

TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS PARA A PRODUÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE ESTRADAS

ANDREIA C. A. C. FERREIRA, JOEL R. M. OLIVEIRA, RUI A. R. RAMOS

RESUMO

No actual panorama mundial, a procura da redução no consumo de energia associado a combustíveis fósseis tem motivado inúmeras respostas por parte da sociedade em todo o mundo. Por um lado, através do aproveitamento de energias renováveis, por outro, através do desenvolvimento de tecnologias inovadoras que permitem otimizar energia sem prejudicar o ambiente. Assim, o desafio atual, está em conseguir iniciar um processo de transição no sentido de um modelo energético mais sustentável, menos dependente de combustíveis fósseis, sem que isso tenha influência no desenvolvimento social e económico. Associado a este problema, mantém-se o contínuo crescimento da utilização de veículos automóveis, em particular nos países em desenvolvimento, com consequências prejudiciais para o ambiente. É neste contexto que foram desenvolvidas as tecnologias que são abordadas no presente artigo, que permitem a produção de energia a partir das estradas. O objectivo deste artigo é fazer uma síntese dos conhecimentos relativos às tecnologias produtoras de energia a partir das estradas, analisando cada uma das soluções existentes; por outro lado pretende-se estudar as tecnologias já aplicadas, por forma a perceber as suas potencialidades de utilização generalizada.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com Mendes (2011), o paradigma energético global está em risco e exige uma alteração dramática. Em traços gerais pode afirmar-se que o mundo está dependente das fontes fósseis, que são limitadas e começam a dar sinais de escassez. Na utilização dos combustíveis fósseis facilmente se percebe que três problemas estão a levar a uma mudança de paradigma: a disponibilidade, o custo e a poluição associada aos mesmos. Num cenário de mudança do paradigma da energia, em que: (i) o consumo mundial de energia está a aumentar; (ii) o custo dos combustíveis está a crescer e (iii) as alterações climáticas são encaradas como um desafio, surge a necessidade de reduzir a quantidade de energia, que tem por base combustíveis fósseis e diminuir a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE). O desafio actual está em conseguir iniciar um processo de transição no sentido de um modelo energético mais sustentável, menos dependente de combustíveis fósseis, sem que isso tenha influência no desenvolvimento social e económico.

Actualmente já existem muitos exemplos de casos em que a eletricidade é produzida a partir de fontes renováveis, tal como acontece com o aproveitamento do vento, da água, do sol e das marés. No entanto, não basta apenas estas formas, é necessário inovar e interligar as soluções, para se caminhar de uma forma mais efectiva rumo à

sustentabilidade. Por outro lado, e de acordo com o Livro Verde dos Transportes (2007), em toda a Europa, o aumento do tráfego no centro de muitas cidades conduz a um fenómeno de congestionamento crónico, com inúmeras consequências nefastas em termos de tempo perdido e de poluição. E ainda, a poluição atmosférica e sonora intensifica-se todos os anos. Segundo a mesma fonte, a circulação urbana está na origem de 40% das emissões de CO₂ e de 70% das emissões de outros poluentes resultantes dos transportes rodoviários.

É com base nestes problemas inerentes, por um lado, à necessidade de redução de consumo de combustíveis fósseis, e por outro, à procura por soluções que minimizem o efeito dos veículos automóveis, que surge a necessidade de utilização de tecnologias inovadoras para produzir energia aplicadas a estradas que permitem a produção de energia, aproveitando, o peso e o movimento dos veículos, o sol, e o vento.

Numa fase inicial do artigo são abordados sucintamente os sistemas produtores de energia em estradas, para que se possa perceber o que está na base de cada um dos sistemas e perceber o seu funcionamento. Depois são analisados alguns exemplos práticos de aplicações de duas tecnologias que já se encontram implementadas, a solução dos geradores piezoelétricos, que se encontra aplicada em Israel, e a solução de aquecimento e refrigeração de edifícios e estradas, já aplicada em diversos projetos na Holanda e em outros países. Por fim, é feita uma discussão das potencialidades de cada uma das tecnologias, destacando-se as vantagens de cada uma delas.

