

AVALIAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS DE UMA PRÓTESE PARA CACHORROS DE MÉDIO PORTE DE MATERIAL PLA IMPRESSA EM 3D*

Andressa Pereira dos Reis Croucillo¹

José Dimas de Arruda²

Edilberto da Silva Souza²

José Sebastião dos Reis Silva²

Emerson Rodrigo Alves Tavares²

Cassio Roberto de Araújo²

Leandro Lopes Hermsdorff³

Luiz Claudio de Carvalho³

Resumo

O desenvolvimento de impressoras 3D permitiu uma maior produção de peças e próteses médicas provenientes de polímeros termoplásticos como PLA e ABS, para produção de filamentos. Este trabalho avaliou as características mecânicas de próteses impressas, em determinada temperatura, de filamento PLA. Foram impressos diversos corpos de provas, para a realização de testes de tração, verificando que a configuração com densidade 100%, espessura de 0,4 mm e direção de impressão de 45° e 135° apresentou melhor resultado de resistência mecânica. Realizaram-se também, simulações matemáticas para análise de resistência à queda e flambagem. O conjunto de testes físicos e matemáticos determinou que o PLA não atendeu os requisitos para aplicação deste como próteses.

Palavras-chave: PLA, polímero, impressora 3D, próteses.

EVALUATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF A PROSTATE FOR MEDIUM PUPPIES OF PLA MATERIAL IMPRESSED IN 3D

Abstract

The development of 3D printers allowed a greater production of medical parts and prosthesis from thermoplastic polymers like PLA and ABS, for the production of filaments. This work evaluated the mechanical characteristics of prostheses printed, at a given temperature, of PLA filaments. Several test bodies were used to perform tensile tests, verifying that the configuration with a density of 100%, a thickness of 0.4 mm and a printing direction of 45 ° and 135 ° showed the best mechanical resistance. Mathematical simulations were also performed for the analysis of resistance to fall and buckling. The set of physical and mathematical tests determined that the PLA did not meet the requirements for its application as prostheses.

Keywords: PLA, polymer, printer 3d, prosthetics.

¹ *Graduando em Engenharia Mecânica, Fundação Presidente Antônio Carlos, Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, Brasil.*

² *Engenheiro, Mestre, Professor da Fundação Presidente Antônio Carlos, Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, Brasil.*

³ *Bacharel em Física, Mestre, Professor da Fundação Presidente Antônio Carlos, Conselheiro Lafaiete, Minas Gerais, Brasil.*

1 INTRODUÇÃO

Segundo Alves¹, o desenvolvimento de produtos para saúde, de pessoas ou animais com necessidades específicas, estão cada vez mais diversificadas e cada vez mais exigentes quanto à necessidade de produtos personalizados. Estes produtos, denominados Tecnologia Assistiva (TA), constituem-se em dispositivos desenvolvidos para permitir uma maior funcionalidade aos envolvidos com incapacidades ou mobilidade reduzida, no auxílio de suas atividades da vida diária. Dentre estes se enquadram dispositivos mecânicos, órteses ou próteses, que são dispositivos mecânicos extracorpóreos com o objetivo de aumentar a independência, funcionalidade e desempenho biomecânico dos utilizadores.

Júnior⁴ na busca pela utilização de novas tecnologias em vários setores como os da indústria e do comércio de produtos para saúde, afirma que a prototipagem rápida se apresenta como uma solução de grande interesse, quando se leva em consideração o custo e o tempo de incorporação da mesma. Para Todd⁸ uma das principais aplicações da prototipagem rápida é na visualização antecipada de novos projetos, utilizando modelagens computacionais, quando estes ainda estão em fase de avaliação ou já em fase de concepção mais avançada.

Júnior⁴ afirma que comparado a processos tradicionais como usinagem, a impressão 3D, ou prototipagem rápida, consegue atender com mais rapidez as demandas requeridas, porém, as mesmas podem trabalhar de modo cooperativo, em que a deficiência de uma é suprida pela qualidade da outra, uma vez que são processos que necessitam de várias linhas para acabamento e diversos equipamentos para que o produto final seja entregue. Porém utilizando-se de impressão em 3D, é possível fazer produtos já com qualidade, atingindo o destino final de forma mais rápida.

Para Celentano², com o aumento da tecnologia e sofisticação empregada nas construções de novas e modernas impressoras, a sua gama de filamentos têm-se tornado cada vez maior. Atualmente, podem-se encontrar polímeros, compósitos, alimentos e até mesmo tecidos humanos sendo utilizados para impressão dos mais diversos produtos.

