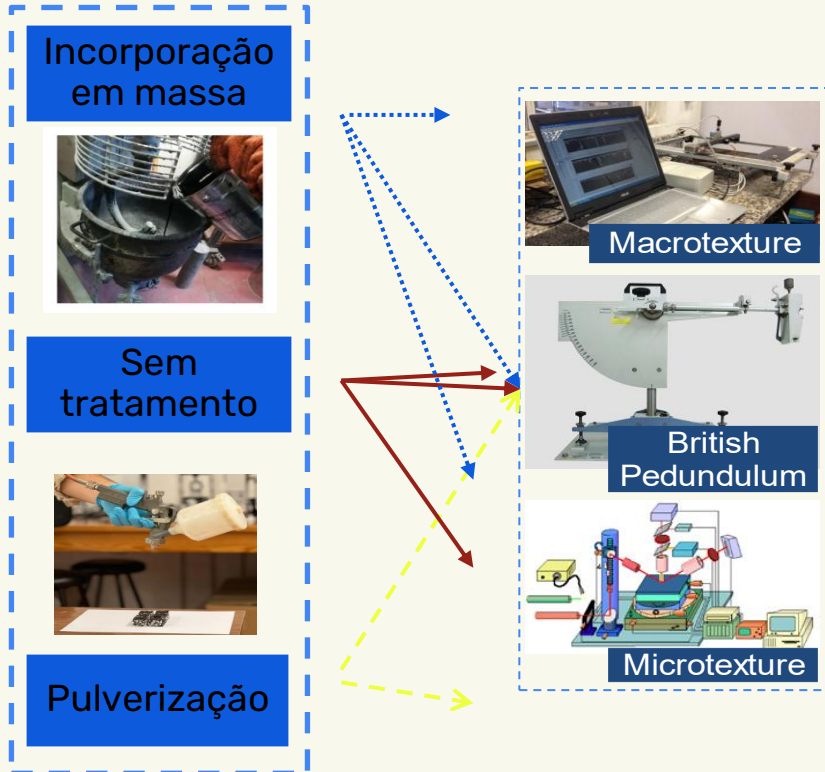


Fotocatálise em pavimentos asfálticos

Imobilização do revestimento fotocatalítico é um desafio.



Pavimento fotocatalítico



✓ Microtextura: Amplitude dos parâmetros não foi significativamente afetada pelos tratamentos;

✓ Macrotextura: A funcionalização com TiO_2 por incorporação reduziu levemente a rugosidade (~7%). AC 6 apresentou macrotextura 21% maior que AC 14;

Resistência à derrapagem:

✓ Em condição seca, valores semelhantes entre misturas tratadas e controle, independentemente da temperatura.

✓ Em condição húmida, a resistência variou até 7% (redução máxima) dependendo da temperatura e do tipo de tratamento.

Road Materials and Pavement Design, 2019
Vol. 20, No. S2, S578–S589, <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1624398>

Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Check for updates

Photocatalytic asphalt mixtures: semiconductors' impact in skid resistance and texture

I. Rocha Segundo ^a, S. Landi Jr. ^{b,c}, S. Oliveira^a, E. Freitas ^a, M.F. Costa ^b and J. Carneiro ^b

^aCivil Engineering Department, University of Minho, Azurém Campus, Guimarães, Portugal; ^bCentre of Physics, University of Minho, Azurém Campus, Guimarães, Portugal; ^cFederal Institute Goiano, Rio Verde – GO, Brazil

Pavimento fotocatalítico

Incorporação em massa



- Substituição parcial do material por 3% e 6% de TiO_2 ;

Pulverização



- Proporções de pulverização: 4, 8 e 16 mL/cm².

Desempenho mecânico (Incorporação em massa):

- ✓ 3% TiO_2 : menor rigidez e maior deformação permanente, mas resistência à fadiga semelhante à da mistura convencional.
- ✓ 6% TiO_2 : menor deformação permanente, rigidez semelhante e menor resistência à fadiga sob baixas deformações.
- ✓ A resistência à água foi reduzida, mas manteve-se acima do limite exigido (ITSR > 80%).

