

## Como serão os pavimentos no futuro?

### Resumo

*O transporte rodoviário constitui o principal modal utilizado para movimentação de bens e pessoas no Brasil. São mais de 200 mil km de rodovias pavimentadas, pelas quais, nas próximas décadas, circularão veículos elétricos, autônomos e, eventualmente, outros tipos de veículos que ainda sequer foram inventados. A velocidade de inovação nesse setor é bastante acelerada e, de modo geral, há uma considerável disponibilidade de informações na mídia quanto ao surgimento dessas novas tecnologias. Porém, as inovações voltadas às rodovias em si, por onde esses novos veículos deverão transitar, são pouco conhecidas. Nesse contexto, a Confederação Nacional do Transporte (CNT) identificou diferentes técnicas e materiais que estão sendo desenvolvidos para a pavimentação e que, possivelmente, serão encontradas nas rodovias do futuro. O presente informe apresenta algumas dessas inovações. Esse documento não tem por objetivo propor uma solução para melhorar as atuais condições das rodovias do Brasil, mas sim expor, brevemente, o que poderá ser esperado para essa infraestrutura nas próximas décadas. Considerando a tendência pela busca de soluções mais sustentáveis e harmônicas com o meio ambiente, várias das soluções apresentadas possuem esse enfoque. A sociedade, os técnicos rodoviários e os transportadores brasileiros devem manter-se informados acerca dessas inovações, para que possam aprimorar as suas práticas e procedimentos e, em momento oportuno, utilizá-las em favor do desenvolvimento e da melhoria da infraestrutura rodoviária do país.*

### 1. Introdução

Tecnologias inovadoras estão surgindo a todo momento e impactando as mais diversas esferas da vida cotidiana. No transporte, não é diferente. Frequentemente se ouve falar do aumento da quantidade de veículos elétricos; dos testes com veículos autônomos; da revolução na mobilidade urbana com o compartilhamento de bicicletas e de patinetes elétricos; das futurísticas viagens de Hyperloop; da volta dos voos supersônicos; dentre outros. Apesar disso, pouco se trata das inovações voltadas à infraestrutura, especialmente a rodoviária.

As formas como as pessoas se locomovem e como os bens são transportados, possivelmente, sofrerão uma transformação no decorrer das próximas décadas. Porém, as vias, por onde os “veículos do futuro” circularão, continuarão sendo indispensáveis. Para que esses veículos possam se orientar corretamente e circular em segurança, será necessário que essas infraestruturas estejam em boa qualidade. No caso do transporte rodoviário, as rodovias deverão ser bem sinalizadas e não apresentar defeitos, para não colocar em risco a segurança dos usuários.

Voltando à realidade brasileira, no entanto, a Pesquisa CNT de Rodovias 2018 constatou que 57% da malha rodoviária pesquisada encontrava-se em estado geral de conservação inadequado

(classificado como regular, ruim ou péssimo). Com esse cenário, é difícil imaginar que, nos próximos anos, essa infraestrutura possa passar por uma transformação muito expressiva. Porém, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas nessa área e vêm ganhando espaço no mercado. Assim, é importante que haja um acompanhamento disso para que, quando e se for conveniente, possa ser feito o devido proveito delas, em prol da melhoria da infraestrutura do país.

A série de estudos Transporte Rodoviário, desenvolvida pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) tem apontado as principais causas das más condições das rodovias no país. Uma das questões investigadas é a estrutura do pavimento e os fatores que interferem em seu desempenho. Durante os levantamentos documentais e bibliográficos, foram identificadas diversas inovações nessa área, tais como novos materiais e técnicas construtivas, que poderão vir a ser encontradas nas rodovias do futuro.

Com isso, este Transporte em Movimento tem por objetivo apresentar algumas dessas tecnologias inovadoras voltadas à pavimentação. Cabe destacar que, no geral, elas possuem alguns aspectos em comum: a preocupação com o meio ambiente e a busca pela construção de infraestruturas mais resilientes e preparadas para o cenário das mudanças climáticas. Isso indica

uma tendência para o segmento, pois a preocupação com os aspectos ambientais tornou-se uma questão presente em todos os setores da sociedade.

Também é importante frisar que as tecnologias apresentadas neste documento não são uma proposição de solução para as rodovias do Brasil, mas apenas uma indicação do que poderá vir a ser encontrado nas rodovias do futuro.

## 2. Os pavimentos do presente

Para se ter uma melhor percepção do quanto e de como as alternativas de pavimentação que serão apresentadas neste informe se diferenciam das técnicas atuais, é necessário conhecer os “pavimentos do presente”.

Os pavimentos encontrados, hoje em dia, nas rodovias e vias urbanas são estruturas compostas por camadas sobrepostas, de diferentes materiais, com o objetivo de resistir ao tráfego e fornecer segurança e conforto aos usuários.

Existem dois tipos de pavimentos mais utilizados: os flexíveis e os rígidos. Os pavimentos flexíveis, que são os mais comuns no Brasil, são constituídos por várias camadas, sendo que a sua camada mais superficial, chamada de revestimento, é constituída por uma mistura asfáltica (de agregados e cimento asfáltico de petróleo - CAP). Já os pavimentos rígidos são constituídos por uma menor quantidade de camadas e seu revestimento é de concreto de cimento *Portland*. A Figura 1 apresenta a aparência desses dois tipos de pavimentos.

