SMART HIGWAY: UMA BREVE REVISÃO DAS RODOVIAS INTELIGENTES QUANTO SUA VIDA ÚTIL

BELAYNE. MARCHI
Engenheira Civil, mestranda PROAC
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora/ MG; Brasil
belaynez@hotmail.com

CLARISSA. SOUZA
Engenheira Civil, mestranda PROAC
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora/ MG; Brasil
clarissajf@yahoo.com.br

ANA FLÁVIA. CRUZ
Engenheira Civil, mestranda PROAC
Universidade Federal de Juiz de Fora
Juiz de Fora/ MG; Brasil
ana.cruz@engenharia.ufjf.br

MARIA TERESA. BARBOSA
Professora, D.Sc.
UFJF/ Construção Civil
Juiz de Fora/ MG; Brasil
teresa.barbosa@engenharia.ufjf.br

RESUMO

O transporte rodoviário no Brasil é o principal sistema logístico do país, contando com uma rede aproximada de 1.610.076 km de estradas e rodovias por onde 56% das cargas movimentadas no território brasileiro se deslocam. Após o advento da Rio +20, tornou-se necessária a implementação e o fortalecimento de soluções e tecnologias verdes que visem assegurar a durabilidade nesse tipo de sistema de transporte. A tendência para o futuro são rodovias “inteligentes” que contribuem de maneira mais incisiva para o desenvolvimento sustentável. Dessa forma o objetivo desse trabalho é avaliar a durabilidade e a vida útil das tecnologias inovadoras incorporadas no Sistemas Inteligentes de Transporte. O estudo baseia-se numa revisão bibliográfica acerca dos materiais empregados nos sistemas inteligentes para posterior análise da vida útil dos mesmos. Espera-se que este trabalho possa contribuir na definição do sistema mais viável e com maior durabilidade nas diferentes regiões brasileiras.

Palavras-chave: Durabilidade. Sistemas Inteligentes de Transportes. Rodovias inteligentes.

ABSTRACT

The road transport in Brazil is the main logistics system in the country, with an approximate network of 751 km of highways where 56% of the cargo moved in the Brazilian territory. After the advent of Rio + 20, it became necessary to implement green solutions and technologies to ensure durability in this type of transportation system. The trend for the future is "smart" roads that contribute most strong to sustainable development. Thus the objective of this work is to evaluate the durability and useful life of the innovative technologies incorporated in the Intelligent Transport Systems (ITS). The study is based on a bibliographical review about the materials used in the ITS for later analysis of their life cycle. It is hoped that this work may contribute to the definition of the most viable and durable system in the different Brazilian regions.

Keywords: Durability. Intelligent Transport System. Smart highway.

1. INTRODUÇÃO:

Há décadas vem se debatendo sobre o futuro dos veículos automotores e, atualmente, busca-se adequar o seu desenvolvimento nas "soluções verdes". Entretanto verifica-se que pouco se discuti em prol de resultam em vários pontos negativos para o meio ambiente, como por exemplo, poluição, ruídos, alto índice de acidentes, alto custo de manutenção e uma infra estrutura por vezes, ineficaz. Considerando essas questões, torna-se cada vez mais necessário a implementação e fortalecimento de soluções e tecnologias que visem assegurar um sistema de transporte mais eficaz. Além disso, as rodovias devem acompanhar no mesmo ritmo, as mudanças tecnológicas dos veículos do futuro. Assim, no setor rodoviário vislumbra-se nesse século, as rodovias "inteligentes" que contribuirão de maneira mais incisiva para o desenvolvimento sustentável.

O termo "cidades inteligentes" tem sido cada vez mais, relacionado ao emprego eficiente de Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), como uma ferramenta para melhorar a infraestrutura e serviços da cidade e consequentemente trazendo melhor qualidade de vida (GAMA et al., 2012). A Holanda, foi o primeiro pais europeu a projetar rodovias inteligentes, e desde abril de 2014, na cidade de Oss, foi implantado um sistema ao longo da rodovia, as chamadas "Glowing Lines", que emite luz proveniente da energia solar absorvida durante o dia, denominada de "N329 – A Estrada do Futuro". Em 2016, a França inaugurou a primeira estrada solar do mundo. Em Tourouvre, uma cidade de 5 mil habitantes, já conta com rodovia pavimentada com 30.000 metros quadrados de painéis solares que fornecem energia para iluminação pública.

Outros exemplos de rodovias com materiais inovadores, como o pavimento permeável estão presentes em paises como EUA Japão, Suécia, França entre outros. No Brasil, apesar de pouco utilizados, desde 2010 pesquisadores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP) desenvolveram um novo tipo de pavimento poroso para a absorção e retenção das águas da chuva, reduzindo os riscos de enchentes. Testes foram realizados com sucesso em estacionamentos da universidade e shopping Centers. Em Curitiba, também é possível encontra-los aplicados no Parque Barigui, um dos principais pontos turísticos da cidade. Também estão começando a surgir no Brasil pavimentos com ação fotocatalítica, uma tecnologia promissora para o combate à poluição do ar em grandes cidades. Testes foram feitos em 2 vias de Florianópolis além de São Paulo, onde foi realizada a primeira obra pública com material fotocatalítico, na rua 7 de abril. Nesse contexto, as S*mart Higway* terão também papeis fundamentais na melhoria e modernização dos sistemas urbanos, e poderão possibilitar para a população uma mobilidade mais adequada.