Eficiência fotocatalítica:

- ✓ Aspersão antes da abrasão: maior eficiência (até 60%) comparada à incorporação em massa;
- ✓ Após abrasão: eficiência da aspersão caiu; a da incorporação aumentou (TiO_2 exposto);
- ✓ Chuva simulada: não removeu significativamente os nanopartículas nem reduziu a eficiência.



Photocatalytic asphalt mixtures: Mechanical performance and impacts of traffic and weathering abrasion on photocatalytic efficiency

Iran Gomes da Rocha Segundo^a, Salmon Landi Jr.^{b,c}, Sérgio Manuel Batista Oliveira^a, Elisabete Fraga de Freitas^{a,c}, Joaquim Alexandre O. Carneiro^c

^a Civil Engineering Department, University of Minho, Azarém Campus, Guimarães, Portugal

^b Instituto Federal Goiano, Rio Verde, GO, Brazil

^c Physics Department, University of Minho, Azarém Campus, Guimarães, Portugal



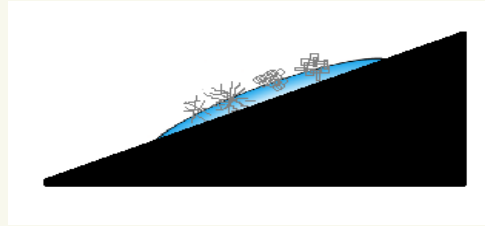
Pavimento autolimpante

Promovido para remover partículas de sujeira ou degradar compostos orgânicos, ou seja, óleos e gorduras, sobre a superfície.

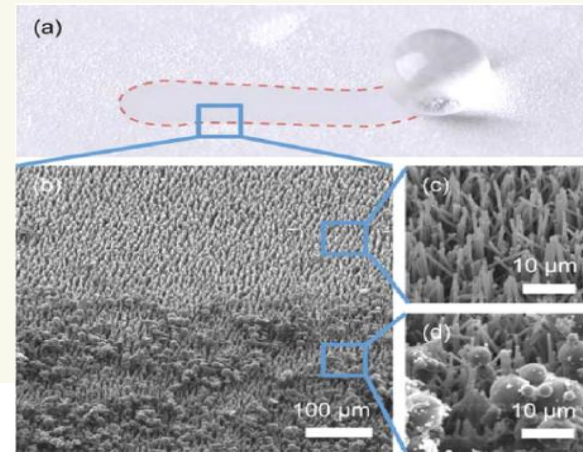
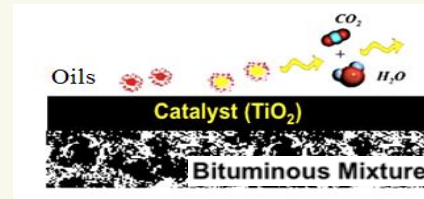
- ✓ **Super-hidrofóbico:** as gotas de água rolam e transportam a sujeira (efeito da flor de lótus). $AC > 150^\circ$.



- ✓ **Super-hidrofílico:** as gotas de água espalham-se na superfície, lavando a sujeira adsorvida durante os períodos de chuva. $AC < 30^\circ$.



- ✓ **Fotocatalíticos:** degradam poluentes orgânicos (como óleos);



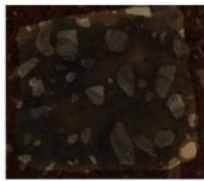
Lee J and Fearing RS (2012)

- ✓ Evitar problemas de derrapagem;
- ✓ Facilitar a drenagem da água;
- ✓ Evitar o fenômeno de colmatção dos poros.