Os pavimentos tradicionais, sejam eles flexíveis ou rígidos, sofrem desgastes decorrentes da ação do tráfego e de intempéries. Alguns defeitos recorrentes são as trincas e as fissuras, que, se não tratadas, com o tempo, podem se transformar em buracos. Outros defeitos são as ondulações e afundamentos, que geram trepidações e podem causar instabilidade na passagem dos veículos.

Para que os pavimentos se mantenham, no longo prazo, em condições adequadas, é necessária a realização periódica de serviços de manutenção. Pode-se citar, como exemplo, a selagem de trincas. Esse procedimento evita que a água das chuvas e eventuais óleos infiltrem na estrutura do pavimento, danificando-a, bem como previne o agravamento dos defeitos.

De forma complementar, as rodovias contam com um sistema de

drenagem, que é constituído por um conjunto de dispositivos, como sarjetas, drenos, bueiros, caixas coletoras, entre outros. O objetivo desse sistema também é prolongar a vida útil do pavimento, possibilitando o devido escoamento da água das chuvas e evitando um excesso de variação do teor de umidade dos materiais do pavimento, o que reduz sua capacidade de suporte<sup>2</sup>.

**Figura 1: Pavimento flexível (acima) e pavimento rígido (abaixo)**



Fonte: Acervo de fotos da Pesquisa CNT de Rodovias.

Após essa breve exposição, a seguir são apresentadas algumas alternativas de pavimentação que, de certa forma, se propõem a trazer benefícios quando comparados aos pavimentos tradicionais.

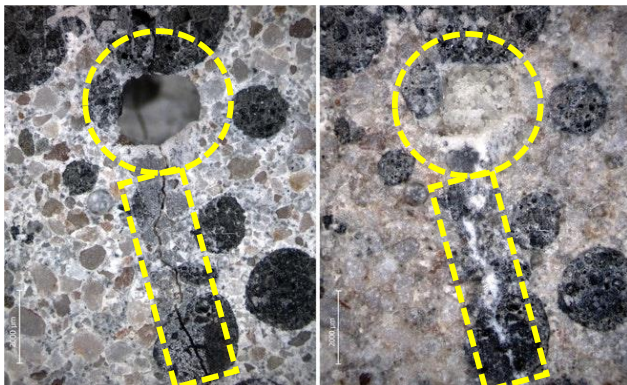
## 3. Pavimento autorregenerável

Considerando os defeitos que podem ser apresentados pelo pavimento e o potencial dano causado pelo não tratamento adequado das trincas, alguns estudos estão voltados para o desenvolvimento de materiais que se “autoregeneram”, ou seja, o próprio material aplicado no revestimento seria capaz de selar essas trincas, reduzindo a necessidade desse tipo de manutenção. Destacam-se duas soluções distintas: uma voltada para o concreto (pavimento rígido) e outra para o asfalto (pavimento flexível).

O bioconcreto, desenvolvido por um pesquisador na Holanda, consiste em um concreto que incorpora, em sua mistura, bactérias, em estado dormente, e lactato de cálcio, que serve como alimento para esses seres. Quando as trincas começam a

surgir, a água infiltra por elas e entra em contato com as bactérias, tornando-as ativas. Elas então passam a se alimentar do lactato de cálcio, liberando, como resultado, calcário - o principal componente do cimento. Isso sela as rachaduras do material, prolongando a vida útil da estrutura e reduzindo a necessidade de manutenção. A Figura 2 ilustra uma amostra de bioconcreto com rachadura antes e depois da ação das bactérias.

**Figura 2: Bioconcreto com a rachadura antes de ser selada (à esquerda) e após a ação das bactérias (à direita)**



Fonte: Cosmos, 2015.

No âmbito da pavimentação asfáltica, as alternativas consistem na incorporação de palha de aço ou de nanopartículas de óxido de ferro na mistura asfáltica. Essas pesquisas têm sido desenvolvidas na Holanda e na Suíça.

Os mecanismos que permitem a “cura” das trincas, nos dois casos, são semelhantes. Esses materiais são aquecidos, por meio de indução (no caso da palha de aço) ou da aplicação de um campo magnético (para as nanopartículas). Em uma rodovia real, esse serviço poderia ser realizado por meio da passagem de veículos devidamente equipados com aparelhos capazes de gerar essa indução ou o campo magnético necessários. O aquecimento local da mistura reduz a viscosidade do asfalto e possibilita o preenchimento das trincas pelo material. Após esfriado, o resultado é um pavimento sem os defeitos observados antes. A Figura 3 apresenta uma amostra de mistura asfáltica com palha de aço.

Estima-se que as soluções autorregenerativas sejam mais caras que os materiais convencionais, mas possibilitariam uma economia com sua manutenção e, por isso, teriam seu custo compensado ao longo da vida útil do pavimento. O bioconcreto e a utilização de palha de aço ou de nanopartículas de óxido de ferro na mistura asfáltica ainda estão em fase de pesquisa e de realização de testes.

**Figura 3: Amostra de mistura asfáltica com palha de aço**



Fonte: Pequenas Empresas & Grandes Negócios, 2018.

#### 4. Asfalto poroso

O asfalto poroso é uma solução estudada desde o final da década de 1970, mas tem ganhado maior visibilidade nos últimos anos, devido aos benefícios ambientais proporcionados por ele. Pesquisado e presente em trechos experimentais em diversos países, inclusive no Brasil, trata-se de um pavimento capaz de absorver a água da chuva, reduzindo o impacto da impermeabilização do solo decorrente da pavimentação, especialmente nas áreas urbanas. Essa característica reduz a probabilidade de enchentes e de alagamentos, o que ganha ainda mais importância no cenário climático atual, uma vez que se tem verificado uma maior incidência de eventos extremos (como chuvas torrenciais ou prolongadas).

