

## PROPRIEDADES DIELÉTRICAS DO PLA (ÁCIDO POLILÁTICO) PROCESSADOS EM IMPRESSORA 3D

Gilberto da Conceição, Kelvin Meira Barbosa, Júnior, José Henrique Galeti

Instituto Federal de Mato Grosso do Sul– Três Lagoas-MS

[gilberto.conceicao@ifms.edu.br](mailto:gilberto.conceicao@ifms.edu.br), [jose.galeti@ifms.edu.br](mailto:jose.galeti@ifms.edu.br)

### Resumo

Os sistemas elétricos de potência, especialmente com o advento dos smart-grids demandam medidores inteligentes de tensão e corrente, fundamentais para o faturamento do consumo de energia elétrica, para o controle, proteção e qualidade de energia do sistema elétrico de potência. Encontra-se em curso na UNESP (Campo de Ilha Solteira) uma pesquisa de novos sensores, como o sensor óptico de tensão OVS (do inglês, Optical Voltage Sensor), para aplicações na indústria de eletricidade. Neste projeto propõe-se desenvolver, com o uso de impressora 3D, os suportes isoladores mecânicos para serem aplicados aos OVS's da classe de tensão de 13,8 kV em desenvolvimento na UNESP. Este projeto aborda a caracterização dos materiais ABS (Acrilonitrila Butadieno estireno), PLA (Ácido Polilático) quanto à rigidez dielétrica e da permissividade elétrica, após impressão. Uma vez que a caracterização dos materiais, são de grande relevância para o projeto e implementação dos suportes de alta isolamento, capazes de suportar as tensões da classe 13,8 kV

**Palavras-chave:** Materiais dielétricos, isolamento elétrico, Impressão 3D, protótipos para tensões elevadas.

### Introdução

Apesar das impressoras 3D serem já objeto de estudos a vários anos, o conhecimento das características dielétricas dos materiais isolantes após a impressão é relativamente novo. Dentre as vantagens da impressão 3D, como o baixo custo de produção envolvendo pequenas quantidades, a flexibilidade nas formas das peças e rapidez entre o projeto e a execução, algumas características ainda estão em desenvolvimento. Um deles é a preservação das características dielétricas dos materiais plásticos, como ABS (Acrilonitrila Butadieno estireno), PLA (Ácido Polilático), PetG (Politereftalato de Etileno Glicol) e Nylon (diaminas com ácidos dicarboxílicos), que pode ficar comprometida durante o processo de extrusão dos materiais e, com isto, alterar as especificações dielétricas pretendidas no produto final.

O conhecimento das características dielétricas destes polímeros é objeto de estudo em diferentes aplicações envolvendo diferentes níveis de tensão e diferentes requisitos de segurança [1][2][3][4]. Atualmente as impressoras 3D vem substituindo os processos fabris tradicionais principalmente na confecção de protótipos e produção em baixa escala de dispositivos eletroeletrônico, contudo as características dielétricas dos diferentes materiais

após o processo térmico de fusão, que também varia com os diferentes fabricantes de impressora, não é fornecida pelos mesmos [5]. Além disto, os processos de fusão por aquecimento (empregados nas impressoras 3D) alteram de forma significativa as propriedades originais dos polímeros [6][7][8]. Ressalta-se também que as ações necessárias para a caracterização dielétricas de sólidos [9][10], são objeto de estudos recentes.

Neste projeto foram medidas as permissividades elétricas e as tensões de rigidez dielétrica de materiais tipo PLA após o processo de fusão por temperatura empregada nas impressoras 3D, de cores distintas.

### Fundamentos teóricos

A permissividade elétrica de um dado meio é a propriedade física que relaciona a maneira como um campo elétrico interage com este meio, ou a maneira que o meio se polariza em função de um campo elétrico. A forma mais comum de levantamento prática da permissividade elétrica é através da variação do valor da capacitância quando se substitui o material dielétrico sob teste pelo ar, ou por outro material cuja permissividade elétrica seja previamente conhecida. Em um capacitor composto de placas metálicas paralelas a capacitância será diretamente proporcional a área das placas e a permissividade elétrica absoluta,  $\epsilon$ , do material (dielétrico) contido entre as placas e inversamente proporcional a distância entre as mesmas [8][13].

