

ESTUDO SOBRE O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA SEMÁFOROS A PARTIR DE PLACAS PIEZOELÉTRICAS NA MA 006

STUDY ON THE ELECTRIC POWER GENERATION POTENTIAL FOR TRAFFIC LIGHTS FROM PIEZOELECTRIC PLATES IN MA 006

Laylson Carneiro de Sousa, layson.c.s@hotmail.com

Mariele Ferreira Costa

Orientador: Prof. MSc. Gustavo Araújo de Andrade

Coorientador: Prof. Dr. Edson Nunes Costa Paura

Universidade Federal do Maranhão, Balsas, Maranhão

Submetido em 31/07/2015

Revisado em 04/09/2015

Aprovado em 23/11/2015

Resumo: Os impactos ambientais associados a matriz energética brasileira exigem que novas alternativas para geração de energia sejam avaliadas. Deste modo, o presente trabalho tem como objetivo realizar um estudo sobre a utilização de elementos piezoelétricos para geração de energia elétrica na cidade de Balsas-MA e sugerir um modelo autônomo de semáforos abastecidos por essa energia, tendo como vantagens, baixo impacto ambiental e bom custo-benefício a longo prazo.

Palavras chave: Piezoeletricidade, Energia Elétrica, Rodovia, Energia Limpa.

Abstract: The environmental impacts associated with the Brazilian energy matrix requires new alternatives for power generation are evaluated. Thus, this study aims a study on the use of piezoelectric elements to generate electricity in the city of Balsas-MA and suggest a standalone model traffic lights served by this energy, with the advantages, low environmental impact and good long-term cost-effective.

Keywords: Piezoelectricity, Electric Power, Traffic Light, Clean energy.

1 INTRODUÇÃO

A descoberta da eletricidade possibilitou manter, prolongar e tornar mais confortável a existência humana sendo sua importância indiscutível para civilização atual. Ao longo dos anos a enorme e crescente demanda de eletricidade defrontou-se com a possibilidade de esgotamento das principais fontes de energia, e com isso, houve a necessidade de buscar fontes alternativas de suprimento energético como a energia eólica, solar e hidráulica. Dentre essas fontes pode-se citar a piezoeletricidade, propriedade que alguns materiais minerais têm de gerar corrente elétrica quando deformados por uma pressão mecânica [3]. A piezoeletricidade foi descoberta em 1880 pelos irmãos, físicos franceses, Jacques e Pierre Curie em cristais de quartzo e seu efeito inverso foi descoberto em 1881 por Gabriel Lippmann que deduziu matematicamente, através dos princípios fundamentais da termodinâmica, que certos materiais apresentam deformação mecânica ao serem eletricamente polarizados, o que mais tarde permitiu o emprego deles em microfones e toca-discos. A primeira aplicação prática da piezoeletricidade foi durante a Primeira Guerra Mundial na França, em 1917, quando *Paul Langevin* desenvolveu um detector de submarinos [4].

A piezoeletricidade é encontrada em aplicações tecnológicas tais como elementos sensores e/ou atuadores desde baixas até altas frequências. Nas baixas frequências são utilizados materiais policristalinos que incluem cerâmicas, polímeros e compósitos, enquanto que nas aplicações de altas frequências são mais utilizados cristais e filmes finos [5]. Em 2008, a aplicação da tecnologia piezoelétrica em pisos tornou-se mais conhecida quando a empresa *Sustainable Dance Club* (SDC) abriu a primeira boate sustentável do mundo, destacando-se o piso que transforma a pressão sobre a pista de dança em eletricidade e acende as luzes do próprio ambiente, na cidade de Roterdã, Holanda. Outros locais tiveram tal tecnologia implantada como estações de metrô, calçadas, estacionamentos de supermercados e rodovias. A empresa de tecnologia israelense, *Innowattech*, instalou em uma estrada na cidade de Haifa, norte de Israel, geradores que convertem a pressão exercida pelos pneus dos veículos em energia elétrica. De acordo com a empresa, uma faixa dupla de um quilômetro de extensão equipada com os geradores já está fornecendo aos

israelenses 0,5 megawatts por hora, o suficiente para iluminar 600 casas durante um mês, com um custo de implantação de US\$ 650 mil por quilômetro, o que equivale a US\$ 6,5 mil por quilowatt [6].

No Brasil, o físico Walter Katsumi Sakamoto, do Departamento de Física e Química da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS), e a química Maria Aparecida Zaghet Bertochi, do Departamento de Bioquímica e Tecnologia Química, do Instituto de Química (IQ) do campus de Araraquara, ambos professores da Universidade Estadual Paulista (Unesp), trabalham na concepção de um filme compósito constituído de polímeros e partículas nanométricas de cerâmica capaz de aproveitar a força mecânica gerada pelo tráfego de veículos em uma rua para obter eletricidade [3]. A empresa *Shell* em parceria com a *Pavegen* reformou um campo de futebol no Morro da Mineira, Rio de Janeiro, e instalou 200 placas subterrâneas que convertem a energia cinética das pessoas jogando futebol sobre elas em eletricidade e juntamente com painéis solares mantêm os refletores do campo acesos à noite [7].

