



ANÁLISE DE DESGASTE EM CORPOS DE PROVAS DE PLA POR IMPRESSÃO 3D

Natali Bomfim dos Santos, natali.bomfim@gmail.com
Leonardo Gigante Oliveira Matos, leonardo.gigante@unifesp.br
Vaneide Gomes, vgomes@uesc.br

UESC, Rodovia Jorge Amado, Km 16, Bairro Salobrinho. Ilhéus/BA – CEP: 45662-900
UNIFESP, Rua Talim, nº 330, Vila Nair - São José dos Campos/SP – CEP: 12231-280

***Resumo.** Tribologia é a ciência que estuda o desgaste. Dessa forma, este trabalho avalia, do ponto de vista tribológico, o comportamento do PLA utilizado na manufatura aditiva. Os polímeros são muito utilizados na manufatura aditiva, como por exemplo na impressão 3D. O ácido polilático (PLA) é um polímero reciclável e biodegradável, utilizado para fabricação de fios de sutura na medicina, como também em embalagens de alimento entre outras aplicações. Após a impressão das amostras na impressora 3D, as mesmas foram pesadas e submetidas ao ensaio de rugosidade, e por fim realizou-se o ensaio de desgaste no tribômetro, submetendo as amostras a cargas de 10N, 20N e 30N. Por meio ensaio tribológico pode-se avaliar o comportamento do material quando submetido a diferentes cargas e a análise do coeficiente de atrito. Todos os testes foram realizados em triplicada.*

***Palavras chave:** Tribologia, Polímeros, Manufatura aditiva, Desgaste*

1. INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva popularizou-se nos últimos anos através das impressões em 3D. Os materiais mais comuns utilizados na impressão em 3D são os polímeros, devido ao baixo custo e facilidade de impressão, se comparado com outros materiais. Características como: ótima relação peso/resistência, moldabilidade em geometrias complexas, flexibilidade, baixo gasto de energia para processamento e fabricação de peças, boa resistência química, baixa condutividade térmica e elétrica, tornaram os polímeros mais populares não só na indústria como também em nosso cotidiano. (Kanani, 2006)

Os polímeros podem ser distribuídos em dois grandes grupos: naturais e sintéticos. Sendo que os naturais foram os padrões utilizados pelos pesquisadores após a Segunda Guerra Mundial, durante o desenvolvimento da Química de Polímeros (Mano & Mendes, 2004). A palavra polímero tem origem do grego em que “poli” significa muitos e “meros” significa unidade de repetição. Dessa forma, um polímero é uma macromolécula composta por muitas, geralmente dezenas de milhares, de unidades repetidas que estão ligadas por ligação covalente. Dessa forma, a matéria prima para produção de um polímero é o monômero, ou seja, uma unidade de repetição (Canevarolo, 2006).

O polímero de interesse no presente trabalho é o PLA, que é o ácido polilático; tem-se esse nome pois é formado por monômeros de ácido lático. O ácido lático é um composto orgânico formado a partir do ácido carboxílico e álcool. Através do amido, bactérias produzem o ácido lático por meio da fermentação de vegetais ricos no mesmo. Não se deve confundir o PLA com um plástico de amido ou amido termoplástico, pois no PLA o amido é usado apenas para produção do ácido lático (eCycle, 2019).

O PLA é um biopolímero termoplástico muito utilizado na fabricação de fios para sutura, cápsula para liberação lenta de alguns fármacos como também na fabricação de embalagens (Serna et al, 2003). Além disso, o filamento deste polímero é muito utilizado em impressões 3D, e facilmente encontrado em sites de lojas especializadas. Este biopolímero tem chamado atenção de pesquisadores devido a sua degradabilidade.

A palavra tribologia tem origem do grego em que “tribo” significa esfregar, “logos” significa estudo. Esse termo foi utilizado pela primeira vez em 1966 por H. Peter Jost num relatório escrito para o comitê inglês de educação e ciência, o qual definiu-se o termo como “a ciência e tecnologia de superfícies interativas e em movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionados” (Jost, 1990).

Devido à sua natureza multidisciplinar, o conceito de tribologia foi universalmente negligenciado. Como resultado direto dessa negligência, grandes somas de dinheiro foram perdidas devido ao uso e desgaste desnecessários e suas consequências (Jost, 1990).