2 SISTEMAS PRODUTORES DE ENERGIA EM ESTRADAS

O automóvel é o meio de transporte mais utilizado pelas pessoas para se deslocarem. Como consequência disso, o planeta tem sofrido graves problemas devido à poluição causada pelos mesmos. O impacto ambiental das emissões de gases com efeito estufa e o impacto económico do aumento dos custos dos combustíveis não renováveis, juntamente com a duplicação potencial nos próximos anos do consumo de eletricidade a nível mundial, exige a necessidade urgente de métodos sustentáveis e mais criativos para produção de eletricidade. As tecnologias que de seguida se apresentam vão, por um lado, aproveitar energia que à partida não é utilizada e se iria dissipar, e por outro lado, mitigar parte dos problemas causados pelo automóvel no meio ambiente.

As soluções apresentadas aproveitam diversas formas de energia para produzir eletricidade. A primeira solução apresentada para a produção de eletricidade a partir das estradas aproveita a pressão exercida pelos veículos no pavimento. No entanto, existem outras soluções que aproveitam outras formas de energia, nomeadamente o vento produzido pela circulação dos veículos (Proefrock, 2007). Existem também soluções que aproveitam a energia solar que incide nos pavimentos rodoviários para produção de energia e para aquecimento e refrigeração de edifícios e estradas. A solução que se apresentará mais à frente utiliza materiais semicondutores para converter a energia solar diretamente em energia elétrica (Oleinick *et al.*, 2005).

2.1 Geradores Piezoelétricos

A primeira solução apresentada tem como base a instalação de geradores piezoelétricos no pavimento. Esta solução recolhe a energia mecânica transmitida pelo veículo à

estradas convertendo-a em eletricidade, aproveitando dessa forma energia que normalmente é desaproveitada (Katz, 2009).

A energia gasta no movimento do veículo é utilizada principalmente para vencer a resistência à rotação, resistência que ocorre quando a roda está a avançar sobre a superfície da estrada. Além da energia utilizada para mover a roda para a frente (no sentido horizontal), parte da energia produzida pela combustão é desperdiçada na criação de uma deformação no pavimento, como se pode verificar na Figura 1. Essa deformada é proporcional ao peso do veículo e à rigidez do asfalto (Innowattech, 2010).

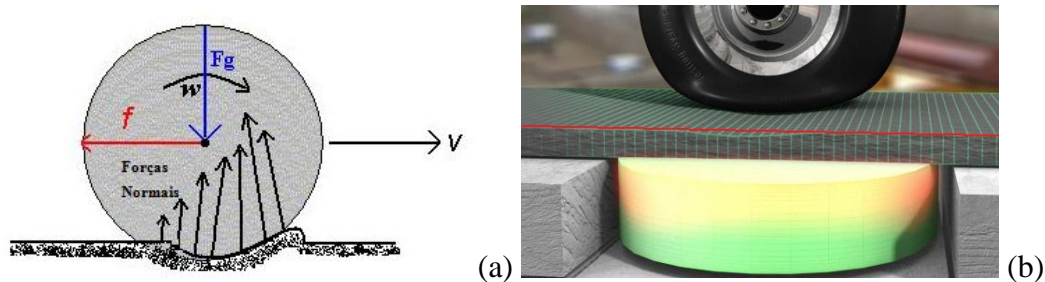


Figura 1 – (a) Forças da roda no pavimento; (b) Deformação vertical associada à passagem da roda (Adaptado de Innowattech, 2010)

Na deslocação do veículo o pneu provoca na superfície uma pressão vertical das misturas betuminosas, resultante do seu peso e velocidade. Essa pressão é transmitida a um gerador, que por sua vez produz eletricidade. Esta tecnologia permite o fornecimento de eletricidade para iluminação das estradas, bem como para diversas aplicações secundárias, tais como semáforos, painéis, câmaras de vigilância da polícia, sistemas de comunicação, sinalização rodoviária, etc. Bem como a transferência da eletricidade para a rede elétrica existente (Israel21c, 2009).

A questão primordial na construção de estradas adoptando a solução apresentada é o aproveitamento de energia, que neste momento não é utilizada, e que poderá minimizar alguns dos efeitos nefastos da crescente utilização do automóvel. Esta solução tem outras vantagens comparativamente a outros sistemas, pois é independente de factores ambientais específicos como a luz solar ou a energia eólica, e, além disso, o tempo de retorno do investimento será curto.

