

Análise da Resistência Elétrica e Mecânica em Filamentos de PLA e ABS

Analysis of Mechanical and Electrical Resistance in filaments of PLA and ABS

⁽¹⁾ Andresa Aparecida Lemes Gomes; lemesandresa@hotmail.com

⁽¹⁾ Lidiane Gomes da Silva; g.lidiane@yahoo.com.br

⁽²⁾ Rossano Gimenes; rossano@unifei.edu.br

⁽¹⁾ Adriana Amaro Diacenco; adriana_aadiacenco@yahoo.com.br

Recebido: 25 de outubro de 2018; Revisado: 22 de maio de 2019

Resumo

O processo de prototipagem por deposição plástica, mais comumente conhecido por processo de impressão 3D, consiste na criação de objetos em três dimensões utilizando um modelo digital. A impressão 3D, devido a sua rapidez, tornou-se um atrativo a várias empresas, pois é possível confeccionar objetos sem a utilização de usinagem e mão de obra. Para a confecção desses objetos são utilizados vários filamentos poliméricos, sendo que os mais aplicados no processo são: o filamento de Acrilonitrila Butadieno Estireno - ABS e o de Poli Ácido Lático - PLA. Nesse sentido, este trabalho analisa a resistência mecânica à tração e a resistência ao trilhamento elétrico desses dois polímeros com o objetivo de verificar a possibilidade de utilização desses materiais no setor elétrico. Na análise mecânica, foi possível observar que ambos os materiais apresentaram deformações uniformes e também que o modo de impressão, camada – por – camada, diminuiu o módulo de elasticidade comparado ao modo convencional, em que o material (em estado líquido) é depositado em um molde. Enquanto que, no ensaio de resistência ao trilhamento elétrico foi possível observar que o PLA apresentou uma melhor resistência ao trilhamento se comparado ao ABS.

Palavras-chave: ABS, PLA, Trilhamento Elétrico, Ensaio de tração, Resistividade elétrica, Resistência mecânica.

Abstract

The process of prototyping by plastic deposition, more commonly known as the 3D printing process, consists of creating objects in three dimensions using a digital model. 3D printing, because of its speed, has become an attraction to several companies, because it is possible to make objects without the use of machining and labor. For the preparation of these objects several polymeric filaments are used, and the most applied in the process are: the acrylonitrile Butadiene Styrene ABS filament and the Poly Lactic Acid PLA filament. In this sense, this work analyzes the mechanical tensile strength and the resistance to electric tracing of these two polymers in order to verify the possibility of using these materials in the electric sector. In the mechanical analysis, it was possible to observe that both materials presented uniform deformations and also that the layer by layer printing mode decreased the modulus of elasticity compared to the conventional mode, in which the material (liquid state) is deposited in a template. Whereas, in the test of resistance to the electric tracking it was possible to observe that the PLA presented a better resistance to the tracking when compared to the ABS.

Key words: ABS, PLA, Electrical Tracking teste, Tensile Test, Electrical Resistivity, Mechanical Resistance.

Introdução

A impressão 3D é o método de confeccionar objetos com base em *softwares* de modelagem. Inicialmente, utilizou-se essa técnica para fins de prototipagem rápida, termo utilizado para a impressão de protótipos de peças, sendo suas impressões modelos de produtos que não seriam comercializados (FALCONE D. M. B, 2007; FERNANDES e MOTA, 2016). Para ambientes industriais e comerciais, nota-se a facilidade e a necessidade de impressoras 3D tendo em vista algumas vantagens: dispensam ferramentas de usinagem e mão de obra, facilitam o manuseio e a criação de objetos utilizando apenas o material necessário sem desperdícios etc. Diante disso, as impressões 3D não são somente utilizadas para fins de prototipagem, mas também para produção de muitos componentes e equipamentos.

A impressão desses protótipos e produtos é realizada utilizando filamentos que são materiais específicos produzidos para impressoras 3D. Polímeros termoplásticos podem ser encontrados em diversas cores e tipos,

usualmente em rolos de 1,75 mm e 3 mm de espessura, em que são derretidos e expelidos pelo bico extrusor. Os polímeros mais utilizados são o Poli Ácido Lático (PLA), que consiste em um termoplástico semicristalino ou amorfo, biocompatível e biodegradável, não tóxico e com boa processabilidade térmica (JAHNO, 2005; BRITO, 2011; PEREIRA e MORALES, 2014), e o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) que também é um termoplástico amorfo, porém derivado do petróleo (MARTINS, 2013).