A rigidez dielétrica é o campo elétrico máximo que o material pode ser submetido antes que ocorra um processo de condução (ruptura dielétrica). De forma prática, este valor pode ser obtido aplicando-se uma tensão elétrica entre dois eletrodos onde entre eles encontra-se o material sob teste.

Dado que o material sob teste possui uma espessura conhecida, o valor da tensão em que ocorrer a ruptura dielétrica (condução entre os eletrodos) pode ser usado para o cálculo do campo elétrico no material e assim levantar a rigidez dielétrica do material [6] [11].

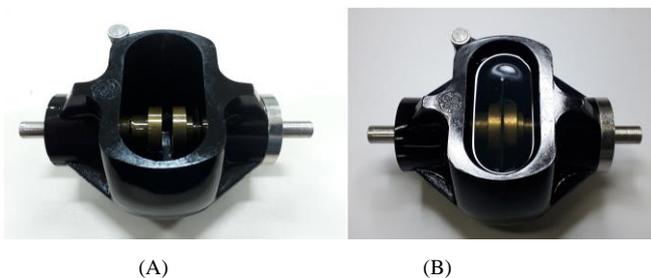
### Ensaio elétrico de ruptura dielétrica

Foram testadas, as resistências dielétricas dos materiais impressos usando-se um testador de óleo isolante (TOI), composto por um auto transformador de alta tensão, e comumente chamado de testador de tensão de ruptura dielétrica (da *General Electric*).

As amostras destinadas a teste foram produzidas com espessura de 1 mm em duas colorações diferentes

Procedeu-se, primeiramente uma calibração do TOI, segundo a norma [13] usando se um medidor de voltagem conectado ao enrolamento primário do transformador, e um osciloscópio ligado ao enrolamento secundário (Alta Tensão) através de uma ponta de prova calibrada (Tektronix P6015A, 28 kV, 75 MHz).

Com o TOI devidamente calibrado, foram colocadas as amostras no cadinho, embebidas em óleo, as amostras foram colocadas no cadinho, embebidas em óleo, e o cadinho colocado no TOI para o teste de ruptura dielétrica do material. (figuras 1 e 2)



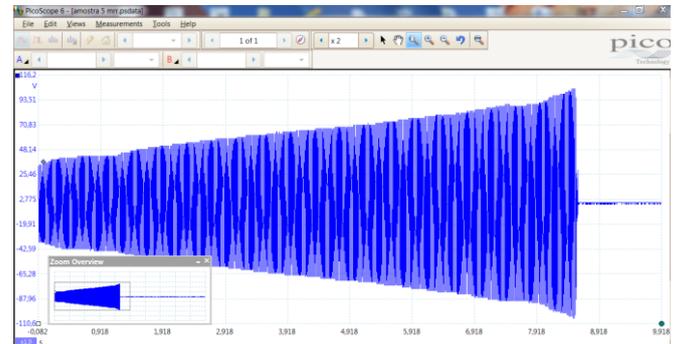
**Figura 1.** (A) Cadinho com eletrodo antes da colocação da amostra. (B) Cadinho com os eletrodos em contato com a amostra embebida em óleo mineral.



**Figura 2.** Cadinho preparado e montado no TOI (previamente calibrado) e com a tensão do primário monitorado por sistema de aquisição de sinais.

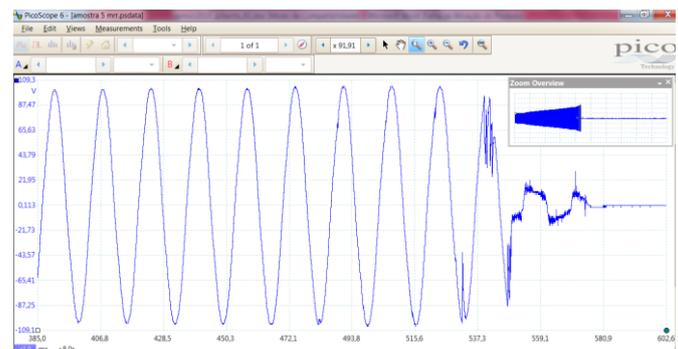
Foram aplicadas tensões crescentes (figura 3 até a ruptura dielétrica do material, que se deu na faixa de 20 kV. No processo de ruptura o material perde a sua capacidade de isolamento e conduz, passando pela amostra uma quantidade considerável de corrente elétrica e conseqüentemente carbonizando um orifício na amostra (figura 4). Os sinais aplicados a amostra foram adquiridos por um sistema osciloscópio digital (PicoScope) (figura 3), com um fator de

calibração de 200x, i.e. a tensão de 100 V lida corresponde a uma tensão de 20 kV aplicada ao material.



