

PROMOCIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD A TRAVÉS DE UN TALLER DE  
RECICLAJE DE RESIDUOS DE IMPRESIÓN 3D

*PROMOVENDO A SUSTENTABILIDADE POR MEIO DE UMA OFICINA DE  
RECICLAGEM DE RESÍDUOS DE IMPRESSÃO 3D*

*PROMOTING SUSTAINABILITY THROUGH A 3D PRINTING WASTE RECYCLING  
WORKSHOP*



Jackeline Lira BREMGARTNER<sup>1</sup>  
e-mail: jackeline.bremgartner@ifam.edu.br



Vitor BREMGARTNER<sup>2</sup>  
e-mail: vitorbref@ifam.edu.br



Lizandro MANZATO<sup>3</sup>  
e-mail: lizandro@ifam.edu.br



Joaquim dos SANTOS<sup>4</sup>  
e-mail: joaquimdossantos701@gmail.com

**Cómo hacer referencia a este artículo:**

BREMGARTNER, J. L.; BREMGARTNER, V.; MANZATO, L.; SANTOS, J. Promoción de la sostenibilidad a través de un taller de reciclaje de residuos de impresión 3D. **Revista Ibero-Americana de Estudos em Educação**, Araraquara, v. 19, n. esp. 1, e024064, 2024. e-ISSN: 1982-5587. DOI: <https://doi.org/10.21723/riaee.v19iesp.1.18341>



| **Enviado:** 21/07/2023  
| **Revisiones requeridas el:** 26/01/2024  
| **Aprobado:** 05/03/2024  
| **Publicado el:** 27/04/2024

---

**Editor:** Prof. Dr. José Luís Bizelli  
**Editor Adjunto Ejecutivo:** Prof. Dr. José Anderson Santos Cruz

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Amazónicas (INPA), Manaus – AM – Brasil. Estudiante de doctorado en Ciencias Forestales Tropicales (PPGCFT) en el INPA.

<sup>2</sup> Instituto Federal de Amazonas (IFAM), Manaus – AM – Brasil. Doctor en Informática. Profesor e Investigador del IFAM Centro de Innovación (INOVA). Profesor del Programa de Posgrado en Educación Profesional y Tecnológica (ProfEPT).

<sup>3</sup> Instituto Federal de Amazonas (IFAM), Manaus – AM – Brasil. Doctor en Ingeniería de Materiales. Profesor y Coordinador del Laboratorio de Síntesis y Caracterización de Nanomateriales (LSCN) del INOVA.

<sup>4</sup> Instituto Nacional de Investigaciones Amazónicas (INPA), Manaus – AM – Brasil. Doctor en Ciencias Forestales. Profesor del Programa de Posgrado en Ciencias Forestales Tropicales (PPGCFT) del INPA.

**RESUMEN:** En el proceso de impresión 3D por modelado de deposición fundida (FDM), se utilizan filamentos, entre ellos el ácido poliláctico (PLA), procedente de la caña de azúcar o del maíz, que se funde durante la impresión para formar piezas en capas tridimensionales. Sin embargo, con la creciente demanda de impresión 3D en diferentes sectores de la sociedad, la tendencia es hacia la eliminación irregular y la acumulación de este material en forma de residuos. Por lo tanto, nuestro objetivo es reutilizar los residuos de impresión 3D fabricados a partir de PLA mediante conversión de reciclaje mecánico. Para ello, realizamos un taller de reciclaje de residuos de impresión 3D con estudiantes de Secundaria y Universitarios del Instituto Federal do Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM CMDI). Durante el taller, preguntamos a los estudiantes sobre la impresión 3D y la sostenibilidad y les impartimos una clase sobre los conceptos básicos de la impresión 3D y el reciclaje de residuos. Posteriormente, los estudiantes utilizaron el extrusor de un solo tornillo para formar el filamento PLA que podrá usarse nuevamente en una nueva impresión. Los alumnos aprendieron a desarrollar filamentos para impresoras 3D, combinando Educación Ambiental y Educación Profesional y Tecnológica, estimulando el aprendizaje y convirtiéndolos en makers, fabricando su propio material, pudiendo, a largo plazo, emprender y trabajar en este ámbito. Por eso, con este taller de reciclaje de PLA fomentamos la economía circular, para que productos y materiales se reutilicen, aumentando su vida útil y reduciendo los residuos.

**PALABRAS CLAVE:** Impresión 3D. Economía Circular. Sostenibilidad. Educación Ambiental. Reciclaje de Residuos.

**RESUMO:** No processo de impressão 3D por modelagem de deposição fundida (FDM), filamentos são utilizados, entre eles o ácido poliláctico (PLA), advindo da cana de açúcar ou do milho, que é derretido durante a impressão para formar peças em camadas tridimensionais. Contudo, com a crescente demanda de impressões 3D em diversos setores da sociedade, a tendência é o descarte irregular e o acúmulo desse material na forma de resíduos. Por isso, temos como objetivo reaproveitar resíduos de impressões 3D feitos do PLA por meio da conversão mecânica de reciclagem. Para isso, realizamos uma oficina de reciclagem de resíduos de impressão 3D com alunos de Nível Médio e Superior do Instituto Federal do Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM CMDI). Durante a oficina, perguntamos aos alunos sobre a impressão 3D e a sustentabilidade e ministramos uma aula sobre princípios básicos de impressão 3D e reciclagem de seus resíduos. Posteriormente, os alunos utilizaram a extrusora de parafuso monorroscas para formar o filamento de PLA que pode ser usado novamente em uma nova impressão. Os alunos aprenderam a desenvolver filamentos para impressora 3D, aliando a Educação Ambiental e a Educação Profissional e Tecnológica, estimulando a aprendizagem e tornando-os makers, fabricando o próprio material, podendo, a longo prazo, empreender e trabalhar nessa área. Logo, com esta oficina de reciclagem de PLA, promovemos a economia circular, a fim de que os produtos e materiais sejam reaproveitados, aumentando a vida útil e reduzindo o desperdício de resíduos.