Nesse cenário, toda inovação tecnológica presente nas rodovias do futuro, vem acompanhados por materiais inteligentes, como pisos drenantes, concretos fotocatalíticos, placas fotovoltaicas, dentro outros. O estudo da estrutura é realizado em função do material, assim como a capacidade de adaptação nas mais diversas aplicações onde estarão inseridas as *smart Higway*, fator primordial para avaliar a durabilidade e a vida útil dos materiais empregados nos pavimentos rodoviários. Assim sendo, um material pode se considerar inteligente, se ele atender e se adaptar para a finalidade na qual foi inserido, o que consequentemente permitirá maior conforto, segurança, estabilidade aos usuários nas estradas.

O maior desafio em questão é saber se esses novos materiais que estão surgindo, se ajustam dentro do conceito atual de desenvolvimento sustentável, se os materiais são ecoeficientes e contribuem de maneira significativa para o seu ciclo de vida (do berço ao túmulo). Desse modo, o objetivo essencial deste trabalho consiste na avaliação dos materiais utilizados quanto sua durabilidade e a vida útil incorporadas nos sistemas de transporte, considerando as variáveis relacionadas aos intempéries que possam intervir ao desgaste e deterioração ao longo do tempo. Para o efeito, pretende-se através de pesquisa bibliográfica, fazer uma análise comparativa da durabilidade e vida útil entre as novas tecnologias que estão sendo difundidas dentro desse conceito de rodovias inteligentes e a tecnologia atual usada considerando o desenvolvimento sustentável.

Em resumo, a questão de pesquisa do trabalho é analisar os materiais usados nas novas rodovias, as então ditas como rodovias inteligentes, que utilizam destes materiais no intuito de atender padrões sustentáveis para as obras e comparar tais materiais com os utilizados (convencionais) no intuito de avaliar a durabilidade e a vida útil das tecnologias inovadoras incorporadas no Sistemas Inteligentes.

Após a categorização dos sistemas inteligentes de rodovias que consistirá de uma introdução aos principais grupos de tecnologias e seus envolvimentos em relação às vias e aos usuários, lista-se seus benefícios e suas aplicações de uma maneira geral. Em seguida procurou-se analisar os itens durabilidade e vida útil considerando analise do ciclo de vida (ACV). Posteriormente, contrapõe-se as tecnologias utilizadas de cada grupo implantados por diversos países e seus benefícios em relação aos atuais sistemas de rodovias.

2. SMART HIGWAY

2.1 Considerações Iniciais

Ao se fazer uma escolha por um determinado material, deve-se considerar sua degradação em condições de uso e manutenção de acordo com o meio que estará exposto. A durabilidade de um material é expressa em termos de vida útil esperada, sendo, portanto, a capacidade de um material em suportar deteriorizações causadas por todos os fatores externos no ambiente, que influencia no desempenho do material, enquanto que a vida útil é o período de tempo após a instalação do material em que ele continuará mantendo suas propriedades a valores mínimos aceitáveis (CARLSSON, 2004)
Com o paradigma do desenvolvimento sustentável a durabilidade ganhou uma nova dimensão, pois a ampliação da vida útil é uma forma efetiva de redução do impacto ambiental; ou seja; a durabilidade e a previsão de vida útil assumem dimensões ambientais relevantes (JOHN et al., 2001). Portanto, ao se aumentar a durabilidade dos materiais, estamos consequentemente reduzindo as cargas ambientais, que por sua vez influencia diretamente no ciclo de vida e garante o aumento da vida útil.

A ligação entre a vida útil e a durabilidade dos materiais, incluindo o seu ciclo de vida, se torna importante para estimar o tempo que o produto vai durar, se ele é viável, contabilizando os possíveis reparos em sua manutenção, e não apenas lançar novos materiais no mercado, sem se preocupar com o que fazer depois que sua vida útil terminar. Muitos são os benefícios divulgados por empresas que querem implantar materiais ecoeficientes, mas pouco se é abordado os fatores externos que podem comprometer sua durabilidade, como por exemplo estar exposto a uma área de elevada agressividade ambiental.

Segundo Hodve (2004), existem três abordagens diferentes para estimar a vida útil de um material, a saber: o método determinístico (baseado no estudo dos fatores de degradação que afetam os elementos estudados, na compreensão dos seus mecanismos de atuação e na sua quantificação traduzida em funções de degradação), o probabilístico (define qual é a probabilidade de ocorrer uma mudança de estado do elemento, descrevendo a evolução da degradação, junto das incertezas decorrentes do tempo considerado e método da engenharia (que é uma conciliação das vantagens dos dois métodos anteriores, tornando-o um método mais simples) (SANTOS, 2010).

