

# AVALIAÇÃO DE DIFERENTES FORMAS DE CAPTAÇÃO DE ENERGIA PARA PAVIMENTOS DO ESTADO DO CEARÁ

**Alessandra Honório Oliveira**

**Jorge Barbosa Soares**

Universidade Federal do Ceará

## RESUMO

Para o crescimento econômico de uma região, a política energética deve dar prioridade ao desenvolvimento de tecnologias que garantam o abastecimento e o acesso à energia, de preferência, por meio de matrizes sustentáveis. Além das fontes de energia já conhecidas como a hídrica, a eólica, a solar, a térmica e a energia dos oceanos, atualmente, algumas pesquisas vem utilizando o pavimento rodoviário como uma fonte geradora de energia. A energia solar, por exemplo, pode ser captada pelo pavimento, onde é possível converter diretamente a radiação solar em eletricidade – através de células fotovoltaicas. Já a energia mecânica pode ser captada através de sensores piezoelétricos instalados na camada de revestimento que detectam a passagem dos veículos. A presente tese fará uma avaliação da viabilidade técnica e econômica, da implantação das duas tecnologias de captação de energia através do pavimento. Será baseada em revisão bibliográfica, ensaios mecânicos dos materiais utilizados, tanto em laboratório, como por meio de um trecho experimental. Ao final, será realizado um comparativo entre materiais, métodos construtivos e desempenhos dos pavimentos e técnicas de captação de energia, além de uma avaliação dos custos da energia produzida.

## ABSTRACT

For the economic growth of a region, energy policies must prioritize the development of technologies that guarantee the supply and access to energy, preferably through sustainable matrices. In addition to conventional sources of energy such as hydro, wind, solar, thermal and energy of the oceans, research has been using road pavement as an energy source. Solar energy can be captured by the pavement, where it is possible to directly convert solar radiation into electricity - through photovoltaic cells. Mechanical energy can be captured through piezoelectric sensors, installed in the surface course. The present thesis will make an assessment of the technical and economic viability of the implementation of the two technologies of energy harvesting through the pavement. It will be based on literature review, mechanical tests of the materials both in the laboratory and though an experimental section with the harvesting systems analyzed. At the end of this work, a comparison will be made between materials, construction methods and pavement performance and energy harvesting techniques, as well as an evaluation of the energy costs of pavements analyzed.

## 1. PROPOSTA DE PESQUISA

O Brasil apresenta poucas pesquisas científicas na área da *Energy Harvesting* (em português, Captação de Energia), mesmo apresentando uma ótima localização para fins energéticos. *Energy Harvesting* é uma área da engenharia que aborda a captação, a conversão e o armazenamento de energias renováveis. Além das fontes de energia já conhecidas (hídrica, eólica, solar, térmica, energia dos oceanos), recentemente, algumas pesquisas vêm utilizando o pavimento rodoviário como uma fonte geradora de energia. Existem duas principais formas de energia renovável, obtidas através dos pavimentos: a solar, causada pela exposição dos pavimentos ao sol e a mecânica, causada pelo tráfego de veículos. Se captadas, estas energias podem ser convertidas em energia elétrica (ANDRIOPOULOU, 2012).

Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (2015), o Ceará é o terceiro maior gerador de energia eólica do Brasil e apresenta uma usina solar, recém-inaugurada. Apesar de existirem esses tipos de tecnologias de captação de energia no Estado, o domínio das técnicas existentes ainda pertence às grandes empresas privadas, com as universidades participando de forma incipiente neste momento. Diante da necessidade de aprofundar os conhecimentos na captação de energias renováveis no âmbito da infraestrutura de transportes, considera-se importante o desenvolvimento de pesquisas relacionadas ao aproveitamento destas energias por meio de estruturas viárias.

Diante da necessidade de aprofundar os conhecimentos na captação de energias renováveis, bem como possibilitar que os mesmos produzam desenvolvimento e inovação, pretende-se avaliar diferentes possibilidades de captação de energia a partir do pavimento: (i) a tecnologia que utiliza a radiação solar e (ii) a que utiliza as cargas dos veículos (piezoeletricidade), levando em consideração a pertinência de cada técnica à realidade do Estado do Ceará.