Para se compreender esta tecnologia é importante ter em conta que, para gerar eletricidade é aproveitada a energia mecânica dos veículos. Assim, é importante compreender que a energia mecânica resulta da soma da energia potencial e da energia cinética, como se pode verificar pela Equação 1:

$$E_{mec} = E_p + E_c \quad (1)$$

Onde, E_{mec} = Energia mecânica; E_p = Energia potencial gravitacional; E_c = Energia cinética.

A energia cinética está associada ao movimento dos corpos e quanto mais rápido o objecto se mover, maior será a sua energia cinética. Se o objecto estiver em repouso, a sua energia cinética será nula. A energia cinética (E_c) está relacionada com a massa e a velocidade do corpo, conforme Equação 2:

$$E_c = \frac{1}{2} \times m \times v^2 \quad (2)$$

Onde, E_c = Energia cinética; m = Massa do corpo; v = Velocidade do corpo.

Por outro lado, a energia potencial é aquela que se encontra armazenada num sistema e que pode ser utilizada a qualquer momento para realizar trabalho. A energia potencial gravitacional (E_p) de um corpo está relacionada com a posição que ele ocupa e pode ser expressa pela Equação 3:

$$E_p = m \times g \times h \quad (3)$$

Onde, E_p = Energia potencial gravitacional; m = Massa do corpo; g = Aceleração da gravidade ($9,8\text{m/s}^2$); h = Altura.

Se por um lado, a energia aproveitada pela tecnologia é a energia mecânica, por outro, é através do efeito piezoelétrico que essa energia é transformada em eletricidade. Importa, então, compreender o que é a piezoelectricidade. A palavra Piezoelectricidade provém do dialeto Grego e significa “eletricidade obtida pela pressão” (Piezo significa pressão em Grego). A piezoelectricidade descreve o fenómeno de gerar uma carga elétrica num material quando sujeito a uma tensão mecânica ou uma pressão dinâmica, e inversamente, uma deformação quando sujeito a um campo elétrico (Arnau e Soares, 2004).

2.2 Geradores Eletrocinéticos

A solução de geradores eletrocinéticos, que se apresenta de seguida, aproveita o conceito associado às oscilações dos veículos provocados por existem irregularidades nos pavimentos (buracos e lombas). Esta solução permite gerar energia elétrica que poderá ser utilizada para iluminação pública, de semáforos ou sinais de trânsito e pode também armazenar energia elétrica dentro de uma bateria para uso futuro (HES LTD, 2008). Este sistema tem como base a criação de lombas instaladas no pavimento, como se pode verificar pela Figura 2, que são pressionadas para baixo de cada vez que os veículos passam sobre elas.



Figura 2 – Sistema de lomba produtora de eletricidade (Weisenthal, 2006)

2.3 Geradores Hidráulicos

A solução de geradores hidráulicos também aproveita a energia transmitida por compressão do veículo sobre o pavimento. Essa energia vai provocar pressão nos

pistões hidráulicos (ver Figura 3) instalados sob o pavimento, que por sua vez, forçam um fluido hidráulico a passar através do sistema e permite produzir eletricidade (KinergyPower, 2010).

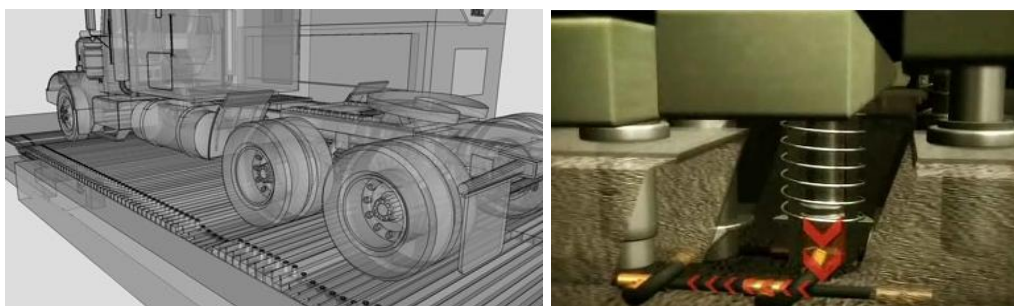


Figura 3 – Pistões Hidráulicos (KinergyPower, 2010)

Esta solução é colocada na superfície do pavimento e pode também funcionar para acalmia de tráfego. Pode ser utilizada em diversas zonas onde se pretende ter velocidades reduzidas, tais como, paragens de autocarros, zonas de escolas, estacionamentos com acesso controlado e intersecções.