2.2 Rodovia Fotovoltaica

Os painés solares, também conhecidos como células fotovoltaicas, foram desenvolvidos no intuito de gerar energia através da captação da luz do sol. Para isso o sistema é formado por um conjunto de painéis individuais de células fotovoltaicas que usam semicondutores para absorver a luz e criar um fluxo de elétrons que ao se movimentar gerando corrente elétrica. Altamente difundido, suas aplicações vem crescendo, e por gerar energia renovável limpa chega como solução sustentável em rodovias, ou seja, conta com uma infraestrutura moderna aliada a energia inteligente. As rodovias solares são compostas por painés com três camadas, a superior constituída de vidro texturizado de alta resistência, a intermediária usada para coletar energia e, por último, a placa que distribui toda captação de luz solar armazenada. (CRAVO, 2014).

Além da função de gerar energia, as rodovias contam também com luzes de LED, que funcionam como sinais de segurança emitidos para alertar aos condutores sobre possíveis acidentes nas rodovias, congestionamentos, neblina, sinalização, dentre outros. As células fotovoltaicas, também, podem transportar cabos de fibra óptica para televisão, comunicação e internet de alta velocidade, permitindo que áreas rurais estejam conectadas contribuindo, inclusive, para uma despoluição visual envolvendo um emaranhado de fios ao longo da rodovia (AZONANO, 2007). Ademais, com o advento do carro elétrico, as

rodovias solares também os auxiliariam para permanecerem carregados em pontos estratégicos nas estações da estrada, conforme se verifica em Normandia, região localizada no noroeste da França, onde foi instalada a primeira estrada solar do mundo em 2016.

Apesar de muitos serem os pontos positivos dos painéis solares, alguns questionamentos sobre sua durabilidade são questionáveis como, por exemplo, a agressividade ambiental o qual o painel está inserido; a segurança para o usuário (decorrente, por exemplo, do derramamento de óleo na pista ou acidente de trânsito que ocasione algum dano a estrutura danificando painel (is) solar(es)). Outra desvantagem se refere ao fato que os painéis solares sobre as estradas, não podem coletar energia da mesma forma se estivessem posicionados formando ângulo, como ocorre em outras ocasiões, no telhado de uma casa por exemplo.

As empresas fabricantes do painel solar destacam a necessidade de instalação de um tipo de vidro auto-limpante para manter a superfície livre de sujeira e óleo. Há também a questão quando os dias estiverem nublados, ou instalados em regiões onde não há grande incidência de luz solar. Mesmo em dias ensolarados, a tecnologia atual de energia solar é muito ineficiente, a maioria dos painéis solares converte cerca de 14% da energia disponível em eletricidade (GEORGE, 2009). Em 2015, pesquisadores da PUC do Rio grande do Sul desenvolveram placas de captação de energia solar mais eficientes que a média mundial, a custos menores, de 14% para 15,4% , quase se igualando as melhores placas solares comercializadas no mundo, que convertem cerca de 16%. A tabela 1 apresenta resumidamente as características dessa tipo de tecnologia passível ser empregada em rodovias.

Tabela 1 – Análise comparativa das rodovias fotovoltaicas.

Ítens Comparativos	Placas Fotovoltaicas	Pavimento Fotovoltaico
Materiais utilizados	Compostos por células solares, constituídas por materiais semicondutores, normalmente o sílicio e o arsenieto de gálio	conjunto de painéis individuais de células fotovoltaicas, com três camadas, sendo a superior composta por vidro texturizado de alta resistência
Vida útil (com manutenção)	25 a 30 anos	30 anos
Manutenção	Em épocas de pouca chuva, recomenda-se a limpeza da superfície com um pano úmido e detergente neutro	vidro auto-limpante mantendo a superfície livre de sujeira e óleo
Estrutura	Encapsuladas com vidro resistente, reforçado com camadas de plástico. Posteriormente, todo o conjunto é reforçada pela formação de um quadro externo com alumínio metálico.	3 camadas, fabricados com um material de alta resistência (vidro temperado) para suportar o peso dos veículos que trafegam o dia todo
Distribuição de Tensões	-	Placa absorve a maior parte das tensões e as distribui sobre uma área relativamente maior

(Fonte: Elaborada pelo autor)

A preocupação com o ruído tem vindo a crescer lado a lado com a mudança da mentalidade acerca da valorização da saúde e do bem estar, a poluição sonora é considerada hoje um dos agentes mais agressivos à qualidade de vida dos seres humanos, e uma prova disso é que o ruído é o impacto ambiental do qual resultam mais queixas por parte da população. Caso o mesmo não for tomado em conta e, devidamente controlada, será responsável por graves consequências na saúde e nas relações sociais das populações afetadas (RIBEIRO, 2009).

Neste contexto, outra tendência inovadora que tem vindo a ser cada vez mais discutida e estudada, é a aplicação de painéis fotovoltaicos ao longo das vias de comunicação, que funcionam como barreiras de proteção contra o ruído. A utilização de painéis fotovoltaicos traduz-se normalmente em barreiras sonoras

do tipo refletoras. No entanto, é possível a aplicação de algum tipo de fibra com capacidade de absorção acústica em simultâneo com o painel, conferindo a barreira capacidades de absorção.

