

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL –
DOUTORADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA AMBIENTAL

ANDRÉ LUIZ EMMEL SILVA

**POTENCIAL USO DE BIOCOMPÓSITO NOS PROCESSOS DE
IMPRESSÕES 3D**

Santa Cruz do Sul

2022

André Luiz Emmel Silva

**POTENCIAL USO DE BIOCAMPÓSITO NOS PROCESSOS DE IMPRESSÕES
3D**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Doutorado, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para o título de Doutor em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr Jorge André Ribas Moraes

Co-orientadora: Prof^a. Dra. Lisianne Brittes Benitez

Santa Cruz do Sul
2022

RESUMO

Esta pesquisa teve como objetivo avaliar o potencial uso de biocompósito nos processos de impressões 3D por FDM. Está estruturada em quatro artigos, sendo dois de revisão e dois de resultados. Inicialmente realizou-se o levantamento do estado da arte para reconhecer os campos de aplicações da impressão 3D por meio de publicações científicas e consolidar as informações sobre o tema alvo deste estudo. Dessa forma, o primeiro artigo apresenta, através de técnicas bibliométricas, discussões e mapas que mostram a evolução dos temas no campo de pesquisa. O segundo artigo descreve e analisa os principais métodos de impressão 3D no que tange a vantagens, desvantagens, materiais, aplicações e um quantitativo das publicações científicas. Também apresenta uma linha do tempo com os marcos históricos da impressão 3D desde a sua criação. O terceiro artigo aborda o desenvolvimento de um biofilamento a partir da incorporação de biomassa perifítica e PLA, e avalia seu potencial de biodegradabilidade quando comparado aos filamentos comerciais PLA e ABS. Foi desenvolvido um biofilamento a partir da incorporação de 95% de PLA e 5% de biomassa perifítica. A Microscopia Eletrônica de Varredura e a espectroscopia FTIR foram aplicadas para analisar a estrutura morfológica do biofilamento. Os testes de impressão foram bem-sucedidos, comprovando que o biofilamento pode ser usado em impressão 3D. O biofilamento apresentou desempenho mecânico semelhantes ao PLA comercial, ficando levemente mais rígido e quebradiço. No ensaio de biodegradabilidade a amostra produzida com o biofilamento apresentou maior perda de massa, com 63,75%, quando comparada com as amostras de PLA, indicando que a presença da microalga contribuiu diretamente para a biodegradação do material. O quarto artigo traz uma abordagem bibliométrica e um estudo de caso sobre as emissões de compostos voláteis durante o processo de impressão 3D com os materiais mais comumente usados no mercado de FDM, ABS e PLA, e o biofilamento desenvolvido a base de PLA e biomassa perifítica. O filamento em ABS caracteriza-se como alto emissor de partículas ultrafinas e gases orgânicos voláteis durante o processo de impressão, e de maior toxicidade. O biofilamento apresentou emissões semelhantes ao PLA, provavelmente derivados da quebra do polímero, acrescidos de alguns compostos provenientes de resíduos de processos anteriores presentes na extrusora utilizada para fabricar o biofilamento, e outros associados a produtos de cuidados pessoais, higiene e limpeza do ambiente.

Palavras-chave: Impressão 3D; sustentabilidade ambiental; biofilamento; microalgas.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	OBJETIVOS	7
2.1	Objetivo geral	7
2.2	Objetivos específicos	7
3	METODOLOGIA	8
3.1	Procedimentos metodológicos	8
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
4.1	ARTIGO 1: Mapeamento da produção científica acerca do uso de biocompósitos nos processos de impressões 3D	11
4.2	ARTIGO 2: Impressão 3D: análise da evolução e seus impactos no mundo científico	27
5	RESULTADOS	49
5.1	ARTIGO 3: Desenvolvimento e caracterização de biofilamento de PLA combinado a biomassa perifítica para impressão 3D	49
5.2	ARTIGO 4: Mensuração das emissões dos compostos voláteis em um processo de impressão 3D por FDM	69
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
7	REFERÊNCIAS	89

1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D vem apresentando crescimento significativo nos últimos anos (LAPLUME; PETERSEN; PEARCE, 2016; WENG *et al.*, 2016; KUTZER; DEVRIES, 2017; DIZON *et al.*, 2018; NAVARRETE *et al.*, 2018), alavancada pela crescente disponibilidade e acessibilidade das tecnologias, expandindo sua abordagem para áreas anteriormente inexploradas (KITSON, 2014). Os resultados bem-sucedidos de pesquisas mostram um otimismo de que a impressão 3D tem um lugar significativo no futuro da fabricação (WONG; HERNANDEZ, 2012), e um intenso interesse em ampliar o alcance das aplicações potenciais (LAURETO; PEARCE, 2017). Isso se deve, em grande parte, à possibilidade de se produzir peças geometricamente complexas e funcionais, de forma rápida e ágil (TÜRK *et al.*, 2017; BLOK *et al.*, 2018).

Existem diferentes métodos na impressão 3D, sendo a Modelagem por Deposição Fundida (FDM) o mais amplamente utilizado (NING *et al.*, 2015; DAWOUD; TAHA; EBEID, 2016; PARANDOUSH; LIN, 2017; VALERGA *et al.*, 2017; ASLANZADEH *et al.*, 2018; KUZNETSOV *et al.*, 2018; WOOSLEY *et al.*, 2018). Essa tecnologia ganhou um interesse público por sua facilidade de uso, bem como pela simplicidade do próprio maquinário (DAWOUD; TAHA; EBEID, 2016), e tem como principais aplicações a fabricação de protótipos e moldes (NING *et al.*, 2015; RODRIGUES *et al.*, 2017).

