



Método de Coleta de Energia com Polímeros Piezoelétricos

Jorge L. P. Felix¹, **Juliano R. A. Garcia**², **Luana Damke**³

¹UFFS/PPGATS Universidade Federal da Fronteira Sul (jorge.felix@uffs.edu.br)

² Universidade Federal da Fronteira Sul (julianorogarcia@gmail.com)

³ Universidade Federal da Fronteira Sul (lu_damke@hotmail.com)

Resumo

Neste trabalho apresenta a análise experimental da coleta de energia limpa e renovável em pequena escala através do uso de materiais polímeros piezoelétricos PVDF-LDT0-028K de MEAS, cujas vibrações foram geradas pelo fluxo do vento, produzidas por um ventilador de mesa de seis pás, com velocidades aproximadas de 3,0 até 5,6 m/s. Para melhorar a deformação do piezoelétrico e a captura do vento foram utilizados diferentes formatos geométricos de folha laminada de PVC: 12 x 08 cm (CG1); 15 x 07 cm (CG2); e 15 x 04 cm (CG3) fixando-as na extremidade livre do material piezoelétrico e na posição ao meio. Os resultados experimentais mostram as melhoras saídas de potenciais elétricos aproximadamente entre 20 e 250 microwatts correspondentes ao modelo de acoplamento do piezoelétrico com a folha laminada de PVC com dimensões 10 x 08 cm.

Palavras-chave: Energia limpa e renovável. Piezoelétricos. Polímeros. Coleta de energia.

Área Temática: Tecnologias Ambientais.

Energy Harvesting Method with Piezoelectric Polymers

Abstract

In this work present the experimental analysis of small-scale clean and renewable energy through the use of MEAS PVDF-LDT0-028K piezoelectric polymers materials, whose vibrations were generated by the wind flow produced by a six-blade table fan, with velocities of approximately 3.0 to 5.6 m / s. To improve the deformation of the piezoelectric and the wind capture different geometric formats of laminated sheet of PVC were used: 12 x 08 cm (CG1); 15 x 07 cm (CG2); and 15 x 04 cm (CG3) by attaching them to the free end of the piezoelectric material and in position in the middle. The experimental results show the electrical outputs of approximately 20 to 250 microwatts corresponding to the piezoelectric coupling model with the PVC laminated sheet with dimensions 10 x 08 cm.

Key words: Clean and renewable energy. Piezoelectric. Polymers. Energy harvesting.

Theme Area: Environmental Technologies



1 Introdução

Recentemente surge um novo conceito da geração ou coleta de energia através de uma árvore artificial cujas folhas seriam os materiais piezoelétricos PVDF tendo como fonte de energia o vento. Em laboratório de pequeno porte foram propostos materiais piezoelétricos PVDF com diferentes extensões geométricas de folhas laminadas cujas vibrações foram induzidas pelo túnel de vento. Li & Lipson (2009) estudaram o desenvolvimento do material piezoelétrico PVDF de modelo LDT1-028K/L acoplado no seu extremo livre com folhas laminadas de formato triangular. Cujos resultados experimentais das vibrações do piezoelétrico em duas posições de direção horizontal e vertical sujeita ao fluxo do vento com velocidades variando entre 2 e 8 m/s mostraram diversas saídas de potenciais elétricos entre 20 e 300 μW . Similarmente, Deivasigamani et al. (2013), estudaram o mesmo piezoelétrico LDT1-028K/L com saídas potenciais elétricos entre 20 e 90 μW utilizando um resistor de 5,6 $M\Omega$ e com velocidades do vento entre 3 e 8 m/s. Enquanto, Karthikeyan et al. (2014), sugerem que o arvore de piezoelétricos estejam sujeitas as vibrações produzidas pela passagem de autos da estrada.

Nos últimos dez anos, a comunidade científica tem buscado diversos estudos e ensaios experimentais laboratoriais, com a finalidade de se obter novos métodos de geração ou coleta de energia elétrica a partir das vibrações e deformações de materiais piezoelétricos de tipos cerâmica piezoelétrica Titanato Zirconato de Chumbo PZT, compósito de Macro Fibras (Macro Fibre composite ou MFC) e Fluoreto de Polivinilideno PVDF. (ANTON & SODANO, 2007; COOK et al., 2008; ERTURK & INMAN, 2009; ALMEIDA, 2013; SUNDARARAJAN et al., 2012; ORREGO et al., 2017; DEMIR & ANUTGAN, 2017).