Em virtude do sucesso do funcionamento dos dispositivos piezoelétricos aproveitando a pressão exercida por pedestres e veículos em calçadas e rodovias, pensou-se na possibilidade da implantação desses conversores de energia no município de Balsas, Maranhão. Localizada no Sul do estado, Balsas é caracterizada por ser uma das principais cidades do agronegócio da região do Matopiba – Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, e tem como principal cultura de plantação a soja, seguida das lavouras de milho e algodão [8]. A cidade é cortada por duas rodovias estaduais importantes: a MA 006 e a MA 140, que dentro da cidade se cruzam e recebem o nome de Avenida Contorno e Rua Luís Gomes, respectivamente. Ambas as rodovias fazem parte do chamado Anel da Soja, um conjunto de quatro rodovias que serão interligadas para a facilitação do escoamento da produção de grãos na região [9], e foram escolhidas para o estudo por apresentarem fluxo intenso de veículos pesados pelo fato de serem transportados através das mesmas todos os grãos produzidos pelos municípios de Tasso Fragoso, Alto Parnaíba e da região conhecida como Gerais de Balsas [10]. Consequentemente, tais rodovias apresentam forte potencial para implantação de dispositivos piezoelétricos e a energia gerada pode ser aproveitada para o abastecimento dos semáforos no cruzamento das rodovias,

garantindo assim a autonomia energética dos mesmos e colaborando para a redução do consumo energético do município.

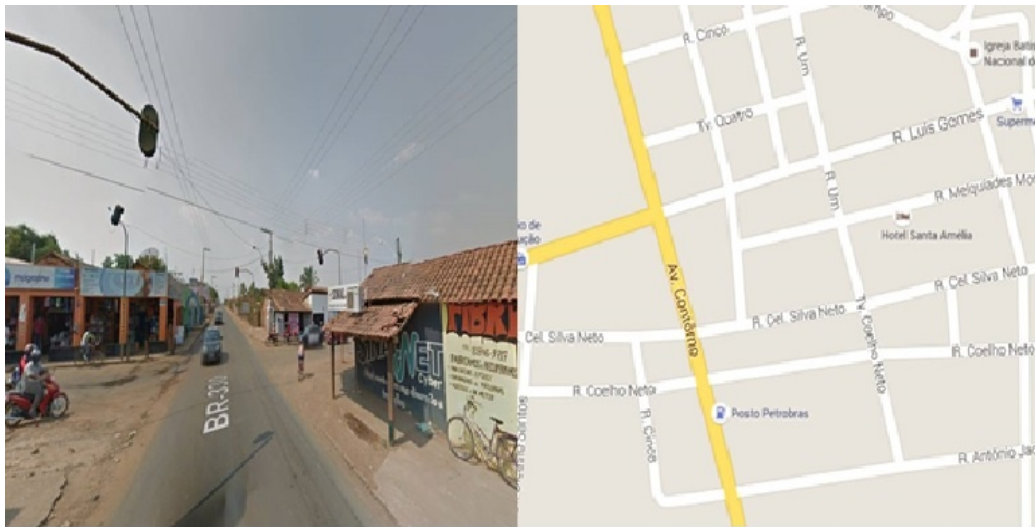
2 METODOLOGIA

Os métodos para a concepção do trabalho tiveram início com estudos bibliográficos a cerca do tema, da aplicação de geradores piezoelétricos em rodovias, estudos estruturais para a implantação do sistema na cidade de Balsas – MA, das características do conjunto semafórico da Av. Contorno no cruzamento com a Rua Luís Gomes, mostrado na Figura 1, junto ao Departamento Municipal de Trânsito (DMT) da cidade e da área proposta para instalação do sistema.

Após os estudos bibliográficos, foram realizadas medições do fluxo de veículos que passam em uma das quatro vias que formam o cruzamento estudado durante 5 dias nos horários das 17h às 18h, obtendo a média da quantidade de motocicletas, carros e veículos pesados. Posteriormente, observado o fluxo de veículos em uma das vias, foi realizado um levantamento do fluxo de veículos nas quatro vias que formam o cruzamento da Rua Luís Gomes com a Avenida Contorno nos horários das 15h às 16h e das 16h às 17h, em três dias, um dia durante a semana onde o fluxo é maior e um final de semana, dias em que se esperam menor movimentação. A média do fluxo de veículos no cruzamento da Avenida Contorno com a Rua Luís Gomes está expressa na tabela 1.

Os estudos bibliográficos, tais como os levantamentos de fluxo realizados *in lócus* no cruzamento da Av. Contorno com Rua Luís Gomes são parte de uma etapa inicial do trabalho onde o objetivo é propor um sistema com base nas características locais, visando assim um estudo para este caso específico, porém não deixando de observar as características generalizadas necessárias para a implantação do sistema em qualquer localidade. Ainda com base nos dados mostrados na tabela 1, é possível notar que o fluxo de veículos pesados, carros e motos tem uma quantidade interessante para aplicação proposta, mesmo observando a considerável redução deste fluxo durante os dias de final de semana.