A produção de próteses mecânicas para animais com deficiências utilizando a prototipagem rápida é utilizada comumente com dois materiais poliméricos, o Acrilonitrila butadieno estireno – ABS e o Politereftalato de etileno glicol – PETG. O ABS é um termoplástico leve e rígido, possui flexibilidade e resistência na absorção de impacto médias, utilizado em diversos produtos, podendo ter diversas formas e cores, através da moldagem térmica a altas temperaturas e adições de pigmentos. As características do ABS faz com que este material tenha uma boa aplicação na utilização de próteses mecânicas, afirma Celentano². Sanches⁶ realizou ensaios de tração no material ABS normal e ABS envelhecido, em todos os casos a ruptura do material ocorreu com valores de tensões superiores a 25Mpa.

Em seu estudo, Reis⁵ diz que o PETG é um termoplástico derivado do petróleo, porém reciclável assim como o PET, utilizados na indústria há vários anos com aplicações em tubulações, próteses e brinquedos, e mais recentemente, sendo usado na impressão 3D. Resiste a altas temperaturas, porém inferior ao ABS, o que o torna aplicável a peças que precisem de transparência ou encaixes com maior flexibilidade e alta resistência mecânica. Um grande diferencial desse material é sua resistência química a diversos tipos de solventes existentes no mercado. Não possui contra indicações de uso, podendo ser utilizado em diversas peças e aplicações.

Ecologicamente é melhor que o ABS por ser reciclável, porém pior que o Poli (ácido láctico) - PLA que é biodegradável.

De acordo com Simões⁸, o PLA é um termoplástico biodegradável (Bióplástico) derivado de fontes renováveis como amido de milho, raízes de mandioca e de cana de açúcar. É um material bastante rígido e resistente, difícil de deformar ou flexionar, com uma alta dureza que o torna com baixa resistência ao impacto. Sua alta fluidez e baixa contração durante o processo de extrusão permite a produção de peças com alta precisão dimensional e bom acabamento superficial. É um material indicado para produção de protótipos que não sejam submetidos às condições de altos esforços mecânicos e atritos ou altas temperaturas. Estes fatores implicam no processo de desgaste deste material. A Tabela 1 apresenta algumas propriedades do PLA.

Tabela 1 - Dados Técnicos do Plástico PLA. (Simões, 2009)

Propriedades	UNIDADE	PLA
Ponto de fusão	°C	190-220
Tensão de rendimento	MPa	62,63
Alongamento de ruptura	%	4,43
Resistência a Flexão	MPa	65,02
Módulo de Flexão	MPa	2504,4
Resistência ao impacto	kJ/m ²	4,28

Segundo Silva⁷, para realizar a impressão em 3D, existem sete tipos principais de técnicas de prototipagem rápida comercializadas no mercado:

- Estereolitografia;
- Manufatura de Objetos em Lâminas;
- Sinterização Seletiva a Laser;
- Modelagem por Deposição de Material Fundido;
- Impressão por Jato de Tinta;
- Método da impressão a jato de tinta "PolyJet";
- Conformação Próxima ao Formato Final via Laser.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho apresenta a metodologia para a construção de uma prótese canina que será utilizada para a pata dianteira utilizando impressão em 3D. Foram utilizados Poli (ácido láctico) – PLA na construção de corpos de prova para ensaio de tração de acordo com a norma ASTM D638, Figura 1a. Estes corpos de provas foram obtidos por impressão 3D, utilizando uma impressora SETHI AIP 3, Figura 1b, com temperatura de mesa em 60°C, temperatura de extrusor em 200°C e com filamento de espessura 1.5mm. Os corpos de prova foram impressos variando a densidade de impressão, direção e espessura da camada de impressão como mostrado na Figura 1c. Foram impressos três corpos de prova para cada amostragem, todos para o ensaio de tração. Os resultados foram plotados a partir do Matlab.