Os polímeros tem encontrando uso crescente para inúmeras aplicações industriais em alguns exemplos como componentes deslizantes como rolamentos, vedações, engrenagens, cames, rodas, anéis de pistão, correias de transmissão,

moinho e embreagens onde suas propriedades auto lubrificantes são exploradas evitando assim a necessidade de lubrificação com óleo ou graxa com seus problemas de contaminação (Muhammad & Asaduzzaman, 2012).

Ainda segundo (Muhammad & Asaduzzaman, 2012) os parâmetros que ditam o desempenho tribológico dos polímeros são: a estrutura molecular do polímero, processamento, tratamento, propriedades, comportamento viscoelástico, textura de superfície.

Os testes de atrito e desgaste devem simular com precisão as condições de operação na qual o componente será submetido. Os testes de atrito e desgaste acelerados, são conduzidos para classificar o componente candidato para uma máquina ou um material (Bhushan, 2013).

De acordo com (Bhushan, 2013) o ensaio pin-on-disc é o mais utilizado durante o desenvolvimento de materiais e aplicações tribológicas. Neste aparelho pino é mantido estacionário e o disco gira. No presente trabalho, o ensaio de desgaste foi do tipo pin-on-flat. Neste aparelho, a mesa se movimenta em relação a um pino estacionário. Entretanto, em alguns casos, a mesa é estacionária e pino movimenta-se (Bhushan, 2013). Esse tipo de ensaio pode ser feito utilizando lubrificantes, ou a seco.

2. METODOLOGIA

As amostras foram produzidas na Impressora 3D de Código Aberto Modelo Kossel, presente no LAPMET (Laboratório de Projetos Mecânicos e Tribologia), utilizando-se o filamento de PLA de cor rosa, da marca 3D Prime. A geometria dos corpos de provas foi desenhada no Solidworks com as seguintes dimensões: 5 mm de espessura, e o comprimento e largura de 40 mm; e posteriormente salvo no formato STL, pois o sistema da impressora 3D reconhece esse formato para impressão. Os parâmetros utilizados para impressão dos corpos de provas foram: diâmetro da extrusora 0,40 mm; altura da primeira cama 0,200 mm; quantidades de camada inferior igual a 4; quantidades de camada superior igual a 4; número de linhas de contorno igual a 2; porcentagem de preenchimento (infill) igual a 100%; temperatura da extrusora foi 210°C; mesa aquecida a 65°C e diâmetro do filamento igual a 1,75 mm.

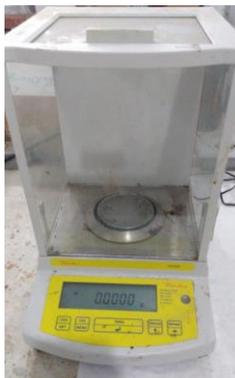
Na Figura 1, tem-se uma imagem durante a impressão de um dos corpos de provas.

Figura 1. Corpo de prova durante a impressão (Autora, 2019)



Posteriormente as amostras foram limpas com álcool, enxugadas o excesso com papel toalha, e por seguinte aferidas suas respectivas massas, numa balança de quatro dígitos de precisão presente no LAMMA (Laboratório de Materiais e Meio Ambiente). Efetuou-se três medidas em cada amostra. Na Figura 2 tem-se apresentada a balança utilizada no presente trabalho.

Figura 2. Balança utilizada para aferição das massas dos corpos de provas (Autora, 2019)



Após a aferição das massas, as amostras foram submetidas ao ensaio de rugosidade, e para tal utilizou-se o rugosímetro. O aparelho utilizado possui apenas três valores para o cut off os quais são: 0,25mm, 0,8mm e 2,5mm. Os valores de Ra (rugosidade média) ficaram entre $2\mu\text{m}$ e $10\mu\text{m}$, assim o valor do cut off adotado foi de 2,5 mm. Este ensaio também foi realizado no LAPMET. Na Figura 3 tem-se uma imagem das regiões em que se realizou o ensaio de rugosidade, pois nessas regiões realizou-se também o ensaio de desgaste, no tribômetro, com diferentes cargas. Na Figura 4 tem-se apresentado o rugosímetro utilizado no ensaio de desgaste

Figura 3. Regiões selecionadas para ensaio de rugosidade (Autora, 2019)