As vantagens tecnológicas e econômicas da impressão 3D são frequentemente documentadas, mas o mesmo não ocorre para seu desempenho ambiental (YANG; LI, 2018; SAADE; YAHIA; AMOR, 2020). Os benefícios do ponto de vista ambiental ainda são desconhecidos, existindo lacunas de pesquisa a serem exploradas para entender e caracterizar a sustentabilidade da impressão 3D (MANI; LYONS; GUPTA, 2014; LIU *et al.*, 2016). Seus principais materiais poliméricos são o acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS) e o ácido poliláctico (PLA) (AZIMI *et al.*, 2016; CALIGNANO *et al.*, 2017; BLOK *et al.*, 2018; NAVARRETE *et al.*, 2018), que são comercializados livremente no mercado. Emerge aqui um problema ambiental: o descarte de resíduos e as emissões provenientes do aquecimento além do ponto de fusão desses materiais, que podem ser nocivas aos usuários e ao meio ambiente (STEPHENS *et al.*, 2013; KIM *et al.*, 2015; AZIMI *et al.*, 2016; WOJTYŁA; KLAMA; BARAN; 2017; YANG; LI, 2018; ZHAO *et al.*, 2018; XU *et al.*, 2020). O crescente otimismo numa realidade já alcançada pelo potencial de aplicações da impressão 3D não valoriza os

poucos estudos sobre as desvantagens ambientais desse processo (MANI; LYONS; GUPTA, 2014; LIU *et al.*, 2016).

Uma possível solução para minimizar os problemas ambientais associados ao uso excessivo de materiais plásticos é a utilização de polímeros biodegradáveis, os quais são suscetíveis à degradação causada pela ação de microrganismos (PELLICANO; PACHEKOSKI; AGNELLI, 2009; SURYANEGARA; NAKAGAITO; YANO, 2009; SCHEREN; GOMES; CEREDA, 2014; ARAUJO *et al.*, 2015). Contudo, o alto custo na produção de polímeros biodegradáveis, quando comparado aos polímeros convencionais, é um impeditivo para sua utilização em muitas indústrias. Uma alternativa é o incremento nas formulações de aditivos naturais, abundantes e degradáveis (PELLICANO, PACHEKOSKI e AGNELLI, 2009), formando uma combinação de fibras naturais com materiais poliméricos biodegradáveis ou não (LEITE *et al.*, 2010).

Neste contexto, surge como opção a utilização da biomassa de microalgas, as quais vêm ganhando importância significativa no desenvolvimento da biotecnologia, fornecendo bens e serviços valiosos em várias aplicações (MOSANENZADEH *et al.*, 2014; ABU-GHOSH *et al.*, 2021). Pode ser usada para o desenvolvimento de novos produtos ou agregando propriedades aos já existentes no mercado (SOUZA *et al.*, 2020). Vários estudos científicos mostraram o grande potencial das microalgas como matéria-prima confiável e sustentável para diversas aplicações (TANG *et al.*, 2020). Além disso, a utilização de biomassa para o desenvolvimento de bioprodutos pode contribuir para minimizar impactos relacionados a floração de microalgas devido à eutrofização de corpos d'água (SOUZA *et al.*, 2020).

Sendo assim, esta pesquisa busca investigar alternativas ambientalmente favoráveis ao processo de impressão 3D, desenvolvendo um produto com tempo de degradação mais rápido, capaz de gerar emissões menos agressivas durante a impressão, utilizando para isso a biomassa perifítica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Investigar alternativas ambientalmente favoráveis ao processo de impressão 3D por Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM), desenvolvendo um produto com tempo de degradação mais rápido, capaz de gerar emissões menos agressivas durante a impressão, utilizando para isso a biomassa perifítica.

2.2 Objetivos específicos

- Pesquisar o estado da arte e campos de aplicações da impressão 3D;
- Desenvolver um biofilamento de PLA combinado a biomassa perifítica para ser usado em impressão 3D;
- Realizar testes de impressão com o biofilamento desenvolvido;
- Realizar ensaios de tração, flexão e biodegradabilidade com o biofilamento desenvolvido;
- Investigar as emissões atmosféricas durante o processo de impressão 3D com os filamentos ABS, PLA e PLA/biomassa perifítica, empregando cromatografia gasosa com dessorvedor térmico.