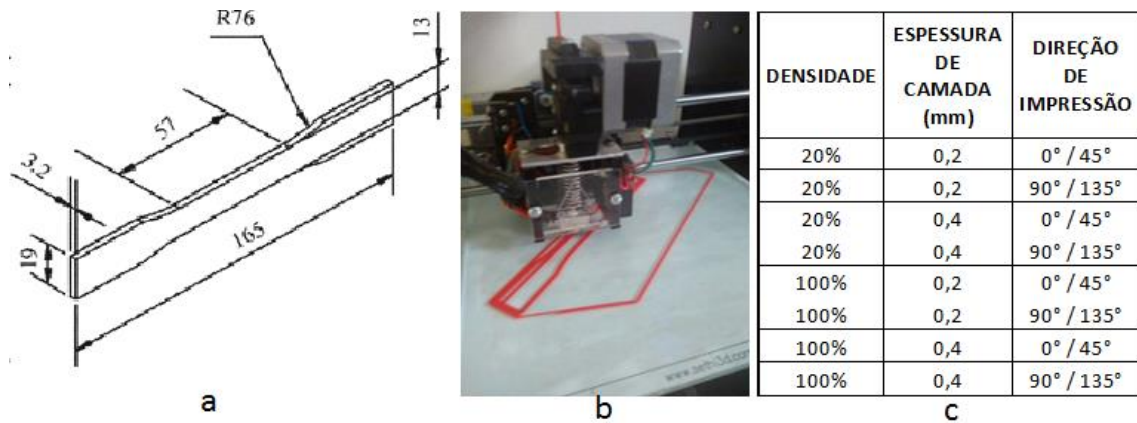


Figura 1 – a- Modelo de corpo de prova ASTM D638 (dimensões em milímetros); b- Modelo de impressora SETHI AIP 3; c- Características dos corpos de provas impressos. (Pesquisa Direta, 2016)

Realizaram-se ensaios mecânicos de tração, com o objetivo de analisar a resistência mecânica do material a ser empregado na construção das próteses. O equipamento utilizado foi o DL5000/10000, com capacidade de carga de até 10.000kgf, que compõe o conjunto instalado no Laboratório de Caracterização de Materiais da Fundação Presidente Antônio Carlos.

Além dos ensaios de tração, foram realizadas simulações no software solidworks, em um modelo de prótese com altura de 15cm e raio de 4cm, do mesmo material PLA, utilizando como base, para fins de cálculos, um modelo de cachorro com peso mínimo de 10kg e máximo de 20kg, para avaliação das características mecânicas desse material na aplicação desejada. Foram simulados os testes de flambagem e de queda. Para estes, foram utilizados corpo sólido PLA, modelo isotrópico linear elástico, com resistência a tração de 62,63N/mm², densidade 800kg/m³, módulo de elasticidade 2000N/mm² e coeficiente de poisson 0,43.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Ensaios de Tração

A Figura 2 mostra a curva tensão x deformação para o corpo de prova com densidade de 20%, na direção de impressão da camada 0°/90°, com espessura da camada de 0,2mm. Esta configuração do material suportou uma tensão de 25,55KPa, atingindo uma deformação máxima de 0,07. A Figura 3 é uma análise de tensão x deformação com o mesmo material apresentado na Figura 2, alterando apenas a espessura para 0,4mm. Observa-se uma tensão máxima de 20,53KPa com deformação máxima de 0,051. Além de suportar maiores tensões, o material com espessura de 0,2mm apresentou um início de deformação plástica, comportamento não observado na espessura de 0,4mm. Os dois materiais fraturaram com um tempo inferior a 10s de teste.

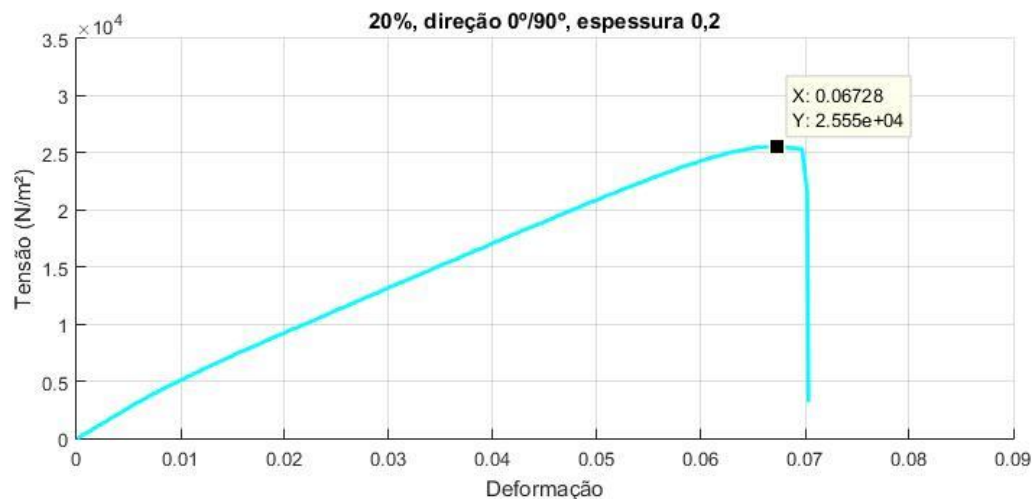


Figura 2 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 20\%$; Direção = 0º/90º; espessura = 0,2mm.