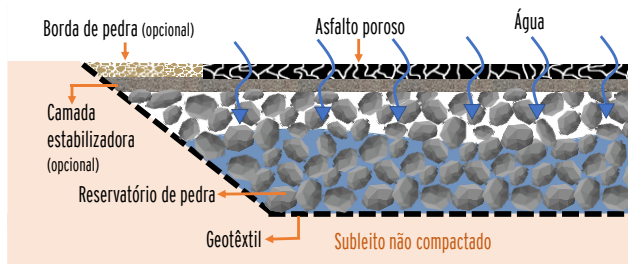
A Figura 4 ilustra, de forma simplificada, a estrutura desse pavimento. Ele é construído sobre um subleito não compactado, o que maximiza a taxa de infiltração no solo. Acima do subleito é instalado um geotêxtil<sup>3</sup>, que permite que a água passe, mas evita a migração de materiais finos (que são aqueles com diâmetros muito pequenos, que podem, indesejavelmente, preencher os espaços vazios, necessários para a passagem da água). Sobre o geotêxtil é construído um reservatório de pedras, um dos principais componentes desse sistema. O reservatório é constituído por pedras grandes com um percentual de vazios<sup>4</sup> de aproximadamente 40% e serve como uma camada estrutural e como reservatório temporário para a água da chuva. Sobre essa camada de pedras é executada uma camada constituída por pedras menores para estabilizar a superfície para a pavimentação.

A camada de revestimento é executada com uma mistura asfáltica, que pode ou não ter sido modificada<sup>5</sup>, e que possui uma estrutura porosa, com vazios interconectados, permitindo que a água flua por sua superfície (o percentual de vazios dessa camada,

usualmente, varia entre 16% e 22%).

Por fim, de forma opcional, a estrutura do pavimento pode conter uma borda não pavimentada de pedra. Esse elemento funcionará como um sistema reserva para passagem da água no caso de, por qualquer motivo, a superfície do asfalto estar selada.

Figura 4: Seção típica de um pavimento poroso



Fonte: Elaboração CNT.

Em alguns casos, pode ser necessária a instalação de um encanamento perfurado na base do reservatório para auxiliar no escoamento da água. Isso visa a evitar que a água atinja a camada de superfície, o que causaria um transbordamento e consequente alagamento.

Esse tipo de pavimento contribui para o reestabelecimento de um balanço hidrológico mais natural, já que o escoamento da água, para o subsolo ou para os rios, ocorre de maneira mais lenta, o que também previne uma sobrecarga dos sistemas de drenagem. Também é possível citar a redução da contaminação na água, pois a estrutura do pavimento é capaz de reter alguns sedimentos e óleos. Proporciona, inclusive, melhores condições de visibilidade e segurança ao tráfego sob clima úmido, pois reduz o acúmulo de água na superfície, diminuindo o *spray*-cortina de água-, causado pela passagem dos pneus, e evita a aquaplanagem. Outros benefícios são a absorção de ruídos decorrentes da passagem dos pneus e, para locais em que há formação de gelo, tem-se verificado uma redução de até 75% do volume necessário de sais para o descongelamento.

Por outro lado, esse sistema também apresenta algumas limitações. Por exemplo, não é apropriado para locais com tráfego pesado, sendo recomendado a locais com tráfego leve e médio - a exemplo de estacionamentos e vias locais. Além disso, existe a possibilidade de entupimento dos vazios. Por isso, é necessária a realização de uma manutenção especializada, como aspiração ou outro método de limpeza. Por fim, seu custo inicial, geralmente, é mais elevado que o do pavimento convencional. Segundo algumas

referências, o impacto do custo pode ser reduzido devido à menor necessidade das estruturas de drenagem, em comparação ao pavimento convencional.

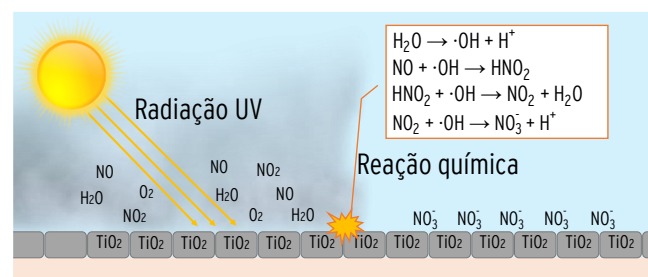
## 5. Pavimentos fotocatalíticos<sup>6</sup>

Conforme já referido, outro grande desafio das novas tecnologias de pavimentação é que elas devem ser compatíveis com um futuro mais sustentável. O transporte representa um dos principais emissores de gases de efeito estufa. Por isso, é esperado que, além do desenvolvimento de veículos mais eficientes e menos poluentes, o desenvolvimento da infraestrutura acompanhe a mesma tendência.

Uma das alternativas estudadas nesse sentido é o pavimento fotocatalítico. Ele consiste em um pavimento cuja superfície é nanomodificada<sup>7</sup> pela incorporação de dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ). Isso faz com que essa superfície adquira propriedades fotocatalíticas, tornando-a capaz de capturar e degradar gases que contribuem para o aquecimento global: os óxidos de nitrogênio (simbolizados por  $\text{NO}_x$ ). Os  $\text{NO}_x$  são alguns dos principais causadores da chuva ácida, que leva à redução da qualidade do solo e à deterioração de edifícios, pontes, monumentos e veículos. Esses gases também estão associados a diversos problemas de saúde.