Há também a possibilidade de aplicação de painéis fotovoltaicos em barreiras sonoras já existentes, servindo estas ao seu suporte, ou integradas em projetos de novas barreiras. Neste último caso, poderá proceder-se à pré-fabricação dos painéis e subestruturas, traduzindo-se em grandes ganhos econômicos. Os painéis poderão ser aplicados diretamente no terreno, formando a totalidade da barreira, ou aplicados sobre muros de concreto armado. Este último caso é geralmente o mais utilizado, pois permite a proteção dos painéis dos os agressores viários, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1 – Painel fotovoltaico em barreira sonora.



(Fonte: Adaptado de Ribeiro, 2009)

Os painéis fotovoltaicos são direcionados de forma a ser potencializada a exposição solar a que serão sujeitos, no entanto, quando aplicados a barreiras sonoras, terão que percorrer as curvaturas seguidas pela via em questão; este fato poderá implicar o não correto aproveitamento dos painéis, deixando de ser interessante a sua aplicação. Assim, dever-se-á proceder à instalação de barreiras que utilizem estes painéis, apenas nos trechos da via perpendiculares à linha da direção de exposição solar máxima, ou com pequenos desvios dos mesmos.

E, finalmente, salienta-se que os painéis fotovoltaicos são naturalmente mais caros que qualquer outro tipo de painel utilizado em barreiras sonoras. Assim, apesar dos ganhos inerentes à produção de energia elétrica, poderão também significar elevados custos de manutenção (RIBEIRO, 2009).

2.3 Energia Eólica

Seguindo a linha das tecnologias limpas, aquelas que não queimam combustível fóssil para gerar energia, a energia eólica insere-se na S*mart Higway*. O sistema consiste em gerar energia aproveitando o deslocamento do ar provocado pela passagem dos veículos na estrada (DE JONG, 2015). Diversas categorias de geração de energia eólica nas rodovias podem ser aplicadas, uma delas é um projeto de um estudante americano que propôs o seguinte modelo: a instalação é feita colocando duas turbinas eólicas horizontalmente nas armações de aço onde geralmente estão instalados a sinalização ao longo da rodovia, vide figura 2. Os geradores eólicos seriam movidos pelo vento produzido pela turbulência dos carros passando, gerando assim energia, que poderá ser utilizada na própria estrada, ou auxiliar comunidades em seu entorno (CHAPA, 2007).

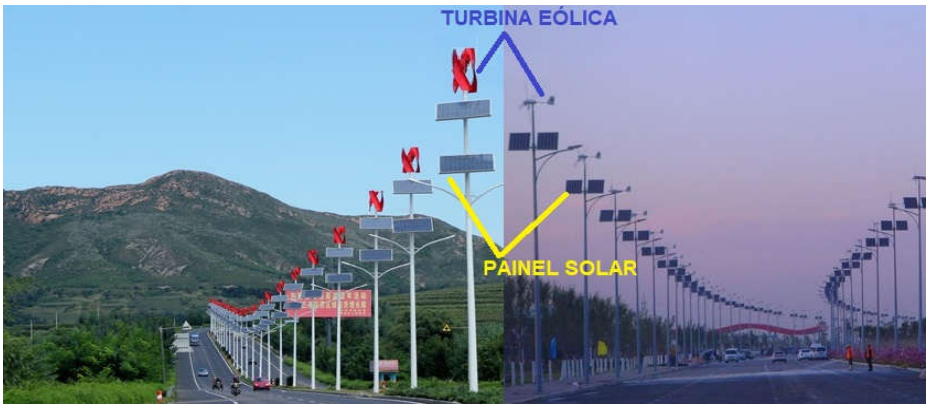
Figura 2 – Instalação de turbinas ao longo de rodovias.



(Fonte: adaptado de Fonte: https://inhabitat.com/student-designs-highway-power)

No mesmo segmento, outra inovação é o poste de iluminação híbrido, 100% alimentado por energias eólica e solar. Os modelos são feitos em aço, de 12 a 18 metros de altura e há presença de uma hélice no topo do poste (vide figura 3). São duas fontes de energia alimentando-se ao mesmo tempo, 2 placas acopladas com células solares, que recebem raios ultravioletas e infravermelhos, gerando energia elétrica, que será armazenada em uma bateria afixada a peça. Com o mesmo intuito, as hélices no topo funcionam como geradores de energia eólica através do deslocamento do vento. Cada poste pode abastecer outros três ao mesmo o tempo, e com os dois sistemas funcionando paralelamente, sua autonomia chega até 70 horas, o que significa que uma vez abastecido, mesmo na ausência de vento e sol, ele é capaz de manter as lampadas acesas.

Figura 3 – Poste de iluminação híbrido.