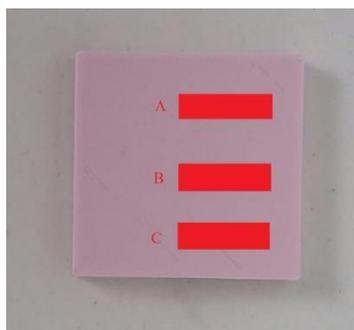


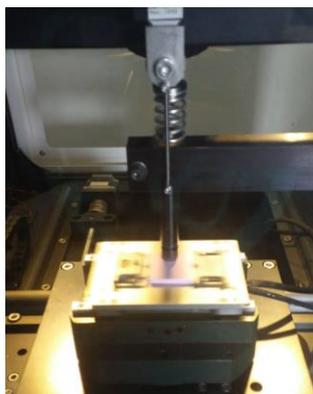
Figura 4. Ensaio de rugosidade realizado em uma das peças (Autora, 2019)



Os testes de desgaste realizaram-se em um tribômetro pin-on-flat (“reciprocating”) sob condições de deslizamento a seco. Os corpos de provas foram submetidos a cargas de 10N, 20N e 30N, um total de três ensaios por amostra, ou seja, nove ensaios. O tempo por ensaio foi de 30 minutos.

Para o teste de desgaste o material foi submetido a 2851 ciclos, com um curso de deslizamento de 14 milímetros, totalizando 400 m de deslizamento, com velocidade constante em 0,224 m/s com frequência de 8 Hz. Na Figura 5 tem-se representado o ensaio realizado no tribômetro.

Figura 5. Ensaio de desgaste, realizado no tribômetro (Autora, 2019)

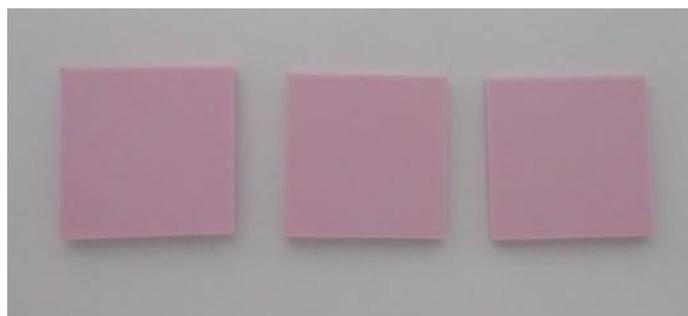


Ao término de cada etapa do ensaio de desgaste, aferiu-se novamente as massas dos corpos de provas. realizou-se análise de desgaste e posteriormente a análise do coeficiente de atrito do material.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 6 apresenta os corpos de provas impressos pela impressora 3D.

Figura 6. Corpos de provas impressos (Autores)



Na Tabela 1 a seguir têm-se os valores das massas dos corpos de provas, antes do ensaio de desgaste.

Tabela 1. Valores das massas das amostras após a impressão (Autora, 2019)

Amostras	Medida 1 (g)	Medida 2 (g)	Medida 3 (g)	Média (g)
Amostra 1	9,7421	9,7412	9,7416	9,7416
Amostra 2	9,7146	9,7144	9,7143	9,7144
Amostra 3	9,6776	9,6785	9,6783	9,6781

Observa-se que os valores das massas foram muito próximos, e que a diferença entre as médias das massas não chega a 0,2 g.

Na Tabela 2, tem-se os valores obtidos no ensaio de rugosidade, como também a média desses valores, para cada amostra, e sua respectiva região, como ilustrado na Fig. 3.

Tabela 2. Rugosidade superficial das amostras (Autora, 2019)

Amostra	Pontos	Medidas Ra (μm)			
		1	2	3	Média
1	A	7,20	8,32	7,36	7,63
	B	7,76	7,56	7,64	7,65
	C	8,32	8,76	8,72	8,60
2	A	6,92	6,92	6,92	6,92
	B	6,52	6,48	6,48	6,49
	C	7,12	7,76	7,48	7,45
3	A	8,44	8,44	8,32	8,40
	B	9,20	9,20	10,03	9,48
	C	10,48	10,88	11,20	10,85

Analisando a Tabela 3, observa-se que mesmo após a realização do último ensaio de desgaste, a perda de material não chega a 0,02g em todas as amostras. Nas amostras 1, 2 e 3 as perdas de matéria foram de 0,0155g, 0,0136g e 0,0131g respectivamente. Esses valores foram calculados subtraindo da média das massas das amostras antes do ensaio de desgaste, o valor das massas das amostras obtidas no após a realização do último ensaio.