2.4 Captação de Energia Eólica

Esta solução consiste na integração de micro turbinas nas barreiras entre as faixas de rodagem, como se pode ver na Figura 4, que permite aproveitar o vento gerado pelos carros que passam para criar eletricidade (Cavanaugh, 2007).

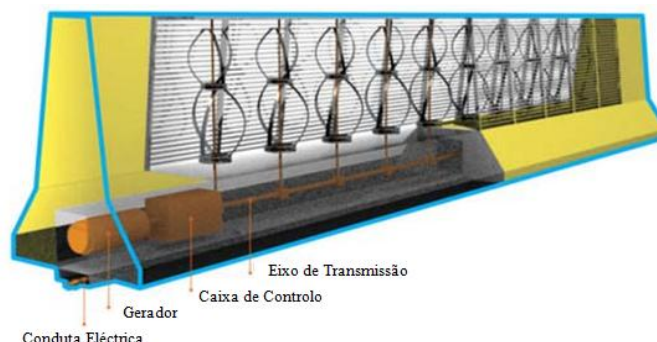


Figura 4 – Separador tipo “New Jersey” adaptado para a produção de energia (Adaptado de Cavanaugh, 2007)

2.5 Aproveitamento de Energia Solar

2.5.1 Solução de painéis solares

A solução aqui apresentada tem como base a instalação de painéis solares (ver Figura 5) que vão substituir o pavimento convencional. Segundo Oleinick *et al.* (2005), a solução possui um sistema integrado de energia solar que fornece energia a dispositivos elétricos através de uma superfície transitável formada a partir de uma pluralidade de painéis solares instalados na estrada.

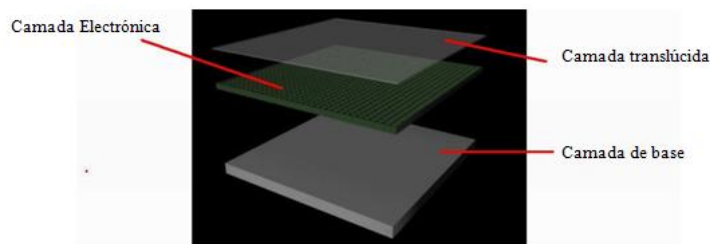


Figura 5 – Camadas que compõe os painéis solares (Adaptado de Siuru, 2009)

Embora a pavimentação com painéis solares seja um projeto demasiado ambicioso, não é muito difícil imaginar esta tecnologia a ser utilizada para carregar as baterias dos veículos eléctricos quando estes estiverem estacionados (Siuru, 2009).

2.5.2 Solução de Aquecimento e Refrigeração de Edifícios e Estradas

Tal como a solução anterior, esta também aproveita a exposição solar absorvida pelos pavimentos betuminosos, devido à sua superfície negra. Este é um método já adoptado para o aquecimento e refrigeração de edifícios bem como das estradas. Neste sistema, dois elementos são essenciais: o pavimento, que capta o calor (no verão) e o frio (no inverno); e os dois aquíferos, que servem para armazenar a água, os mesmos encontram-se a uma distância de cerca de 100 metros, evitando assim trocas de calor (RES, 2004). Nos meses de verão, o frio armazenado é utilizado para arrefecer as estradas e os edifícios, por sua vez, no inverno, o calor armazenado pode ser utilizado para aquecimento da mistura betuminosa e dos edifícios.