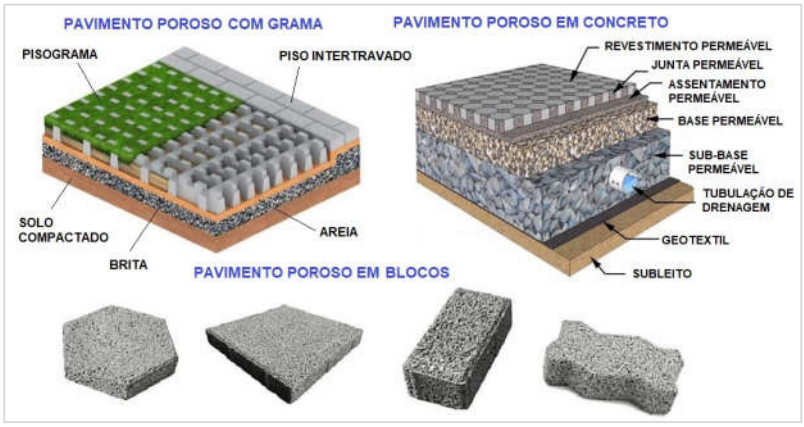


(Fonte: Adaptado de Ribeiro ,2009)

2.4 Pavimentos Permeáveis

Os pavimentos permeáveis ou drenantes (vide figura 4), favorecem a disposição e a preservação da água da chuva pois, numa mistura de concreto com um elevado índice de vazios, que o torna permeável à ação das águas de chuva e, consequentemente, reduz a espessura da lâmina d'água sobre a superfície. Originalmente desenvolvidos para resolver aspectos relativos à segurança, os revestimentos asfálticos drenantes apresentaram uma boa capacidade de redução dos ruídos provenientes do tráfego de veículos, reduzindo o impacto ambiental sofrido pela vizinhança das rodovias e vias urbanas (OLIVEIRA, 2003).

Figura 4 – Esquema de pavimento permeável



(Fonte: adaptado de Fonte: http://www.flowstobay.org)

Esses pavimentos podem ser de asfalto ou de concreto, em ambos não existem o agregado fino, o asfalto tem agregados com vazios de 40% e o concreto com 17%. Os pavimentos podem, também, de pedras britadas ou de grama adensada em estruturas de concreto ou de PVC, vide figura 5.

O sistema de pavimento permeável é útil por diferentes razões, a saber: o piso drenante é composto de grandes materiais de concreto, pedra ou materiais altamente resistentes, equipados com um sistema de filtração que permite a formação de uma espécie de grade, favorecendo a filtração da água da chuva. O

grau de permeabilidade destes sistemas está intimamente relacionado a várias variáveis: o sistema de colocação do solo, a camada superior do piso, o estado subjacente do piso, que permitem a filtragem da água no solo, favorecendo sua dispersão.

Figura 5 – Pavimento Permeável.



(Fonte: Adaptado de https://www.aecweb.com.br)

Os pavimentos de blocos de concreto são muito eficazes na remoção de poluição do escoamento, ao contrário dos tanques de atenuação. Os poluentes podem ou permanecem na superfície (particularmente com gradientes zero) ou podem ser depositados nas camadas de pavimento subjacentes, onde muitos dos poluentes são filtrados, presos ou degradados ao longo do tempo. Na Europa pesquisas realizadas demonstram a eficácia de pavimentos permeáveis na redução da poluição. Eles podem, por exemplo, remover entre 60% e 95% dos sólidos suspensos totais e de 70% a 90% de hidrocarbonetos (DELATTE, 2014).

É considerado um piso ecológico de alta eficiência possuindo funcionalidade estética diferenciada, e é sustentável, possui alta aderência (antiderrapantes), alta resistência ao atrito, gera menos barulho quando utilizado por veículos, se comparado a outros materiais como asfalto ou calçamento, além de ser uma opção segura, pois possui partes com o sistema antiderrapante. Outra qualidade a seu favor é o preço, é barato para comprar, instalar e realizar a manutenção. A tabela 2 apresenta uma análise comparativa entre os pavimentos rígidos e os permeáveis.

Tabela 2 – Análise comparativa entre os pavimentos rígidos e os permeáveis.

Itens Comparativos	Pavimentos Rígidos	Pavimentos Drenantes
Materiais utilizados	O concreto é feito de materiais locais, misturado a frio, consumindo, geralmente, energia elétrica	A camada superior (o revestimento asfáltico) é composta de forma similar às convencionais, mas com retirada de fração de areia fina (graduação aberta) da mistura dos agregados do pavimento.
Vida útil (com manuntenção)	25 a 30 anos	20 anos
Manutenção	Pouca necessidade de manutenção e ações mais simples	Não requerem tecnologia sofisticada, porém exige manutenção frequente para evitar o entupimento dos poros
Estrutura	Menos camadas, consequentemente menor espessura	Com mais camadas e uma mistura com um elevado índice de vazios
Reação com produtos quimicos	Pouco suscetíveis a reações químicas e à contaminação	Pouco suscetíveis a reações químicas, mas pode levar contaminação pro solo
Drenagem	Melhores características de drenagem superficial: escoa melhor a água superficial	Pavimento permeável, não permite acumular poças, reduzindo as inundações e a erosão