Resultados do coeficiente atrito das amostras estão apresentados nos gráficos representados nas Fig. 8, Fig. 9 e Fig. 10. A Figura 7 mostra o estado dos corpos de prova após os ensaios, notar que o desgaste sofrido para 10N foi maior que para as demais forças.

Figura 7. Amostras após o ensaio de desgaste (Autora, 2019)

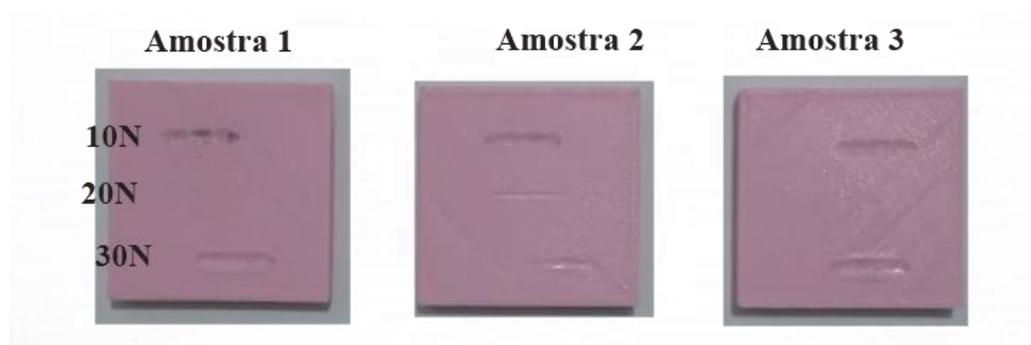


Tabela 3. Resultado as massas das amostras após os ensaios de desgaste (Autora, 2019)

Amostra	Pesagem	Massa (g)		
		10N	20N	30N
1	1	9,7354	9,7298	9,7261
	2	9,7349	9,7296	9,7261
	3	9,7337	9,7295	9,7262
	Média	9,7347	9,7296	9,7261
2	1	9,7049	9,7023	9,7009
	2	9,7048	9,7022	9,7008
	3	9,7054	9,7019	9,7007
	Média	9,7050	9,7021	9,7008
3	1	9,6706	9,6689	9,6652
	2	9,6706	9,6688	9,6653
	3	9,6706	9,6689	9,6651
	Média	9,6706	9,6689	9,6652

Figura 8. Gráfico do coeficiente de atrito em função do tempo, amostra1 para as forças de 10, 20 e 30N (Autores, 2019)

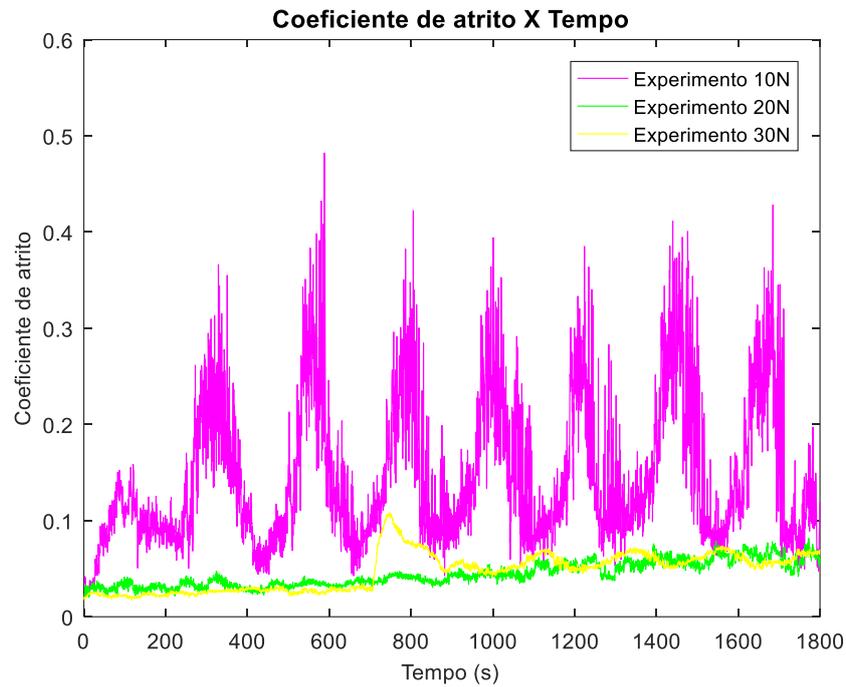


Figura 9. Gráfico do coeficiente de atrito em função do tempo, amostra 2 para as forças de 10, 20 e 30N (Autores, 2019)