**PALAVRAS-CHAVE:** Impressão 3D. Economia Circular. Sustentabilidade. Educação Ambiental. Reciclagem de Resíduos.

**ABSTRACT:** In 3D printing process using fused deposition modeling (FDM), filaments are used, including polylactic acid (PLA), coming from sugar cane or corn, which is melted during printing to form parts in three-dimensional layers. However, with the growing demand for 3D printing in different sectors of society, the trend is towards irregular disposal and the accumulation of this material in the form of waste. Therefore, we aim to reuse 3D printing waste made from PLA through mechanical recycling conversion. To this end, we held a 3D printing waste recycling workshop with High School and Higher students from the Instituto Federal do Amazonas Campus Manaus Distrito Industrial (IFAM CMDI). During the workshop, we asked students about 3D printing and sustainability and taught a class on the basics of 3D printing and recycling their waste. Later, the students used the single-screw extruder to form the PLA filament that can be used again in a new print. The students learned how to develop filaments for 3D printers, combining Environmental Education and Professional and Technological Education, stimulating learning and making them makers, manufacturing their own material, being able, in the long term, to undertake and work in this area. Therefore, with this PLA recycling workshop, we promote the circular economy, so that products and materials are reused, increasing their useful life and reducing waste.

**KEYWORDS:** 3D printing. Circular Economy. Sustainability. Environmental Education. Waste Recycling.

---

## Introducción

La impresión 3D, también llamada fabricación aditiva, crea el objeto en tres dimensiones, depositando capa por capa (Pinheiro *et al.* 2018). Existen varias técnicas de impresión 3D como proceso de fabricación aditiva (Han *et al.*, 2023; Wong, Hernández, 2012; Kumar; Prasad, 2021) como: Estereolitografía (*Stereo Lithography Apparatus* – SLA, Sinterización directa de metales por láser (*Direct Metal Laser Sintering* – DMLS), Deposición directa de metal (direct metal deposition – DMD), Sinterización selectiva por láser (*Selective Laser Sintering* – SLS), Fabricación de objetos laminares (Laminated Object Manufacturing - LOM) y Modelado por Deposición Fundida (FDM).

La técnica FDM es actualmente la técnica de fabricación aditiva más utilizada para el prototipado rápido de materiales, donde los materiales más utilizados son filamentos termoplásticos de base polimérica acoplados a la impresora 3D que se funden para formar el objeto, siendo el biopolímero PLA (ácido poliláctico) procedente de caña de azúcar y maíz y polímeros ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y PETG (tereftalato de polietilenglicol) derivados del petróleo (Tao *et al.*, 2017).

Las impresoras 3D están ganando cada vez más espacio en el entorno doméstico en todo el mundo, desde el modelado del objeto a fabricar en software y la elección de la impresora 3D que se adapte al tipo de material a imprimir, también difundida en la cultura maker (do-it-yourself), en la que la persona puede producir su propio objeto (Pinheiro *et al.* 2018; Littlemaker, 2019). La impresión 3D también se aplica en la construcción de edificios de hormigón, aeroespacial, biomédica, automoción, objetos decorativos, cocina, ropa.

Con la tecnología de impresión 3D, han surgido nuevas preguntas orientadas a reducir costos y mejorar las técnicas, lo cual es vital para las líneas de producción y la sostenibilidad. Por ejemplo, durante algunas impresiones, es necesario utilizar soportes para la parte principal, que deben programarse según el tipo de filamento utilizado, lo que será un desperdicio cuando se termine la impresión. Además, piezas con defectos de impresión, incompletas o rotas, lo que resulta en material desperdiciado y más desperdicio.

En línea con el debate sobre el uso de plásticos, empresas, sociedades y gobiernos han buscado alternativas para reducir, reutilizar y reciclar los residuos a lo largo de los años. Según la Organización de las Naciones Unidas (ONU), los siete mil millones de habitantes del mundo producen 1.400 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos (RSU), un promedio de 1.2 kg de basura por día per cápita (ONU, 2023). Por lo tanto, el problema es global, y es fundamental que se estimulen iniciativas para reducir la generación de residuos y aumentar la vida útil de cada material.

Para optimizar el uso de los materiales y evitar el desperdicio posconsumo, es necesario implementar la economía circular, que se basa en un *sistema regenerativo de los ciclos de materiales y energía* en un proceso continuo, como ocurre en los ecosistemas naturales y "*esto se puede lograr a través de un diseño, mantenimiento, reparación, reutilización, remanufactura, reacondicionamiento y reciclaje duraderos*". De esta manera, el material que antes podía ser desechado regresa al ciclo de producción (Geissdoerfer *et al.* 2017).

La producción y eliminación inadecuada de materiales plásticos en nuestra vida cotidiana se ha convertido en algo natural, como lo demuestra el estudio realizado por el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF) y publicado en 2019, en el que Brasil produce 11 millones de toneladas de residuos plásticos al año y ocupa el 4º lugar como el mayor productor de residuos plásticos del mundo. y también es uno de los menos reciclados: solo se recicla el 1,2% de este material (WWF, 2023; De Paoli; Spinacé; Romão, 2009).

A su vez, al utilizar la Educación Ambiental para enseñar procesos sostenibles, buscamos crear en las generaciones que están en la escuela una nueva mentalidad de preservación del medio ambiente, porque

Al implementar un proyecto educativo que involucre el medio ambiente y la sostenibilidad, estaremos facilitando a los estudiantes una comprensión fundamental de los problemas existentes de la presencia humana en el medio ambiente, su responsabilidad y su papel crítico como ciudadanos, desarrollando las habilidades y valores que los llevarán a repensar y evaluar de manera diferente sus actitudes cotidianas y sus consecuencias en el entorno en el que viven (Ross; Becker, 2012, nuestra traducción).

En cuanto al aprovechamiento de los residuos de la impresión 3D y los estudios sobre el impacto ambiental de los residuos de la impresión 3D, todavía tenemos un escenario limitado y escaso y casi no disponemos de datos sobre plásticos 3D reciclados (Zhao *et al.*, 2018; Anderson, 2017). Ong *et al.* (2020) afirman que el reciclaje es factible para formar nuevos filamentos, a pesar de la reducción de las propiedades mecánicas. Anderson (2017) en su estudio reporta que los residuos de PLA tienen propiedades similares al PLA in natura.

Liu, Li y Jiang (2016) explican que se necesita una fabricación sostenible, imprimiendo mejor y más rápido al tener una configuración óptima de los parámetros para los comandos en la impresora 3D, así como la evaluación del ciclo de vida (LCA) que se puede utilizar al modelar los impactos ambientales de la impresión 3D. Analizaron que la aplicación del Coste del Ciclo de Vida (LCC) para analizar el beneficio económico de la impresión 3D dio algunos resultados prometedores. Sin embargo, los autores informan que la investigación no consideró los aspectos ambientales y sociales. Concluyen que en el modelado de evaluación de la sostenibilidad en 3D, la impresión debe integrar los tres pilares (ambiental, económico y social) de manera integral, incluidas las mejoras en los parámetros de configuración, los filamentos y los tipos de filamentos más respetuosos con el medio ambiente.