(Fonte: Elaborada pelo autor)

2.5 Pavimentos de blocos de concreto fotocatalítico

Como uma estratégia pra minimizar o efeito dessa poluição oriunda dos veículos automotores, estudos vem utilizando a nanotecnologia na produção de materiais, com a incorporação de novas propriedades que aumentam o seu desempenho, a sua funcionalidade e a sua durabilidade (CORTEZ, 2008). Em rodovias, a tecnologia propicia um aumento no desempenho do revestimento, propiciando materiais mais resistentes à deformação permanente, ao desgaste, menos sujeito à variação térmica e apresenta também menos dano por umidade envelhecimento. Seu sistema é constituído por processos oxidativos avançados, pela fotocatalise heterogênea que utiliza semicondutores como o dióxido de titânio (TiO_2), sua incorporação em combinação com o cimento Portland gera materiais com propriedades fotocatalíticas, ou seja, uma matriz de cimento capaz de capturar e degradar poluentes atmosféricos como os óxidos de nitrogênio (NOx) (MELO et al., 2011).

O sistema funciona basicamente pelo processo de fotodegradação de poluentes atmosféricos, baseado nas propriedades do semicondutor TiO_2. Com a da incidência da radiação solar UV sobre a camada superior do pavimento fotocatalítico, radicais hidroxila são produzidos, que por sua vez degradam os óxidos de nitrogênio (NOx) por reações químicas de oxirredução, conforme ilustrado na figura 6. O resultado da reação são íons de nitrato (NO_3) que são fixados na superfície do pavimento em forma de sal, que posteriormente serão removidos pela água de chuva e reaproveitados pelas plantas como nutrientes em sua absorção (MELO et al., 2011)

Figura 6 – Pavimento de Concreto com Incorporação Semicondutor.



(Fonte: Adaptado de http://ciclovivo.com.br)

Os resultados obtidos com os revestimentos fotocatalíticos, segundo Carneiro 2013, mostraram que se pode ter uma taxa de conversão do poluente (NOx) de até 95 %, dependendo do tipo e porcentagem de dióxido de titânio incorporado. Neste contexto abordado, o pavimento rígido de dupla camada fotocatalítico, pode ser considerado uma relevante tecnologia para contribuir com a minimização dos poluentes atmosféricos emitidos pelas fontes móveis de poluição

Atualmente é um dos métodos mais estudados para o combate da poluição do ar em grandes cidades (Omia, Bruxelas, Paris, Bergamo, Hong Kong). Também faz parte do plano de revitalização da Ponte Sarajevo, que passa por cima da Avenida Meridiana próximo a Barcelona, Espanha. No Brasil, foi feita a primeira obra pública com material fotocatalítico, na Rua Sete de Abril, em São Paulo. Entretanto, a malha rodoviária brasileira, de forma geral, é formada em sua maioria por pavimentos com revestimento asfáltico. Os pavimentos rígidos, com placas de concreto de cimento Portland, possuem uma representatividade muito inferior (SANTOS, 2011).
A tabela 3 apresenta uma análise comparativa do pavimento rígido tradicional e o fotocatalítico

Tabela 3 – Análise comparativa entre pavimento rígido tradicional e fotocatalítico.

Ítens Comparativos	Pavimentos Rígidos	Pavimento Fotocatalítico
Materiais utilizados	O concreto é feito de materiais locais, misturado a frio, consumindo, geralmente, energia elétrica	Incorporação de dióxido de titânio (TiO2) em combinação com o cimento Portland
Vida útil (com manutenção)	25 a 30 anos	30 anos
Manutenção	Pouca necessidade de manutenção e ações mais simples	Mesmo do pavimento rígido, com o benefício e serem autolimpantes reduzido o custo de limpeza e manutenção.
Estrutura	Menos camadas, consequentemente menor espessura	As mesmas do pavimento rígido, com acréscimo de uma camada incorporada com TiO2 com espessura média de 3mm a 10mm
Distribuição de Tensões	Placa absorve a maior parte das tensões e as distribui sobre uma área relativamente maior	As mesmas do pavimento rígido
Reação com produtos quimicos	Pouco suscetíveis a reações químicas e à contaminação	Baseado no processo de catálise induzida por uma reação fotoquímica e eliminando parte da poluição de óxidos de nitrogênio.
Drenagem	Melhores características de drenagem superficial: escoa melhor a água superficial	Pavimento permeável, pois ele atua como catalisador nas reações de degradação e melhoramento do escoamento da água superficial

(Fonte: Elaborada pelo autor)

3. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS SMART HIGWAY X DURABILIDADE

A tabela 4 apresenta uma análise comparativa entre os principais indicadores de qualidade dos sistemas de rodovias apresentadas. Adotou-se uma escala comparativa de 1 a 3, sendo 1 o sistema menos favorável em relação aos demais na propriedade analisada e 3 o mais favorável, entre os diversos sistemas e considerando a propriedade analisada.