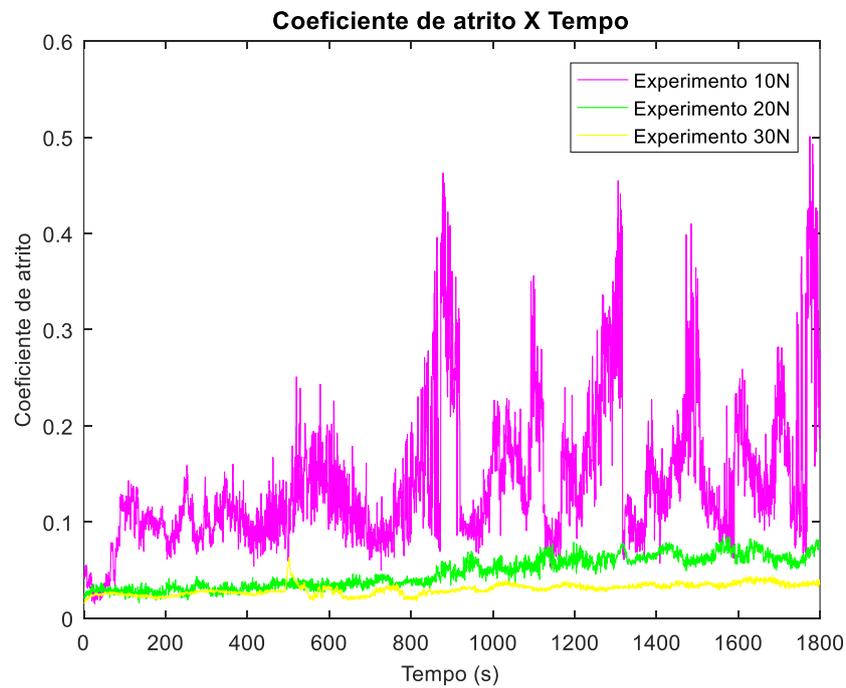
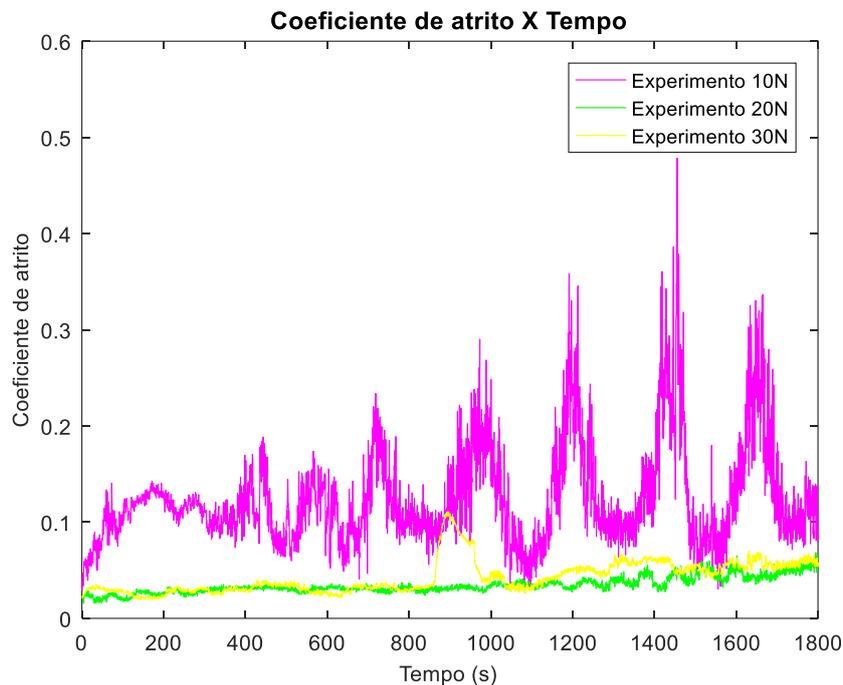