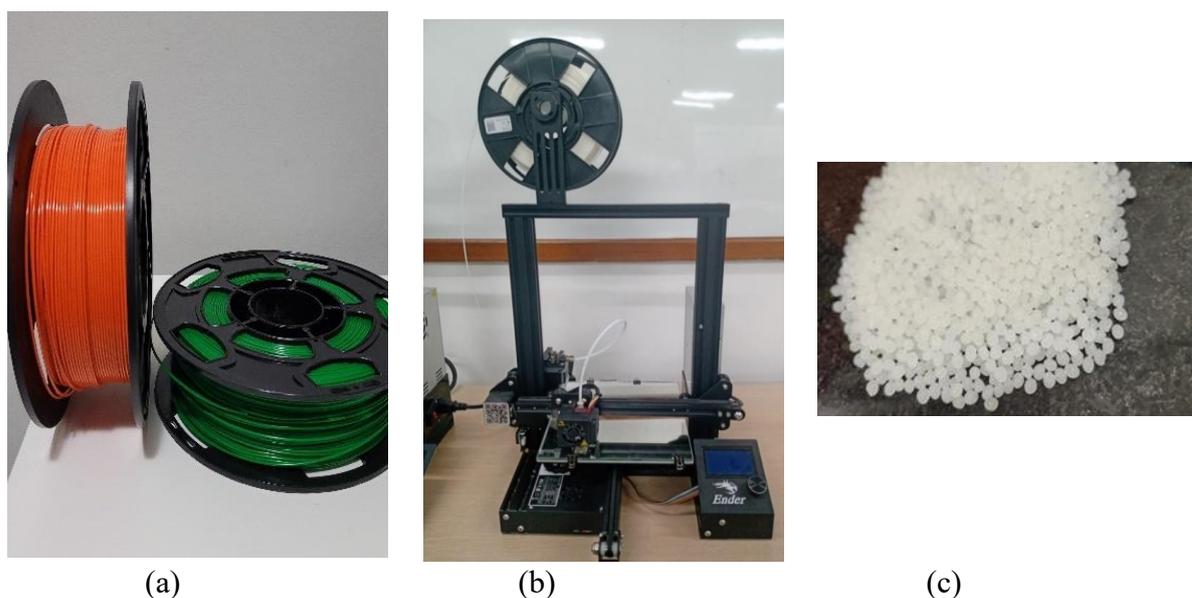
En este sentido, este trabajo busca, a través de la Educación Ambiental y la Sostenibilidad, y la Educación Profesional y Tecnológica, actuar dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ONU, 2023), que son un conjunto de 17 metas globales, establecidas por la Asamblea General de las Naciones Unidas, donde aplicamos un taller para el aprovechamiento de residuos procedentes de la impresión 3D, concretamente filamentos de PLA, para la fabricación de nuevos filamentos y la enseñanza de esta técnica a estudiantes de enseñanza media y universitaria en el Instituto Federal de Amazonas, Campus de Manaus, Distrito Industrial (IFAM CMDI).

## Fabricación aditiva

La impresión 3D, conocida como fabricación aditiva, es una técnica para producir objetos tridimensionales a partir de un modelo tridimensional en medios digitales. Una de las formas más conocidas de impresión 3D es a partir de la fusión de filamentos (Figura 1a) para producir el objeto, mediante el proceso de modelado por deposición fundida (FDM). El funcionamiento de la impresora 3D (Figura 1b) consiste en la deposición en los ejes X, Y y Z de cada nueva capa impresa que se mueve en un plano (por ejemplo, horizontalmente) mientras que la plataforma se mueve en otro (por ejemplo, verticalmente). En el proceso FDM, la deposición se produce en un flujo continuo por una boquilla a presión constante y el material se funde en la cámara de licuefacción a 200°C antes de entrar en la boquilla y la capa se deposita secuencialmente hasta la finalización del objeto.

En este proceso, uno de los filamentos más utilizados es el de ácido poliláctico (PLA), que es un biopolímero termoplástico formado por moléculas de ácido láctico de origen biológico obtenidas a partir del almidón de maíz o caña de azúcar que tiene el potencial de sustituir a los plásticos derivados del petróleo, siendo biodegradable (Singh *et al.*, 2022; Tao *et al.*, 2017; Pinheiro *et al.*, 2018). El PLA se considera un sustituto valioso de los polímeros sintéticos y tiene diversos usos, como en la impresión 3D, el embalaje, la atención médica y los textiles, debido a sus fuertes cualidades mecánicas, alta rigidez y biodegradabilidad (Singh *et al.*, 2022). La Figura 1c muestra el PLA en su forma granular.

**Figura 1** – Materiales de impresión 3D. (a) Bobinas de filamento PLA  
b) Impresora 3D Creality, modelo Ender 3. (c) Forma granular de PLA



Fuente: Elaboración propia.

Los filamentos que salen a la venta se desarrollan en industrias especializadas en la fabricación de materia prima para impresión 3D. El filamento se forma con el uso de una extrusora de doble tornillo o de un solo tornillo. En la Figura 2, tenemos un ejemplo de la producción de filamento en color transparente para ser utilizado en la impresora 3D. Los pellets (gránulos) *in natura* de un polímero se introducen en la extrusora, que a su vez derretirá el plástico debido al calentamiento y el material saldrá a través de una boquilla con un diámetro aproximado de 1,75 mm, en la que sufrirá un choque térmico en la cubeta de refrigeración y será arrastrado por un rebobinador que enrollará el filamento en una bobina.

**Figura 2** – Proceso de extrusión industrial de filamentos PLA



Fuente: Adaptado de <https://www.lgmt.com.br/linha-filamento-impresora-3d>.

Las técnicas de obtención de ácido poliláctico por fermentación bacteriana del almidón y polimerización del PLA "lo han convertido en un polímero de origen renovable biodegradable de mayor competitividad en el mercado, con precios asequibles y producción a gran escala, alcanzando la capacidad de producción mundial de 350 kt/año en 2014" (Dartora, 2018, nuestra traducción).

El PLA es un material que tiene una alta dureza superficial, teniendo una estructura más dura que el ABS. El PLA es muy resistente a la abrasión, tiene una alta calidad de impresión y una gran adherencia entre capas, siendo considerado un polímero respetuoso con el medio ambiente en comparación con los materiales plásticos derivados del petróleo como el ABS, el polietileno y el polipropileno. En el mercado actual de Brasil, el kilo de un carrete que contiene PLA cuesta, en promedio, R\$ 130,00.