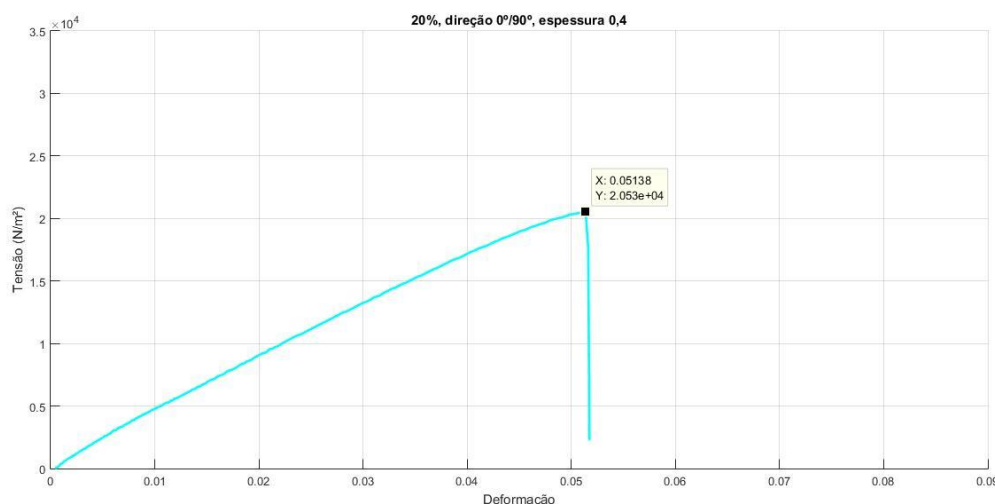


Figura 3 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 20\%$; Direção = 0º/90º; espessura = 0,4mm.

Para as análises das Figuras 4 e 5, a direção da impressão da camada do PLA foi de 45º/135º, mantendo a densidade de 20%. Obteve-se uma tensão de 25,86KPa e deformação máxima de 0,068 para a espessura de 0,2mm. Para a espessura de 0,4mm estes valores foram 22,67KPa e 0,086 respectivamente. Novamente, o material que suportou maior tensão foi o de menor espessura, porém, apresentou menor deformação plástica, comparado ao de espessura 0,4mm. Este corpo de prova de maior espessura fraturou com um tempo de teste 20% maior que o de espessura 0,2mm.

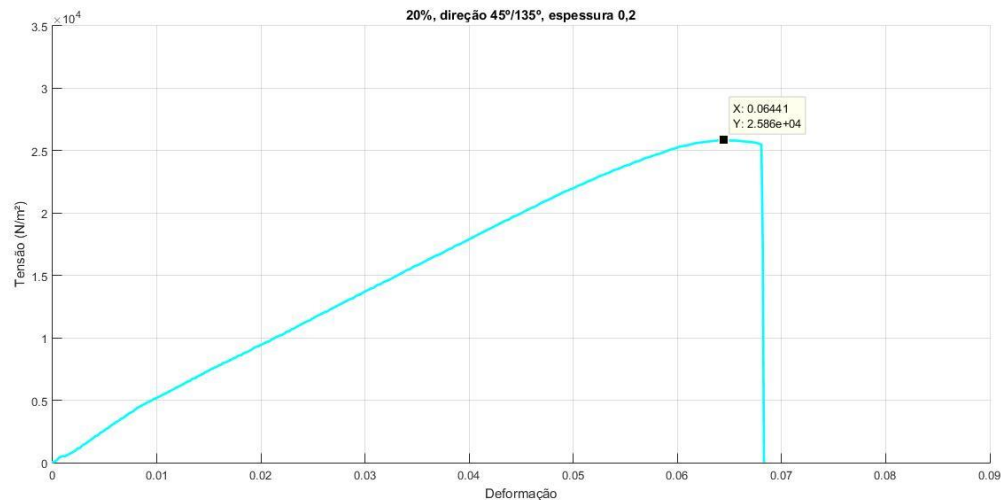


Figura 4 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 20\%$; Direção = $45^\circ/135^\circ$; espessura = 0,2mm.