Tabela 4 – Análise comparativa entre os pavimentos

Propriedades		Fotovoltaica	Eólica	Permeável	Fotocatalítico	Convencional	
						Asfalto	Concreto
Custo Implantação		3	2	1	2	1	2
Vida Útil		2	3	2	3	1	3
Durabilidade (com serviços de manutenção)		2	3	2	3	1	3
Indicadores de Sustentabilidade	Ambientais	2	3	3	2	1	2
	Econômicos	1	3	3	1	3	2
	Sociais	1	2	3	1	2	2

(Fonte: Elaborada pelo autor)

Analisando a tabela 4 constata-se que as rodovias fotovoltáica, fotocatalítica, eólica e de Concreto são as que possuem maior durabilidade e vida útil. Apesar da rodovia permeável não está na lista das mais duráveis, possui uma durabilidade mediana, seus indicadores de sustentabilidade ambiental, econômico e social são mais elevado, com custo de implantação baixíssimo sendo, portanto, a mais indicada se considerar os preceitos que regem o desenvolvimento sustentável.

Cabe mencionar que quando os pavimentos drenantes, inadequadamente instalados ou quando ocorrer deficiência nos serviços de manutenção, terá sua vida útil comprometida. Além disso, um fato importante chama atenção, por ser poroso, ele carreia não somente água; há um risco de contaminação dos aquíferos se houver algum derramamento químico na pista causado por algum acidente, devendo ser instalado longe de barragens de abastecimento de água.

As diferentes estruturas de pavimento requerem diferentes políticas de manutenção, e referem-se a todas as ações implementadas ao longo de sua vida útil, com objetivo de manter o pavimento em determinado nível de qualidade, ou manter a qualidade do pavimento com um determinado nível limite de degradação.

Com o intuito de prolongar a vida útil do pavimento, ações preventivas devem ser tomadas como a conservação periódica e a restauração, destacando-se manutenção preditiva e avaliação das propriedades requeridas quando a durabilidade, vide tabela 5, que apresenta um resumo de ensaios não destrutivos mais divulgados na construção civil.

Tabela 5 – Ensaios não destrutivos passíveis a serem aplicados nas rodovias inteligentes

ENSAIO	PRINCÍPIO	VANTAGENS	LIMITAÇÕES
Exame visual	Realizado com ou sem ajuda de aparelhos óticos, ferramentas de medida, registros fotográficos.	Custos baixos; Avaliação rápida das condições.	É necessário experiência; Avaliação primária limitada às superfícies das
Pulso Ultrassônico NBR NM 58/ 1996	A amplitude e a frequência das ondas introduzidas são modificadas pela presença de fissuras, objeto e seções que tenham diferentes impedâncias acústicas.	Fácil execução; Baixo custo.	É necessária treinamento para uso do equipamento e alto nível de especialização para a interpretação dos resultados.
Gamagrafia British Standard Institution (1986)	Os raios gama são emitidos de uma fonte, penetram na superfície e saem no lado oposto sendo gravados.	Os equipamentos são facilmente transportáveis; Custo elevado.	Fontes de raios gama são perigosos para a segurança e saúde; Necessita de acesso aos dois lados.
Termografia infravermelha British Standard Institution (1986)	Uso de frequências de infravermelho.	Para grandes áreas; Custo elevado.	Requer treinamento e alto nível de especialização para interpretar os resultados.
Fibra ótica British Standard Institution (1986)	Consiste no uso de fibras óticas flexíveis, lentes e sistemas de iluminação.	Conexão de câmera fotográfica e permite visões multidirecionais.	Equipamento de alto custo.

(Fonte: Elaborada pelo autor)

A conservação tem por objetivo corrigir certas deficiências do pavimento, à medida que elas vão aparecendo, na maioria dos casos de modo pontual. A restauração compreende um conjunto de ações a executar em certos períodos da vida do pavimento, com objetivo de recuperar certas características (estruturais e/ou funcionais), ou apenas para reduzir a taxa de degradação do pavimento.

As estimativas da vida útil do pavimento podem fornecer importantes subsídios para a seleção de uma das alternativas, mesmo que não haja um consenso sobre qual estrutura de pavimento é mais adequada, pois cada sistema possui suas variáveis, junto com a análise dos pontos positivos e negativos, é possível efetuar uma análise comparativa entre as alternativas o que muito auxiliará na especificação do mesmo.

Apesar das placas solares serem grandes indicadores de pavimentos sustentáveis, não existem pesquisas que demonstram a destinação dos painéis quando sua vida útil terminar, visto que esse material não tem como ser reaproveitado, e portanto, não está inserido dentro do ciclo de vida do conceito desenvolvimento sustentável.

Os resultados obtidos com os revestimentos fotocatalíticos produzidos, segundo Carneiro 2013, mostraram que se pode ter uma taxa de conversão do poluente (NOx) de até 95 %, dependendo do tipo e porcentagem de dióxido de titânio incorporado. Neste contexto abordado, o pavimento rígido de dupla camada fotocatalítico, pode ser considerado uma relevante tecnologia para contribuir com a minimização dos poluentes atmosféricos emitidos pelas fontes móveis de poluição.