Ambos os polímeros são utilizados por possuírem boa resistência mecânica, fácil moldabilidade, dureza, alta resistência ao impacto e por serem filamentos relativamente baratos em comparação a outros encontrados no mercado (HAGE Jr., 1998; PITT, BOING e BARROS, 2011). O ABS, por exemplo, é utilizado em fabricação de sinalizadores em linhas aéreas de distribuição de energia, pois atende perfeitamente os requisitos de robustez e durabilidade do projeto, além de diferentes peças amplamente utilizadas no dia a dia, inclusive peças automotivas

(SANTOS *et al.*, 2013). Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo realizar testes de tração mecânica e de trilhamento elétrico nos dois polímeros mais utilizados na impressão 3D, o ABS e o PLA, a fim de apresentar um embasamento experimental sobre a resistência de ambos os polímeros para posterior fabricação de componentes elétricos.

Material e Métodos

Por meio da metodologia experimental, foram realizados dois ensaios, sendo um mecânico e outro elétrico. Para isso, foi utilizada uma impressora 3D com o objetivo de obter as amostras analisadas.

A impressão 3D é um processo de modelagem por fusão e deposição, baseado na extrusão de filamentos de plásticos aquecidos (AVIZ *et al.*, 2012). A primeira etapa para a tecnologia FFF (Fabricação com Filamento Fundido) inicia-se com um projeto desenvolvido em *software* de preparação de montagem. A partir disso é dividido e posicionado um arquivo CAD 3D® (Desenho Auxiliado por Computador Tridimensional), que calcula a trajetória que o bico deverá percorrer para

depositar o termoplástico, o tempo e a quantidade de material para a extrusão.

A máquina de tecnologia FFF possui um cabeçote que se movimenta no plano horizontal e uma plataforma que se movimenta no sentido vertical. Após o processamento do projeto pelo *software* de preparação, a impressora aquece a mesa de impressão até a temperatura ideal para a extrusão do polímero, de 60°C para ambos os polímeros. Logo depois o bico extrusor é aquecido a uma temperatura de 190°C para o PLA e 230°C para o ABS, aquecendo junto o termoplástico (SAURAMO, 2014). Na sequência, o cabeçote movimenta-se na horizontal enquanto as guias rotativas puxam o filamento para o interior do bico extrusor fazendo com que o material aqueça até um estado semilíquido e seja depositado na forma de gotículas ao longo do processo de extrusão, camada por camada. Ao final de cada camada a mesa extrusora desloca-se para baixo, com uma distância igual à espessura da camada, e o cabeçote começa a extrudar novos filamentos para construir uma nova camada sobre a anterior, repetindo esse processo até formar por completo o objeto 3D (AVIZ *et al.*, 2012).

A Figura 1 apresenta um esquema simplificado do processo de funcionamento de uma impressora 3D.

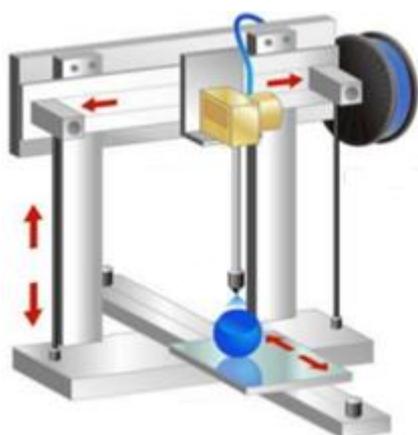


Figura 1 – Esquema Simplificado de uma impressora 3D.

Fonte: Impressão 3D- Um Sonho Sob de Demanda

Para a confecção dos corpos de prova, utilizou-se o Poli Ácido lático (PLA), obtido comercialmente na forma de filamento com 1,75 mm de diâmetro da marca Cliever e extrudado na impressora 3D - CL2 PRO da mesma marca. Como também se utilizou o acrilonitrila butadieno estireno (ABS), obtido comercialmente na forma de filamento com 1,75 mm de diâmetro da marca *Stratasys* na impressora 3D *Stratasys Dimension*.