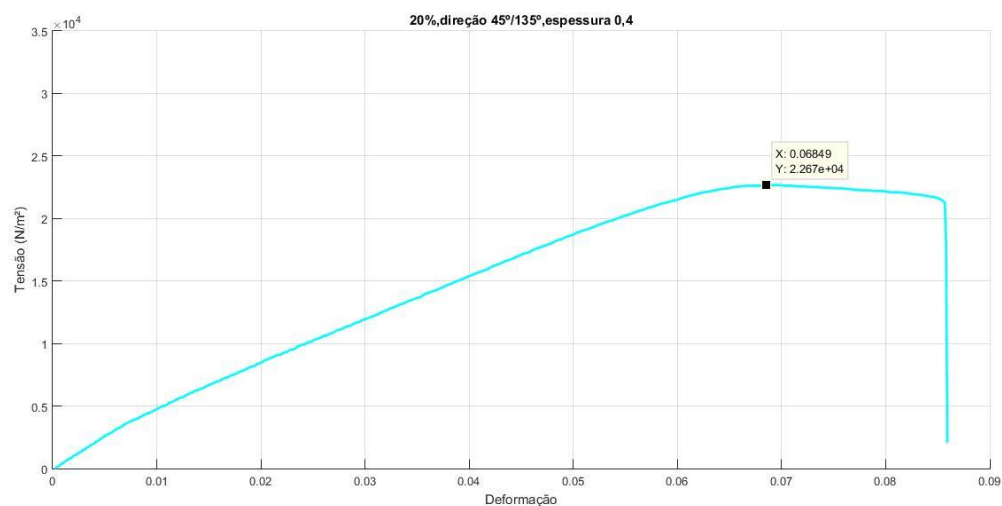


Figura 5 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 20\%$; Direção = $45^\circ/135^\circ$; espessura = 0,4mm

Comparando todas as configurações com densidade 20%, observou-se que para a espessura 0,2mm, Figuras 2 e 4, o comportamento da curva tensão deformação são semelhantes, com valores de tensão e deformação próximos. Para a espessura de 0,4mm, Figuras 3 e 5, ambas as direções de impressão suportaram tensões aproximadamente iguais, porém o material com maior espessura apresentou maior deformação plástica. Dentre as quatro configurações para a densidade de 20%, a que apresentou maior ductilidade foi a de impressão na direção $45^\circ/135^\circ$ e espessura 0,4mm.

Analisou-se também o material impresso com densidade de 100%. As Figuras 6 e 7 mostram a configuração para direção de impressão de $0^\circ/90^\circ$, com espessuras de 0,2mm e 0,4mm, respectivamente. O material de menor espessura suportou uma tensão máxima de 33,85KPa e uma deformação total de 0,073, enquanto o corpo de prova com 0,4mm de espessura de impressão suportou uma tensão máxima de 34,27KPa e uma deformação total de 0,062. A carga máxima suportada pelo PLA não variou quanto à espessura de impressão, mas uma maior deformação total foi observada para a espessura de impressão igual a 0,2mm.

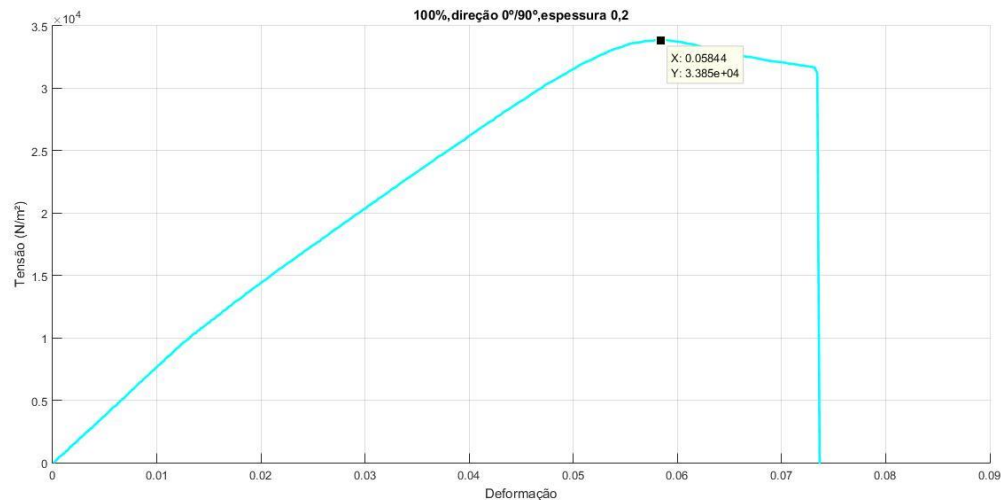


Figura 6 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 100\%$; Direção = $0^\circ/90^\circ$; espessura = 0,2mm