As rodovias eólicas também tiveram alto índice de sustentbilidade ambiental, social e econômico, mas tem a desvantagem de necessitar da ação do vento, tornando difícil a integração da sua produção em rodovias como pouco tráfego, ou muito congestionadas, além disso, onde o vento é produzido pelo deslocamento dos veículos, o impacto sonoro é alto, e pode afastar animais da região, incomodar comunidades próximas, além de impacto visual elevado.

4. CONCLUSÃO

Diariamente milhares de veículos se deslocam com objetivos múltiplos, seja para transporte de pessoas, ou de cargas, atualmente o principal desafio que o setor rodoviário enfrenta passa por encontrar o equilibrio entre conciliar os veículos cada vez mais modernos que surgem dia a dia, com as rodovias nem tão tecnológicas assim. As novas tecnologias que estão surgindo são altamente importantes e se faz extremamente necessária, principalmente num ambiente totalmente precário como o sistema de transporte rodoviário. Portanto, a busca de novos materiais revela a importancia e a necessidade de interligacao da industria de pavimentação em termos de efeitos reais e potenciais, com o desenvolvimento sustentavel. Além disso, a utilização de materiais mais duraveis significa uma vida util maior e um menor consumo de recursos. Torna-se por isso indispensavel perceber quais medidas devem obrigatoriamente ser tomadas para que seja elevada sua durabilidade.

Em termos gerais, é necessario que o pais consolide uma mudanca nas trajetorias ambiental, social e econômica no sentido da sustentabilidade, incentivando as empresas e pesquisadores a pensar em desenvolver produtos que sejam mais sustentaveis não só durante sua vida útil, mas também após o seu término, reciclando e renovando os materiais desenvolvidos.

Para que realmente as rodovias seja uma realidade sustentavel é necessario que diversos intervenientes atuem nesse sentido. Cabe a comunidade cientifica esse importante papel na disseminacao dos novos materiais que possam contribuir para as *SMART HIGWAY,* de forma que políticas de incentivo possam ser criadas no intuito de orientar os fabricantes a considerar a analise do ciclo de vida como base dos seus desenvolvimentos, no sentido de solucoes que não comprometam a geração futura. É preciso sim investir em novos materiais, mas considerando as qualidades ambientais incorporadas no produto de modo que condicione o desemprenho ambiental, social e econômico na totalidade do seu ciclo de vida.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a FAPEMIG pelo apoio financeiro que possibilitou a participação no evento.

5. REFERENCIAS:

AZONANO. Energy Producing Roads Made From Solar Cells and Glass May Be The Solution To Carbon Emissions and Climate Change. **AZoNano**, p. 1–3, 2007.

CARLSSON, B. Recommended test procedure Qualification of solar absorber surface durability. **IEA SHC Task**, v. 27, 2004.

CARNEIRO, J. A. O. et al. Utilização de nanopartículas de TIO2 para o desenvolvimento de pavimentos rodoviários com capacidade fotocatalítica. **7º Congresso Rodoviário Português**, p. 1–10, 2013.

CHAPA, J. Student Design Turns Highways Into Wind Farms. **Inhabitat**, 2007.

CORTEZ, O. A. **Síntese e caracterização de ligas Fe-Ni nanoestruturadas**. Rio de Janeiro: PUC-Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2008.

CRAVO, L. DA S. **Geração de Energia nos Pavimentos Rodoviários**. Coimbra: UCPT - Universidade de Coimbra, 2014.

DE JONG, B. Wind Turbines along highways: Feasibility study of the implementation of small scale wind turbines along the Prins Bernardweg Zaandam to Bolswarderbaan highway in the Netherlands. n. 1, p. 1–100, 2015.

DELATTE, N. **Concrete pavement design, construction, and performance**. 2. ed. London: Taylor & Francis, 2014.

GAMA, K. et al. **Em Direção a um Modelo de Maturidade Tecnológica para Cidades Inteligentes**. VIII Simpósio Brasileiro de Sistemas de Informação. **Anais**...2012

GEORGE, P. How Solar Panel Highways Work | HowStuffWorks. 2009.

JOHN, V. M. et al. **Durabilidade e Sustentabilidade: Desafios para a Construção Civil Brasileira**. Workshop Sobre Durabilidade Das Construções. **Anais**...2001

MELO, J. V. S. DE et al. Pavimento de blocos de concreto fotocatalítico. **Téchne**, 2011.

OLIVEIRA, C. A. Estudo de propriedades mecânicas e hidráulicas do concreto asfáltico drenante. p. 104, 2003.

RIBEIRO, N. M. P. **BARREIRAS SONORAS EM ALTA**. [s.l.] Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2009.

SANTOS, C. R. **Dimensionamento E Análise Do Ciclo De Vida De Pavimentos Rodoviários : Uma Abordagem Probabilística**. [s.l.] Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2011.

SANTOS, M. R. P. Metodologias de previsão da vida útil de materiais, sistemas ou componentes da construção. p. 149, 2010.