Os modelos computacionais foram desenvolvidos no AUTOCAD.

A fim de verificar a avaliação da resistência mecânica das amostras, foi realizado um ensaio de tração. O qual

consiste na aplicação de uma carga de tração uniaxial crescente, em um corpo de prova específico para esse ensaio, essa carga vai aumentando e por consequência vai alongando ou esticando o corpo de prova até o momento da sua ruptura (DALCIN, 2007).

Realizou-se o ensaio no laboratório de metalografia da FEPI (Centro Universitário de Itajubá) na máquina de ensaio universal de 5kN da marca Oswaldo Filizola. A Figura 2 apresenta o equipamento utilizado para o ensaio de tração.



Figura 2 – Ilustração do processo do ensaio de tração.

Fonte: Filizola (2018)

O fenômeno de trilhamento elétrico pode ser definido como a formação de um caminho condutor permanente, composto normalmente por carbono, por meio da superfície do isolante, que

resulta na degradação devido à ação das descargas superficiais. Quando esse fenômeno ocorre numa localizada região, ocorre a erosão (SILVA, 2014). Falhas de isolamento por trilhamento elétrico causam problemas de suportabilidade em componentes utilizados no sistema elétrico, principalmente de altas potências, sendo os materiais poliméricos utilizados como isolantes os que mais apresentam essa falha (SILVA, 2014). Nesse contexto, realizou-se o ensaio de trilhamento elétrico a fim verificar a resistência ao trilhamento elétrico desses polímeros na forma impressa.

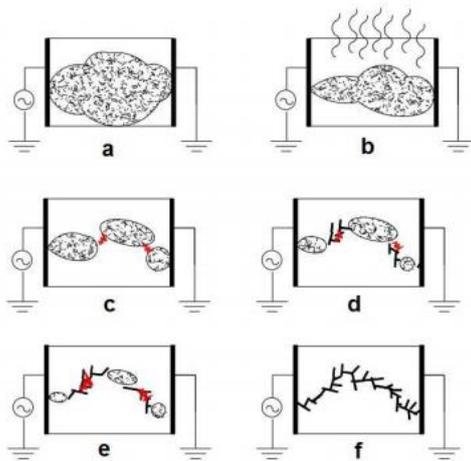
O teste é realizado reduzindo o valor da resistência do material. Utiliza-se reagentes contaminantes que simulam os que aparecem na atmosfera na forma de poluição e uma camada de umidade promove a baixa resistividade superficial do material. Cria-se, assim, condições ideais para fluir corrente entre pontos com diferentes potenciais. A passagem de corrente superficial através da solução úmida, contaminante com alta dissipação de calor, causa a evaporação dessa solução da superfície do material. Como essa evaporação não é uniforme, ocorre a formação de bandas secas que interrompem a corrente superficial,

causando um aumento no campo elétrico local entre as bandas úmidas iniciando as descargas superficiais.

Devido a essas descargas superficiais, a superfície do material isolante alcança elevadas temperaturas, causando a formação de resíduos orgânicos condutores. Esses resíduos causam a erosão e trilhas nessas superfícies, levando assim o material a uma gradual degradação. A ruptura completa do polímero se dá quando essas trilhas de material orgânico condutor se propagam por toda a extensão do material (SILVA, 2014).

A Figura 3 ilustra o processo de trilhamento elétrico.

Figura 3: Processo de trilhamento Elétrico. A) Contaminação e umedecimento da superfície do material, formando uma camada condutora com baixa resistividade superficial; B) passagem de uma corrente superficial através da solução úmida contaminante, com alta dissipação de calor, causando perda de massa do fluido contaminante, favorecendo a formação de bandas secas; C) interrupção da corrente superficial devido a presença de bandas secas, causando um aumento no campo elétrico local entre as bandas úmidas e iniciando as descargas superficiais; D) devido as descargas superficiais, a superfície do isolante alcança elevadas temperaturas, causando a formação de resíduos à base de carbono, levando o material a uma gradual degradação; E) propagação e aumento do resíduo carbonáceo condutor; F) ruptura completa da superfície do material isolante, fazendo que o material se comporte como um condutor de eletricidade.



Fonte: SILVA, R. F. da, 2014.