El principal mecanismo de degradación del PLA es la hidrólisis, seguida de la biodegradación bacteriana. La velocidad de degradación por hidrólisis puede ser catalizada por ácidos o bases, haciendo que el PLA se degrade en semanas o meses, en períodos de menos de

dos años. Por otro lado, el alto contenido de humedad, pH y temperatura tanto en condiciones aeróbicas como anaeróbicas son factores que contribuyen a la biodegradación. Sin embargo, en condiciones favorables para su uso, el PLA mantiene sus características y propiedades durante años (Dartora, 2018; Vacciola, 2015).

Paralelamente al tema de la biodegradación del PLA, con el avance de la tecnología y la Industria 4.0, ha surgido un nuevo concepto: la Sostenibilidad 4.0, que parte de la premisa de una nueva forma de pensar sobre el uso de los recursos naturales y el uso de tecnologías a favor del medio ambiente. La evolución del pensamiento y la tecnología están impulsadas por los desafíos ambientales en relación con el uso de los recursos naturales y la integración del hombre en la reconexión para cambiar pensamientos, actitudes y valores hacia un comportamiento que valore el bosque y cambie los hábitos degradantes sobre el medio ambiente. Las empresas tendrán que revisar la conducta de sus prácticas ambientales y los consumidores estarán más atentos, exigentes y dispuestos a consumir (léase, pagar) la sostenibilidad (Maya, 2019).

Como resultado, con la preocupación ambiental y la presión por cambios de producción más sostenibles en las industrias, el modelo de economía circular surgió como una alternativa al modelo económico actual y como una de las soluciones para el desarrollo sostenible, en un ciclo cerrado de flujos materiales en la economía (Santos; Shiba; Silva, 2019).

El modo tradicional de producción y consumo se realiza de manera lineal a través de la fabricación de productos, comercialización, consumo y posterior disposición del producto en vertederos. Sin embargo, este modelo no considera que los recursos naturales son finitos, lo que conlleva a desperdicios y presiones de explotación que dificultan la capacidad de regeneración de un ecosistema (Gonçalves; Barroso, 2019). El modelo económico circular, por su parte, se basa en tres principios: **1.** Preservar y mejorar el capital mediante el control de las existencias de recursos naturales finitos y el equilibrio del flujo de uso de los recursos renovables; **2.** Optimizar el rendimiento de los recursos, promoviendo el aprovechamiento de los residuos y fomentando el reciclaje a través de las 5 R (reducir, reciclar, reutilizar, repensar y rechazar) y **3.** Estimular la eficacia del sistema (Pontes; Ângelo, 2019).

Durante el ciclo de la economía circular, la logística inversa se aplica en el flujo económico porque es una herramienta importante para la gestión no solo de los residuos empresariales sino también de los domésticos. La Política Nacional de Residuos Sólidos (PNRS), Ley N° 12.3051 de 08/02/2010, en su artículo 3, inciso XII, define la logística inversa como:

Instrumento de desarrollo económico y social caracterizado por un conjunto de acciones, procedimientos y medios destinados a posibilitar la recolección y retorno de residuos sólidos al sector empresarial, para su reutilización, en su ciclo o en otros ciclos productivos, u otro destino final ambientalmente apropiado" (Brasil, 2010, on-line, nuestra traducción).

## Materiales y métodos

En nuestro trabajo, el filamento de PLA reciclado se fabricó a partir de gránulos (trozos cortados) de residuos de PLA procedentes de la impresión 3D, mostrando el uso de impresiones desechadas a través de un extrusor, que tiene propiedades tecnológicas que le confieren idoneidad para su uso. Así, para que el taller sea ejecutado, en nuestra investigación-acción seguimos los pasos que se enumeran a continuación:

### *Preparación del taller*

Antes de llevar a cabo el taller, realizamos una adaptación técnica de la conversión mecánica de residuos de PLA (Hidalgo-Carvajal *et al.*, 2023; Spinacé; De Paolli, 2005). Recolectamos los residuos de impresiones 3D (Figura 3a) realizadas con filamentos de PLA del fabricante 3D LAB (3D Lab, 2023), del Espacio Maker Rivelino Lima del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Amazonas en el Distrito Industrial (IFAM/CMDI). Luego, en el Laboratorio de Síntesis y Caracterización de Nanomateriales (LSCN/IFAM), perteneciente al centro de operaciones de Innovación de IFAM (INOVA), los residuos se cortaron con la ayuda de alicates de corte de tamaños de 2 a 4 cm de largo y ancho (Figura 3b) y se trituraron en un molino de cuchillas (Figuras 3c y 3d). A continuación, se pesaron las piezas cortadas (Figura 3e) y al final se secaron en horno a 90°C durante 2 horas (Agaliotis *et al.* 2022) para eliminar la humedad (Figura 3f).

**Figura 3** – Proceso de fabricación de filamentos reciclados  
a) Residuos. b) Corte de residuos. c) Molienda en el molino. d) Residuos triturados. e) Pesaje de los residuos. f) Secado en el horno