3 METODOLOGIA

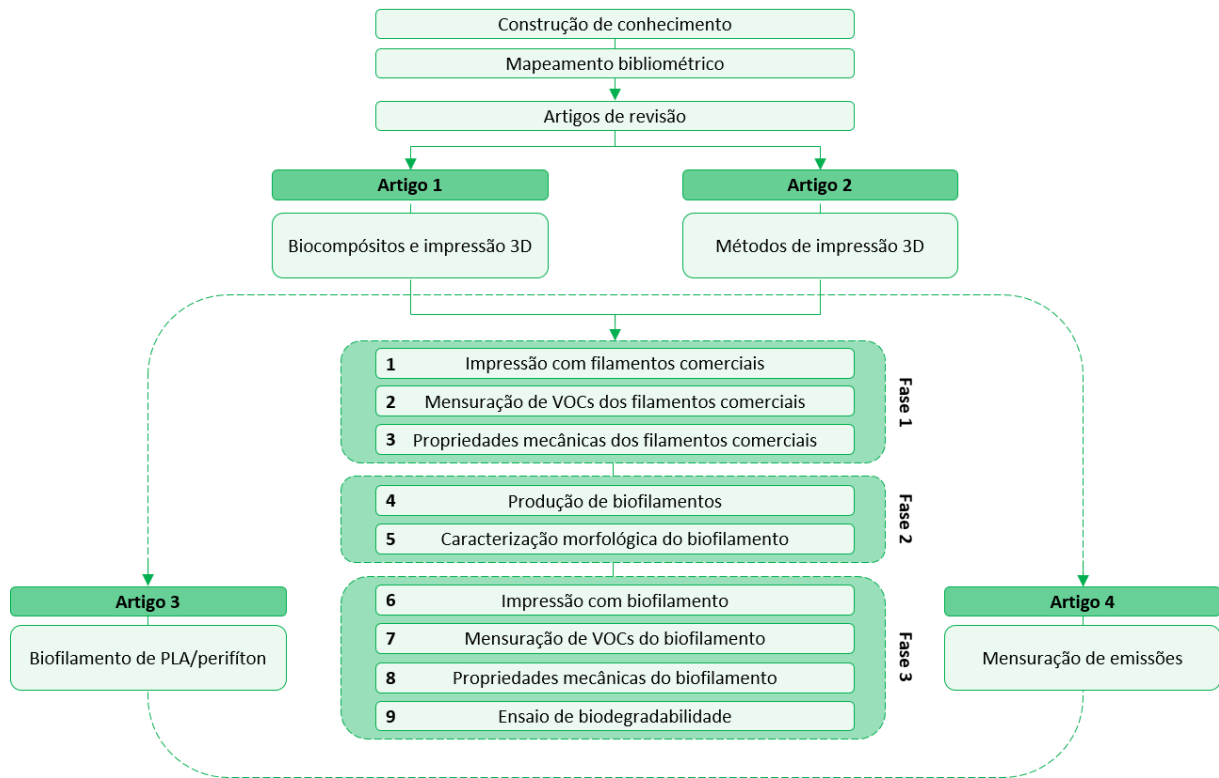
3.1 Procedimentos metodológicos

Inicialmente realizou-se o levantamento do estado da arte para reconhecer os campos de aplicações da impressão 3D por meio de publicações científicas e consolidar as informações científicas sobre o tema alvo deste estudo. Após essas pesquisas iniciais, foi possível desenvolver dois artigos de revisão. Foi redigido o artigo intitulado “Mapeamento da produção científica acerca do uso de biocompósitos nos processos de impressões 3D” que apresenta, através de técnicas bibliométricas, discussões e mapas que mostram a evolução dos temas no campo de pesquisa. O segundo artigo redigido intitula-se “Impressão 3D: análise da evolução e seus impactos no mundo científico”. Neste, foram descritos e analisados os principais métodos de impressão 3D no que tange a vantagens, desvantagens, materiais, aplicações e um quantitativo das publicações científicas. Também apresentou uma linha do tempo com os marcos históricos da impressão 3D desde a sua criação.

Os artigos 3 e 4 referem-se aos resultados da pesquisa experimental. O artigo 3 “Desenvolvimento e caracterização de biofilamento de PLA/perifiton para impressão 3D” teve como objetivo desenvolver um biofilamento a partir da mistura de biomassa perifítica e PLA, e avaliar seu potencial de biodegradabilidade quando comparado aos filamentos comerciais. O artigo 4 intitulado “Mensuração de emissões em um processo de impressão 3D por FDM” apresentou uma abordagem bibliométrica e um estudo de caso sobre as emissões de compostos voláteis durante o processo de impressão 3D com os materiais mais comumente usados no mercado de FDM, ABS e PLA, e o biopolímero desenvolvido a base de PLA e biomassa perifítica.

O processo principal da metodologia pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Procedimentos metodológicos.



A Fase 1, dedicada aos experimentos com os filamentos comerciais, os termoplásticos ácido polilático (PLA) e o acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), é subdividida em 3 etapas. Na etapa 1 procurou-se definir os parâmetros ideais de impressão que pudessem ser utilizados em ambos os materiais, e também no biofilamento a ser desenvolvido. Buscou-se uma padronização nas especificações de espessura da camada, espessura das paredes superior, inferior e contorno, densidade de preenchimento e ângulo de impressão. Tal padronização fez-se necessária para fins de comparação dos resultados dos ensaios mecânicos entre os diferentes materiais. Nesta etapa também se definiram as normas que guiaram os desenhos dos corpos de prova para posterior ensaios. Após definidos os parâmetros, desenhado os corpos de prova, realizou-se a impressão. Durante as impressões dos corpos de prova, executou-se a etapa 2: mensuração das emissões de VOCs. Na etapa 3 foram realizados os ensaios de resistência a tração e flexão. Esses ensaios não visaram avaliar a influência dos parâmetros de impressão, mas sim analisar e comparar as propriedades mecânicas entre os materiais.

A Fase 2 destinou-se a produção (etapa 4) e caracterização de um biofilamento (etapa 5). A etapa 4 foi subdividida em seleção do filamento comercial, seleção do biocompósito, preparação dos materiais definindo o percentual de cada um na composição e a produção do

biofilamento. A caracterização morfológica do biofilamento deu-se por meio dos ensaios de microscopia eletrônica de varredura e espectroscopia no infravermelho com transformada de fourier (FTIR).

Na Fase 3, repetiu-se as etapas já realizadas na Fase 1, porém para o biofilamento desenvolvido. Agregou-se aqui o ensaio de biodegradabilidade.

7 REFERÊNCIAS

American Society for Testing and Materials - ASTM. - D 638-14: Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics, Annual Book of ASTM Standard, 2014.

_____. ASTM. - D 790-03: Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials, Annual Book of ASTM Standard, 2003.

_____. ASTM. - G 160-03: Standard Practice for Evaluating Microbial Susceptibility of Nonmetallic Materials By Laboratory Soil Burial, Annual Book of ASTM Standard, 2003.

ABU-GHOSH, S.; DUBINSKY, Z.; VERDELHO, V.; ILUZ, D.. Unconventional high-value products from microalgae: A review. **Bioresource Technology**, v. 329, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124895>

AHMED, J.; VARSHNEY, S.K.. Polylactides-Chemistry, Properties and Green Packaging Technology: A Review. **International Journal of Food Properties**, v. 14, n. 1, p. 37-58, 2011. <https://doi.org/10.1080/10942910903125284>

ARAÚJO, R. J.; CONCEIÇÃO, I. D.; CARVALHO, L. H.; ALVES, T. S.; BARBOSA, R.. Influence of brazilian vermiculite clay in biodegradation of PHB films. **Polymer**, v. 25, n. 5, p. 483-491, 2015. <https://doi.org/10.1590/0104-1428.2031>

ASLANZADEH, S.; SAGHLATOON, H.; HONARI, M.M.; MIRZAVAND, R.; MONTEMAGNO, C.; MOUSAVI, P.. Investigation on electrical and mechanical properties of 3D printed nylon 6 for RF/microwave electronics applications. **Additive Manufacturing**, v. 21, p. 69-75, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.02.016>

ATTARAN, M. The rise of 3D printing: the advantages of additive manufacturing over traditional manufacturing. **Business Horizons**, v. 60, n. 5, p. 677-688, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2017.05.011>