Realizou-se o ensaio de trilhamento elétrico segundo a norma ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMA TÉCNICA) NBR 10296. Esse método de ensaio tem como objetivo avaliar o material isolante elétrico para uso sob condições ambientais severas por meio de medidas de resistência ao trilhamento elétrico e erosão em tensões elétricas entre 1000 e 6000 V, em frequências industriais (48Hz a 62 Hz), usando um líquido contaminante e corpos de prova em plano inclinado (ABNT, 2014). Esse método de ensaio é conhecido como ensaio de plano inclinado (SILVA, 2014). A Figura 4 ilustra esse método.



Figura 4- Ensaio de trilhamento Elétrico segundo a norma 10296.

O ensaio é realizado em um conjunto de cinco amostras simultaneamente. Os corpos de prova são montados com a superfície tratada voltada para baixo e inclinada em 45° em relação a horizontal.

Nesse trabalho, realizou-se o ensaio utilizando o método 2 da norma de tensão de trilhamento em degraus, em que cada degrau possui 250 V. A tensão de trilhamento em degraus é a tensão mais elevada, suportada pelos cinco corpos de provas, sem ocorrência de falhas durante uma hora. O término do ensaio se dá quando o valor da corrente no circuito através do corpo de prova excede 60 mA e persiste por mais de 60 segundos. O material então é classificado como Classe 2Ax em que x é a tensão mais elevada, em kV, suportada pelo material ensaiado, sem ocorrer a ruptura (ABNT, 2014).

A Figura 5 apresenta o diagrama experimental do ensaio de trilhamento.

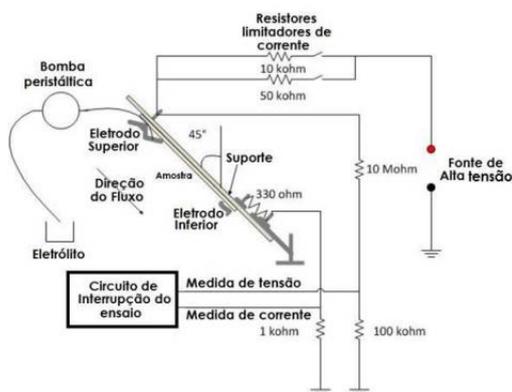


Figura 5: Diagrama experimental do ensaio de trilhamento Elétrico

Fonte: SILVA (2014).

A Figura 6 ilustra a bancada de ensaio. O ensaio de trilhamento elétrico foi realizado nas dependências da empresa HVEX (*High Voltage Equipments*) pelo equipamento H002 Módulo de ensaio de trilhamento Elétrico com tensão inicial de 1,5 kV, equipamento desenvolvido pela mesma empresa.



Figura 6 – Bancada de ensaio de trilhamento elétrico

Fonte: HVEX (2016)

A análise e tratamento dos dados obtidos pelo ensaio foram realizados no software do Matlab®.

Os testes foram divididos em duas etapas. Na primeira foram impressos dez corpos de prova para o ensaio de trilhamento elétrico, com 120 mm de altura por 50 mm de largura por 5,5 mm de espessura com 25% de preenchimento, 3 perímetros de espessura das paredes e com 0,19 mm de altura entre cada camada de impressão com um total de 30 camadas. Sendo cinco peças de PLA (Figura 7), e cinco de ABS (Figura 8).



Figura 7- Corpos de prova de trilhamento Elétrico em PLA.



Figura 8 - Corpo de prova de trilhamento Elétrico em ABS.

Foram utilizados dez corpos de prova para o ensaio de tração que foram impressos com 165 mm de comprimento, 19 mm de largura e 5 mm de espessura,

com 25% de preenchimento, 3 perímetros de espessura das paredes e com 0,19 mm de altura entre cada camada de impressão com um total de 26 camadas. Os corpos de prova foram produzidos de acordo com as dimensões da norma ASTM D 638 -10, utilizando o tipo I. Sendo cinco amostras de PLA (Figura 9) e cinco amostras de ABS (Figura 10).



Figura 9- Corpo de prova de tração em PLA.



Figura 10- Corpo de prova de Tração em ABS.

O ensaio foi realizado com uma velocidade de 5kN até a ruptura. Os dados foram fornecidos pelo software do equipamento de tração Oswaldo Filizola.