Figura 1 - Semáforo localizado na MA 006, no cruzamento com a Rua Luís Gomes.



Fonte: Google Street View e Google Maps.

Tabela 1 –Fluxo médio de veículos no cruzamento Avenida Contorno e Rua Luís Gomes.

Dia	Pesados		Carros		Motos	
	Veic./h	Veic./min.	Veic./h	Veic./min.	Veic./h	Veic./min
Seg.- Sex.	126	2.1	545	9.1	1116	18.6
Sábado	60	1	576	9.6	1021	17
Domingo	29	0.5	371	6.2	617	10.3

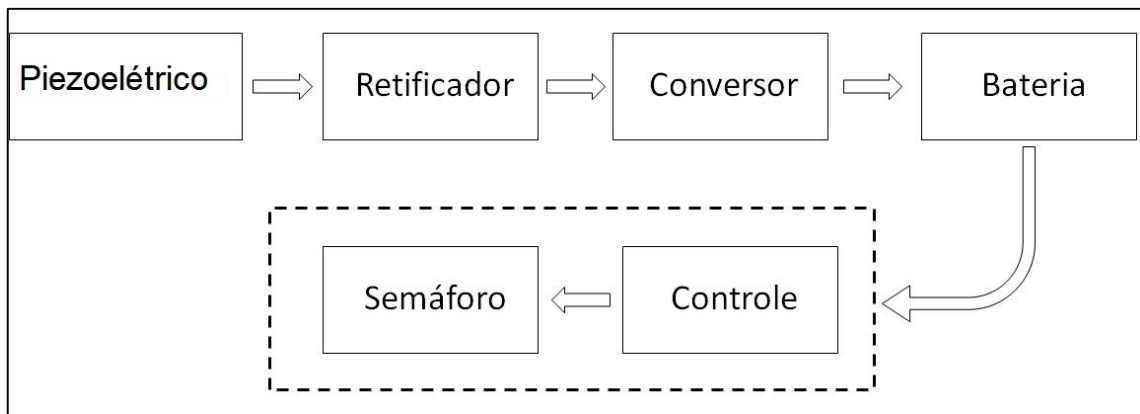
Os estudos bibliográficos, tais como os levantamentos de fluxo realizados *in lócus* no cruzamento da Av. Contorno com Rua Luís Gomes são parte de uma etapa inicial do trabalho onde o objetivo é propor um sistema com base nas características locais, visando assim um estudo para este caso específico, porém não deixando de observar as características generalizadas necessárias para a implantação do sistema em qualquer localidade. Ainda com base nos dados mostrados na tabela 1, é possível notar que o fluxo de veículos pesados, carros e motos tem uma quantidade interessante para aplicação proposta, mesmo

observando a considerável redução deste fluxo durante os dias de final de semana.

A próxima etapa da proposta tem como foco o planejamento do sistema de gerenciamento de energia e o controle do semáforo e emergência como um todo. Este sistema deve considerar as características próprias da geração baseada em tapetes piezoelétricos, gerenciar o próprio fluxo de energia elétrica, gerenciar o semáforo, observando que um semáforo é um sistema de tempo crítico, e por fim, gerenciar qualquer adversidade que venha a ocorrer, ou seja, um módulo de tratamentos de erros.

A figura 2 mostra o esquema geral do sistema proposto, observando a necessidade de tratamento das características do sinal elétrico nos módulos retificador e conversor, e a necessidade de carga da bateria, suprida pelo módulo conversor.

Figura 2 - Esquema geral do sistema de geração e controle baseado em material piezoelétrico.



Fonte: Elaborada pelos autores.

O módulo piezoelétrico consiste em tapetes de material piezoelétrico embutidos no asfalto dado o devido tratamento mecânico para que os elementos conversores de energia mecânica em elétrica possam suportar determinadas cargas. O módulo retificador transforma o sinal de pulsos de corrente gerado pela passagem dos veículos no tapete piezoelétrico na frequência de passagem dos mesmos em um sinal de corrente contínua, necessária para a carga da bateria. O módulo conversor controla o nível do sinal de corrente contínua para