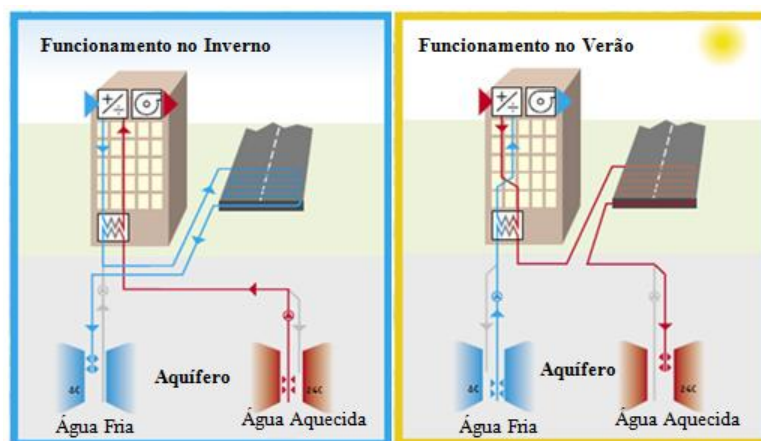


Figura 6 – Funcionamento do Sistema no Inverno e no Verão (Adaptado de RES, 2004)

Outro sistema que permite o aquecimento das estradas é apresentado de seguida. Este sistema utiliza tubagens colocadas inferiormente à estrada, para aquecer as superfícies das pontes, impedindo assim a formação de gelo nas mesmas. Quando a neve cai sobre o pavimento, a temperatura desce, o sistema utiliza o sol para aquecer um líquido de glicose e através de uma bomba o líquido é forçado a passar através de tubos encaixados sob a estrada, depois de o sistema estar a funcionar o gelo da estrada é derretido, este processo está esquematizado na Figura 7 (Fischer, 2010).

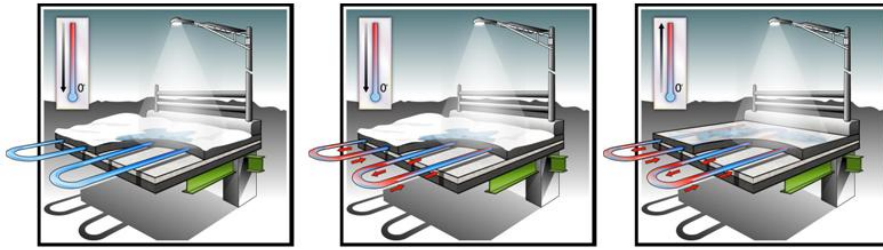


Figura 7 – Funcionamento do Sistema Pave Guard Solution (PGT, Inc, 2010)

3 EXEMPLOS DE APLICAÇÕES PRÁTICAS

O objetivo desta secção é apresentar exemplos de aplicações reais das tecnologias apresentadas na secção anterior, bem como alguns dos resultados conseguidos com a sua aplicação.

Tendo em conta o que anteriormente foi referido, e de acordo com a informação atrás exposta, pode-se dizer que a tecnologia dos geradores piezoelétricos e a tecnologia para aquecimento e refrigeração de edifícios e estradas são aquelas que oferecem mais garantias de sucesso, uma vez que já se encontram implementadas.

3.1 Geradores Piezoelétricos

A solução desenvolvida pela empresa *Innowattech* em parceria com o IIT (*Israel Institute of Technology*) já se encontra em fase avançada de desenvolvimento uma vez que existe um projeto-piloto que teve como objectivo demonstrar que é possível transformar a energia mecânica da passagem dos veículos em eletricidade. O projeto foi realizado num trecho de 10 metros de comprimento, de uma estrada em Haifa, Norte de Israel. No projeto, os geradores piezoelétricos possuem 5,5 cm de espessura e foram colocados na camada compacta do asfalto, a 6 cm do nível superior da estrada. O projeto era composto por duas linhas paralelas de geradores colocados ao longo de 10m da estrada (ver Figura 8).



Figura 8 – Valas paralelas para colocação de geradores piezoelétricos (Innowattech, 2010)

Uma vez colocados os geradores, foi colocada uma camada de asfalto compactado por cima dos mesmos (ver Figura 9), o que permitiu que a estrada voltasse ao seu nível original (Innowattech, 2010).