Resultados e Discussão

Calculou-se o módulo de elasticidade (E), o valor da resistência à tração e o valor de deformação. A tensão inicial aplicada é de 0 MPa e até a ruptura, o valor da tensão pode ser observado na Tabela 1.

Para PLA em amostras de 1 a 5, observou-se que a média do valor de ruptura foi de 21,307 MPa, com desvio padrão de 0,113. Com este ensaio, foi possível observar que o PLA apresenta deformações uniformes, como pode ser visto na Figura 11 e no gráfico do ensaio de tração da Figura 12.

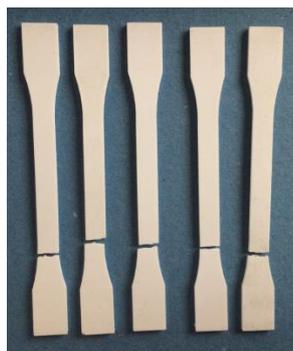


Figura 11- Amostras de PLA após ensaio de tração

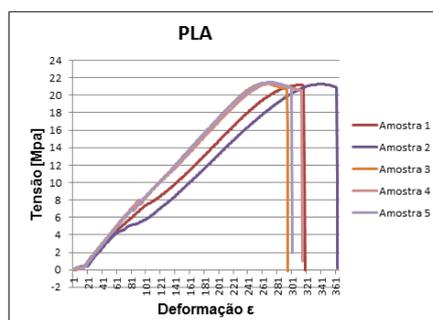


Figura 12- Gráfico de Ensaio de Tração no PLA

Assim como o PLA, o ABS também apresenta deformações uniformes

(média de 14,680 MPa com desvio padrão de 2,460) que pode ser observado na Figura 13 e no gráfico de ensaio de tração na Figura 14.

A partir do módulo de elasticidade dos polímeros ensaiados, verificou-se que esses valores foram próximos de $(4,751 \pm 0,630)$ MPa para o PLA e de $(5,396 \pm 0,954)$ MPa para o ABS.



Figura 13- Amostras de ABS após ensaio de tração

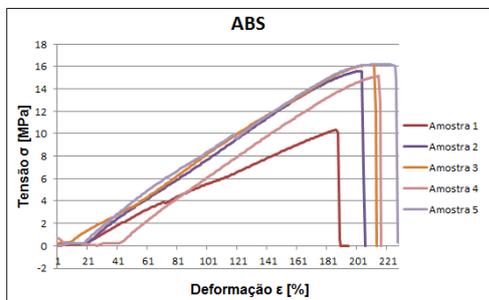


Figura 14 – Gráfico de Ensaio de Tração no ABS

Crawford (1987) relata que o módulo de elasticidade para o ABS de corpos de prova fundido é de 2200 MPa. Observou-se que o módulo de elasticidade calculado nesse trabalho diferencia dos corpos de prova elaborados por método de fundição reportados na literatura (ARAÚJO, 2002) Fato que pode ser explicado devido ao processo de fabricação dos corpos de prova, que foram obtidos a partir da impressão sendo sua formação camada por camada, em que essas camadas podem ter afetado a estrutura do corpo de prova.

Tabela 1 – Resultado do Ensaio de Tração no PLA e no ABS

<i>Amostras</i>	<i>Força[N]</i>	<i>Deformação ϵ[%]</i>	<i>Tensão σ [MPa]</i>	<i>Módulo de Elasticidade E [MPa]</i>
1	1207,000	4,789	21,175	4,421
2	1211,800	5,270	21,260	4,034
3	1215,400	3,970	21,323	5,371
4	1213,800	4,112	21,295	5,178
5	1224,600	4,099	21,484	5,241
6	688,000	2,595	10,346	3,986
7	739,800	2,878	15,575	5,411
8	766,600	2,830	16,139	5,702
9	719,400	2,887	15,145	5,245
10	769,200	2,873	16,194	6,636

Observou-se que ensaio de trilhamento elétrico pelo PLA obteve maior resistência ao do ABS. A Figura 15 apresenta a imagem do corpo de prova após o ensaio.



Figura 15: Amostra de PLA após o ensaio de trilhamento elétrico.

As cinco amostras começaram com uma tensão de 1,5 kV. Como o método utilizado para realizar esse ensaio foi o segundo método da norma, ensaio em

degraus, a cada hora de teste a tensão subia 0,25 kV.