A reação entre o pavimento fotocatalítico e o gás é ilustrado na Figura 5. O dióxido de titânio ( $\text{TiO}_2$ ) atua como um catalisador de uma reação em que, com a incidência de luz e a presença de moléculas de água ( $\text{H}_2\text{O}$ ), são gerados radicais hidroxilas<sup>8</sup> ( $\cdot\text{OH}$ ). Esses  $\cdot\text{OH}$  reagem com os óxidos de nitrogênio ( $\text{NO}$  e  $\text{NO}_2$ ), liberando íons de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que, por sua vez, são absorvidos pela superfície e solubilizados pela água da chuva. Essa substância,  $\text{NO}_3^-$ , não causa danos ao meio ambiente.

Figura 5: Mecanismo simplificado de funcionamento da fotocatalíse



Fonte: Elaboração CNT.

Como o  $\text{TiO}_2$  não é consumido na reação, esse processo poderia ocorrer indeterminadamente. Porém, o desgaste causado pelo tráfego e a impregnação de óleos e outros materiais na superfície podem levar a uma redução de sua eficiência. Esse problema poderia ser resolvido com uma lavagem da superfície ou aplicação de uma tinta fotocatalítica.

Essa tecnologia seria uma alternativa para a pavimentação de vias urbanas com tráfego baixo e médio, estacionamentos e calçadas de grandes centros urbanos e teria o potencial de melhorar a qualidade do ar nesses locais. Já existem trechos de teste em várias localidades, como no Japão e em países da Europa.

## 6. Pavimentos com painel solar

Ainda relacionada à questão ambiental, uma preocupação recorrente diz respeito à matriz energética. Por isso, a utilização de fontes alternativas de energia tem ganhado força em praticamente todos os setores produtivos. Nesse contexto, a energia solar representa uma alternativa já bastante disseminada. No entanto, sua utilização demanda uma grande área disponível para instalação das placas solares. Assim, as rodovias representariam um local potencial para essas instalações.

A energia gerada por placas solares na superfície das rodovias poderia abastecer a rede elétrica e ser utilizada para iluminação da própria via. Ela também poderia fornecer energia para alimentar sistemas de LED (sigla em inglês para *light-emitting diode*, ou, em português, diodo emissor de luz) para uma sinalização variável ou, ainda, sistemas de aquecimento, para evitar o acúmulo de neve e gelo sobre a pista durante o inverno. Outra destinação também seria a de recarregar os veículos elétricos que transitam sobre as placas.

Existem diferentes propostas de como essas rodovias poderiam funcionar. Porém, hoje, ainda há poucos trechos experimentais em funcionamento, o que é fundamental para se conhecer o comportamento desses pavimentos sob tráfego intenso e de veículos pesados.

No final de 2017, na cidade de Jinan, na China, foi inaugurado um trecho, com pouco mais de um quilômetro, com capacidade de geração de energia solar (Figura 6). A tecnologia empregada consiste em uma superfície composta por um material transparente, que permite a passagem da luz do sol até as placas solares, instaladas logo abaixo dessa camada. Entre as camadas

existe um espaço que permite a passagem de fios e sensores, que, no futuro, possibilitarão monitorar a temperatura, o tráfego e o peso dos veículos que transitam pela rodovia. A proposta é que a rodovia se torne inteligente, geradora de dados e capaz de recarregar os veículos durante o deslocamento. Os únicos empecilhos para isso, segundo a empresa construtora, seriam a necessidade de implantação de tecnologias nos veículos elétricos que permitam esse carregamento (como o carregamento por indução) e uma pista com maior extensão para viabilizá-lo.

**Figura 6: Trecho da rodovia com painel solar na China**



Fonte: Yi, X., 2018.

Outros trechos experimentais foram construídos, por uma outra empresa, na França e na Holanda e possuem estruturas semelhantes à da China. As condições das rodovias nesses locais estão sendo monitoradas sob diversos aspectos, a fim de proporcionar um melhor entendimento do comportamento desse material no pavimento e do seu desempenho.

Nos Estados Unidos, foi concebido um modelo um pouco diferente quanto à sua estrutura. Ao contrário das tecnologias apresentadas anteriormente, cuja aparência se assemelha muito à de um pavimento convencional, essa alternativa consiste em placas hexagonais de vidro temperado com textura (para promover aderência do pneu com a superfície). Em seu interior estão contidas as placas solares, sistema de LED e sistema de aquecimento. Além da geração de energia, os sistemas de LED têm como objetivo proporcionar uma sinalização horizontal variável, que se altere, por exemplo, em caso de situações de perigo. A Figura 7 é uma foto do protótipo das placas hexagonais, que deverão funcionar como a superfície das rodovias.

**Figura 7: Protótipo das placas para pavimentação com LED**



Fonte: Solar Roadways.