Dessa forma, este trabalho tem por objetivo de analisar experimentalmente em laboratório sobre a coleta de energia a partir do vento utilizando um sistema vibrante de material polímero piezoelétrico PVDF-LDT0 de MEAS (THORNTON, 2011) com acoplamento, no extremo livre, de folhas laminadas retangulares de PVC sendo induzida pelo fluxo de vento de um ventilador de seis pás com velocidades aproximadas entre 3,0 e 5,6 ms^{-1} . Estas folhas laminadas foram utilizadas com finalidade de captura do vento e melhorar deformação do piezoelétrico com os seguintes formatos geométricos das seguintes dimensões: 10 x 08 cm (CG1); 15 x 07 cm (CG2); e 15 x 04 cm (CG3).

2 Metodologia

A Figura 1 mostra uma plataforma de laboratório sobre a qual ocorreu coleta de energia no laboratório de Eletromagnetismo e Óptica da Universidade Federal da Fronteira Sul, *Campus* Cerro Largo- RS. Esta plataforma consiste de um pórtico rígido de pequeno porte que serve de suporte para uma viga de alumínio na posição vertical e esta a sua vez faz de suporte ao polímero piezoelétrico PVDF (Fluoreto de Polivinilideno) LDT0 paralelo ao pórtico e com característica de tipo viga engastada flexível da MEAS – SPEC.COM, como mostra a Figura 2.

Nos ensaios experimentais, o piezoelétrico foi forçado a vibrar através do fluxo de ar produzido por um ventilador comercial de mesa de seis pás. Neste caso, foram feitas medições do fluxo do vento com três controles de velocidade do ventilador (fraca, médio e forte) com um anemômetro digital (MDA - 20, Ininipa) a uma distância de 30 e 45 cm entre o piezoelétrico e o gerador de fluxo de ar. Foram visualizadas e medidas as voltagens em função de tempo através de um osciloscópio digital (GW INSTRUMENTS, GDS – 1072 A – U, MemoryPrime), como mostra a Figura 3.



Figura 1 – Protótipo da geração de energia elétrica

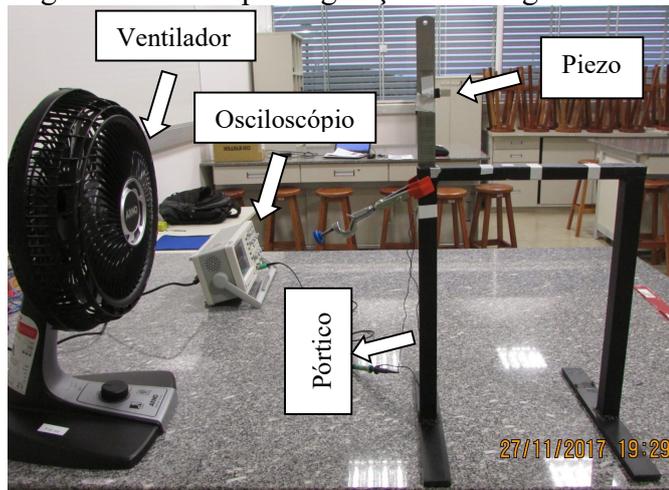


Figura 2 – Material Polímero Piezoelétrico PVDF LDT0 028K

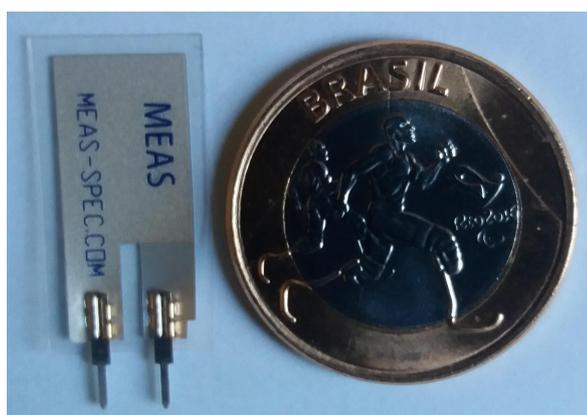
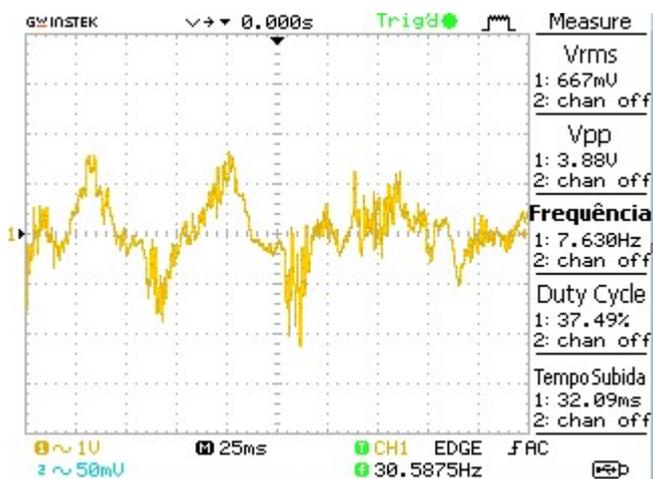