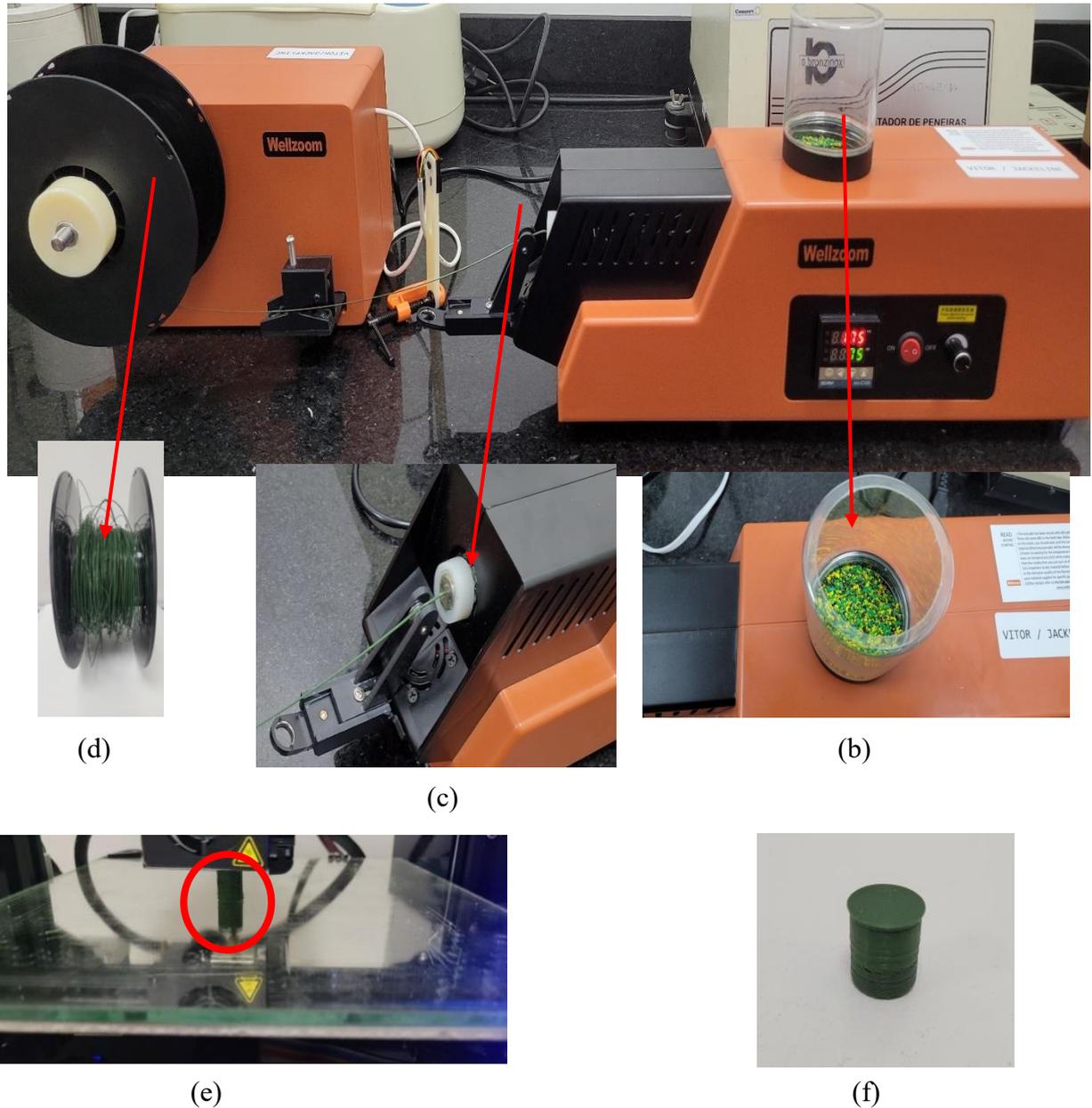
Fuente: Elaboración propia.

### *Obtención del filamento reciclado*

Tras el secado en el horno, obtuvimos un filamento fabricado a partir de residuos de PLA inicialmente con el fin de comprobar que la extrusora cumplía con las expectativas de fabricación y detectar posibles mejoras en nuestro proceso de extrusión antes de iniciar el taller. En la figura 4a se muestra la extrusora y rebobinadora monohusillo utilizadas en este taller, donde ambas son de la marca china *Wellzoom* (Wellzoom, 2023), junto con el filamento generado por el proceso de extrusión. La Figura 4b muestra los residuos dentro del alimentador y la Figura 4c muestra una extrusión que se realiza con éxito. El proceso de extrusión consistió primero en introducir el residuo de PLA en la extrusora (Figura 4b), a una temperatura de 175°C a través de un tornillo monohusillo giratorio para la fundición del material, lo que dio lugar a la salida del filamento con un diámetro aproximado de 1,75 mm (Figura 4c), que luego se enrolló automáticamente en la rebobinadora (Figura 4d). Una vez finalizado el proceso de extrusión, imprimimos en la impresora 3D *Creality* (CrealityStore, 2023) modelo *Ender 3* (ya

mostrada en la Figura 1b) una pieza cilíndrica (Figura 4e) para visualizar el objeto impreso en 3D a partir del PLA reciclado, que se puede ver en la Figura 4f.

**Figura 4** – Obtención del filamento reciclado en el extrusor e impresión de una pieza Extrusora y rebobinadora. b) Residuos en el alimentador. c) Filamento reciclado. d) Bobina de filamento reciclado. (e) Pieza de impresión 3D. (f) Pieza terminada



Fuente: Elaboración propia.

### *Realización del taller con los alumnos*

Tras el proceso de preparación, tuvo lugar el taller de reciclaje de filamentos PLA en la sala de formación del Centro de Innovación del IFAM. En el taller participaron un total de 19 estudiantes del IFAM, entre ellos 2 del Curso de Ingeniería de Software, 2 del Curso de Ingeniería en Control y Automatización, 1 del Curso de Tecnología Mecatrónica Industrial, 5 del Bachillerato Técnico Integrado en Electrónica y 9 del Bachillerato Técnico Integrado en Mecatrónica. El taller tuvo una duración aproximada de 2 horas y pasó por el siguiente guión: primero, se hizo una presentación sobre Tecnología de Materiales y el LSCN, que es el laboratorio donde se está desarrollando este proyecto.

A continuación, presentamos los conceptos sobre la impresión 3D, los tipos de filamentos utilizados, hacemos hincapié en el concepto de polímeros y la importancia de aprovechar los residuos de la impresión 3D, así como las bobinas vacías una vez terminado el filamento. También se enseñó cómo se lleva a cabo la fabricación de filamento industrial y en el laboratorio, y, por último, se explicaron los procesos que se realizan en los pasos (1) y (2), para que los alumnos entendieran con mayor claridad los pasos a seguir para reciclar los residuos de filamento PLA. En la Figura 5 se muestra el taller en el momento en que se explicaban los pasos para reciclar el PLA que se muestran en la Figura 3.