Apesar do apelo ecológico do pavimento com placa solar, algumas características intrínsecas à sua utilização nas rodovias podem torná-lo um pouco menos atrativo. A posição da placa na superfície da rodovia não é a ótima, considerando a orientação em relação ao sol, o que reduz sua eficiência em comparação às placas destinadas especificamente para geração de energia solar. A superfície também fica susceptível ao acúmulo de sujeira e poeira, além de necessitar de um vidro mais espesso, para suportar o peso do tráfego. Esses dois fatores limitam a quantidade de luz absorvida. Em alguns modelos, a circulação de ar nos painéis também é limitada, o que pode causar um maior aquecimento da placa. A elevação da temperatura superior à ótima também reduz a eficiência energética. Tudo isso influencia um fator interessante a ser considerado na análise da viabilidade dessas placas, que é o tempo necessário para que a rodovia produza a mesma quantidade de energia que foi necessária para construí-la.

Ainda em estágio preliminar, os pesquisadores consideram que são necessários mais testes e observações quanto ao desempenho desse tipo de pavimento antes que ele seja mais disseminado e comece a ser encontrado nas ruas e rodovias ao redor do mundo.

## 7. Pavimentos de plástico

Nesse mesmo enfoque ambiental, outro problema que deverá ser enfrentado pela atual e pelas próximas gerações é a destinação do plástico. Material com inúmeras aplicações e que, sem dúvida, proporciona diversos benefícios para a sociedade contemporânea, por causa da sua versatilidade, o plástico também apresenta aspectos negativos.

Em todo o mundo, a cada ano, são produzidos cerca de 400 milhões de toneladas de plástico. Grande parte disso é utilizada apenas uma vez, durante poucos minutos ou segundos, e depois é descartada - permanecendo por séculos no ambiente, até que seja decomposta. De um total de aproximadamente 9 bilhões de toneladas de plástico já produzidos pela humanidade, apenas 9% foram reciclados.

Existem vários tipos diferentes de plástico e suas características variam conforme a aplicação para a qual cada um deles é feito. Em mesma medida, são inúmeras as composições químicas possíveis desse material, o que dificulta seu processo de reciclagem. O plástico que não é reciclado é encaminhado a aterros ou é incinerado - isso quando não acaba descartado indevidamente no meio ambiente, poluindo os mares e os rios e causando danos irreversíveis a diversas formas de vida.

Focando nessa problemática, estão sendo desenvolvidas algumas tecnologias para pavimentação que visam à reciclagem desse material e à consequente redução dos problemas ambientais causados por ele.

Uma empresa britânica desenvolveu uma técnica que incorpora plásticos não recicláveis ao ligante asfáltico. Esse processo é feito por meio da transformação do material em pastilhas, que são adicionadas ao ligante. Segundo a empresa, sua utilização na mistura asfáltica ocorre da mesma forma como a de qualquer outro asfalto modificado. Além disso, sua incorporação permite uma redução da quantidade de ligante necessária, o que contribui ainda mais para o meio ambiente, pois possibilita uma redução do consumo de materiais de origem fóssil - o cimento asfáltico de petróleo (CAP).

Já existem alguns trechos rodoviários que aplicaram essa alternativa e, com o tempo, a empresa espera comprovar não apenas seu benefício ambiental, mas, também, o benefício no desempenho do pavimento. Atualmente, a empresa produz três tipos de modificadores feitos com plástico, sendo que cada um altera as propriedades da mistura de uma forma particular. Por isso, são recomendados para vias com características específicas de tráfego. A Figura 8 apresenta a aparência dessas pastilhas.

**Figura 8: Pastilhas de plástico modificadores de asfalto**



Nota: O prefixo MR deriva da sigla do nome da empresa que as desenvolveram.  
Fonte: MacRebur, 2019.

Outra solução de pavimento que reutiliza o plástico descartado foi desenvolvida na Holanda, por meio de uma parceria entre três empresas: uma construtora de rodovias, uma fabricante de tubos de plástico e uma fornecedora de gás e petróleo. Representada na Figura 9, essa alternativa consiste em uma estrutura de pavimento diferente da convencional.

**Figura 9: Rodovia de plástico reciclado**



Fonte: Plastic Road

Segundo a empresa, trata-se de uma estrutura pré-fabricada, feita de plástico reciclado, modular e oca - o que permitiria um processo construtivo 70% mais rápido que o tradicional. Seu design permite que o interior da estrutura seja utilizado para a passagem de tubulações e cabos, além de poder servir como um reservatório para a água da chuva, reduzindo o impacto das enchentes. O reparo de defeitos no pavimento deverá ocorrer por meio da troca da peça. O módulo com defeito, por sua vez, seria facilmente reciclado e transformado em uma nova peça, pronta para o uso.

Sua aplicação ainda está limitada a duas ciclovias na Holanda. Elas estão servindo como projetos-piloto para monitoramento e desenvolvimento de mais testes quanto ao seu comportamento. Do mesmo modo, fornecem insumos para avaliação do potencial dessa alternativa, caso seja introduzida no mercado.

## 8. Pavimentos inteligentes

Conforme exposto neste documento, os pavimentos do futuro poderão apresentar diversas formas. Além de proporcionarem condições adequadas para que os veículos possam trafegar em segurança, pode-se esperar que eles desempenhem outras funções importantes para o sistema do transporte rodoviário. Esses pavimentos serão capazes de gerar dados, prover Wi-Fi e conectar-se com os veículos e demais sistemas de gerenciamento relacionados, como os de planejamento urbano, manutenção de pavimentos, fiscalização de trânsito e serviços de emergência. Trata-se dos pavimentos inteligentes.