## **2. GERAÇÃO DE ENERGIAS EM INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES**

### **2.1. Energia fotovoltaica**

Quanto ao potencial brasileiro para o desenvolvimento da geração fotovoltaica tem-se que, devido à sua localização geográfica, o país possui uma extensa área promissora para exploração da irradiação solar com condições favoráveis durante praticamente o ano inteiro, com valores médios anuais de irradiação entre 1200 e 2400 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Esses valores são superiores à maioria dos países europeus, como Alemanha (1250 kWh/m<sup>2</sup>/ano), França (entre 900 e 1650 kWh/m<sup>2</sup>/ano) e Espanha (entre 1200 e 1850 kWh/m<sup>2</sup>/ano), os quais já têm consolidado seus parques de geração fotovoltaicos (EPE, 2012).

A geração de energia solar conta com diversas vantagens frente a outras fontes, porém como uma das desvantagens aparece a problemática da necessidade de ocupação de grandes áreas, que poderiam ser produtivas com potencial agrícola, por exemplo. Diante disso, a instalação de painéis solares em áreas já desapropriadas pelo poder público e de uso comum, como rodovias, taludes, barragens, ferrovias e canais, é de grande vantagem para os estudos em energia solar.

Materiais fotovoltaicos são dispositivos capazes de converter a luz, proveniente da radiação solar, em energia elétrica, sem a necessidade de conversão de calor ou vibração. Um único dispositivo fotovoltaico é conhecido como célula, que pode ser conectada em cadeias, aumentando o potencial de geração de energia. São os chamados painéis solares. Atualmente, existem diferentes tipos de materiais utilizados na fabricação de células solares, entre eles o silício cristalino, o filme fino, a filme orgânico e a concentração fotovoltaica (ENERGY.GOV, 2017). Karthik (2015) afirma que a seleção das células fotovoltaicas é a etapa mais importante no projeto do sistema elétrico. E, de acordo com Duarte e Ferreira (2016), as células solares de filme fino existentes no mercado apresentam condições insatisfatórias para o uso em estradas, pois não suportam os vastos ciclos de cargas mecânicas que atuam sob a superfície. Além da vulnerabilidade a corrosão e/ou desgaste prematuro, devido às condições do ambiente que o material ficará exposto. Por esta razão, pesquisadores de diversos países estão desenvolvendo novas células solares de filme fino, de forma que possam ser utilizadas em pavimentos rodoviários.

A instalação de uma estrada solar custa, aproximadamente, três vezes mais em comparação a uma estrada de revestimento asfáltico convencional. Porém, essas estradas tecnológicas, apresentam algumas vantagens, como por exemplo, um potencial de geração de energia, uma maior durabilidade, além de substituir o uso de combustíveis fósseis na produção de energia, produzindo uma energia renovável e limpa (PRAKASH, 2016). De acordo com o site EcoWatch (2017) foi construída em Jinan, na China, uma estrada composta por painéis solares (fotovoltaicos), distribuídos em uma área de 5.875 m<sup>2</sup>. Estima-se que a produção energética desse sistema seja de até 1 milhão de kWh por ano, segundo a empresa responsável pela construção da rodovia a *Qilu Transportation Development Group*. O custo da estrada chinesa foi de aproximadamente US\$ 458,00/m<sup>2</sup>.

## 2.2. Energia mecânica (piezoelectricidade)

A auto sustentabilidade das rodovias na geração de energia elétrica a partir da piezoelectricidade parte do princípio de que os veículos irão induzir uma deformação no pavimento que, por sua vez, irá sensibilizar as placas de pressão dispostas sob a camada dessa estrutura, captando a energia mecânica e a transformando em energia elétrica. A energia produzida por essa tecnologia pode ser utilizada de diversas formas como o monitoramento estrutural da via, monitoramento do tráfego, sistema de iluminação, pedágios, distribuição para localidades as margens das rodovias ou até mesmo venda do consumo excedente para as concessionárias locais de energia elétrica (KIM *et al.*, 2015).