Figura 9 – Colocação do asfalto compactado sobre os geradores piezoelétricos (Innowattech, 2010)

Deste projeto-piloto, segundo a Innowattech (2010), resultou a produção de 1KWh, produzido pelo conjunto das duas colunas (ver Figura 10) de 10m de geradores instalados. Para se determinar a quantidade de energia produzida tiveram-se em consideração a frequência e a velocidade do camião (1000 camiões por hora com velocidade média de 72 km/hora) e as condições físicas da estrada.



Figura 10 – Passagem do Camião sobre o Trecho Experimental (Innowattech, 2010)

3.2 Solução de Aquecimento e Refrigeração de Edifícios e Estradas

A solução de aquecimento e refrigeração de edifícios que de seguida se apresenta é denominada de *Asphalt Solar Collector System* e foi desenvolvida por um consórcio de empresas (Ooms Nederland Holding, WTH vloerverwarming e TipSpit). Para garantir um projeto confiável, foi realizado um conjunto de testes *in-situ* em Hoorn, na Holanda, entre 1998 e 2001. Esses testes consistiram em medir a temperatura e os fluxos em cerca de 150 locais ao longo de diferentes secções em diferentes tipos de pavimentos (Bondt e Jansen, 2006).

A energia que pode ser produzida por este sistema (calor e frio) depende em grande parte dos seguintes parâmetros: temperatura de entrada do líquido que é utilizado como meio de transporte da energia térmica, fluxo, profundidade das tubagens dentro da estrutura do pavimento, propriedades térmicas dos materiais da estrutura do pavimento etc. (Loomans *et al.*, 2003). Durante várias etapas de desenvolvimento do sistema foram patenteados vários protótipos. O sistema que se apresenta na Figura 11 foi considerado o ideal pela empresa que produziu o sistema.

Para este sistema ser comercializado, alguns aspectos são necessários ter em conta. Em primeiro lugar este sistema vai implicar a colocação de tubagens no pavimento, sendo o pavimento uma estrutura flexível, a tubagem poderá fissurar ou quebrar. Assim sendo,

foi necessário pensar um sistema tridimensional que servisse de “esqueleto” às tubagens.



Figura 11 – Visão geral do *Asphalt Solar Collector System* (Bondt e Jansen, 2006)

Desde que este sistema foi desenvolvido (Figura 12), foi aplicado em diversos projetos na Holanda, e em outros países. Alguns exemplos são: (i) uma ponte em Roterdão com 1.000 m²; (ii) uma rua, adjacente a uma zona com cerca de 70 casas, em Goorn, ao longo de 850 m²; (iii) um parque de estacionamento para escritórios em Ullapool na Escócia.



Figura 12 – Exemplos de Aplicação da solução *Asphalt Solar Collector System* (Bondt e Jansen, 2006; Sullivan *et al.*, 2007)

4 DISCUSSÃO

As diferentes tecnologias abordadas têm grande potencial de desenvolvimento e vão permitir construir estradas de uma forma ambientalmente mais sustentável. Se por um lado algumas delas ainda se encontram em fase de desenvolvimento, outras já estão aplicadas na prática.

A escassez de informação mais detalhada referente a algumas tecnologias condiciona neste momento uma discussão ou análise profunda de algumas das tecnologias. Por outro lado, sobre as tecnologias mais desenvolvidas, deve salientar-se o facto de que a informação existente é fornecida na maioria das vezes pelas entidades responsáveis pelo desenvolvimento das mesmas e como tal, a veracidade das mesmas está condicionada a questões de *marketing* que muitas vezes as empresas utilizam para vender o seu produto.

Segundo a Innowattech para a solução dos geradores piezoelétricos são identificadas várias vantagens na sua utilização:

- Produção de eletricidade para as imediações da estrada a partir da energia transmitida pelos veículos ao pavimento, evitando desta forma desperdícios de energia durante o seu percurso pela rede elétrica convencional;
- Não requer a utilização de espaço público, uma vez que a solução está integrada na estrada;
- O sistema de armazenamento elétrico não requer nenhuma manutenção adicional após a sua implementação;
- A solução é à prova de roubos e danos, visto que está integrada no pavimento;
- O sistema é capaz de produzir grandes quantidades de eletricidade e tem vantagens económicas sobre outras fontes de energia alternativas;
- Os custos de construção e o tempo de retorno esperado do investimento são muito menores do que os da energia solar;
- A tecnologia é aplicável a qualquer local onde existam grandes fluxos de movimento de veículos pesados, não se limitando apenas a áreas geográficas específicas, como acontece com a energia solar e eólica.