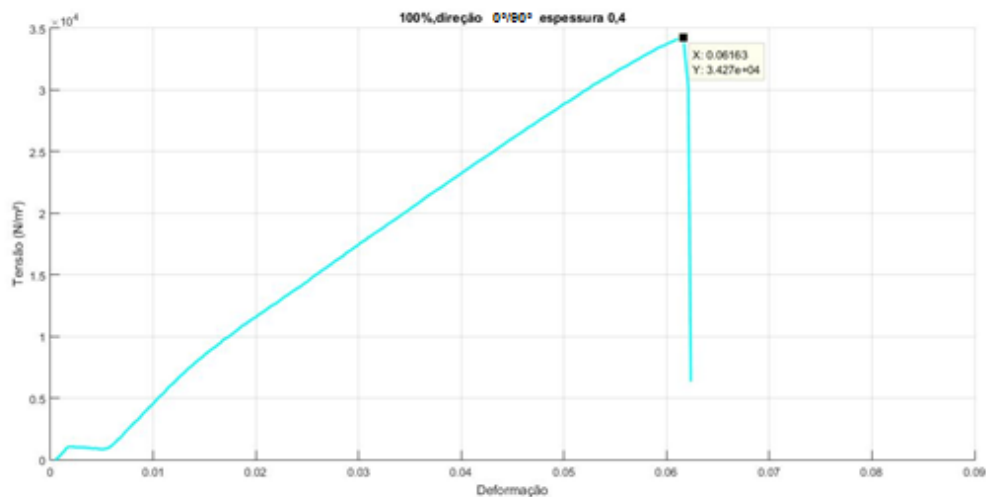


Figura 7 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 100\%$; Direção = $0^\circ/90^\circ$; espessura = 0,4mm

Para o material com densidade de 100% e direção de impressão de $45^\circ/135^\circ$, tem-se o gráfico da Figura 8, com o material de espessura 0,2mm, que suportou uma tensão máxima de 34,8KPa e deformação máxima de 0,065; e o gráfico da Figura 9, com o material de espessura 0,4mm, que suportou uma tensão máxima de 24,40KPa e uma deformação máxima de 0,088. O maior efeito da espessura de impressão foi para esta última configuração, em que o material com espessura de 0,4mm atingiu o maior valor de deformação. O material de espessura igual a 0,4mm suportou um tempo 25% maior de processo, comparado ao de espessura 0,2mm, para o valor de densidade 100% e direção de impressão $45^\circ/35^\circ$.

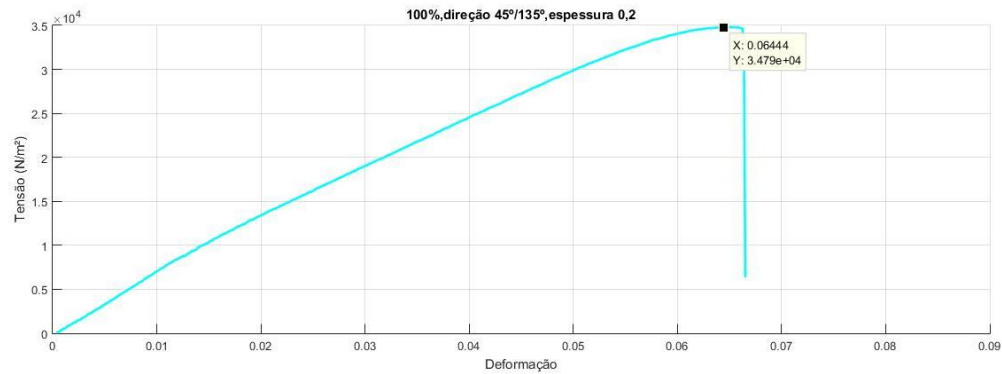


Figura 8 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 100\%$; Direção = $45^\circ/135^\circ$; espessura = 0,2mm

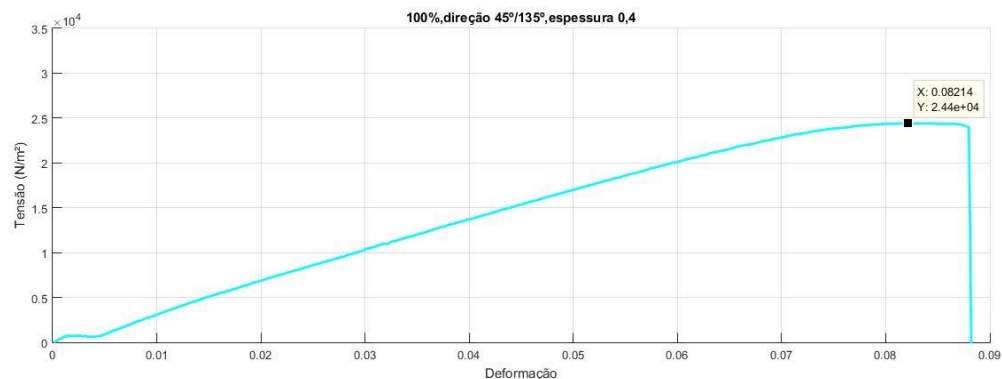


Figura 9 – Gráfico tensão deformação PLA: $\rho = 100\%$; Direção = $45^\circ/135^\circ$; espessura = 0,4mm