Observando-se a Tabela 2, nota-se que os cinco corpos de prova suportaram a tensão de 2 kV após três horas de ensaio sem sofrer nenhum dano. Quando a tensão subiu para 2,25 kV, quase ao fim do ensaio, o corpo de prova 4 entrou em combustão, sendo desconectado do circuito, e os demais suportaram o ensaio normalmente. Após mais duas horas de ensaio com a tensão em 2,75 kV, o corpo de prova 3 também entrou em combustão quase no final do ensaio e também foi desligado do circuito. Após

34 minutos com a tensão em 3,00 kV, o corpo de prova 1 também entrou em combustão. Os 5 minutos após a tensão subir para 3,25 kV o corpo de prova 5 atingiu a tensão de 60 mA por mais de dois minutos fazendo com que o sistema de proteção do equipamento desligasse o ensaio.

A Figura 16 mostra às oito horas de ensaio em que se observa que os corpos

de prova que entraram em combustão, 1,3 e 4 apresentaram elevada variação de corrente, na faixa de aproximadamente 20 mA a 30mA antes da queima. O corpo de prova 5 apresentou vários picos de corrente, mas excedeu o valor permitido pela norma com 425 minutos de ensaio. Já a amostra 2 teve uma baixa variação de corrente pois não estava recebendo tensão.

Tabela 2 – Resultados do ensaio de trilhamento elétrico do PLA

Resultados:	Tensão		Corpos de Prova				
	(kV)	Tempo (min)	1	2	3	4	5
	1,5	60	S	S	S	S	S
LEGENDA:	1,75	60	S	S	S	S	S
S- Suportou	2,00	60	S	S	S	S	S
T-Trilhou	2,25	60	S	S	S	C	S
C- Combustão	2,50	60	S	S	S	-	S
P- Proteção	2,75	60	S	S	C	-	S
E- Erodidi	3,00	60	C	S	-	-	S
	3,25	60	-	S	-	-	P

A amostra suportou a tensão de 3,00 kV conforme critérios da norma ABNT NBR 10296.

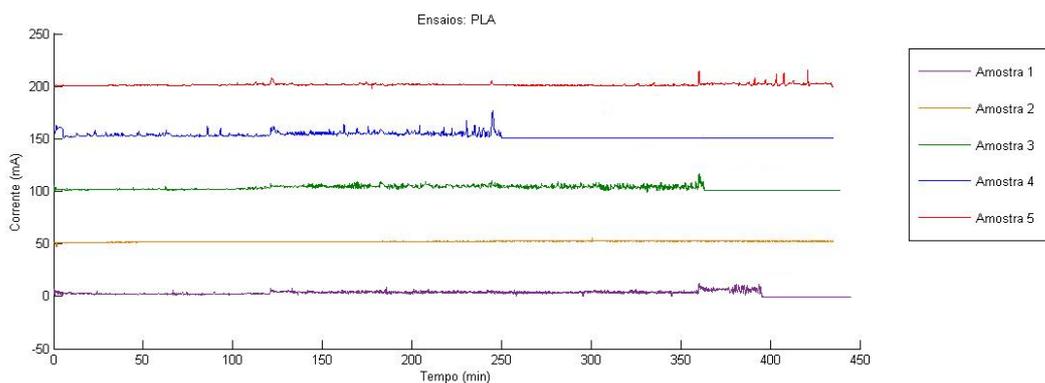


Figura 16 - Gráfico do ensaio de trilhamento elétrico no PLA

Apesar das amostras ABS terem se desgastado menos durante o ensaio, comparado com as amostras de PLA, o ABS mostrou uma baixa resistência ao trilhamento elétrico com tensão máxima de 1,75 kV, enquanto que o PLA aguentou uma tensão máxima de 2,00 kV. A Figura 17 mostra os corpos de prova de ABS após o ensaio.



Figura 17- Amostra de ABS após o ensaio de trilhamento elétrico.

As amostras de ABS foram submetidas ao mesmo formato de ensaio, tensão iniciada em 1,5 kV, segundo método da norma, ensaio em degraus.