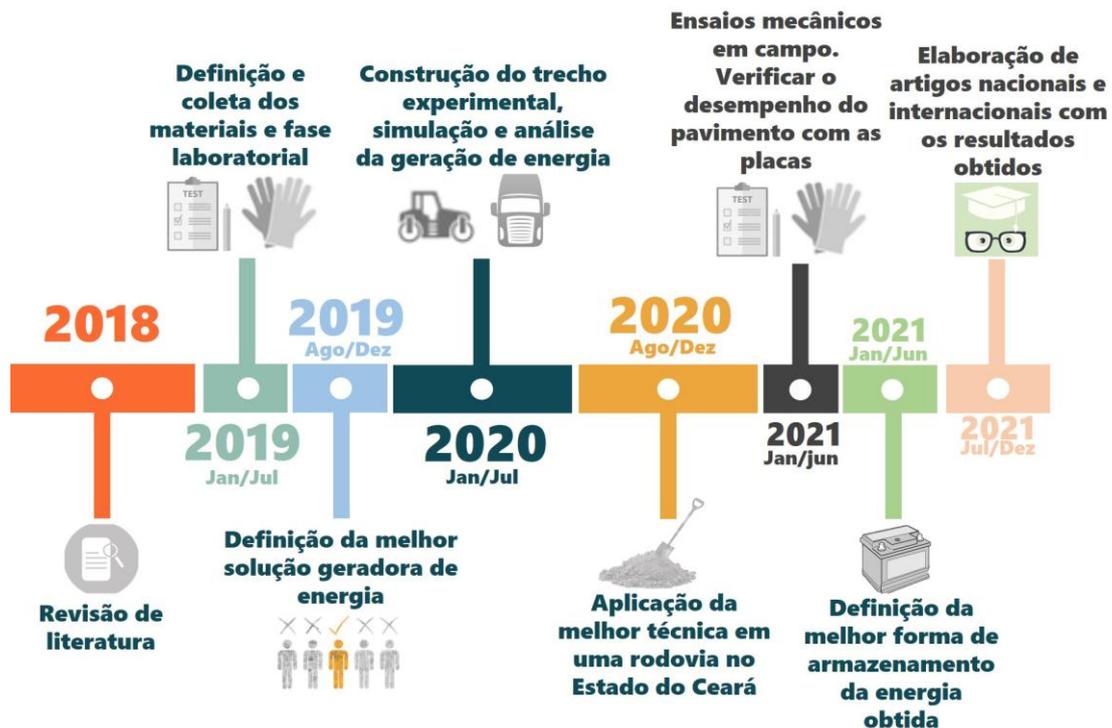
Kim *et al.* (2015), com o objetivo de investigar a geração de energia elétrica utilizando o sistema piezoelétrico através de sensores de pressão, testaram em laboratório diversos fabricantes de placas piezoelétricas com o Loaded Wheel Test (LWT), submetendo três diferentes tipos de revestimentos (asfalto, concreto típico e um concreto especial chamado de Engineering Cementitious Concrete – ECC) ao peso de 50, 100 e 150 lbs na frequência de 1, 10, 30 e 60 Hz. Foi observado que com o aumento da frequência a voltagem produzida também aumentava, de tal forma que a produção em uma frequência de 60 Hz chegou a 116,58 mV (a frequência de 60 Hz é equivalente ao tráfego de 600 veículos por hora a 72,5 km/h). Foi constatado também que os sensores de pressão piezoelétricos geraram mais tensão elétrica quando colocados em corpos de prova de concreto, se comparados aos de asfalto. O ECC gerou mais tensão quando comparado ao concreto típico e ao asfalto, respectivamente.

Uma análise do efeito piezoelétrico em campo foi realizada por Kokkinopoulos *et al.* (2014). Esses autores escolheram quatro locais de pedágio com grande fluxo de veículos para estimar a produção de kWh. Nesse experimento as placas foram instaladas sob as faixas de rodagem, uma vez que as faixas de pedágio já estavam projetadas para receber veículos com um determinado tamanho de eixo entre rodas. Isso permitiu uma redução dos custos de instalação do projeto. Durante um ano, foi medido, através de uma calculadora de energia veicular, a produção de 25.505.670,18 kWh considerando a soma de três, dos quatro cenários analisados. O consumo mensal de uma residência comum é de, aproximadamente, 400kWh ao mês, isso é, o consumo anual médio de 4.800kWh. Dessa forma, conclui-se que esse sistema produziu energia suficiente para atender a, aproximadamente, 5.000 casas.