Figura 10. Gráfico do coeficiente de atrito em função do tempo, amostra 3 para as forças de 10, 20 e 30N (Autores, 2019)



Comparando os resultados das amostras, para carga de 10N, percebe-se que as amostras 2 e 3 obtiveram um comportamento semelhante, e valores do coeficiente atrito bem próximos durante todo o ensaio. Na amostra 2 houve três picos nos valores do coeficiente de atrito em tempos de aproximadamente 900s, 1300s e 1800 s. Já amostra 3 houve um pico mais acentuado no tempo de 1400s, atingindo um valor de quase 0,5 de coeficiente de atrito. A amostra 1 obteve um comportamento singular. Inicialmente, como nas outras amostras, a mostra um apresentou coeficiente de atrito bem baixo, em torno de 0,1. Entretanto no decorrer do ensaio pode-se perceber vários picos, e ao se aproximar do término do ensaio os valores do coeficiente de atrito foi diminuindo.

Comparando o comportamento do gráfico para as cargas de 20 e 30N na amostra 1, Fig. 8, até o tempo de aproximadamente 700s, o coeficiente de atrito em ambas cargas se apresentou de forma muito aparecida. Após esse tempo, percebe-se que houve um pico no coeficiente de atrito para carga de 30N, e por isso há um aumento no coeficiente de atrito, ultrapassando, no mesmo intervalo de tempo, o valor do coeficiente de atrito da carga de 20N. No entanto, após esse pico os valores dos coeficientes de atrito em ambas cargas voltam a ser muito parecidos.

Para a amostra 2, Fig. 9, percebe-se uma diminuição no coeficiente de atrito durante a execução dos ensaios com as cargas de 20 e 30N quando comparada com a carga 10N. Nesta, até aproximadamente 500s, comparando as cargas de 20 e 30N, e os seus respectivos coeficientes de atrito, percebe-se valores muito próximos (análise do gráfico). No entanto, após esse tempo de 500s, o coeficiente de atrito para a carga de 30N inicia uma queda que se mantém até o fim do ensaio.

Na amostra 3, Fig. 10, houve comportamento análoga amostra 1, com um pico no coeficiente de atrito em torno do tempo de 800 a 1000s, depois desse pico o gráfico nos mostra um comportamento muito parecido do coeficiente de atrito nessas cargas. Mas não dura muito, pois em torno de 1200s o valor do coeficiente de atrito para ensaio de 30N passa a ser um pouco superior ao encontrado com a carga de 20N. E novamente os valores do coeficiente de atrito voltam ser apresentar muito parecidos até o fim do ensaio.

4. CONCLUSÃO

De modo geral, percebe-se que com aumento da carga houve uma diminuição considerável no coeficiente de atrito em todas as três amostras. E esse comportamento pode ser justificado segundo a característica auto lubrificante apresentada por alguns polímeros. O modo de desgaste observado nestes ensaios foi do tipo adesivo, pois pode-se observar na Fig. 7 que houve uma deformação plástica na superfície das amostras, como também perda de material ainda que numa quantidade muito pequena.

5. REFERÊNCIAS

- Bhushan, B. (2013). *Principles and Applications of Tribology* (Vol. 2). Chichester: John Wiley & Sons.
- Canevarolo, S. V. (2006). *Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros*. São Paulo: Artliber.
- eCycle. (2019, Julho 29). *Plástico PLA: alternativa biodegradável e compostável*. Retrieved from eCycle: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/8-tecnologia-a-favor/738-pla-o-plastico-compostavel.html>
- Groover, M. P. (2017). Fundamentos da Moderna Manufatura. In M. P. Groover, *Fundamentos da Moderna Manufatura* (Vol. 1). Rio de Janeiro: gen - LTC.
- Jost, H. P. (1990). Tribology — Origin and future. *Wear*, 136.
- Mano, E. B., & Mendes, L. M. (2004). *Introdução a polímeros*. São Paulo: Edgard Blüvher LTDA.
- Muhammad, D. N., & Asaduzzaman, M. C. (2012). Friction and Wear of Polymer and Composites. In D. N. uhammad, & M. C. Asaduzzaman, *Composites and Their Properties*.
- Serna, L. C., Rodrigues, A. d., & Albán, F. A. (2003). Ácido Poliláctico (PLA): Propiedades y Aplicaciones. 5(1).

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.