AVOLIO, R.; CASTALDO, R.; AVELLA, M.; COCCA, M. C.; GENTILE, G.; FIORI, S.; ERRICO, M. E.. PLA-based plasticized nanocomposites: Effect of polymer/plasticizer/filler interactions on the time evolution of properties. **Composites Part B: Engineering**, v. 152, p. 267-274, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.011>

AZIMI, P.; ZHAO, D.; POUZET, C.; CRAIN, N.E.; STEPHENS, B.. Emissions of Ultrafine Particles and Volatile Organic Compounds from Commercially Available Desktop Three-Dimensional Printers with Multiple Filaments. **Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 3, p. 1260-1268, 2016. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b04983>

BACA, D.; AHMAD, R.. The impact on the mechanical properties of multi-material polymers fabricated with a single mixing nozzle and multi-nozzle systems via fused deposition modeling. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 106, p. 4509–4520, 2020. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-04937-3>

BADEN, T.; CHAGAS, A. M.; GAGE, G. J.; MARZULLO, T. C.; PRIETO-GODINO, L. L.; EULER, T.. Open Labware: 3-D Printing Your Own Lab Equipment. **PLOS Biology**, v. 13, n. 5, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002086>

BARBANTI, S. H.; ZAVAGLIA, C. A. C.; DUEK, E. A. R.. Polímeros bioreabsorvíveis na engenharia de tecidos. **Polímeros**, São Carlos, v. 15, n. 1, p. 13-21, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282005000100006>

BAUMERS, M.; TUCK, C.; BOURELL, D. L.; SREENIVASAN, R.; HAGUE, R.. Sustainability of additive manufacturing: measuring the energy consumption of the laser sintering process. **Journal of Engineering Manufacture**, v. 225, n. 12, p. 2228-2239, 2011. <https://doi.org/10.1177/0954405411406044>

BEDIAN, L.; VILLALBA-RODRÍGUEZ, A. M.; HERNÁNDEZVARGAS, G.; PARRA-SALDIVAR, R.; IQBAL, H. M.. Bio-based materials with novel characteristics for tissue engineering applications—A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 98, p. 837-846, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.048>

BEECROFT, M.. Digital interlooping: 3D printing of weft-knitted textile-based tubular structures using selective laser sintering of nylon powder. **International Journal of Fashion Design, Technology and Education**, v. 12, n. 2, p. 218-224. 2019. <https://doi.org/10.1080/17543266.2019.1573269>

BERNATIKOVA, S.; DUDACEK, A.; PRICHYSTALOVA, R.; KLECKA, V.; KOCURKOVA, L.. Characterization of Ultrafine Particles and VOCs Emitted from a 3D Printer. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 18, n. 3, p. 929, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph18030929>

BISWAS, M. C.; JEELANI, S.; RANGARI, V.. Influence of biobased silica/carbon hybrid nanoparticles on thermal and mechanical properties of biodegradable polymer films. **Composites Communications**, v. 4, p. 43-53, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.coco.2017.04.005>

BLOK, L. G.; LONGANA, M. L.; YU, H.; WOODS, B. K. S.. An investigation into 3D printing of fibre reinforced thermoplastic composites. **Additive Manufacturing**, v. 22, p. 176-186, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2018.04.039>

BOGUE, R. 3D printing: the dawn of a new era in manufacturing? **Assembly Automation**, v.33, n. 4, p. 307-311, 2013. <https://doi.org/10.1108/AA-06-2013-055>

CALIGNANO, F.; MANFREDI, D.; AMBROSIO, E. P.; BIAMINO, S.; LOMBARDI, M.; ATZENI, E.; SALMI, A.; MINETOLA, P.; IULIANO, L.; FINO, P.. Overview on Additive Manufacturing Technologies. **Proceedings of the IEEE**, v. 105, n. 4, p. 593-612, 2017. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2016.2625098>

CALIGNANO, F.; MANFREDI, D.; AMBROSIO, E. P.; IULIANO, L.; FINO, P. Influence of process parameters on surface roughness of aluminum parts produced by DMLS. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 67, p. 2743-2751, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4688-9>

- CARRASCO, F.; PAGÈS, P.; GÁMEZ-PÉREZ, J.; SANTANA, O. O.; MASPOCH, M. L.. Processing of poly(lactic acid): characteriza-tion of chemical structure, thermal and mechanical properties. **Polymer Degradation and Stability**, v. 95, n. 2, p. 116-125, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.11.045>
- CASTRO-AGUIRRE, F.; IÑIGUEZ-FRANCO, F.; SAMSUDIN, H.; FANG, X.; AURAS, R.. Poly(lactic acid) - Mass production, processing, industrial applications, and end of life. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, p. 333-366, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.03.010>
- CAO, Y.; ZHANG, N.; SUN, J.; LI, W.. Responses of periphyton on non-plant substrates to different macrophytes under various nitrogen concentrations: A mesocosm study. **Aquatic Botany**, v. 154, p. 53-59, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2019.01.003>
- CHAN, F. L.; HON, C. Y.; TARLO, S. M.; RAJARAM, N.; HOUSE, R.. Emissions and health risks from the use of 3D printers in an occupational setting. **Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A**, v. 83, n. 7, p. 279-287, 2020. <https://doi.org/10.1080/15287394.2020.1751758>
- CHEN, D.; HEYER, S.; IBBOTSON, S.; SALONITIS, K.; STEINGRÍMSSON, J. G.; THIEDE, S.. Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. **Journal of Cleaner Production**, v. 107, p. 615-625, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.009>
- CHEN, G.; XIAO, L.. Selecting publication keywords for domain analysis in bibliometrics: A comparison of three methods. **Journal of Informetrics**, v. 10, n. 1, p. 212-223, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2016.01.006>
- CHINNADURAI, K.; PREMA, P.; VEERAMANIKANDAN, V.; KUMAR, K. R.; NGUYEN, V. H.; MARRAIKI, N.; ZAGHLOUL, N. S. S.; BALAJI, P.. Toxicity evaluation and oxidative stress response of fumaronitrile, a persistent organic pollutant (POP) of industrial waste water on tilapia fish (*Oreochromis mossambicus*). **Environmental Research**, v. 204, Part A, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112030>
- CHOW, C. P. L.; XING, X. S.; LI, R. K. Y.. Moisture absorption studies of sisal fibre reinforced polypropylene composites. **Composites Science and Technology**, v. 67, n. 2, p. 306-313, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2006.08.005>
- COBO, M. J.; LÓPEZ-HERRERA, A. G.; HERRERA-VIEDMA, E.; HERRERA, F.. An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the fuzzy sets theory field. **Journal of Informetrics**, v. 5, n. 1, p. 146-166, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>
- COBO, M. J.; LÓPEZ-HERRERA, A. G.; HERRERA-VIEDMA, E.; HERRERA, F.. SciMAT: A new science mapping analysis software tool. **Journal of the American Society for Information Science and Technology**, v. 63, n. 8, p. 1609-630, 2012. <https://doi.org/10.1002/asi.22688>