Quanto à solução dos geradores eletrocinéticos, tal como a solução anterior, funciona bem quando existem elevados volumes de tráfego pesado, uma vez que produz eletricidade a partir da força de compressão exercida pelos veículos sobre o pavimento. Esta solução, por se encontrar à superfície do pavimento, pode também funcionar como medida de acalmia de tráfego, por exemplo em descidas, em zonas de aproximação de semáforos ou rotundas. Segundo os fabricantes desta solução, a mesma é silenciosa, confortável e segura para os veículos. Ainda segundo HES LTD (2008), esta solução requer o mínimo de manutenção e pode armazenar energia elétrica dentro de uma bateria para utilização futura.

A tecnologia que utiliza Geradores Hidráulicos para produção de eletricidade, pode também ser aplicada em zonas de velocidades reduzidas contudo, o sistema produzirá maiores quantidades de eletricidade quanto maior e mais consistente for o volume de tráfego na estrada, nomeadamente tráfego pesado (KinergyPower, 2010). Acerca do sistema de captação de energia eólica não existem muitos pormenores nem muitos dados. No entanto, podem tirar-se algumas conclusões acerca desta tecnologia, por comparação com as turbinas eólicas convencionais que existem em todo o mundo. A energia eólica é obtida pelo movimento do vento, neste caso concreto do movimento do ar provocado pela passagem dos veículos, sendo portanto uma fonte renovável, disponível desde que existam grandes quantidades de tráfego, particularmente tráfego pesado, pois, quanto maior o veículo, maior quantidade de massa de ar vai ser deslocada.

Por analogia às turbinas convencionais pode-se pôr em questão se esta tecnologia vai produzir ruído, quanto à ocupação de espaço não será problema, uma vez que a tecnologia é aplicada nas barreiras convencionais que actualmente já são um elemento das estradas. Mark Oberholzer, criador da tecnologia, defende que a mesma pode gerar, não só eletricidade para as luzes da estrada, mas também energia suficiente para abastecer, por exemplo uma linha de metro ligeiro.

À semelhança do que já acontece na construção de edifícios, em que os painéis fotovoltaicos aproveitam o sol para produzir energia elétrica, também, a construção de estradas está em vias de aplicar este conceito para produzir eletricidade. No entanto, como referem Oleinick *et al.* (2005), desta tecnologia salienta-se o facto de que a sua

aplicação não será tão simples como nas habitações, uma vez que os painéis são muito delicados e terão de suportar as cargas exercidas pelos veículos. Este é o principal factor pelo qual o projeto não foi ainda aplicado na prática. Esta tecnologia trará por outro lado grandes vantagens, uma vez que se reduz a distância a percorrer pela energia ao longo da rede, e por outro, também é reduzida a tensão de carga elétrica na rede, sendo esta a principal causa dos apagões.

Quanto à solução de aquecimento e refrigeração de edifícios e estradas, uma vez que já se encontra devidamente implementada é mais fácil perceber quais são efectivamente os seus resultados, visto que estes resultam de aplicações práticas e não de teorias empíricas. Com esta tecnologia além de se verificar uma poupança na energia gasta para aquecimento e refrigeração dos edifícios por vias convencionais, também se verificam vantagens significativas ao nível da segurança rodoviária, visto que no Inverno a temperatura das camadas betuminosas pode ser mantida acima de zero, impedindo assim a formação de gelo na estrada, bem como a minimização do efeito gelo-degelo (Bondt, e Jansen, 2006).

5 CONCLUSÕES

No trabalho apresentado foram abordadas tecnologias para a produção de eletricidade a partir das estradas, duas das quais já implementadas. Das restantes salienta-se o facto de ainda se encontrarem em desenvolvimento. Relativamente às tecnologias, também foi possível verificar que apesar das suas potencialidades ainda existem problemas a resolver, para que estas se tornem viáveis de forma a poderem ser implementadas. Na actual conjuntura, o preço das tecnologias será um dos condicionantes principais para a sua implementação, uma vez que o investimento inicial associado às mesmas poderá ser elevado.