**Figura 5** – Taller de reciclaje de filamentos PLA realizado en el centro de operaciones de Innovación del IFAM

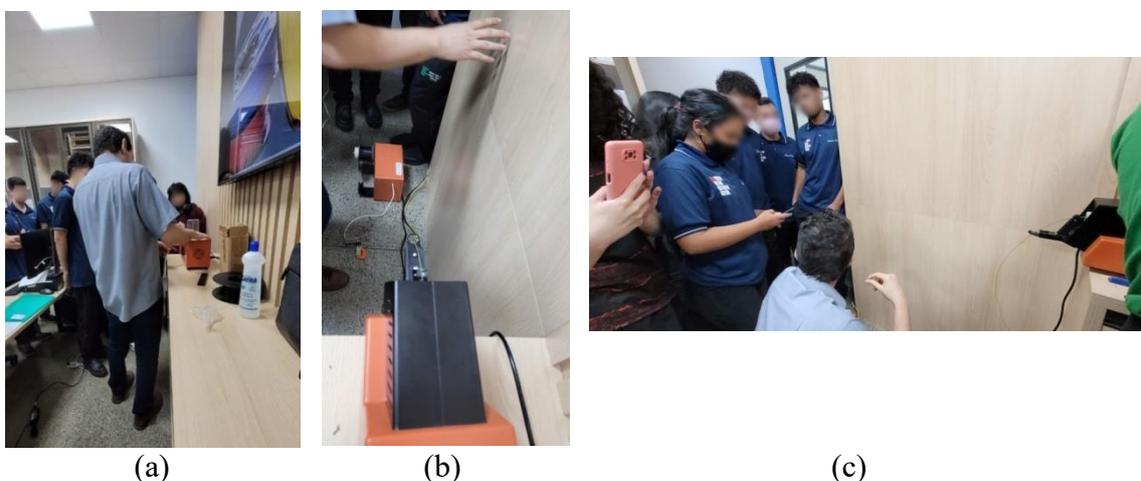


Fuente: Elaboración propia.

A continuación, realizamos la parte práctica del taller, en la que todos los alumnos aprendieron a fabricar el filamento reciclado, tal y como se muestra en la Figura 6. En esta

etapa, utilizamos los residuos ya triturados y secos del proceso de preparación del laboratorio antes del taller y explicados a los estudiantes en la clase teórica. En la Figura 6a, explicamos sobre la extrusora; en la Figura 6b, presentamos a los estudiantes cómo funciona y en la Figura 6c, los estudiantes registraron los momentos de producción de PLA reciclado. Durante el taller, preguntamos a algunos estudiantes si entendían sobre sostenibilidad, impresión 3D, el proceso de fabricación de filamentos para impresión 3D y qué les pareció interesante de este taller.

**Figura 6** – Práctica en el taller de reciclaje de filamentos de PLA. a) Introducción de la máquina extrusora. (b) Extrusora funcionando frente a los estudiantes (c) Estudiantes registrando el funcionamiento de la extrusora



Fuente: Elaboración propia.

## Resultados y discusión

Como resultado de las preguntas realizadas a los estudiantes, todos los estudiantes conocían la impresión 3D y el 68,8% ya había impreso algún objeto 3D. En cuanto al proceso de fabricación de filamentos para impresoras 3D, el 56,3% ya lo sabía, sin embargo, no entendía de manera más profunda todas las etapas de la fabricación industrial. En cuanto a la sostenibilidad, entre las respuestas más frecuentes, algunos estudiantes coincidieron en que la sostenibilidad representa el equilibrio que se encuentra en la explotación de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente, pudiendo reutilizar materiales, siendo un medio para hacer más duradera y con calidad la vida en el planeta.

A los estudiantes también les pareció interesante poder fabricar el filamento PLA a partir de residuos de impresiones 3D y poder utilizar lo que antes se consideraba residuo en nuevos objetos 3D. Entre algunas opiniones, se informó que la reutilización de materiales que se tiran

en la vida cotidiana es fundamental para reducir el volumen de eliminación en el medio ambiente y, Además, el uso de residuos de la impresión 3D para fabricar nuevos filamentos se convierte en algo increíble y sostenible, que en un futuro puede generar ingresos para las personas que estén interesadas en la impresión 3D, ya que las organizaciones buscan conciliar el reciclaje de plástico y la tecnología de impresión 3D para crear soluciones innovadoras, de bajo costo y sostenibles. Pueden adaptarse para la producción en microempresas, microempresarios individuales (MEI) y *startups* (Pires, 2022).

Los estudiantes también mencionaron que, con la reutilización de residuos, es posible utilizar casi todo el filamento para la impresión, reduciendo desperdicios y costos con la fabricación de filamentos. Los estudiantes mostraron interés en el área, mostrando el deseo de fabricar su propio filamento e incluso en un futuro ensamblar su propio extrusor, utilizando no solo PLA, sino también otros materiales para la extrusión. Los estudios demuestran que en el proceso de extrusión para la impresión 3D se pueden utilizar otros materiales, como los polímeros PET (etireftalato de polietileno), el polietileno y el polipropileno (Ferreira, 2020; Pires, 2022).

Las retroalimentaciones positivas de los estudiantes demuestran que logramos despertar la percepción ambiental en ellos, estimulando el interés por la reutilización de materiales que antes podían ser desechados indebidamente en el medio ambiente, pues según Ross y Becker (2012) la educación ambiental busca soluciones y resultados a favor del medio ambiente e incluso preparando a los ciudadanos como agentes transformadores.

Aunque la carga de trabajo del taller con los alumnos fue de 2 horas, fue suficiente para que obtuviéramos resultados positivos. Esta carga de trabajo también se debe a que la disponibilidad de estudiantes ha sido limitada, ya que muchos de los estudiantes de Educación Superior trabajan y de Bachillerato trabajan a tiempo completo, lo que reduce el tiempo libre de los estudiantes. Para un trabajo que se realizó por primera vez en el ámbito del IFAM, integrando la Educación Ambiental y la Educación Profesional y Tecnológica, estos resultados fueron satisfactorios, confirmando la utilidad del taller realizado.

Notamos que en este taller había una percepción ambiental de los estudiantes, en la que se despertaba la conciencia de cada estudiante en la importancia de la sostenibilidad y la valoración del medio ambiente, aún con el progreso industrial. En nuestro enfoque, integramos el área tecnológica con las ciencias ambientales, en el que al mismo tiempo que preparamos a los estudiantes para el mundo laboral en las áreas Tecnológica e Ingeniería, también buscamos concientizarlos sobre la sustentabilidad, donde es posible combinar el medio ambiente y sus

profesiones, enfatizando que el taller realizado se inserta en el ámbito de la Educación Ambiental. Así, añadimos tecnología de fabricación aditiva para la economía sostenible, además de contribuir a la reducción del volumen rechazado por la reutilización de la impresión 3D.

### Consideraciones finales

En este trabajo presentamos un relato de experiencia de un taller de reciclaje de residuos de impresión 3D, especialmente filamento PLA, desde la recogida de residuos, la preparación del taller hasta su ejecución práctica. Este proceso contribuye a la sostenibilidad ya que el PLA, a pesar de ser biodegradable, es un polímero que puede acumularse en la naturaleza si no se reutiliza adecuadamente.