- COBO, M. J.; CHICLANA, F.; COLLOP, A.; ONA, J.; HERRERAVIEDMA, E.. A bibliometric analysis of the inteligente transportation systems research based on Science mapping. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v. 15, n. 2, p. 901-908, 2014. <https://doi.org/10.1109/TITS.2013.2284756>
- DAVER, F.; LEE, K. P. M.; BRANDT, M.; SHANKS, R.. Cork–PLA composite filaments for fused deposition modelling. **Composites Science and Technology**, v. 168, p. 230-237, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2018.10.008>
- DAWOUD, M.; TAHA, I.; EBEID, S. J.. Mechanical behaviour of ABS: an experimental study using FDM and injection moulding techniques. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 21, p. 39-45, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2015.11.002>
- DIZON, J. R. C.; ESPERA JR., A. H.; CHEN, Q.; ADVINCULA, R. C.. Mechanical characterization of 3D-printed polymers. **Additive Manufacturing**, v. 20, p. 44-67, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2017.12.002>
- DODZIUK, H. Applications of 3D printing in healthcare. **Polish journal of cardio-thoracic surgery**, v. 13, n. 3, p. 283-293, 2016. <https://doi.org/10.5114/kitp.2016.62625>
- DOLAI, S.; BHUNIA, S. K.; BEGLARYAN, S. S.; KOLUSHEVA, S.; ZEIRI, L.; JELINEK, R.. Colorimetric Polydiacetylene–Aerogel Detector for Volatile Organic Compounds (VOCs). **ACS Appl. Mater. Interfaces**, v. 9, n. 3, p. 2891-2898, 2017. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b14469>
- DONG, Y.; GHATAURA, A.; TAKAGI, H.; HAROOSH, H. J.; NAKAGAITO, A. N.; LAU, K. T.. Polylactic acid (PLA) biocomposites reinforced with coir fibres: Evaluation of mechanical performance and multifunctional properties. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 63, p. 76-84, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2014.04.003>
- DU, J.; WEI, Z.; WANG, X.; WANG, J.; CHEN, Z.. An improved fused deposition modeling process for forming large-size thin-walled parts. **Journal of Materials Processing Technology**, v. 234, p. 332-341, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.04.005>
- ELSAWY, M. A.; KIM, K. H.; PARK, J. W.; DEEP, A.. Hydrolytic degradation of polylactic acid (PLA) and its composites. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 79, p. 1346-1352, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.143>
- EL-KASSAS, A. M.; MOURAD, A. H. I. Novel fibers preparation technique for manufacturing of rice straw based fiberboards and their characterization. **Materials & Design**, v. 50, p. 757-765, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.057>
- FALUDI, J.; BAYLEY, C.; BHOGAL, S.; IRIBARNE, M.. Comparing environmental impacts of additive manufacturing vs traditional machining via life-cycle assessment. **Rapid Prototyping Journal**, v. 21, n. 1, p. 14-33, 2015. <https://doi.org/10.1108/RPJ-07-2013-0067>
- FILGUEIRA, D.; HOLMEN, S.; MELBØ, J. K.; MOLDES, D.; ECHTERMEYER, A. T.; CHINGA-CARRASCO, G.. Enzymatic-Assisted Modification of Thermomechanical Pulp Fibers to Improve the Interfacial Adhesion with Poly (lactic acid) for 3D Printing. **ACS**

Sustainable Chemistry and Engineering, v. 5, n. 10, p. 9338-9346, 2017. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.7b02351>

FILGUEIRA, D.; HOLMEN, S.; MELBØ, J. K.; MOLDES, D.; ECHTERMAYER, A. T.; CHINGA-CARRASCO, G.. 3D printable filaments made of biobased polyethylene biocomposites. **Polymers**, v. 10, n. 3, p. 314, 2018. <https://doi.org/10.3390/polym10030314>

FLOYD, E. L.; WANG J.; REGENS, J. L.. Fume emissions from a low-cost 3-D printer with various filaments. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 14, n. 7, p. 523-533, 2017. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1302587>

FRAZIER, W. E.. Metal Additive Manufacturing: A Review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 23, n. 6, p. 1917-1928, 2014. <https://doi.org/10.1007/s11665-014-0958-z>

FUKUSHIMA, K.; ABBATE, C.; TABUANI, D.; GENNARI, M.; CAMINO, G.. Biodegradation of poly (lactic acid) and its nanocomposites. **Polym. Degrad. Stabil.**, v. 94, n. 10, p. 1646-1655, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2009.07.001>

GALBRAITH, D.; GROSS, S. A.; PAUSTENBACH, D.. Benzene and human health: A historical review and appraisal of associations with various diseases. **Critical Reviews in Toxicology**, v. 40, p. 1-46, 2010. <https://doi.org/10.3109/10408444.2010.508162>

GEBLER, M.; UITERKAMP, A. J. M. S.; VISSER, C.. A global sustainability perspective on 3D printing Technologies. **Energy Policy**, v. 74, p. 158-167, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033>

GOMEZ-JAUREGUI, V.; GOMEZ-JAUREGUI, C.; MANCHADO, C.; OTERO, C.. Information management and improvement of citation indices. **International Journal of Information Management**, v. 34, p. 257-271, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2014.01.002>