A proposta de algumas empresas é que os pavimentos serão equipados com sensores, que poderão gerar diversos tipos de dados. Um exemplo seria a pesagem dos veículos, o que auxiliaria a fiscalização do tráfego com sobrecarga<sup>9</sup>. Essa informação também poderia ser utilizada para gerenciamento das manutenções no pavimento e para o projeto de novos pavimentos, pois proporcionaria um conhecimento mais preciso das características do tráfego. De forma semelhante, os sensores poderiam ser utilizados para realizar contagem de tráfego.

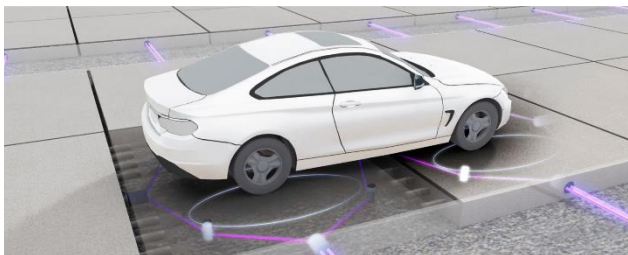
Outra funcionalidade desses dispositivos seria identificar riscos na pista e sinalizar aos condutores a presença de animais, pedestres, entre outros obstáculos que poderiam levar a acidentes. Também poderiam acompanhar a trajetória dos veículos, permitindo reconhecer caso alguns deles saísse da pista de rolamento ou caso houvesse algum tipo de colisão. Nessas circunstâncias, um serviço de emergência poderia ser encaminhado para o local do acidente.

As rodovias, assim como os veículos, também estariam conectadas a uma rede. Isso possibilitaria transmitir aos veículos informações sobre o trânsito e a ocorrência de eventos que interfiram na fluidez. Ainda em relação ao sistema de gerenciamento de tráfego, esses dados poderiam ser utilizados para otimizar os tempos dos semáforos e orientar outros tipos de intervenções que melhorassem a mobilidade nas cidades. Seria possível, inclusive, priorizar os meios de transporte coletivos e mais sustentáveis.

Dessa forma, as possibilidades de aplicação de sensores nos pavimentos são inúmeras. Alguns tipos de pavimentos apresentados neste documento já preveem a instalação desse tipo de dispositivo, porém outras soluções, com design mais convencionais, também estão em desenvolvimento. A Figura 10

ilustra uma dessas soluções, com sensores e cabos de fibra ótica instalados em um pavimento de placas de concreto.

**Figura 10: Exemplo de pavimento inteligente**



Fonte: Integrated Roadways.

São inúmeras as possibilidades que poderão surgir para os pavimentos inteligentes. Dessa forma, quando se pensa em como serão as rodovias do futuro, deve-se considerar as mais diversas funções que essa infraestrutura poderá desempenhar.

## 9. Impressora 3D de asfalto

Apesar das diversas pesquisas voltadas ao desenvolvimento de novas tecnologias para pavimentação - mais sustentáveis, preparadas para as mudanças climáticas e para as limitações no uso de recursos não renováveis -, ainda é difícil imaginar um futuro em que os pavimentos, na forma como são conhecidos hoje, deixem de existir. Por isso, outro campo no qual vêm surgindo inovações é o da manutenção desses pavimentos.

Pesquisadores do Reino Unido desenvolveram uma impressora 3D capaz de imprimir asfalto e fazer reparos preventivos no pavimento, selando trincas. A grande revolução que pode ser gerada por essa tecnologia é que essa impressora pode ser acoplada a drones (Figura 11). Isso permitirá que a manutenção seja realizada sem a necessidade de equipe presencial e com mínima interferência no trânsito.

Projeta-se um sistema em que ocorra um monitoramento por meio de drones que examinam o pavimento e identificam precocemente o surgimento de defeitos. Quando verificada a necessidade de intervenção, outros tipos de drones seriam acionados para realizar a manutenção, sendo alguns para sinalizar a área e outros para realizar o reparo com a impressora 3D.

Estima-se que, mesmo em um cenário em que o sistema não esteja completamente automatizado, a manutenção do pavimento, por meio da utilização desse tipo de dispositivo, possibilitaria uma economia significativa, pois reduziria a necessidade de pessoal e de tempo para execução do serviço.

**Figura 11: Impressora 3D de asfalto em drone**



Fonte: World Highways, 2018.

Esse equipamento ainda se encontra em fase de testes e de avaliação da longevidade das manutenções realizadas. Contudo, segundo os pesquisadores que o desenvolveram, algumas grandes construtoras já demonstraram interesse na tecnologia.

## 10. Considerações finais

Esse informe apresentou algumas inovações que estão surgindo para os serviços de pavimentação. Percebe-se que há uma convergência para que os pavimentos do futuro sejam mais sustentáveis e adaptados às mudanças climáticas observadas nas últimas décadas. Também há uma preocupação para que essas infraestruturas sejam compatíveis e possam ser integradas aos veículos que irão circular por elas.

Não se pretendeu esgotar todas as novas tecnologias que estão sendo desenvolvidas nesse sentido, nem eleger as melhores ou mais promissoras. O intuito desta exposição foi demonstrar que o futuro dos pavimentos também reserva inovações e possibilidades, das quais quase não se ouve falar. Acompanhar esse desenvolvimento é importante para que, no momento oportuno, seja possível melhorar e modernizar a infraestrutura rodoviária do país, por meio da adoção de novas alternativas.