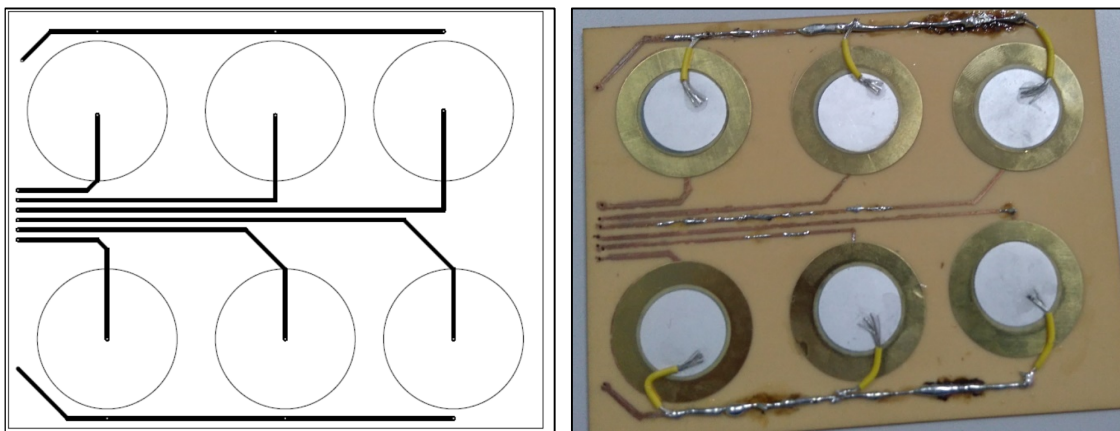
que sinal possa carregar o banco de baterias do módulo posterior. Logo, os módulos retificador e conversor modificam a forma e o módulo do sinal elétrico gerado para fornecer ao módulo do banco de baterias. O módulo de baterias é responsável por alimentar o sistema de controle do semáforo e as lâmpadas de diodo emissor de luz (LED) responsáveis pela sinalização do semáforo.

É importante observar que o módulo de baterias deve conter, para questão de segurança, um controlador de cargas para gerenciar o nível de carga das baterias e passar tais informações ao sistema de controle para o devido tratamento em caso de ocorrência de descarregamento a níveis críticos.

3 DADOS EXPERIMENTAIS

Com base nos estudos bibliográficos foram realizados experimentos de laboratório com a utilização de transdutores (pastilhas de 35 milímetros de diâmetro) no intuito de simular um tapete de matriz geradora piezoelétrica e o comportamento elétrico do sistema em relação a excitação mecânica. Foi desenvolvida uma placa de circuito impresso em fenolite para a realização do experimento de maneira a se obter uma resposta temporal do comportamento deste tipo de material. A Figura 3 mostra o diagrama do circuito desenvolvido e a implementação do mesmo.

Figura 3 - Circuito Projetado para Realização de Testes e Implementação em Placa de Fenolite.

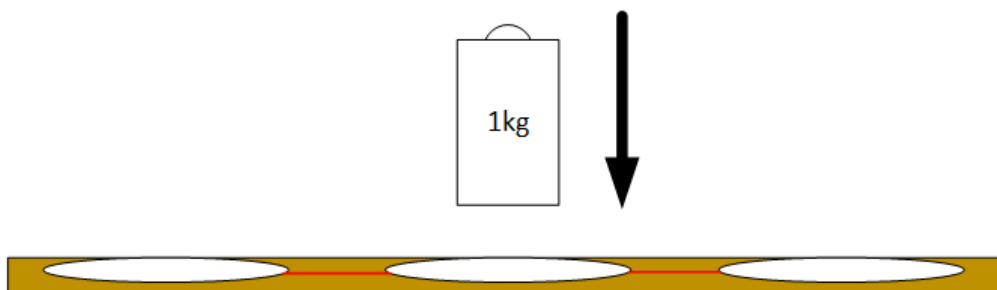


A confecção da placa de circuito impresso foi necessária devido a dificuldades de se realizar os testes em superfícies condutoras e teriam as condições de fornecer o comportamento do sinal de energia gerado sem perturbações provenientes das irregularidades geométricas, do tipo de superfície e das conexões aos eixos da pastilha piezoelétrica tipo disco de 35 milímetros fabricados a partir de cerâmica piezoelétrica PZT (Titanato Zirconato de Chumbo).

O procedimento do experimento foi realizado de maneira a se obter um comportamento elétrico análogo ao proposto em via de tráfego urbano. Desta forma é necessário estabelecer critérios de tempo da aplicação da força assim como a magnitude da força aplicada ao protótipo de tapete piezoelétrico. Vale ressaltar que os resultados são mostrados de forma a vislumbrar somente o comportamento elétrico, pois devem ser levados em consideração critérios de fabricação do tapete que não são aplicados em testes de bancadas, tal como escala de força aplicada (chega a toneladas por eixo em implementação real), condições climáticas tais como chuva e temperatura do asfalto (podendo chegar a 80° C em determinados horários).

A Figura 4 mostra um diagrama do procedimento de realização do experimento. Uma massa de laboratório no valor de 1000 gramas foi deixada sobre cada conjunto de sensores em um tempo cronometrado de duas aplicações por segundo, com o intuito de se obter uma frequência de 2Hz.