GRIFFITHS, C.A.; HOWARTH, J.; ALMEIDA-ROWBOTHAM, G.; REES, A.; KERTON, R.. A design of experiments approach for the optimisation of energy and waste during the production of parts manufactured by 3D printing. **Journal of Cleaner Production**, v. 139, p. 74-85, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.182>

GRÜNBERGER, T.; DOMRÖSE, T. Direct metal laser sintering: identification of process phenomena by optical in-process monitoring. **Laser Technik Journal**, v. 12, n. 1, p. 45-48, 2015. <https://doi.org/10.1002/latj.201500007>

GÜMPERLEIN, I.; FISCHER, E.; DIETRICH-GÜMPERLEIN, G.; KARRASCH, S.; NOWAK, D.; JÖRRES, R. A.; SCHIERL, R.. Acute health effects of desktop 3D printing (fused deposition modeling) using acrylonitrile butadiene styrene and polylactic acid materials: An experimental exposure study in human volunteers. **Indoor Air**, v. 28, p. 611- 623, 2018. <https://doi.org/10.1111/ina.12458>

GUO, H.; LEE, S. C.; CHAN, L. Y.; LI, W. M.. Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. **Environmental Research**, v. 94, n. 1, p. 57-66, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0013-9351\(03\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0013-9351(03)00035-5)

GUPTA, A.; PRASAD, A.; MULCHANDANI, N.; SHAH, M.; SANKAR, M. R.; KUMAR, S.; KATIYAR, V.. Multifunctional Nanohydroxyapatite-Promoted Toughened High-Molecular-Weight Stereocomplex Poly (lactic acid)-Based Bionanocomposite for Both 3D-Printed Orthopedic Implants and High-Temperature Engineering Applications. **ACS Omega**, v. 2, n. 7, p. 4039-4052, 2017. <https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00915>

HAGER, I.; GOLONKA, A.; PUTANOWICZ, R. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? **Procedia Engineering**, v. 151, p. 292-299, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.07.357>

HAHM, M.; LEE, J.; LEE, M.; BYEON, S. H.; Health risk assessment of occupational exposure to styrene depending on the type of industry: Data from the Workplace Environmental Monitoring Program in Korea. **Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal**, v. 22, n. 6, p. 1312-1322, 2016. <https://doi.org/10.1080/10807039.2016.1168691>

HAKIMI, N.; CHENG, R.; LENG, L.; CHENG, R.; SOTOUDEHFAR, M.; BA, P. Q.; BAKHTYAR, N.; AMINI-NIK, S.; JESCHKE, M. G.; GÜNTHER, A. Handheld skin printer: in situ formation of planar biomaterials and tissues. **Lab on a Chip**, v. 18, p. 1440-1451, 2018. <https://doi.org/10.1039/c7lc01236e>

HAZRATI, S.; ROSTAMI, R.; FARJAMINEZHAD, M.; FAZLZADEH, M.. Preliminary assessment of BTEX concentrations in indoor air of residential buildings and atmospheric ambient air in Ardabil, Iran. **Atmospheric Environment**, v. 132, p. 91-97, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.02.042>

HERADIO, R.; PEREZ-MORAGO, H.; FERNANDEZ-AMOROS, D.; JAVIER CABRERIZO, F.; HERRERA-VIDMA, E. A bibliometric analysis of 20 years of research on software product lines. **Information and Software Technology**, v. 72, p. 1-15, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2015.11.004>

HUANG, J.; FAN, J.; YUAN, D.; ZHANG, S.; CHEN, Y.. Facile Preparation of Supertoughened Polylactide-Based Thermoplastic Vulcanizates without Sacrificing the Stiffness Based on the Selective Distribution of Silica. **Ind. Eng. Chem. Res**, v. 59, n. 21, p. 9950-9958, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c00035>

HUANG, P. H.; LIU, P.; MOKASDAR, A.; HOU, L.. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 67, n. 5-8, p. 1191-1203, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>

HUDA, M. S.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K.; MISRA, M.. Effect of fiber surface-treatments on the properties of laminated biocomposites from poly(lactic acid) (PLA) and kenaf fibers. **Compos Sci Technol**, v. 68, n. 2, p. 424-432, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2007.06.022>

ISAACSON, A.; SWIOKLO, S.; CONNON, C. J. 3D bioprinting of a corneal stroma equivalent. **Experimental Eye Research**, v. 173, p. 188-193, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.exer.2018.05.010>

JENSEN, J. O.. Vibrational frequencies and structural determinations of fumaronitrile. **Journal of Molecular Structure: THEOCHEM**, v. 631, n. 1-3, p. 231-240, 2003. [https://doi.org/10.1016/S0166-1280\(03\)00254-9](https://doi.org/10.1016/S0166-1280(03)00254-9)

JEON, H. J.; KIM, M. N.. Biodegradation of poly(l-lactide) (PLA) exposed to UV irradiation by a mesophilic bacterium. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 289-293, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2013.08.013>

KALE, G.; AURAS, R.; SINGH, S. P.; NARAYAN, R.. Biodegradability of polylactide bottles in real and simulated composting conditions. **Polymer Testing**, v. 26, n. 8, p.1049-1061, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2007.07.006>

KARGARZADEH, H.; JOHAR, N.; AHMAD, I.. Starch biocomposite film reinforced by multiscale rice husk fiber. **Composites Science and Technology**, v. 151, p. 147-155, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2017.08.018>

KIM, Y.; YOON, C.; HAM, S.; PARK, J.; KIM, S.; KWON, O.; TAI, P.. Emissions of Nanoparticles and Gaseous Material from 3D Printer Operation. **Environmental Science & Technology**, v. 49, n. 20, p. 12044-12053, 2015. <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02805>

KITSON, P. J.; MACDONELL, A.; TSUDA, S.; ZANG, H.; LONG, D. L.; CRONIN, L.. Bringing Crystal Structures to Reality by Three-Dimensional Printing. **Crystal Growth Design**, v. 14, n. 6, p. 2720-2724, 2014. <https://doi.org/10.1021/cg5003012>