Observa-se na Tabela 3 que as cinco amostras suportaram a tensão de 1,75 kV sem sofrer nenhum dano. Quando a

tensão subiu para 2,00 kV, o corpo de prova 5 excedeu a corrente de 60 mA após 18 minutos do ensaio iniciado, fazendo com que o sistema de proteção do equipamento desligasse o ensaio. O corpo de prova 5 foi desconectado do circuito e o ensaio foi retomado. Após quatro minutos de o ensaio ser religado, o corpo de prova 3 erodiu e também foi desconectada do circuito.

O corpo de prova 1 com 30 minutos de ensaio também excedeu a corrente de 60 mA ativando o sistema de proteção e interrompendo o ensaio. O corpo de prova 4 suportou mais 8 minutos de ensaio, antes de exceder a corrente máxima permitida pela norma.

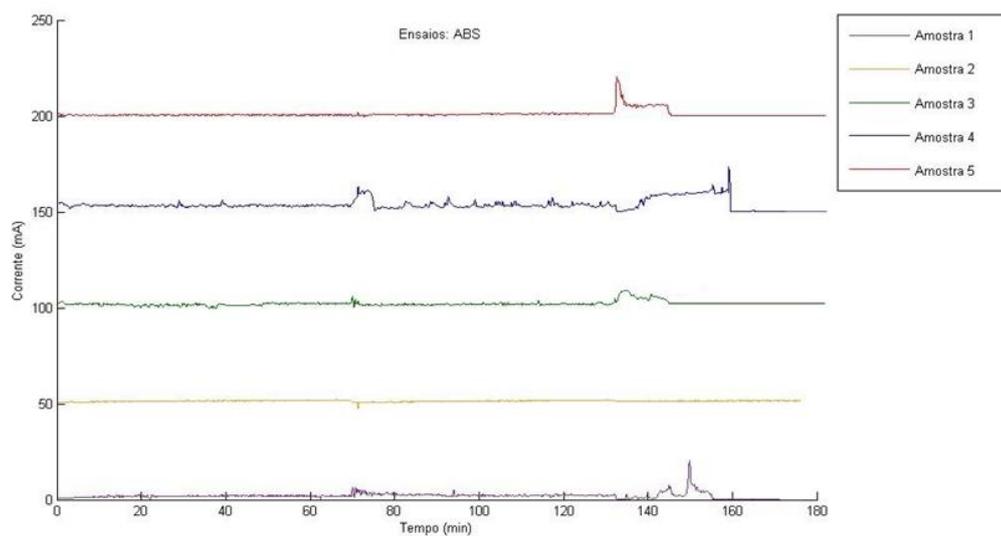
Observa-se na Figura 18 as três horas de ensaio em que todas as amostras falharam com 2 kV, sendo também possível observar os picos de corrente nos corpos de prova 1, 4 e 5. O corpo de prova 3 erodiu após 2 horas e 22 minutos

de ensaio e o corpo de prova 2 suportou todo o ensaio.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de trilhamento elétrico do ABS.

Resultados:	Tensão (kV)	Tempo (min)	Corpos de Prova				
			1	2	3	4	5
<i>LEGENDA:</i>							
<i>S- Suportou</i>	1,5	60	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>
<i>T-Trilhou</i>	1,75	60	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>	<i>S</i>
<i>C- Combustão</i>	2,00	60	<i>P</i>	<i>S</i>	<i>E</i>	<i>P</i>	<i>P</i>
<i>P- Proteção</i>							
<i>E- Erodido</i>							
A amostra suportou a tensão de 1,75 kV conforme critérios da norma ABNT NBR 10296.							

Fonte: Autora



Fonte: Autora

Conclusões

A análise das propriedades mecânicas dos polímeros, especificamente seu comportamento quando submetido a esforços de tração, mostraram que sua forma de obtenção influenciou em suas respostas a essas solicitações. Foi possível verificar que o módulo de elasticidade do ABS difere do módulo de elasticidade fornecido na literatura devido a sua obtenção. Para o PLA, o valor encontrado para o seu módulo de elasticidade foi satisfatório, porém não foi possível compará-lo com valores fornecidos na literatura por se tratar de um polímero novo.

Para o ensaio de trilhamento, o PLA foi muito resistente, porém quando atingiu sua tensão máxima de resistência queimou em um intervalo de tempo muito rápido. Torna-se necessário então em utilizações futuras a adição em sua composição um aditivo anti-chamas para retardar esse processo. O ABS por sua vez, mostrou-se pouco resistente, pois com uma tensão baixa conseguiu furar sua primeira camada, fazendo do material um condutor de corrente.