No Brasil, um dos maiores projetos que envolveram a piezoelectricidade foi desenvolvido na Universidade Estadual Paulista (UNESP). O objetivo foi a criação de um material mais flexível e barato, capaz de aproveitar a força mecânica gerada pelo tráfego de veículos em uma rua para obter eletricidade. O compósito polímero-cerâmica desenvolvido é um material composto de polímeros e PZT, produzido em placas de 2 por 1 cm. Sua matriz polimérica misturada à cerâmica ganhou em resistência ao choque mecânico, em flexibilidade e em formabilidade (dar a forma que quiser ao compósito). A capacidade de gerar energia deste compósito foi comprovada em laboratório (MALMONGE *et al.*, 2008).

## 3. METODOLOGIA

A presente pesquisa de doutorado irá tratar de duas técnicas de geração de energia: a captação de energia solar e a captação de energia mecânica (piezoelectricidade), aplicando-as em diferentes tipos de pavimentos, inclusive o reciclado, que utiliza fresado em seu revestimento. Para a realização do presente trabalho pretende-se desenvolver a metodologia delineada na Figura 1.



**Figura 1:** Atividades desenvolvidas para a conclusão da tese.

Pretende-se avaliar diferentes possibilidades de captação de energia a partir do pavimento, utilizando o simulador de tráfego de grande porte da Universidade Federal do Ceará (UFC), levando em consideração a pertinência de cada técnica à realidade do Estado do Ceará. Para este fim, será importante a cooperação com os pesquisadores portugueses da Universidade do Minho que já analisaram, em laboratório e em campo, o desempenho de materiais piezoelétricos aplicados em rodovias. A pesquisa conta ainda com apoio da Petrobras, através da Rede Temática de Asfaltos. Como resultado, espera-se a concepção de um trecho de pavimento gerador de energia elétrica dentro da cidade de Fortaleza.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIOPOULOU, S. A. (2012). *Review on energy harvesting from roads. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Infraestrutura Sustentável)*. Faculdade de Arquitetura, Ciência do Transporte, Estradas e Engenharia Ferroviária, KTH Royal Institute of Technology, Suécia.
- DUARTE, F.; FERREIRA, A. (2016) *Energy harvesting on road pavements: state of the art*. Institution of Civil Engineers, v. 169, n. 2, p. 79-90.
- ECOWATCH. (2017). *'World's First Solar Highway' Opens in China for Testing*. Publicado em dezembro de 2017. Disponível em: <<https://www.ecowatch.com/>>. Acesso em: 29 jan. 2018.
- ENERGY.GOV. (2017) *Solar photovoltaic technology basics*. Disponível em: <<https://energy.gov/>>. Acesso em: 20 set. 2017.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, EPE. (2015). *Anuário Estatístico de Energia Elétrica*. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica.pdf>> Acesso em novembro de 2015.
- KARTHIK, S. (2015) *Feasible design for solar highway roads*. International Journal of Advances in Marine Engineering and Renewables, India, v. 1, n. 2, p. 79-84.
- KIM, S.; SHEN, J.; AHAD, M. (2015) *Piezoelectric-Based Energy Harvesting Technology for Roadway Sustainability*. International Journal of Applied Science and Technology. EUA, v. 5, p. 20-25.
- KOKKINOPOULOS, A.; VOKAS, G.; PAPAGEORGAS, P. (2014) *Energy harvesting implementing embedded piezoelectric generators - The potential for the AttikiOdos traffic grid*. Energy Procedia. Suécia, v.50, p. 1070-1085.
- MALMONGE, J. A.; MALMONGE, L. F.; FUZARI, G. C.; MALMONGE, S. M.; SAKAMOTO, W. K. (2008) *Piezo and dielectric properties of PHB-PZT composite*. PolymerComposites. v. 30, p. 1.333-37.