**Figura 3.** Tensões crescentes senoidais de 60 Hz aplicadas a amostra até o rompimento dielétrico do material, monitoradas pelo sistema de aquisição.

Dado que o TOI tem capacidade limitada de fornecimento de corrente, no instante da ruptura ocorre uma brusca diminuição da tensão aplicada como observa-se na figura 4.



**Figura 4.** Tensões senoidais de 60 Hz aplicadas a amostra no instante do rompimento dielétrico do material, detalhe do sinal da figura 3 aos 23 segundos.

Os resultados apresentados pelo material PLA foram inferiores aos do material ABS, segundo um de seus fabricantes [15]. O PLA, impresso apresentou uma rigidez dielétrica variando entre 13 e 23 kV/mm. O materiais de coloração branca variaram de 19 à 23 kV com média de 20,5 kV, já os materiais de coloração marrom variaram entre 14 e 21 kV com média de 16,5 kV.

### Ensaio da permissividade dielétrica

Objetivando a medida da permissividade dielétrica dos materiais impressos foi usado um oscilador cujo período do sinal de saída é diretamente proporcional a um determinado capacitor (componente sob teste). A permissividade dielétrica,  $\epsilon$ , de um meio é uma constante física que relaciona a maneira como um campo elétrico interage com este meio, dada por:

$$\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0 \quad (1)$$

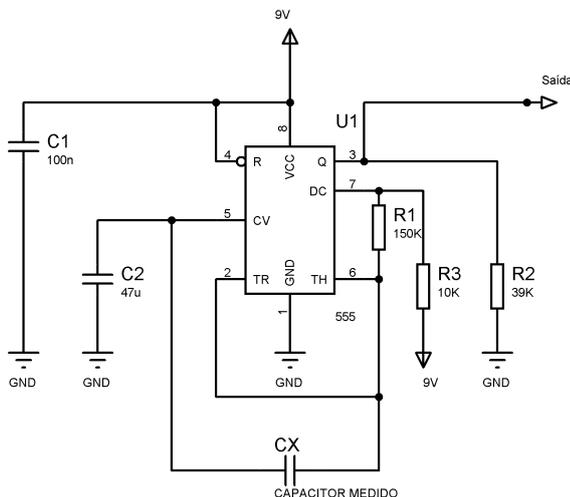
, onde  $\epsilon_r$  é a permissividade relativa do material e  $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  é a permissividade dielétrica no vácuo. Também a capacitância de um capacitor de placas paralelas é dada por:

$$C = \frac{\epsilon A}{d} \quad (2)$$

, onde  $d$  é a distancia entre as placas e  $A$  é a área das placas que compõem o capacitor. A partir de (1) e (2) é possível calcular o  $\epsilon_r$  do material medindo-se a capacitância do conjunto de tal forma que:

$$\epsilon_r = \frac{C_m d}{A \epsilon_0} \quad (3)$$

, onde  $C_m$  é a capacitância de um capacitor de placas paralelas contendo o material a ser caracterizado entre as placas metálicas.



**Figura 8.** Circuito utilizado para as medidas da capacitância de um capacitor composto do material PLA caracterizado.

O circuito (figura 8) foi calibrado de forma a partir do período do sinal de saída fosse obtida a capacitância  $C_m$ . Foi obtida uma curva de calibração de primeiro grau descrita por:

$$C_x = -5,72 + 4,4T \quad (4)$$

Foram realizadas medições indiretas da capacitância dos capacitores formados pelo conjunto de duas placas metálicas paralelas com a amostra de PLA, branco e marrom, à ser testada com o dielétrico entre as placas metálicas. De modo que, a partir de (3) foi possível calcular a permissividade relativa,  $\epsilon_r$ , do material.

## Resultados e Discussão

De acordo com os ensaios realizados, o PLA (Ácido Polilático) suportou tensões de até 23kV/mm. Sendo que as amostras de coloração branca apresentaram uma rigidez dielétrica até 20%, em media, maior que as amostras de coloração marrom. Os valores encontrados são coerentes com os apresentados pelo fabricante que indica como rigidez dielétrica valores de 18 à 25 kV/mm. Apesar de pequeno o numero de amostras, existem indicativos que a coloração pode alterar a rigidez dielétrica do material.