Figura 4 - Diagrama do Procedimento do Experimento Realizado

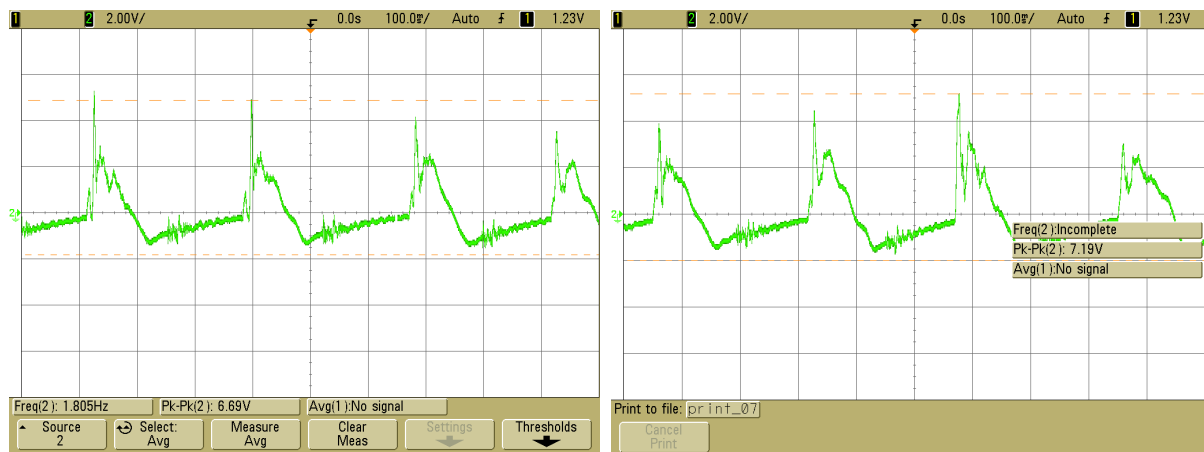


Essa frequência pode ilustrar a passagem de veículos pesados, carros e motos em uma mesma via em horário de tráfego normal, obedecendo a escala de um peso de mil gramas em relação ao peso aplicado ao tapete piezoelétrico.

Como resultado foram produzidos os gráficos da Figura 5. As medições de tensão de pico a pico são de 6,69V e 7,19V nos dois testes realizados. Foram aplicados os mesmos procedimentos de frequência em ambos os testes. Os testes foram realizados para cada grupo de sensores da placa da Figura 3, produzindo os gráficos mostrados na Figura 5.

É possível notar que há um leve aumento da tensão elétrica, possivelmente relacionado com o material ou mesmo questões do ambiente do laboratório. Este sinal de tensão pode ser modelado como uma forma de onda senoidal. É possível observar que com os valores apresentados a aplicação de um retificador e conversor CC/CC torna o funcionamento da carga das baterias viável, notando que existirá uma tensão contínua e corrente fluindo nos terminais da bateria.

Figura 5 - Gráficos com a resposta no tempo de uma aplicação de força nos transdutores piezoelétricos



4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apesar das primeiras aplicações de materiais piezoelétricos terem sido realizadas utilizando cristais, o número de aplicações cresceu mais expressivamente a partir da década de 50 com o descobrimento das cerâmicas piezoelétricas compostas de titanato zirconato de chumbo (PZT) que desde então são utilizadas em inúmeras aplicações. Os materiais cerâmicos possuem processo de obtenção mais barato e a possibilidade de serem preparados em

uma grande variedade de composições, permitindo controlar ou alterar suas propriedades físicas. Porém, as piezocerâmicas possuem maior dependência de suas propriedades eletromecânicas como a temperatura e a formação de fases indesejadas durante sua produção, o que pode alterar suas propriedades com o tempo (envelhecimento). Já os cristais apresentam altas temperaturas de Curie, ou seja, suportam maiores temperaturas sem deixar de produzir o efeito piezoelétrico, entretanto, a obtenção de cristais de alta qualidade envolve processos muito demorados e caros [5].

O conhecimento das propriedades, aplicações e limitações dos principais materiais piezoelétricos comerciais é de fundamental importância pois possibilita a escolha do material mais adequado para cada tipo de projeto. A principal limitação encontrada na conversão de energia mecânica em elétrica através da piezoelectricidade é que a potência gerada é relativamente baixa, sendo necessário o uso de baterias para o armazenamento de energia [11]. Além disso, os materiais piezoelétricos precisam ser capazes de se deformarem e voltarem ao seu estado inicial depois de cessado o estímulo, necessitando de meios para aumentar sua durabilidade como a adição de polímeros e partículas manométricas já que os materiais perdem a maleabilidade devido ao seu uso [12].