Os materiais apresentaram características compatíveis para serem utilizados como matéria para a fabricação de componentes elétricos.

Para estudos futuros, pretende-se desenvolver um material compósito desses dois, a fim de se agregar características desejadas dos dois materiais ao produto final.

Referências

AVIZ A. de; GUERRA C. A; GUERRA T. C. **Construção de Protótipos por Adição e Remoção de Material Comparativo entre Deposição em ABS x Usinagem CNC**. SENAI – Florianópolis, 2012.

ARAÚJO, R. G. **Análise das Propriedades Micro e Macroscópicas de Blendas de Poliamida 4,6/ Poliamida 6**. 2002. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais)- Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2002.

BRITO G. F.; AGRAWAL P.; ARAÚJO E. M.; MÉLO T. J. A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.6.2, p. 127-139, 2011.

DALCIN, G. B.; Célula Combustível: Uma Fonte de Energia Renovável e Limpa. **Anais III semana das engenharias – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões**. v.1,p. 72-77, 2007.

FALCONE D. M. B; AGNELLI J. A. M- Panorama Setorial e Perspectivas na Área de Polímeros Biodegradáveis. **Polímeros**, v.17,n.1,p.5-9, 2007.

FERNANDES, A. V. S.; MOTA F. A. O. Impressoras 3D: Uma compreensão da Evolução e Utilização. **Anais dos**

Simpósios de Informática do IFNMG-Campos Januária. 2016.

HAGE Jr, dr. E.. Aspectos Históricos sobre o Desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia de Polímeros. **Polímeros**.v.8, n.2, p. 6-9, 1998.

JAHNO, V. D. **Síntese e Caracterização do Poli(L-Ácido Láctico) para uso como Biomaterial.**2005. 94f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Porto Alegre, 2005.

MARTINS P. A. – **Uso de Aditivos não Tóxicos como Retardantes de Chama em ABS.** 2013.153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica)– Departamento de Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

PEREIRA R. B.; MORALES A. R. – Estudo do Comportamento Térmico e Mecânico do PLA Modificado com Aditivo Nucleante e Modificador de Impacto. **Polímeros**. v.24, n. 2, p. 198-202,2014.

PITT, F. D.;BOING, D.;BARROS A. A. C. Desenvolvimento Histórico, Científico e Tecnológico de Polímeros Sintéticos e de Fontes Renováveis. **Revista da UNIFEFE**. v.1, 2011.

SANTOS, R. M.; BOTELHO G.; MACHADO V.– Avaliação da Fotodegradação de ABS Exposto a Condições Naturais. **Ciência e Tecnologia dos Materiais**. v.22, n.1-2, p. 87-90, 2013.

SAURAMO, H. **The proliferation of a new-market disruptive innovation: case personal 3D printers.** 2014. 130f.

Dissertação (Mestrado International Bussines) -Aalto University School of Business- Finlândia, 2014.

SILVA, J. C da. **Desenvolvimento Histórico, Científico e Tecnológico dos Polímeros.**2014. 46f. Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação em Química)- Universidade Estadual da Paraíba. Campina Grande, 2014.

SILVA, R. F. **Trilhamento elétrico sobre Materiais Poliméricos pela Análise da Energia Absorvida Devido as Descargas Elétricas Superficiais.**2014. 126f. Tese (Doutorado (Engenharia e Ciência dos Materiais)- Universidade Federal do Paraná – Curitiba, 2014.

SILVA,S. F.C. **Caracterização Elétrica de Eletrólitos Poliméricos.** 2010. 91f.. Dissertação (Mestrado em Física) - Universidade Federal de Uberlândia – Uberlândia, 2010.

TAKAGAKI, L. K. **Tecnologia de impressão 3D.**p. 4-13. São Paulo: Faculdade Flamingo, 2012.

WIEBECK, H; HARADA, J. **Plásticos de engenharia.** 1 ed.São Paulo: ArtLiber Editora, 2005.352p.

HVEX, HIGH VOLTAGE EQUIPMENTS. Disponível em: <http://www.hvex.com.br>
Acesso em: 12/11/2016.