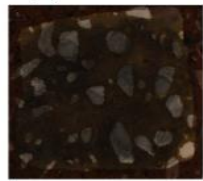
Pavimento autolimpante



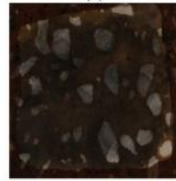
Ref



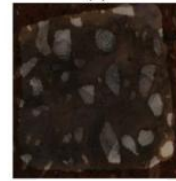
0 dia



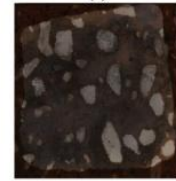
1 dia



4 dias



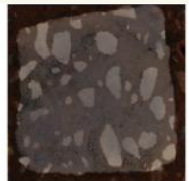
7 dias



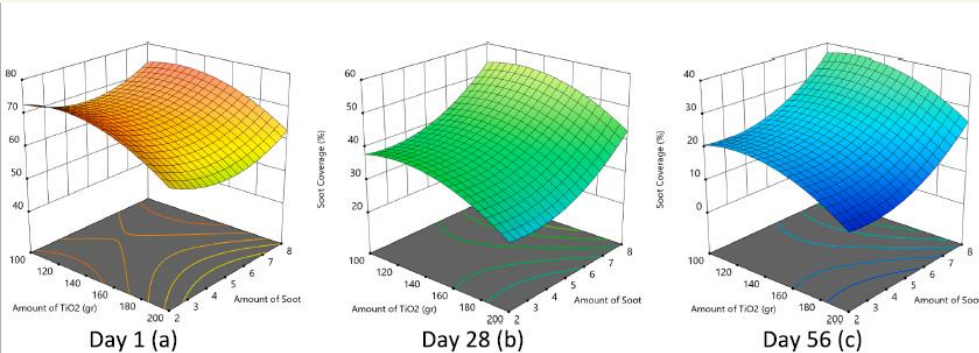
14 dias



28 dias



56 dias



Efeito de diferentes quantidades de TiO_2 e fuligem

- ✓ Até **80% de degradação de fuligem** após 56 dias de exposição à luz UV;
- ✓ **Maior eficiência com maior quantidade de TiO_2 e menor quantidade de fuligem;**
- ✓ Degradação acelera após **14 a 28 dias**, dependendo da espessura da fuligem.



Contents lists available at [ScienceDirect](https://www.sciencedirect.com)

Construction and Building Materials

journal homepage: www.elsevier.com/locate/conbuildmat



Assessing the potential of application of titanium dioxide for photocatalytic degradation of deposited soot on asphalt pavement surfaces

Seyed Reza Omranian^{a,*}, Michiel Geluykens^a, Myrthe Van Hal^b, Navid Hasheminejad^a, Iran Rocha Segundo^{d,e}, Georgios Pipintakos^a, Siegfried Denys^b, Tom Tytgat^b, Elisabete Praga Freitas^d, Joaquim Carneiro^e, Sammy Verbruggen^{b,c}, Cedric Vuye^a



Pavimento anti-gelo

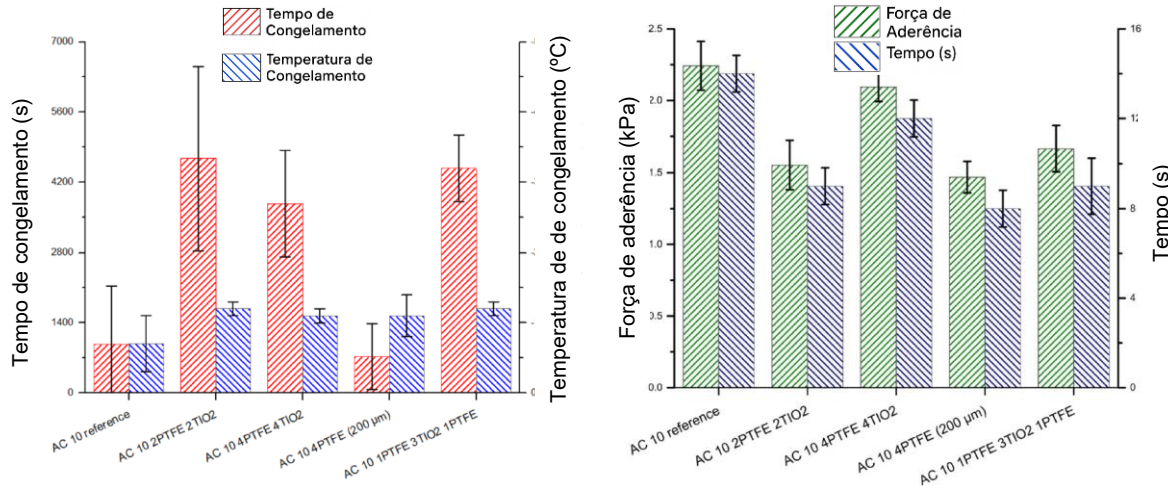
- ✓ **Gelo na superfície da estrada:** redução do atrito, acidentes, congestionamento de tráfego e prejuízo econômico.
- ✓ **Uso de sais:** altos custos.
- ✓ **Soluções antigelo:**
 - i) uso de aditivos/agentes descongelantes (processo químico).
 - ii) uso de materiais condutores (processo de micro-ondas ou de aquecimento por indução).