Em vista disso, algumas empresas e pesquisadores desenvolveram mecanismos para produzir energia por meio da piezoelectricidade de forma mais eficiente e com menores custos. A Innowattech é uma empresa privada sediada em Ra'anana (Israel) com instalações de pesquisa no Instituto de Tecnologia de Israel, Technion. Especializada no desenvolvimento de geradores piezoelétricos, a companhia desenvolveu um novo sistema de energia alternativa que absorve a energia mecânica dos veículos que passam nas rodovias e transforma em eletricidade, os chamados Geradores Piezoelétricos Innowattech (IPEG). Os geradores podem também ser instalados em aeroportos e trilhos de trem e futuramente podem fornecer em tempo real dados sobre o peso, frequência, velocidade de passagem dos veículos assim como o espaçamento entre eles, criando estradas inteligentes. Por serem incorporados ao asfalto, esses geradores absorvem uma energia que é desperdiçada, não afetam a economia dos combustíveis de veículos, não alteram as características da estrada e

também não ocupam espaços públicos. A tabela 2 mostra a comparação entre geradores piezoelétricos e as principais fontes de energia, incluindo as fontes de energia renováveis [13].

Em relação às principais fontes de energia renovável, os geradores piezoelétricos não dependem de clima ou área geográfica específica como a energia solar e eólica e podem ser instalados em áreas urbanas perto dos pontos de maior demanda minimizando os custos de transmissão, o que não seria possível com a energia hidrelétrica. Estima-se ainda que os custos de construção, implantação e o tempo de retorno esperado sejam menores do que para a energia solar. De acordo com a empresa, o sistema IPEG veicular pode produzir aproximadamente 500kWh a partir de um trecho de um quilômetro de via dupla, o suficiente para abastecer entre 600 a 800 casas [13].

Um modelo de placas produzido pela norte americana GENZIKO, e em estudo de implementação nas vias do estado da Califórnia, mostra que pode produzir em uma via de duas faixas até 7,5 MW por quilômetro em um fluxo mínimo diário de 8.000 veículos. De acordo com a mesma empresa é possível manter a alimentação de até 600 casas em uma via simples de duas faixas, e ainda há planos de instalação em vias expressas de 6 faixas, com possibilidade de gerar até 120 MW [14].

Um modelo de placa que usa cristais piezoelétricos embutidos no asfalto criado por Haim Abramovich, desenvolvedor do Instituto Teknion-Israel de Tecnologia em Haifa, Israel, pode gerar até 400 quilowatts de energia a partir de um trecho de um quilômetro. Foi observado também que o tráfego de 1Hz, ou seja, de um veículo por segundo pode produzir até 240,1 KW [15]. Logo podemos observar que a taxa de geração de 2,5 KW/m. Observado o fluxo propomos o seguinte modelo:

$$E_{gerada} = (E_{instalada} * f_{veic} * n_{faixas}) * k \quad (1)$$

Sendo, f_{veic} a frequência de veículos e n_{faixas} o número de faixas da via, ou seja o número de carros passando ao mesmo tempo pelas placas geradoras. O fator k é referente exclusivamente aos modelos apresentados pelas empresas que tem pesquisado e implementado a Fonte de Geração Piezoelétrica (FGP) e nos casos analisados. Para os modelos das empresas Innowattech e Genziko, o

valor de k pode ser aproximada para 0,6. Baseado nestas informações é possível obter dados de geração da FGP a partir das medições da tabela 1. As medições de geração são convertidas com base na Equação (1) e em dados fornecidos por fabricantes de geradores FGP, obtendo os gráficos da Figura 6.

Tabela 2 – Comparação entre as principais fontes de energia e os geradores piezoelétricos.

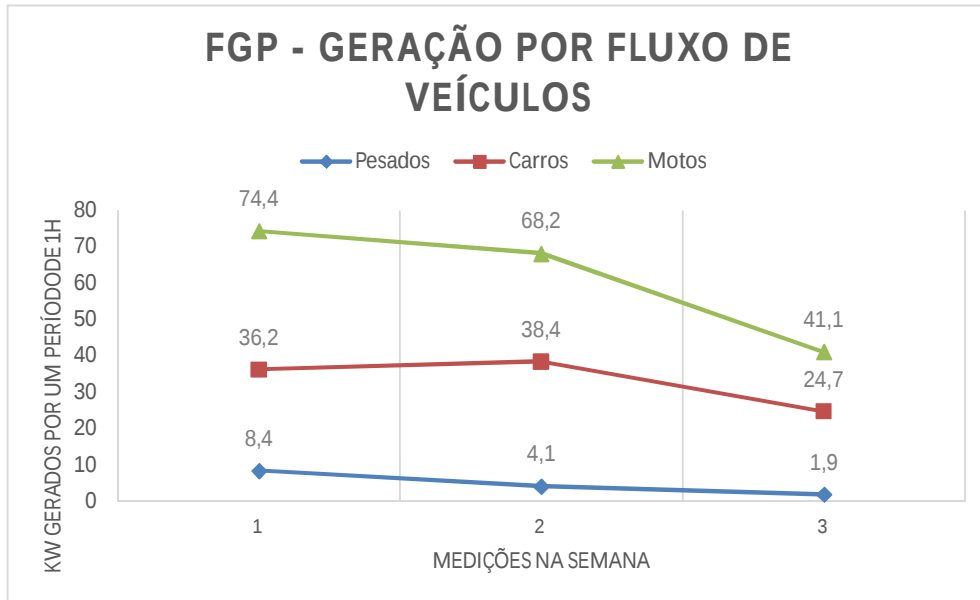
	Eólica	Solar	Hídrica	Carvão	Derivados de petróleo	Gerador piezoelétrico
Energia Limpa	X	X	X			X
Implementação em áreas urbanas		X				X
Ciclo de produção de energia coincide com o pico de consumo				X	X	X
Confiável			X	X	X	X
Preserva o ambiente no estado original						X

Fonte: Innowattech.