KREIGER, M. A.; MULDER, M. L.; GLOVER, A. G.; PEARCE, J. M.. Life cycle analysis of distributed recycling of post-consumer high density polyethylene for 3-D printing filament. **Journal of Cleaner Production**, v. 70, p. 90-96, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.02.009>

KREIGER, M.; PEARCE, J. M. Environmental Life Cycle Analysis of Distributed Three-Dimensional Printing and Conventional Manufacturing of Polymer Products. **ACS Sustainable Chem. Eng**, v. 1, n. 12, p. 1511-1519, 2013. <https://doi.org/10.1021/c400093k>

KODAL, M.; WIS, A. A.; OZKOC, G.. The mechanical, thermal and morphological properties of γ -irradiated PLA/TAIC and PLA/OvPOSS. **Radiation Physics and Chemistry**, 153, p. 214-225, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.10.018>

KUMAR, R.; SINGH, R.; FARINA, I.. On the 3D printing of recycled ABS, PLA and HIPS thermoplastics for structural applications. **PSU Research Review**, v. 2, n. 2, p. 115-137, 2018. <https://doi.org/10.1108/PRR-07-2018-0018>

KUTZER, M. D. M.; DEVRIES, L. D.. Testbed for Multilayer Conformal Additive Manufacturing. **Technologies**, v. 5, n. 2, 2017. <https://doi.org/10.3390/technologies5020025>

- KYUTOKU, H.; MAEDA, N.; SAKAMOTO, H.; NISHIMURA, H.; YAMADA, K.. Effect of surface treatment of cellulose fiber (CF) on durability of PLA/CF bio-composites. **Carbohydrate Polymers**, v. 203, p. 95-102, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.09.033>
- KUZNETSOV, V. E.; SOLONIN, A. N.; URZHUMTSEV, O. D.; SCHILLING, R.; TAVITOV, A. G.. Strength of PLA Components Fabricated with Fused Deposition Technology Using a Desktop 3D Printer as a Function of Geometrical Parameters of the Process. **Polymers**, v. 10, n. 3, p. 313-323, 2018. <https://doi.org/10.3390/polym10030313>
- LAPLUME, A. O.; PETERSEN, B.; PEARCE, J. M.. Global value chains from a 3D printing perspective. **Int Bus Stud**, v. 47, n. 5, p. 595-609, 2016. <https://doi.org/10.1057/jibs.2015.47>
- LAURETO, J. J.; PEARCE, J. M.. Open Source Multi-Head 3D Printer for Polymer-Metal Composite Component Manufacturing. **Technologies**, v. 5, n. 2, p. 36-58, 2017. <https://dx.doi.org/10.3390/technologies5020036>
- LE BOURHIS, F.; KERBRAT, O.; HASCOET, J. Y.; MOGNOL, P.. Sustainable manufacturing: evaluation and modeling of environmental impacts in additive manufacturing. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 69, n. 9-12, p. 1927-1939, 2013. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5151-2>
- LE DUIGOU, A.; CASTRO, M.; BEVAN, R.; MARTIN, N.. 3D printing of wood fibre biocomposites: From mechanical to actuation functionality. **Materials & Design**, v. 96, p. 106-114, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.02.018>
- LEITE, M. C. A. M. FURTADO, C. R. G.; COUTO, L. O.; OLIVEIRA, F. L. B. O.; CORREIA, T. R.. Evaluation of biodegradation poly(ϵ -caprolactone)/green coconut fiber. **Polymer**, v. 20, n. 5, p. 339-344, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0104-14282010005000063>
- LIU, F. H.. Synthesis of biomedical composite scaffolds by laser sintering: Mechanical properties and in vitro bioactivity evaluation. **Applied Surface Science**, v. 297, p. 1-8, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2013.12.130>
- LIU, Z.; JIANG, Q.; ZHANG, Y.; LI, T.; ZHANG, H. C.. Sustainability of 3D Printing: A Critical Review and Recommendations. In: **Proceedings of the ASME 2016 11th International Manufacturing Science and Engineering Conference**. Volume 2: Materials; Biomanufacturing; Properties, Applications and Systems; Sustainable Manufacturing. Blacksburg, Virginia, USA, 2016. <https://doi.org/10.1115/MSEC2016-8618>
- LOBO, E. A.; SCHUCH, M.; HEINRICH, C. G.; COSTA, A. B.; DÜPONT, A.; WETZEL, C. A.; ECTOR, L.. Development of the Trophic Water Quality Index (TWQI) for subtropical temperate Brazilian lotic systems. **Environ Monit Assess**, v. 187, n. 354 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-015-4586-3>
- LUZI, F.; FORTUNATI, E.; PUGLIA, D.; PETRUCCI, R.; KENNY, J. M.; TORRE, L.. Study of disintegrability in compost and enzymatic degradation of PLA and PLA nanocomposites reinforced with cellulose nanocrystals extracted from *Posidonia Oceanica*. **Polymer**

Degradation and Stability, v. 121, p. 105-115, 2015.
<https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2015.08.016>

MA, X.; QU, X.; ZHU, W., LI, Y. S.; YUAN, S.; ZHANG, H.; LIU, J.; WANG, P.; LAI, C.S. E.; ZANELLA, F.; FENG, G. S.; SHEIKH, F.; CHIEN, S.; CHEN, S. Deterministically patterned biomimetic human iPSC-derived hepatic model via rapid 3D bioprinting. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 113, n. 8, p. 2206-2211, 2016. <https://doi.org/10.1073/pnas.1524510113>

MANI, M.; LYONS, K. W.; GUPTA, S. K.. Sustainability Characterization for Additive Manufacturing. **J Res Natl Inst Stand Technol**, v. 119, p. 419-428, 2014. <https://doi.org/10.6028/jres.119.016>

MANNOOR, M. S.; JIANG, Z.; JAMES, T.; KONG, Y. L.; MALATESTA, K. A.; SOBOYEJO, W. O.; VERMA, N.; GRACIAS, D. H.; MCALPINE, M. C. 3D Printed bionic ears. **Nano Letters**, v. 13, n. 6, p. 2634-2639, 2013. <https://doi.org/10.1021/nl4007744>