Figura 3 – Osciloscópio com captura de saídas de tensão em rms.





Os materiais de folhas laminadas flexíveis de PVC de diferentes dimensões no formato retangular foram utilizados, conforme Figura 4, para reforçar a deformação do piezoelétrico e a captura do vento, com a finalidade de produzir os efeitos sobre o piezoelétrico e melhorar a eficiência da saída de voltagem (SUNDARARAJAN et al. 2012).

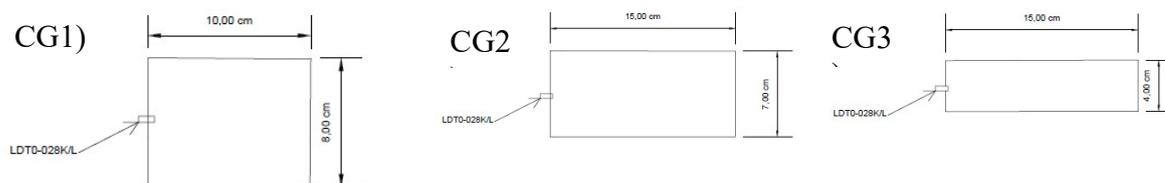
Definiram-se as seguintes dimensões das configurações geométricas retangulares para serem acopladas no extremo livre do piezoelétrico:

CG 1: Configuração Geométrica de 10 x 8 cm.

CG 2: Configuração Geométrica de 15 x 7 cm.

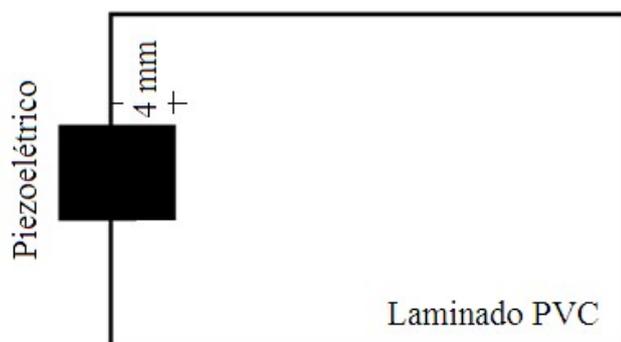
CG 3: Configuração Geométrica de 15 x 4 cm.

Figura 4 – Diferentes dimensões geométricas da folha laminada de PVC



O centro de um lado do material laminado flexível de PVC (espessura de 0,2 milímetros) foi fixado no extremo livre do piezoelétrico (retângulo de região sombreada), conforme mostra a Figura 5, com 4 milímetros de comprimento em contato com material laminado. Esta posição foi escolhida de acordo ao bom desempenho da saída de voltagem e melhoras deformações do piezoelétrico (SUNDARARAJAN et al. 2012).

Figura 5 – Fixação do material laminado flexível retangular PVC no piezoelétrico PVDF



Para o cálculo das potências elétricas foi adicionado um resistor de 1000 OHMS (R1) em série ao Piezoelétrico (ΔV) com isso foram capturados os valores eficazes da voltagem V_{rms} do osciloscópio relacionadas com o valor fixado da resistência do circuito. O circuito elétrico também é ligado em série com as pontas de prova do osciloscópio para coleta de dados, podemos observar essa configuração na Figura 6.