É importante ressaltar que tais dados referentes às placas de geração são escassos em relação a outras fontes de geração de energia, principalmente pelo fato de tais dados serem provenientes de empresas que tem o interesse de manter a tecnologia de fabricação dentro de seus parques industriais. O trabalho, a partir dos dados analisados, propõe a utilização de uma FGP na área estudada com o intuito de se estabelecer políticas de implantação urbana de energias

alternativas e demonstrar a capacidade desta fonte para futuras implementações em larga escala.

Figura 6 - Potência Gerada pela Passagem de Veículos em Medições Realizadas.



De acordo com o DMT, o conjunto semafórico instalado no local necessita de aproximadamente 500W para funcionamento normal [16]. Portanto, essa seria a potência mínima do sistema instalado, e de acordo com as informações das fontes pesquisadas, como já citado, a razão é de 2,5 KW gerados por metro. Logo podemos concluir que é necessária a instalação de um pequeno tapete pouco antes do cruzamento (uma vez que é necessário o movimento de veículos e não a sua parada), para que o sistema funcione perfeitamente. Portanto, com os materiais analisados seria possível alimentar o semáforo com somente uma FGP de apenas um metro de comprimento.

O sistema proposto necessita ainda de um estudo mais detalhado sobre a influência das condições ambientais e sobre o tratamento necessário dado às placas geradoras devido ao excesso de peso comum em veículos de carga no Brasil. A tabela 2 apresenta um orçamento proposto para a implantação do protótipo no cruzamento proposto.

Tabela 2- Orçamento de Implantação de um Protótipo

Item	Descrição	Qdt.	Preço (R\$)
1	Recapeamento da Área do Tapete* 1(3m)	1	9.000,00
2	Conjunto Semafórico (Somente Lampadas LED e Controlador)	4	5.000,00
3	Instalação (Aprox. 3 pessoas em 5 dias)	1	4.000,00
4	Conversor CC	1	1.300,00
5	Conversor CA/CC (Retificador)	1	1.200,00
6	Placas Geradoras**	10	60.000,00
7	Bateria Estacionária	2	1.800,00
Total			82.300,00
* <i>Dados fornecidos pelo DNIT, pelo sistema SICRO2</i>			
** <i>Dependente da Cotação do Dólar.</i>			

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O cenário de hegemonia dos combustíveis fósseis na matriz energética mundial fez surgir preocupações como a escassez de alguns recursos e os efeitos negativos do uso de tais combustíveis, exemplificado no crescente aquecimento do planeta, que apesar de ser um fenômeno natural, vem sendo intensificado desde a Revolução Industrial pela ação antropogênica, resultante da queima de combustíveis fósseis. O impasse de encontrar novas formas de obtenção de energia e garantir o grau de desenvolvimento econômico fomentou muitas pesquisas em diversas partes do mundo na tentativa de substituir os combustíveis fósseis por alternativas economicamente viáveis e que desencadeiem menores níveis de poluição. Neste contexto, uma opção para a geração de energia renovável e limpa é o uso da piezoelectricidade, que se caracteriza pela habilidade de alguns materiais gerarem energia elétrica a partir de estímulos mecânicos e pode ser empregada em locais com grande fluxo de pessoas e veículo.

Foram realizadas análises para se determinar a quantidade de energia que poderia ser gerada se fossem instaladas placas piezoelétricas no cruzamento da MA 006 com a MA 140 no perímetro urbano na cidade de Balsas, Maranhão. Conclui-se que em caso da instalação do sistema proposto, o fluxo de veículos que trafegam pela MA 006, devido a agricultura local, seria suficiente para manter o funcionamento autônomo do conjunto semaforico. Dessa forma é de grande importância o sistema proposto, já que, garantindo a autonomia do sistema pela piezoelectricidade, evita-se que na falta de energia elétrica fornecida pela companhia energética, ocorram acidentes, congestionamentos, além da redução de impactos ambientais e da economia no consumo de energia elétrica a longo prazo.