Hoje, pode ser difícil imaginar que as rodovias do Brasil um dia poderão ter alguns dos pavimentos apresentados neste documento, mas, desde que comprovadas suas eficiências, novas técnicas podem, sim, ganhar espaço. Exemplo disso é o asfalto-borracha, empregado no revestimento, que tem sido bastante utilizado nas obras rodoviárias do país. Ele leva esse nome por utilizar, em sua mistura, borracha de pneu inservível moído. Essa técnica começou a ser estudada na década de 1960, o material foi



utilizado pela primeira vez no Brasil em 2001, e vem sendo cada vez mais disseminado.

Dado o exposto, conclui-se que as formas como as pessoas se locomovem e como as cargas são transportadas já estão se transformando. Estima-se que, da mesma forma, a infraestrutura por onde esses deslocamentos ocorrem também poderá se transformar, com notáveis benefícios para seus usuários e para a sociedade em geral.

---

## Notas

<sup>1</sup> A Pesquisa CNT de Rodovias abrange todas as rodovias federais e as principais estaduais pavimentadas. Em 2018, foram pesquisados mais de 107 mil quilômetros.

<sup>2</sup> Capacidade que um material tem de resistir às cargas a ele transferidas.

<sup>3</sup> Manta de um material definido como tecido não tecido (TNT), permeável, que, quando associado com o solo, tem a capacidade de drenar, filtrar, separar e proteger.

<sup>4</sup> Relação entre o volume de vazios e o volume total ocupado pelo reservatório (vazios, pedras e demais materiais).

<sup>5</sup> Uma mistura modificada é aquela à qual foi adicionada alguma substância capaz de alterar seu comportamento. Essa técnica tem sido utilizada há mais de 40 anos na pavimentação para aumentar a resistência das estruturas. Alguns aditivos mais utilizados são os polímeros, os ácidos e a borracha. No estudo "Transporte Rodoviário: Impactos da qualidade do asfalto sobre o transporte rodoviário" há maiores informações sobre esses aditivos.

<sup>6</sup> Fotocatálise é uma reação química na qual a ação da luz ativa um catalisador (fotocatalisador) e acelera a velocidade de decomposição ou oxidação de um determinado composto químico. Um catalisador é uma substância que reduz a quantidade de energia necessária para a ocorrência de uma reação química e aumenta a velocidade com que essa reação ocorre.

<sup>7</sup> Expressão empregada quando há manipulação ou modificação do material à nível atômico ou molecular.

<sup>8</sup> Um radical hidroxila consiste em um átomo de oxigênio ligado a um de hidrogênio, que apresentam um elétron livre (condição chamada de valência livre, representada por um ponto ao lado da fórmula da composição química).

<sup>9</sup> O informe "Transporte em Movimento: As Vantagens de Transportar sem Sobrecarga" aborda mais sobre a importância dessa fiscalização e o impacto da sobrecarga sobre o transporte rodoviário.