Comparando os materiais de densidade 100% e espessura 0,2mm, variando a direção de camada impressa $0^\circ/90^\circ$, Figura 6, e $45^\circ/135^\circ$, Figura 8, observa-se que os dois materiais rompem em tensões aproximadamente iguais, porém com uma deformação plástica superior para a direção de impressão $0^\circ/90^\circ$. Fazendo a mesma comparação para a espessura de 0,4mm, direção de camada impressa $0^\circ/90^\circ$, Figura 7, suportou uma maior tensão aplicada, mas a impressão na direção $45^\circ/135^\circ$, Figura 9, teve uma maior deformação plástica.

Comparando as duas densidades estudadas observou-se que em todos os casos o material suportou maiores tensões até a ruptura para densidade de 100%. Observou-se também que os maiores valores de deformação entre todos os casos foram observados na direção de impressão $45^\circ/135^\circ$ e densidade de 100%. Esta análise implica que o material PLA possui maior resistência mecânica em maiores densidades de impressão, e na direção a 45° em relação à direção normal das suas cadeias carbônicas.

As diferenças de resistência mecânica encontradas em cada configuração estudada foram pequenas e nenhuma das situações determinou que este material possui resistência mecânica que possa ser aplicado em próteses de animais de baixo porte, como proposto inicialmente no trabalho. A resistência mecânica encontrada nos testes de tração do PLA está coerente com os dados teóricos de Simões⁸, em que este polímero possui maior dureza e menor ductilidade que o ABS. As tensões máximas do ABS, como apresentados por Sanches⁶, são muito superiores ao do PLA e por isso o ABS é o material mais indicado na aplicação para próteses de animais.

3.2 Simulação Computacional do PLA

A primeira simulação realizada foi o teste de queda, em que as tensões foram variadas para calcular as deformações possíveis em um impacto inicial do produto com uma superfície rígida ou flexível. À medida que o produto se deforma, os impactos internos e externos secundários também são calculados, localizando fragilidades ou pontos de falha, assim como tensões e deslocamentos. A Figura 10 mostra o perfil de tensões ao longo de uma peça de PLA após o teste de queda.

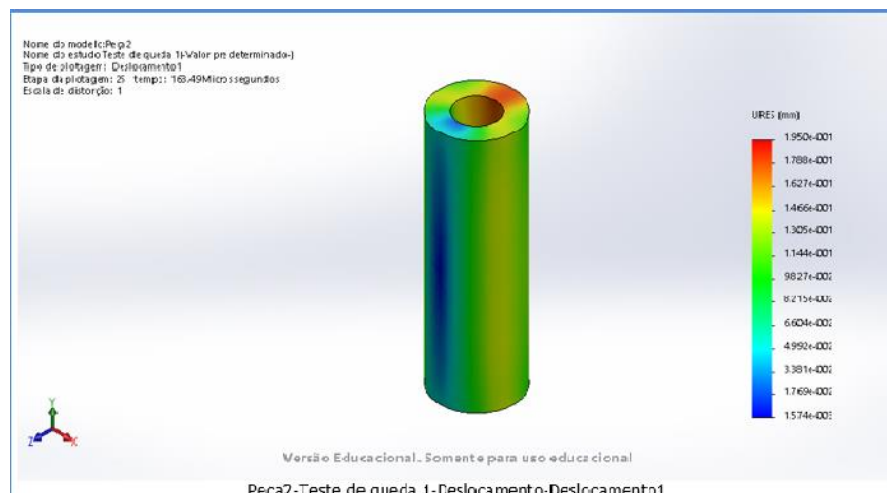


Figura 10 – Simulação do teste de queda.

Observaram-se concentrações de tensão na superfície da prótese, onde ela sofreria maior desgaste devido à carga aplicada, a simulação foi feita com uma carga de 20kg, para que pudesse atender ao peso máximo que esse animal poderia ter. Em um contexto geral ela apresenta um bom aspecto, mas com características de um material frágil, com ruptura eminente.

Na simulação de flambagem, uma extremidade foi fixada, aplicando a carga na outra extremidade, o fenômeno de flambagem foi observado quando se aplica a força máxima, diminuindo a vida útil da prótese como mostrado na Figura 11.