Por outro lado, esse factor pode ser compensado com a redução de consumo de combustíveis fósseis que se conseguirá, numa altura em que cada vez mais se fala em desenvolvimento sustentável e procura da preservação das fontes de energia não renováveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arnau, A., Soares, D. (2004) **Piezoeléctric Transducers and Applications**, Springer, 2004, 1-5.

Bondt, A., Jansen, R. (2009) **Generation and Saving of Energy via Asphalt Pavement Surfaces. Ooms Nederland Holding**, Netherlands. Disponível em <<http://www.roadenergysystems.nl/>>. (Acedido em 22/12/2009).

C. Sullivan, C., Bondt, A., Jansen, R., Verweijmeren, H. (2007) Innovation In The Production and Commercial Use of Energy Extracted From Asphalt Pavements. **Proceedings 6th Annual International Conference on Sustainable Aggregates, Asphalt Technology and Pavement Engineering**. Liverpool John Moores University, United Kingdom. 2007.

Cavanaugh, R. (2007) **The New Jersey Barrier. Metropolis Magazine**, New York. Disponível em: <<http://www.metropolismag.com/story/20070110/the-new-i-jersey-barrier>> (Acedido em 03/02/2010).

Fischer, A. (2010) **Solar-heated bridges, roads.** Disponível em: <<http://www.photonics.com/Article.aspx?AID=41261>>(Acedido em 04/03/2010).

HES LTD (2008) **The Electro-Kinetic Road Ramp.** Highway Energy Systems <<http://www.hughesresearch.co.uk>> (Acedido em 26/01/2010).

Innowattech (2010) **The Innowattech Green Energy Solution.** <<http://www.innowattech.co.il/technology.aspx>> (Acedido em 10/01/2010).

Israel21c (2010) **Innowattech of Israel generates electricity from road traffic.** Disponível em: <<http://www.israel21c.org/briefs/innowattech-of-israel-generates-electricity-from-road-traffic>> (Acedido em 05/01/2010).

Katz, A. (2009) Technion prototype road harvests clean electricity. **Technion Focus Magazine,** Israel. Disponível em: <<http://www.focus.technion.ac.il/Mar09/researchStory4.htm>> (Acedido em 04/01/2010)

KinergyPower (2010) **KinergyPower's Technology.** <<http://www.kinergypower.com/>> (Acedido em 22/01/2010).

Livro Verde dos Transportes (2007) **Por uma nova cultura de mobilidade urbana.** Comissão das Comunidades Europeias. Bruxelas, 25.9.2007.

Loomans, M.; Oversloot, H.; de Bondt, A.H.; Jansen, R. and van Rij, H. (2003) Design Tool for the Thermal Energy Potential of Asphalt Pavements. **Proceedings 8th International IBPSA Conference,** Eindhoven.

Mendes, J. F. G. (2011) **O Futuro das Cidades.** MinervaCoimbra. Coimbra – Portugal.

Oleinick, J., Wilhelm, E., inventors (2005) Sep. 15. Photovoltaic-Embedded Surface. **United States Patent US 2005/0199282 A1.**

Proefrock, P. (2007) **Electricity Generating Jersey Barriers.** Disponível em: <<http://www.ecogeek.org/wind-power/524>> (Acedido em 03/02/2010).

PGT, Inc (2010) **Pave Guard: Getting rid of snow and ice forever...using the power of the sun.** Disponível em: <<http://www.paveguardtech.com/>> (Acedido em 04/03/2010).

RES (2004) Energy from asphalt. For heating and cooling buildings and roads. **Road Energy System Brochure.** Disponível em <<http://www.roadenergysystems.nl/>>. (Acedido em 22/12/2009).

Siuru, B. (2009) **High-Tech Solar Roads Could Power Electric Vehicles.** Disponível em: <<http://www.greencar.com/articles/high-tech-solar-roads-could-power-electric-vehicles.php>> (Acedido em 29/01/2010).

Weisenthal, J. (2006) **An Energy Toll Road.** Disponível em: <http://www.thestalwart.com/the_stalwart/2005/12/an_energy_toll_.html> (Acedido em 06/02/2010).