Figura 6 – Componentes do circuito elétrico para captura de voltagens V_{rms} e resistor de 1000 OHMS



Nos ensaios experimentais, foram coletadas as velocidades do vento de um ventilador a cada 10 segundos durante 60 segundos similarmente a variação da velocidade do vento real, em km/h, a cada três horas de acordo aos dados do Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (por exemplo, de Cerro Largo na data 19/12/2017, teve-se as velocidades (km/h) de 11, 10 e 08 no tempo (hrs) 19:00, 22:00 e 01:00 respectivamente). Nesse caso, como o fluxo de ar é de tipo não determinístico pode-se conseguir uma média simples instantânea dos dados com valores mais próximos dos reais.

Para a produção do potencial elétrico, P_i , utilizou-se a seguinte equação (DEIVASIGAMANI, A.; MCCARTHY, J. M.; JOHN, S.J; WATKINS, S.; COMAN, F. 2013):

$$P_i = \frac{V_{rms}^2}{R_L} \quad (1)$$

Onde, P_i é geração de energia elétrica por segundo, R_L é a resistência do circuito e V_{RMS} consiste no valor eficaz de voltagem gerado pelo piezo.

3 Resultados experimentais

A Tabela 1 mostra os resultados experimentais, onde percebemos grandes desvios padrões da geração de energia em razão de movimentos não harmônicos provocados possivelmente por vórtices e turbulências ao longo do fluxo de ar, fato que se deve provavelmente a utilização de um ventilador em vez de um túnel de tempo (GAO, 2011). Ademais, pode-se observar que os melhores resultados foram encontrados no modelo CG1 com velocidades de vento superiores a $3,9 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto que com velocidades abaixo de $3,9 \text{ m.s}^{-1}$ a configuração que teve melhores resultados foi o modelo CG 3.

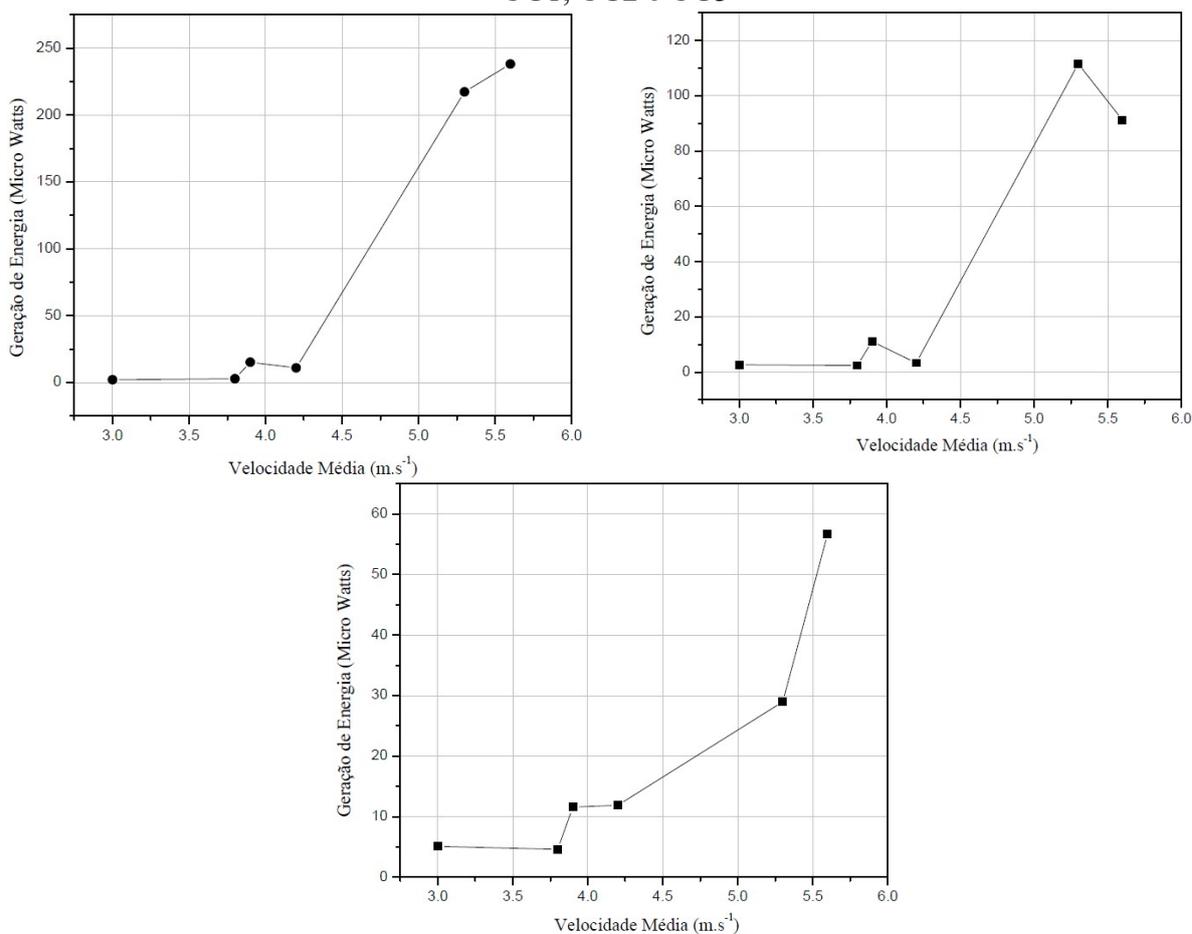
A Figura 7 mostra os gráficos de geração do potencial elétrico em relação a velocidade media do vento a partir dos dados da Tabela 1. Pode-se observar entre os melhores resultados do potencial elétrico (microwatts) destacou-se o modelo CG1 que gerou aproximadamente 250 microwatts. Pode-se comparar este resultado experimental com outro resultado que utilizaram o piezoelétrico PVDF de modelo LDT1 028K com uma geração de potencial elétrico de aproximadamente de 20 a 70 microwatts entre uma velocidade de 3 e 6 m.s^{-1} (DEIVASIGAMANI, A.; MCCARTHY, J. M.; JOHN, S.J; WATKINS, S.; COMAN, F. 2013).