Baseado nos dados obtidos foi possível constatar que o uso de placas piezoelétricas em rodovias é vantajoso principalmente onde o fluxo de veículos é intenso e a energia gerada pode ser usada no abastecimento de semáforos e também na iluminação pública local. Entretanto, existem muitas limitações para seu uso que se iniciam nos estudos bibliográficos onde há dados não informados, principalmente os que tratam da quantidade de energia que pode ser gerada através de dispositivos piezoelétricos, dificultando novas pesquisas e propostas de implantação. Outro desafio é o armazenamento da energia que atualmente só é possível com a utilização baterias, que possuem ciclos de carga finitos. A durabilidade do material piezoelétrico é outro problema enfrentado já que para ser implantado em uma rodovia o material precisa ser capaz de se deformar e voltar ao seu estado inicial cessado o estímulo, precisa se manter em temperatura que garanta a transformação da energia cinética em energia mecânica, resistir ao peso e uso constante. Assim, percebe-se que mesmo diante das inúmeras vantagens da geração de energia através da piezoelectricidade, precisa-se de novas pesquisas para se analisar a eficiência e viabilidade de tais sistemas, além de buscar novos materiais mais resistentes, baratos e eficientes.

Referências

- [1] AEEE – EPE, **Anuário Energético de Energia Elétrica 2014 ano base 2013**
Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em:

<<http://www.epe.gov.br/AnuarioEstatisticodeEnergiaEletrica/Forms/Anurio.aspx>>. Acesso em: 19 jun. 2015.

[2] FEARNSIDE, Philip Martin. 2008. **Hidrelétricas como “fábricas de metano”: o papel dos reservatórios em áreas de floresta tropical na emissão de gases de efeito estufa**. Oecologia Brasiliensis 12(1): 100-115. Disponível em: <http://philip.inpa.gov.br/publ_livres/2008/hidreletricas%20fabricas%20de%20metano.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2015.

[3] SILVEIRA, Evanildo da. **Eletricidade do aperto**. Pesquisa FAPESP; n. 171, p. 72-75, maio 2010. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2012/07/072-075-171.pdf>> Acesso em: 01 ago. 2015.

[4] CADY, Walter Guyton. **Piezoelectricity: An Introduction to the Theory and Applications of Electromechanical Phenomena in Crystals**. New York. Mc Graw Hill. p. 4-5, 1946.

[5] FREITAS, Ricardo Luiz Barros. **Fabricação, caracterização e aplicações do compósito PZT/PVDF**. 2012. 124 f. Tese (doutorado) - Área de Conhecimento: Automação, Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Ilha Solteira. Disponível em: <<http://base.repositorio.unesp.br/handle/11449/100281>>. Acesso em: 6 abr. 2015.

[6] JULIÃO, André. **Energia limpa sob nossos pés: O Brasil entra na briga pela criação de pisos que podem transformar a energia dos passos em eletricidade**. Istoé, N° edição: 2114, 14.Mai.10. Disponível em: <http://www.istoe.com.br/reportagens/73214_ENERGIA+LIMPA+SOB+NOSSO+S+PES> Acesso em: 18 mar. 2015.

[7] PAVEGEN, 2014. Disponível em: <<http://pavegen.com/home>>. <http://pavegen.com/projects/shell-football-pitch-rio-de-janeiro>>. Acesso em: 14 jul. 2015.

[8] ARAUJO, Glauco. **No Maranhão, a cidade do agronegócio**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/brasil/caminhos-do-brasil-caravana-g1/balsas/platb/>>. Acesso em: 30 março de 2015.

[9] Assinada a ordem de serviço para construção do Anel da Soja. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Disponível em: < <http://senar->

ma.org.br/assinada-a-ordem-de-servico-para-construcao-do-anel-da-soja/>.

Acesso em: 30 março de 2015.

[10] DIÁRIO DE BALSAS. **Caminhões que transportam soja provocam lentidão em Avenida de Balsas.** Disponível em: <<http://www.diariodebalsas.com.br/noticias/caminhoes-que-transportam-soja-provocam-lentidao-em-avenida-de-balsas-6045.html>> Acesso em: 27 de março de 2015.

[11] GUAN, Mingjie; LIAO, Wei-Hsin. **Comparative Analysis of Piezoelectric Power Harvesting Circuits for Rechargeable Batteries.** Hong Kong and Macau, International Conference on Information Acquisition, p.243-246, jun./jul. 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=1635089>>. Acesso em: 24 jun. 2015.

[12] ANTUNES, Evelise de Godoy; SOUSA, Máira Nunes de; SCHERTEL, Marina Neubauer da Costa. **Piso que transforma energia mecânica em eletricidade.** 2014. Universidade Federal do Rio Grande do Sul –UFRGS. Escola de Engenharia. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/projenergia3/projetos/trabalhos-2014/trabalhos-2014-2/GRUPOH.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2015.

[13] INNOWATTECH (Israel). **Innowattech Energy Harvesting Systems.** Disponível em: <<http://web.nchu.edu.tw>> Acesso em: 23 out. 2015.

[14] GENZIKO, Inc; <http://www.genziko.com> >; Acesso em: 20 nov. 2015.

[15] KUMAR, Priyanshu. Piezo – Smart Roads. **International Journal of Enhanced Research in Science Technology & Engineering**, v. 2, p. 65-70. Disponível em: <www.erpublishations.com>. Acesso em: 6 abr. 2015.

[16] Departamento Municipal de Trânsito de Balsas/MA. 2015.