Se logró, a través del taller, aplicar en la práctica conceptos de sustentabilidad y tecnología en el aprovechamiento de residuos de impresión 3D para formar filamentos reciclados que retornen al ciclo de consumo en nuevas impresiones, además de despertar la enseñanza de esta técnica al combinar las áreas de los estudiantes involucrados, que son Tecnologías e Ingeniería. Notamos que en este taller había una percepción ambiental de los estudiantes, en la que se despertaba la conciencia de cada estudiante en la importancia de la sostenibilidad y la valoración del medio ambiente, aún con el progreso industrial.

Como trabajos futuros, estamos pensando en considerar talleres de impresión 3D junto con el proceso de reciclaje con un público objetivo más amplio, abarcando otros turnos y más cursos, con una mayor carga de trabajo, posiblemente dentro de alguna disciplina que involucre el medio ambiente o incluso un curso de extensión, incluso para estudiantes que aún no conocen la impresión 3D, Tampoco lo es el reciclaje de materiales de impresión. Además, prevemos emplear esta técnica en comunidades dentro del ámbito de la economía solidaria y el emprendimiento utilizando residuos 3D de diversos sectores de la sociedad, como espacios domésticos, industriales, educativos y maker.

**RECONOCIMIENTOS:** Investigación del Programa de Posgrado en Ciencias Forestales Tropicales (PPG-CFT) del Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonia (INPA). Este trabajo contó con el apoyo del Laboratorio de Caracterización y Síntesis de Nanomateriales (LSCN), que forma parte del Centro de Innovación del Instituto Federal de Amazonas (INOVA/IFAM). Este trabajo y su investigación fueron realizados con el apoyo de la

Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior (CAPES), del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y también contó con el apoyo del Programa de Apoyo al Posgrado Stricto Sensu de la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Amazonas (POSGRAD-FAPEAM), Edición 2022-2023, Resolución N° 005/2022.

## REFERENCIAS

3D LAB. **Impressão 3D é Aqui**. Disponible en: <https://3dlab.com.br/>. Acceso en: 15 jul. 2023.

AGALLOTIS, E. M.; AKE-CONCHA, B. D.; MAY-PAT, A.; MORALES-ARIAS, J. P.; BERNAL, C.; VALADEZ-GONZALEZ, A.; HERRERAFRANCO, P. J.; PROUST, G.; KOHDZUL, J. F.; CARRILLO, J. G.; FLORES-JOHNSON, E. A. Tensile Behavior of 3D Printed Polylactic Acid (PLA) Based Composites Reinforced with Natural Fiber. *Polymers*, [S. l], v. 14, 2022. DOI: 10.3390/polym14193976. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/19/3976>. Acceso en: 15 jul. 2023.

ANDERSON, I. Mechanical Properties of specimens 3D printed with virgin and recycled polylactic acid. *3D Print. Addit. Manuf*, [S. l], v. 4, n. 2, p. 110–115, 2017. DOI: 10.1089/3dp.2016.0054. Disponible en: <https://www.liebertpub.com/doi/full/10.1089/3dp.2016.0054>. Acceso en: 15 jul. 2023.

BRASIL. **Lei n. 12.3051, de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponible en: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acceso en: 15 jul. 2023.

CREALITYSTORE. **Loja Oficial da Creality no Brasil**. 2023. Disponible en: <https://www.crealitystore.com.br/impressora-3d-ender-fdm>. Acceso en: 15 jul. 2023.

DARTORA, P. C. **Cristalização e morfologia do poli(ácido láctico) com agente nucleante heteropolissacarídeo de fonte natural**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.

DE PAOLI, M. A.; SPINACÉ, M. A. S.; ROMÃO, W. Poli (Tereftalato de Etileno), PET: Uma Revisão Sobre os Processos de Síntese, Mecanismos de Degradação e sua Reciclagem. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v.19, n. 2, p. 121-132, 2009. DOI: 10.1590/S0104-14282009000200009. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/po/a/M977rShFktsw4DpHbqk6KYN/>. Acceso en: 15 jul. 2023.

FERREIRA, F. F. **Estudo e desenvolvimento de filamento de PET reciclado para impressoras 3D FDM**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, [S. l], v. 143,

p.757-768, 2017. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.12.048. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652616321023>. Acceso en: 15 jul. 2023.

GONÇALVES, T. M.; BARROSO, A. F. F. A economia circular como alternativa à economia linear. **Anais do XI Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe**, 2019.

HAN, B.; LI, R.; PI, Q.; SHI, Y.; QI, H.; BI, K.; SUN, G. Prediction of deposit characteristics based on the discrete coaxial nozzle during laser direct metal deposition. **Optics & Laser Technology**, [S. l], v. 163, 2023. DOI: 10.1016/j.optlastec.2023.109385. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0030399223002785>. Acceso en: 15 jul. 2023.

HIDALGO-CARVAJAL, D.; MUÑOZ, Á.H.; GARRIDO-GONZÁLEZ, J.J.; CARRASCO-GALLEGO, R.; ALCÁZAR MONTERO, V. Recycled PLA for 3D Printing: A Comparison of Recycled PLA Filaments from Waste of Different Origins after Repeated Cycles of Extrusion. **Polymers**, [S. l], v. 15, n. 17, 2023. DOI: 10.3390/polym15173651. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4360/15/17/3651>. Acceso en: 15 jul. 2023.

KUMAR, S. A.; PRASAD, R. V. S. Chapter 2 - Basic principles of additive manufacturing: different additive manufacturing technologies. **Additive Manufacturing**, [S. l], p. 17-35, 2021. DOI: 10.1016/B978-0-12-822056-6.00012-6. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128220566000126>. Acceso en: 15 jul. 2023.

LITTLEMAKER. **Guia movimento Maker na Educação**. Guia para projetar atividade maker focada na Educação Integral pela BNCC. 2019. Disponible en: <https://materiais.littlemaker.com.br/guia-movimento-maker>. Acceso en: 15 jul. 2023.

LIU, Z.C.; LI, T.; JIANG, Q. Sustainability of 3D Printing: A Critical Review and Recommendations. *In: INTERNATIONAL MANUFACTURING SCIENCE AND ENGINEERING CONFERENCE*, 11., 2016. **Proceedings** [...]. Blacksburg, Virginia: [s. n.], 2016. DOI: 10.1115/MSEC2016-8618. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/308970924\\_Sustainability\\_of\\_3D\\_Printing\\_A\\_Critical\\_Review\\_and\\_Recommendations](https://www.researchgate.net/publication/308970924_Sustainability_of_3D_Printing_A_Critical_Review_and_Recommendations). Acceso en: 15 jul. 2023.