Com relação à permissividade dielétrica, os ensaios apresentaram resultados muito similares aos previstos pelo fabricante ( $\epsilon_r$  entre 3,0 e 3,3) para ambas as colorações. Para a coloração branca obteve-se  $\epsilon_r$  entre 2,9 e 3,4 com média de 3,12 enquanto que para a coloração marrom obteve-se  $\epsilon_r$  entre 2,9 e 3,3 com média de 3,13.

## Considerações Finais

Esses resultados são encorajadores pois permitem o levantamento de características importantes dos materiais processados por impressora 3D à serem utilizados em aplicações elétricas em diferentes classes de isolamento. De forma a garantir a operação, com segurança, e dentro das especificações dielétricas de protótipos e produtos desenvolvidos em impressoras 3D.

Apesar disto ainda seriam necessários ensaio com um numero maior de cores e diferentes temperatura de extrusão (processo de impressão 3D) para que, com uma população mais abrangente de amostras, as conclusões pudessem ser usadas para relacionar parâmetros de impressão, material e coloração com as características dielétricas dos materiais impressos. De tal forma que, de posse das características do material antes da impressão e dos parâmetros de impressão as características dielétricas do material pudessem ser previstas.

## Referências

- [1] Munaro M.; Akcelrud L. **Polyethylene blends: A Correlation study between morphology and environmental resistance**. Polymer Degradation and Stability, v 93, p 43-49, 2008.
- [2] Coutinho. F. M. B.; Melo I. L.; Santa Maria L. C. **Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações**. Instituto de Química. Polímeros: Ciências e tecnologia, vol. 13, n° 1, p. 1-13, 2003.
- [3] J. H. Galeti, R. T. Higuti, C. Kitano and M. J. Connelly, "**Polarimetric optical high-voltage sensor using synthetic-heterodyne demodulation and Hilbert transform with gain control feedback**", IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, vol. 23, pp. 417-423, 2017.
- [4] J. Galeti, C. Kitano and M. J. Connelly, "**Improved synthetic-heterodyne Michelson interferometer vibrometer using phase and gain control feedback**", Appl. Opt., vol. 54, pp. 10418-10424, 2015.
- [5] Bhushan, Bharatahd; Caspers, Matt; **An overview of additive manufacturing (3D printing) for microfabrication**, Microsystem Technologies, vol. 23, n°4, p 1117-1124, 2017.

- [6] Wasilkoski C. M. **Caracterização do polietileno de baixa densidade através da técnica de análise dinâmico-mecânica e comparação com a análise por impedância dielétrica.** Dissertação de mestrado. Curitiba, 2002.
- [7] Dissado, L. A.; Fothergill, J. C. **Electrical degradation and breakdown in polymers**, The redwood press, Wiltshire, England, 1992
- [8] Das\_gupta D. K. **Polyethylene: Structure, morphology, molecular motuion and dielectric behaviour.** IEEE Electrical insulation magazine, vol. 10, n°3, p 5-15, 1994.
- [9] Wasilkoski C. M. **Caracterização do polietileno de baixa densidade através da técnica de análise dinâmico-mecânica e comparação com a análise por impedância dielétrica.** Dissertação de mestrado. Curitiba, 2002.
- [10] Barbosa, Kelvin Meira; Martinez, Guilherme Alves; Higuti, Ricardo Tokio; Kitano, Cláudio; Galeti, José Henrique; **High Voltage Optical Sensor Insulation Using PLA (Polylactic Acid)**, 13th IEEE International Conference on Industry Applications, 2018
- [11] ABNT NBR 5405:2016 **Materiais isolantes sólidos Determinação da rigidez dielétrica sob frequência industrial - Método de ensaio**, 2016
- [12] ABNT NBR 7559:2003 **Papel e Papelao Isolante Eletrico Determinação da rigidez dielétrica sob frequência industrial - Método de ensaio**, 2003
- [13] ABNT NBR 1991:12133, **Líquidos isolantes elétricos Determinação de fator de perdas dielétricas e da permissividade relativa (constante dielétrica)**, 1991
- [14] IEC/TR-61869-3, **Instrument transformers - Part 3: Additional requirements for inductive voltage transformers**, IEC, Jul. 2011.
- [15] <https://www.professionalplastics.com/professionalplastics/ElectricalPropertiesofPlastics.pdf> Acessado: 01/ago/2018.