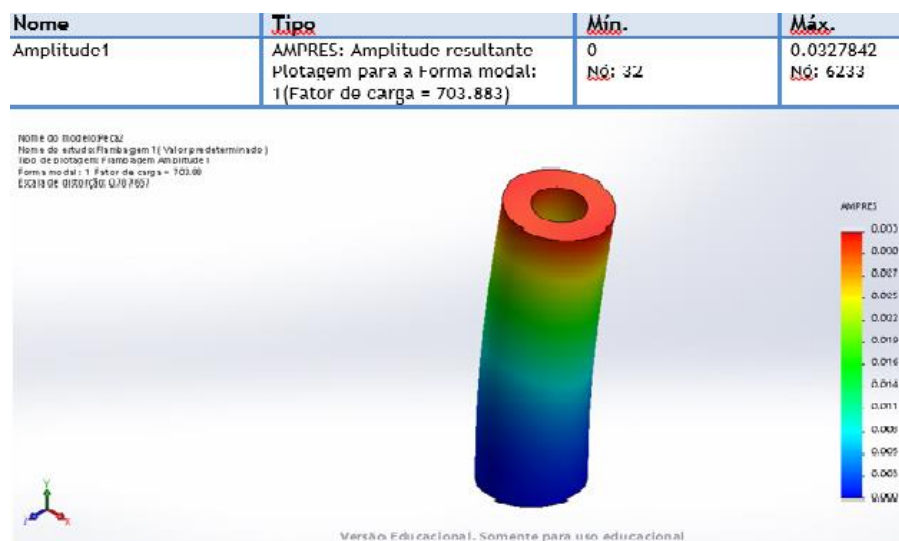


Figura 11 – Simulação do teste de flambagem.

4 CONCLUSÕES

Os resultados permitem inferir que:

- Os ensaios mecânicos realizados nos corpos de prova demonstraram que a tecnologia do material empregado para a construção da prótese indica que não houve o atendimento às exigências com relação à segurança e a qualidade do produto. Realizando os ensaios observou-se que o PLA não resiste aos esforços solicitados.
- O método de impressão que competiu ao material uma maior resistência mecânica foi o de densidade 100%. Apesar da amostra com impressão na direção 45°/135° ter apresentado melhores valores de ductilidade, observou-se baixa deformação do PLA, ou seja, baixa ductilidade, implicando em uma fratura frágil do material que impossibilita sua aplicação na construção das próteses.
- Nas simulações realizadas no SolidWorks foi verificado o não atendimento das características de resistência que o material deveria ter para tal aplicação. No teste de queda e flambagem houve altas concentrações de tensões e pontos de rompimentos, fazendo com que as próteses tivessem um curto período de vida, não justificando a aplicação desse material, apesar dele apresentar melhores condições econômicas e ambientais que os materiais geralmente empregados.

REFERÊNCIAS

- 1 ALVES, D. C. C. Aspectos ergonômicos relevantes para a concepção de tecnologia assistiva: órteses de membros inferiores. [s.l.] Universidade do Minho, 2012.
- 2 CELENTANO, C. G. J. T. D. Caracterización mecánica de materiales termoplásticos de uso en componentes de refrigeradores. Anais: 3º Congreso Internacional en Ciencia y Tecnología de Metalurgia y Materiales, n.4, p. 298–301, 2003.
- 3 GORNI, A. A. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. 2001. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acesso: 03 out. 2016.
- 4 JUNIOR, A. S. Análise Comparativa entre os Processos de Prototipagem Rápida na Concepção de novos Produtos: Um Estudo de Caso para Determinação de Processo mais Indicado. [s.l.] Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2008.
- 5 REIS, Tiago. Conheça os diferentes tipos de materiais para impressão 3D FDM Disponível em: < <http://www.impresao3dfacil.com.br/conheca-os-diferentes-tipos-de-materiais-para-impressao-3d-fdm/>>. Acesso em: 05 outubro 2016.
- 6 Sanches E. M. S.; Felisberti M. I. Propriedades Mecânicas de Tração do ABS Pós Consumo, Anais do 6º Congresso Brasileiro de Polímeros, pgs 1099 a 1101, 2001, Brasil.
- 7 SILVA, Jorge Ribeiro da Cunha. Método de concepção de articulações flexíveis em impressoras 3D. Trabalho de Conclusão de curso. Universidade de Brasília. Brasília, 2014.
- 8 SIMÕES, C.L, Mechanical Properties of Poly(lactic acid) Blends. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 112, 2009.
- 9 TODD G. User's Guide to Rapid Prototyping. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers, 2004.