(a) 1 hora após o início da neve (b) 2 horas após o início da neve

- ✓ Facilitar o descongelamento.
- ✓ Evitar a formação de gelo/neve.
- ✓ Reduzir a aderência entre o gelo e a superfície.
- ✓ Facilitar a remoção do gelo/neve.

Pavimento anti-gelo



- ✓ Revestimentos com PTFE e TiO₂ **umentam** significativamente o **tempo de congelamento**.
- ✓ **Temperatura de congelamento** mantida **mais baixa** nas amostras tratadas.
- ✓ **Força de aderência** do gelo **reduzida** em até 50%, facilitando remoção natural ou mecânica



Efeito de ilha de calor

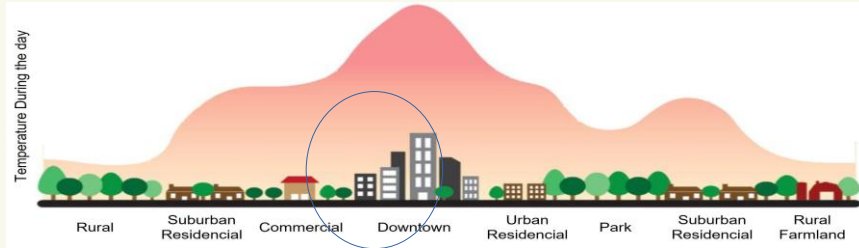


Figure 1: Urban Heat Island (Verdhu et. al, (2023))