MAYA, M. H. **Sustentabilidade 4.0**. O novo mindset do desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro: Editora Vermelho Marinho, 2019. 182 p.

ONG, T.K.; CHOO, H.L.; CHOO, W.J.; KOAY, S.C.; PANG, M.M. Recycling of polylactic acid (PLA) wastes from 3D printing laboratory. *In: EMAMIAN, S. S.; AWANG, M.; YUSOF, F. (ed.). Advances in Manufacturing Engineering*. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Singapore: Springer Nature, 2020. p. 725–732.

ONU. **Organização das Nações Unidas**. 2023. Disponible en: <https://brasil.un.org/pt-br>. Acceso en: 15 jul. 2023.

PINHEIRO, C. M. P.; MOTA, G. E; STEINHAUS, C.; SOUZA, M. Impressoras 3D: uma mudança na dinâmica do consumo. **Signos do Consumo**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 15-22,

2018. DOI: 10.11606/issn.1984-5057.v10i1p15-22. Disponible en: <https://www.revistas.usp.br/signosdoconsumo/article/view/128758>. Acceso en: 15 jul. 2023.

PIRES, L. T. **Avaliação técnica da produção de filamentos plásticos para impressão 3D: comparação de plásticos virgens e reciclados.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Paraná, Jandaia do Sul, PR, 2022.

PONTES, A. T.; ANGELO, A. C. M. Utilização da avaliação do ciclo de vida no contexto da economia circular: uma revisão de literatura. **Sistemas & Gestão**, [S. l], p. 424-434, 14, 2019. DOI: 10.20985/1980-5160.2019.v14n4.1576. Disponible en: <https://www.revistasg.uff.br/sg/article/view/1576>. Acceso en: 15 jul. 2023.

ROOS, A.; BECKER, E. L. S. Educação Ambiental e Sustentabilidade. **Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, [S. l], v. 5, n. 5, 857–866, 2012. DOI: <https://doi.org/10.5902/223611704259>. Disponible en: <https://periodicos.ufsm.br/reget/article/view/4259/3035>. Acceso en: 15 jul. 2023.

SANTOS, M. R.; SHIBAO, F. Y.; SILVA, F. C. Economia circular: conceitos e aplicação. **Revista Eletrônica Gestão e Serviços**, [S. l], v. 10, n. 2, p. 2808 – 2826, 2019. DOI: 10.15603/2177-7284/regs.v10n2p2808-2826. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/339205052\\_Economia\\_circular\\_conceitos\\_e\\_aplicacao](https://www.researchgate.net/publication/339205052_Economia_circular_conceitos_e_aplicacao). Acceso en: 15 jul. 2023.

SINGH, T.; PATNAIK, A.; RANAKOTI, L.; DOGOSSY, G.; LENDVAI, L. Thermal and sliding wear Properties of Wood Waste-Filled Poly(Lactic Acid) Biocomposites. **Polymers**, [S. l], v. 14, 2022. DOI: 10.3390/polym14112230. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/11/2230>. Acceso en: 15 jul. 2023.

SINGH, T.; PATTNAIK, P.; AHERWAR, A.; RANAKOTI, L.; DOGOSSY, G.; LENDVAI, L. Optimal Design of Wood/Rice Husk-Waste-Filled PLA Biocomposites Using Integrated CRITIC–MABAC-Based Decision-Making Algorithm. **Polymers**, [S. l], v. 14, 2022. DOI: 10.3390/polym14132603. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4360/14/13/2603>. Acceso en: 15 jul. 2023.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A Tecnologia Da Reciclagem De Polímeros. **Quim. Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005. DOI: 10.1590/S0100-40422005000100014. Disponible en: <https://www.scielo.br/j/qn/a/bTLkNHWGnpsj4SWWjgLB49L/>. Acceso en: 15 jul. 2023.

TAO, Y.; WANG, H.; LI, Z.; LI, P.; SHI, S. Q. Development and Application of Wood Flour-Filled Polylactic Acid Composite Filament for 3D Printing. **Materials**, [S. l], v. 10, 2017. DOI: 10.3390/ma10040339. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28772694/>. Acceso en: 15 jul. 2023.

VACCIOLI, K. **Estudo da blenda PBAT/PLA com cargas.** Dissertação (Mestrado em Ciências) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

WELLZOOM. **WELLZOOM Desktop Filament Extruder.** Disponible en: <http://wellzoomextruder.com/>. Acceso en: 15 jul. 2023.

WONG, K.; HERNANDEZ, A. A Review of Additive Manufacturing. **International Scholarly Research Network**, [S. l.], 2012. DOI:10.5402/2012/208760. Disponible en: <https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/208760/>. Acceso en: 15 jul. 2023.

WWF. **Fundo Mundial para a Natureza**. 2023. Disponible en: <https://www.wwf.org.br/>. Acceso en: 15 jul. 2023.

ZHAO, P.; RAO, C.; GU, F.; SHARMIN, N.; FU, L. Close-looped recycling of polylactic acid used in 3D printing: Na experimental investigation and life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, [S. l.], p. 1046-1055, 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.06.275. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652618319346>. Acceso en: 15 jul. 2023.

### **CRedit Author Statement**

**Reconocimientos:** Investigación del Programa de Posgrado en Ciencias Forestales Tropicales (PPG-CFT) del Instituto Nacional de Investigaciones de la Amazonia (INPA). Este trabajo contó con el apoyo del Laboratorio de Caracterización y Síntesis de Nanomateriales (LSCN), que forma parte del Centro de Innovación del Instituto Federal de Amazonas (INOVA/IFAM).

**Financiación:** Este trabajo y su investigación fueron realizados con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento del Personal de Nivel Superior (CAPES), del Consejo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (CNPq) y también contó con el apoyo del Programa de Apoyo al Posgrado Stricto Sensu de la Fundación de Apoyo a la Investigación del Estado de Amazonas (POSGRAD-FAPEAM), Edición 2022-2023, Resolución No. 005/2022.

**Conflictos de intereses:** No hay conflictos de intereses.

**Aprobación ética:** No aplicable.

**Disponibilidad de datos y material:** No, porque se trataba de un relato de una experiencia realizada en un minicurso expositivo.

**Contribuciones de los autores:** Todos los autores contribuyeron a la redacción y ejecución de las demás actividades que fueron objeto de este estudio.

**Procesamiento y edición: Editora Iberoamericana de Educación - EIAE.**  
Corrección, formateo, normalización y traducción.