Tabela 1: Dados coletados durante o experimento

	CG 1	CG 2	CG 3
Velocidade média (m.s ⁻¹)	Vrms médio (mVolts s ⁻¹)	Vrms médio (mVolts s ⁻¹)	Vrms médio (mVolts s ⁻¹)
3,0 ± 0,1	45,9 ± 4,2	51,5 ± 11,0	71,5 ± 21,9
3,8 ± 0,2	53,8 ± 15,2	49,3 ± 8,2	67,8 ± 32,8
3,9 ± 0,1	123,4 ± 11,6	105,5 ± 27,0	150,3 ± 37,7
4,2 ± 0,1	104,8 ± 39,8	57,7 ± 10,5	109,0 ± 45,4
5,3 ± 0,2	466,2 ± 84,4	334,0 ± 115,3	170,2 ± 21,8
5,6 ± 0,2	488,0 ± 93,6	302,0 ± 71,7	238,2 ± 68,1

Figura 7 – Geração de energia elétrica em Micro Watts por velocidade nas configurações CG1, CG2 e CG3



Em vista de obtermos números práticos optamos por calcular a geração de energia por m² levando em conta a largura do piezo de 0,9 cm e o comprimento da bandeira de melhores condições 10 cm. Assim, podemos destacar uma geração de 0,2645 watts.s.m⁻² a 5,6 m.s⁻¹, valores significativos quando comparados com a geração fotovoltaica que aproximadamente é de 6,3 a 14,1 % (valor médio de 10,2 %) (PHOTON INTERNATIONAL, 2003), e sabendo



que a incidência solar média no Brasil fica entre $5400 \text{ Watts.h.m}^{-2}$ conforme o Atlas Brasileiro de Energia Solar, assim podemos estipular uma geração fotovoltaica de aproximadamente de $0.125 \text{ watts.s.m}^{-2}$ em suas melhores condições desconsiderando as mudanças angulares de incidência do sol durante seu movimento diário.

Se pressupormos uma duração média de 11 horas (0,46% de um dia) de incidência solar no Brasil (Atlas Brasileiro de Energia Solar), a geração de energia fotovoltaica ainda sofreria um decréscimo de 54%, no entanto o fluxo de vento também sofre variações significantes no período diário, por exemplo no Brasil temos uma variação de 3 a 11 m.s^{-1} dependendo do meio geográfico onde o fluxo de ar é orientado. No entanto, numa busca rápida em comércios digitais podemos averiguar uma grande diferença no custo do metro quadrado da geração de energia a partir de PVDF piezoelétricos, custos que giram em torno de 20 vezes a mais do que o metro quadrado fotovoltaico.