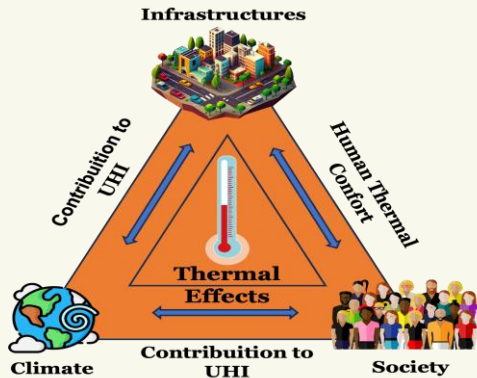


Figure 2: Thermal effects

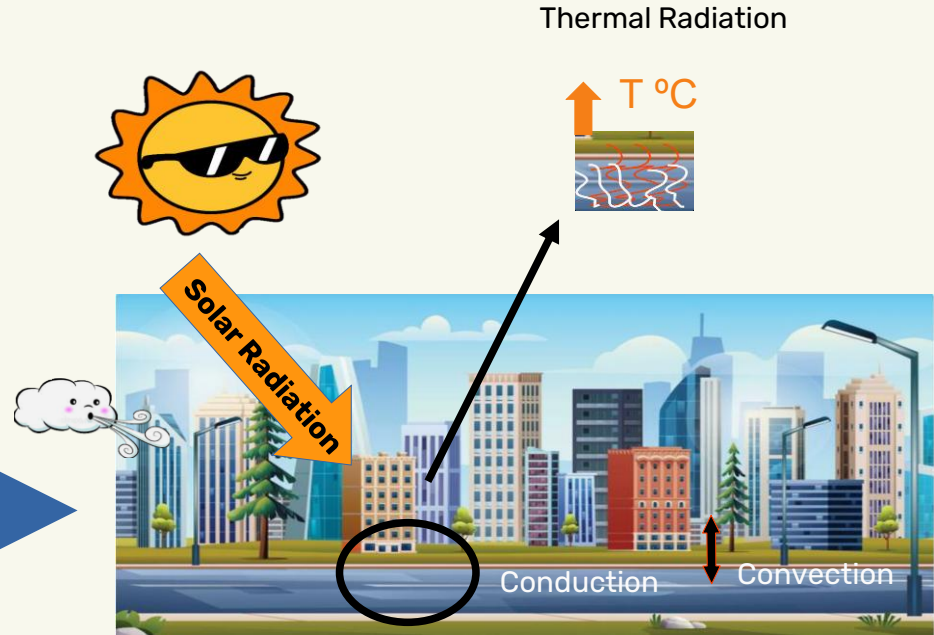












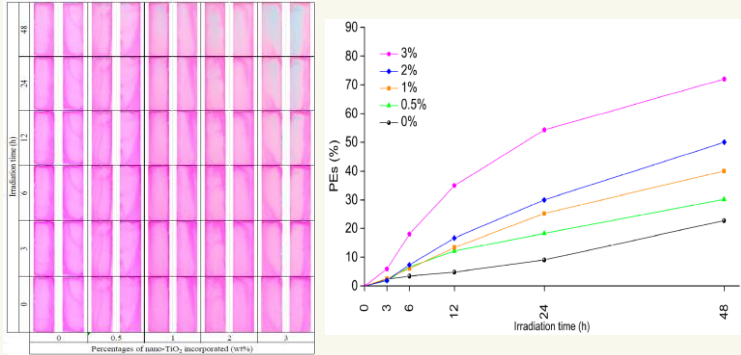
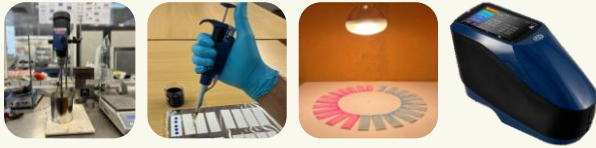
Figure 3: Effects of UHI on asphalt pavements

Técnicas para Reduzir o Efeito de Ilha de Calor

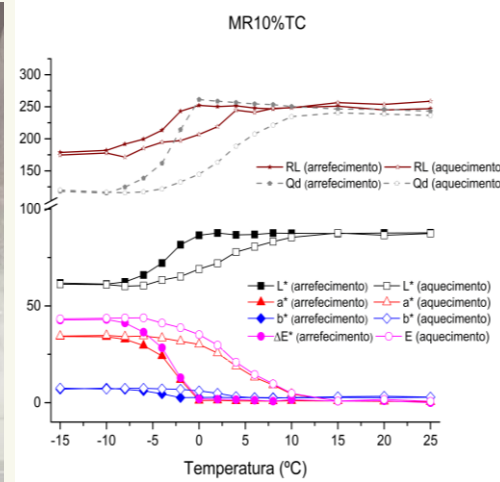
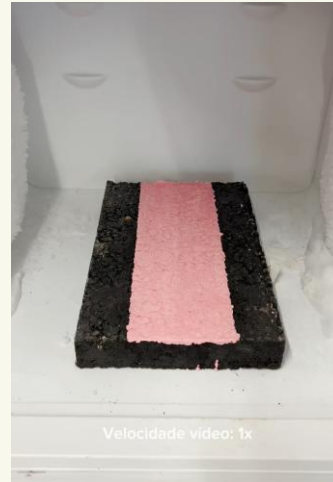
Técnica	Redução típica da temperatura da superfície	Complexidade de implementação	Observações
 Fotocatalítico	 7°C	Baixa	Bónus de redução de NOx
 Alto albedo	 3°C	Baixa	Renovação a cada 5–7 anos
 Permeável/evaporativa	 4°C	Média	Manutenção anti-colmatação de poros
 Vegetada	 4°C	Média	Requer irrigação; limitada a tráfego leve
 PCM / radiativo	 6.1°C	Alta	Tecnologia emergente

Marcas rodoviárias inteligentes

Autolimpeza



Termocromismo



AVALIAÇÃO E DIAGNÓSTICO DAS FUNÇÕES DOS PAVIMENTOS INTELIGENTES



OBRIGADO!

CONTACTO

efreitas@civil.uminho.pt