## Referências

- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Rodovias 2018**. Brasília: CNT, 2018.
- COSMOS. Concrete Buildings that Heal Themselves. **Cosmos**, jun. 2015. Disponível em: <https://cosmosmagazine.com/issues/general-relativity-at-100-still-ahead-of-its-time>. Acesso em: jun. 2019.
- FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. **TechBrief**: Porous Asphalt Pavements with Stone Reservoirs. FHWA, abr. 2015.
- FERREIRA, C. A. S. **Avaliação do Desempenho Fotocatalítico de Camadas Betuminosas Superficiais de Pavimentos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2016.
- FUTURO EXPONENCIAL. No Futuro, Rodovias Inteligentes Poderão Fornecer Wi-Fi e Chamar Ambulâncias. **Futuro Exponencial**, abr. 2019. Transportes. Disponível em: <https://futuroexponencial.com/rodovias-inteligentes-ambulancias/>. Acesso em: jul. 2019.
- GEOTESC. Bioconcreto: O Concreto que se Auto Regenera. **Geotesc**, mai. 2017. Disponível em: <http://www.geotesc.com.br/site/bioconcreto-o-concreto-que-se-auto-regenera/>. Acesso em: jun. 2019.
- HOND, P. Plastic, Plastic Everywhere. **Columbia Magazine**, New York, summer 2019.
- HYPERDRIVE. China's Built a Road so Smart it will be Able to Charge Your Car. **Bloomberg**, abr. 2018. Disponível em: <https://www.bloomberg.com/news/features/2018-04-11/the-solar-highway-that-can-recharge-electric-cars-on-the-move>. Acesso em: jul. 2019.
- INTEGRATED ROADWAYS. Say Hello to the Real Information Super Highway. Disponível em: <http://integratedroadways.com/>. Acesso em: jul. 2019.
- JACKSON, R. J.; *et. al.* 3D Printing of Asphalt and its Effect on Mechanical Properties. **Materials & Design**, c. 160, p. 468-474, 2018.
- JEFFROY, E.; *et. al.* Iron Oxide Nanoparticles for Magnetically-Triggered Healing of Bituminous Materials. **Construction and Building Materials**, v. 112, p. 497-505, 2016.
- LIU, Q.; *et. al.* Characterization of the Material From the Induction Healing Porous Asphalt Concrete Trial Section. **Materials and Structures**, v. 46, p. 831-839, 2013.
- LUCENA, G. Quatro Conceitos que Antecipam as Estradas do Futuro. **Quatro Rodas**, jun. 2017. Disponível em: <https://quatrorodas.abril.com.br/noticias/quatro-conceitos-que-antecipam-as-estradas-do-futuro/>. Acesso em: jun. 2019.
- MACREBUR. Macrebur: The Plastic Road Company. Disponível em: <https://www.macrebur.com/>. Acesso em: jul. 2019.
- MAIA, D. Automóveis Trafegarão sobre Painéis Solares em Rodovias do Futuro. **Folha de S. Paulo**, São Paulo, mar. 2015. Mercado. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2015/03/1605274-automoveis-trafegarao-sobre-paineis-solares-em-rodovias-do-futuro.shtml>. Acesso em: jul. 2019.
- NATIONAL ASPHALT PAVEMENT ASSOCIATION. Porous Asphalt Pavement. **NAPA**. Disponível em: <https://www.asphaltpavement.org/images/stories/PorousBrochureWeb%5B1%5D.pdf>. Acesso em: jun. 2019.
- PEQUENAS EMPRESAS & GRANDES NEGÓCIOS. Para Proteger Automóveis, Engenheiro Cria Asfalto que se "Cura" e Tapa Buraco Sozinho. **Pequenas Empresas & Grandes Negócios**, set. 2018. Disponível em: <https://revistapegn.globo.com/Banco-de-ideias/Mobilidade/noticia/2018/09/para-proteger-automoveis-empresa-cria-asfalto-que-se-cura.html>. Acesso em: jun. 2019.
- PLASTIC ROAD. Plastic Road. Disponível em: <https://www.plasticroad.eu/>. Acesso em: jul. 2019.
- SELF-HEALING MATERIALS. BioConcrete: Self-Healing Roads. Self-healing Materials, dez. 2016. Disponível em: <https://www.self-healingmaterials.com/bioconcrete-self-healing-roads/>. Acesso em: jun. 2019.
- RYAN, D. Why Roads Paved With Solar Panels Are Not Such a Bright Idea. **The Independent**, out. 2018. Disponível em: <https://www.independent.co.uk/environment/solar-panel-roads-energy-bad-idea-renewable-climate-change-environment-a8557076.html>. Acesso em: jul. 2019.
- TNO. Solaroad's New Phase: A Motorway that also Generates Electricity. **TNO**, mar. 2019. TNO Insights. Disponível em: <https://www.tno.nl/en/tno-insights/articles/solaroad-s-new-phase-a-motorway-that-also-generates-electricity/>. Acesso em: jul. 2019.
- TRICHÊS, G. Pavimentos Fotocatalíticos e a Purificação do Ar nas Grandes Metrópoles. **Road Experts**, mar. 2018. Disponível em: <https://www.roadexpertsla.com/pt-br/noticias/detalhes/pavimentos-fotocataliticos-e-a-purificacao-do-ar-nas-grandes-metropoles>. Acesso em: jun. 2019.
- TRICHÊS, G.; *et. al.* Peças Pré-Moldadas de Concreto Fotocatalíticas para Pavimentação e Degradação de Óxidos de Nitrogênio (NOx) Presentes na Atmosfera. **40ª RAPV - Reunião Anual de Pavimentação**, Rio de Janeiro, out. 2010.
- SELBIG, W. R. Evaluating the Potential Benefits of Permeable Pavement on the Quantity and Quality of Stormwater Runoff. **USGS**, 2018. Disponível em: [https://www.usgs.gov/science/evaluating-potential-benefits-permeable-pavement-quantity-and-quality-stormwater-runoff?qt-science\\_center\\_objec%2%80%A6=&qt-science\\_center\\_objects=0#qt-science\\_center\\_objects](https://www.usgs.gov/science/evaluating-potential-benefits-permeable-pavement-quantity-and-quality-stormwater-runoff?qt-science_center_objec%2%80%A6=&qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects). Acesso em: jun. 2019.
- SOLAR ROADWAYS. Research & Findings: Phase IIB Research. Disponível em: <http://www.solarroadways.com/Research/Research>. Acesso em: jul. 2019.
- WHITE, G. Evaluation of MacRebur Recycled Plastic for Bitumen Extension and Modification in Asphalt. 2019, **University of the Sunshine Coast**, Australia, 2019. Disponível em: <https://www.macrebur.com/pdfs/product/Waste%20Plastic%20Evaluation%202019.pdf>. Acesso em: jul. 2019.

WORLD HIGHWAYS. Connected Vehicles: Implications for Road Networks and Mobility. **World Highways**, abr. 2019. Disponível em: <https://www.worldhighways.com/sections/irf/features/connected-vehicles-implications-for-road-networks-and-mobility/>. Acesso em: jul. 2019.

WORLD HIGHWAYS. Researchers Trial 3D Printinf for Both Concrete and Asphalt roads. **World Highways**, nov. 2018. Disponível em:

<https://www.worldhighways.com/categories/materials-production-supply/features/researchers-trial-3d-printing-for-both-concrete-and-asphalt-roads/>. Acesso em: jul. 2019.

YI, X. Road of Future Paved with Solar Panels. **The Telegraph**, jan. 2018. China Watch. Disponível em: <https://www.telegraph.co.uk/china-watch/technology/first-solar-panel-road/>. Acesso em: jul. 2019.

---

O informe Transporte em Movimento apresenta, de forma sucinta, algumas das principais questões de interesse do transportador no Brasil, para que o apoie oportunamente nas tomadas de decisão na sua atividade e o mantenha atualizado sobre os desenvolvimentos recentes e as tendências previstas para o setor. Para ler as edições deste e de outros informes e boletins temáticos para o transporte, consulte [www.cnt.org.br](http://www.cnt.org.br)