4 Conclusões

Este trabalho teve por objetivo de propor um método de energia limpa e renovável sobre a conversão das vibrações e deformações de PVDF piezoelétricos em micro energia elétrica. Utilizou-se, para este fim, um piezoelétrico PVDF de modelo LDT0 028K de MEAS que teve sensibilidade aos fluxos do vento produzida por um ventilador de seis pás. Para melhorar as deformações do piezoelétrico trabalhou-se com adicionais de materiais de folhas laminadas flexíveis de PVC de configurações retangulares de diferentes dimensões e fixados no extremo livre do piezoelétrico. Os resultados experimentais mostram que o melhor desempenho de geração de energia potencial foi obtido através do uso da folha laminada de PVC com dimensões de 10 x 08 cm estando fixada na posição ao meio do piezoelétrico com velocidades crescentes entre $3,0$ e $5,6 \text{ ms}^{-1}$.

Agradecimentos

Agradecimento ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica e de Inovação da FAPERGS (PROBIT/FAPERGS, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul) em convênio com a UFFS pela concessão de bolsa para o desenvolvimento deste projeto.

Referências

ALMEIDA, J. S. **Conversão das Vibrações Provenientes do Vento em Electricidade**, Dissertação Mestrado em Energias Renováveis, Conversão Eléctrica e Utilização Sustentáveis, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2013, 77p.

ANTON, S. R; SODANO, H. A. “*A Review of Power Harvesting using Piezoelectric Materials*”. **Smart Materials and Structure**, v.16, n.3, 2007, pg. R1–R21.

COOK, K. A.; THAMBI, N.; BITETTO M. A.; HAMEYIE, E.B. “*Piezoelectric Energy Harvesting: A Green and Clean Alternative for Sustained Power Production*”. **Bulletin of Science Technology & Society**, v. 28, n. 6, 2008, pg. 496-509.

DEIVASIGAMANI, A.; MCCARTHY, J. M.; JOHN, S.J; WATKINS, S.; COMAN, F. Energy Harvesting from Fluid Flow using a Vertical Composite Piezoelectric Leaf-Stalk



Configuration. In: The 19th International Conference on Composite Materials-ICCM19, Jul. 28-Aug. 2, Canada, 2013, 9 pg.

DEMIR, F.; ANUTGAN, M. “*Effects of the Wind Speed and the Material Emplacement on the Output Signal of PZT Piezoelectric Energy Harvester*”. **Acta Physica Polonica A**, v. 131, n. 3, 2017, pg. 362-365.

ERTURK, A.; INMAN, D.J., “*An Experimentally Validated Bimorph Cantilever Model for Piezoelectric Energy Harvesting From Base Excitations*”. **Smart Materials and Structures**, v. 18, 2009, pg. 1-18.

GAO, X. **Vibration and Flow Energy Harvesting using Piezoelectric**. Tese de Doutorado, Drexel University, 2011, 179 f.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>

KARTHIKEYAN, V.; MANIARASAN, P.; BHARATH, M.R. “*Wind Energy Harvesting from Flapping Leaf Generator*”. **Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)**, v. 1, Issue 3, 2014, pg.112-115.

LI, S.; LIPSON, H. Vertical-stalk flapping-leaf generator for wind energy harvesting. Proceedings of the ASME. Conference on Smart Materials, Adaptive Structures and Intelligent Systems SMASIS, September 20-24, Oxnard, California, USA, 2009.

ORREGO, S.; SHOELE, K.; RUAS, A.; DORAN, K.; CAGGIANO, B.; MITTAL, R.; KANG, S. H. “*Harvesting ambient wind energy with an inverted piezoelectric flag*”. **Applied Energy**, v. 194, 2017, pg. 212–222.

PHOTON INTERNATIONAL, 2003. Disponível em: <https://www.photon.info/documents/magazines/PI/PHOTON_International_2016-07_will_it_work.pdf>

SUNDARARAJAN, V.; ROMERO, E.; BONILLA, N.; MARTÍNEZ, C. Energy Harvesting from Fluttering Membranes. IN: 10th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology – LACCEI’2012, July 23-27, Panama, 2012.

THORNTON, J. J. **Design and analysis of a wind energy harvesting circuit using piezoelectric polymers**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Faculdade da Universidade da Califórnia Polytechnic State, San Luis Obispo, 2011, 100 f.