MASLOWSKI, M.; MIEDZIANOWSKA, J.; STRZELEC, K.. Natural rubber biocomposites containing corn, barley and wheat straw. **Polymer Testing**, v. 63, p. 84-91, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2017.08.003>

MAZZOLI, A. Selective laser sintering in biomedical engineering. **Med Biol Eng Comput**, v. 51, n. 3, p. 245-256, 2013. <https://doi.org/10.1007/s11517-012-1001-x>

MEIRA, C. R.; CARVALHO, J.; PURQUERIO, B. M.; FORTULAN, C.mA.. Development of gypsum powder and binder for 3D print rapid prototyping. **Cerâmica**, v. 59, n. 351, p. 401-408, 2013. <https://dx.doi.org/10.1590/S0366-69132013000300009>

MEISEL, N. A.; ELLIOT, A. M.; WILLIAMS, C. B. A procedure for creating actuated joints via embedding shape memory alloys in PolyJet 3D printing. **Journal of Intelligent Material Systems and Structures**, v. 26, n. 12, p. 1498-1512, 2015. <https://doi.org/10.1177/1045389X14544144>

MELCHELS, F. P. W.; FEIJEN, J.; GRIJPMA, D. W. A review on stereolithography and its applications in biomedical engineering. **Biomaterials**, v. 31, n. 24, p. 6121-6130, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2010.04.050>

MENG, F.; ZHOU, Y.; LIU, J. Y.; WU, J.; WANG, G.; LI, R.; ZHANG, Y.. Thermal decomposition behaviors and kinetics of carrageenan-poly vinyl alcohol bio-composite film. **Carbohydrate Polymers**, v.201, p.96-104, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.07.095>

MIKEŠ, J.; PEKÁREK, S.; BABČENKO, O.; HANUŠ, O.; KÁKONA, J.; ŠTENCLOVÁ, P.. 3D printing materials for generators of active particles based on electrical discharges. **Plasma Process Polym**, v. 17, 2020. <https://doi.org/10.1002/ppap.201900150>

MOHANTY, S.; NAYAK, S. K.. Dynamic and steady state viscoelastic behavior and morphology of MAPP treated PP/sisal composites. **Materials Science and Engineering**, v. 443, n. 1-2, p. 202-208, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.08.053>

- MOSANENZADEH, S. G.; NAGUIB, H. E.; PARK, C. B.; ATALLA, N.. Effect of biopolymer blends on physical and Acoustical properties of biocomposite foams. **J. Polym. Sci. Part B: Polym. Phys.**, v. 52, n. 15, p. 1002-1013, 2014. <https://doi.org/10.1002/polb.23522>
- MURARIU, M.; DUBOIS, P.. PLA composites: From production to properties. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 107, p. 17-46, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.04.003>
- MURPHY, C. A.; COLLINS, M. N.. Microcrystalline cellulose reinforced polylactic acid biocomposite filaments for 3D printing. **Polymer Composites**, v. 39, n. 4, p. 1311-1320, 2018. <https://doi.org/10.1002/pc.24069>
- NAGARAJAN, V.; MOHANTY, A. K.; MISRA, M.. Perspective on Polylactic Acid (PLA) based Sustainable Materials for Durable Applications: Focus on Toughness and Heat Resistance. **ACS Sustainable Chemistry & Engineering**, v. 4, n. 6, p. 2899-2916, 2016. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b00321>
- NAVARRETE, J. I. M.; HIDALGO-SALAZAR, M. A.; NUNEZ, E. E.; ARCINIEGAS, A. J. R.. Thermal and mechanical behavior of biocomposites using additive manufacturing. **Int J Interact Des Manuf**, v. 12, n. 2, p. 449-458, 2018. <https://dx.doi.org/10.1007/s12008-017-0411-2>
- NGO, T. T.; BLAIR, S.; KUWAHARA, K.; CHRISTENSEN, D.; BARRERA, I; DOMINGO, M.; SINGAMNENI, S.. Drug impregnation for laser sintered poly (methyl methacrylate) biocomposites using supercritical carbon dioxide. **Journal of Supercritical Fluids**, v. 136, p. 29-36, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2018.01.030>
- NING, F.; CONG, W.; HU, Z.; HUANG, K. Additive manufacturing of thermoplastic matrix composites using fused deposition modeling: A comparison of two reinforcements. **Journal of Composite Materials**, v. 51, n. 27, p. 3733-3742, 2017. <https://doi.org/10.1177/0021998317692659>
- NING, F.; CONG, W.; QIU, J.; WEI, J.; WANG, S.. Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling. **Composites Part B: Engineering**, v. 80, p. 369-378, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2015.06.013>
- NOOR, N.; SHAPIRA, A.; EDRI, R.; GAL, I.; WERTHEIM, L.; DVIR, T. 3D Printing of Personalized Thick and Perfusable Cardiac Patches and Hearts. **Advanced Science**, v. 6, 2019. <https://doi.org/10.1002/advs.201900344>
- OKSMAN, K.; SELIN, J. F.. Plastics and Composites from Polylactic Acid. **Natural Fibers, Plastics and Composites**. p 149-165, 2004. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9050-1_10
- PARANDOUSH, P.; LIN, D.. A review on additive manufacturing of polymer-fiber composites. **Composite Structures**, v. 182, p. 36-53, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2017.08.088>
- PARK, C. H.; SCHROEDER, V.; KIM, B. J.; SWAGER, T. M.. Ionic Liquid-Carbon Nanotube Sensor Arrays for Human Breath Related Volatile Organic Compounds. **ACS Sensors**, v. 3, n. 11, p. 2432-2437, 2018. <https://doi.org/10.1021/acssensors.8b00987>

- PELLICANO, M.; PACHEKOSKI, W.; AGNELLI, J. A. M.. Influence of cassava starch incorporation on the biodegradability of the polymeric blend PHBV/Ecoflex®. **Polymer**, v. 19, n. 3, p. 212-217, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14282009000300009>.
- PEETERS, B.; KIRATLI, N.; SEMEIJN, J.. A barrier analysis for distributed recycling of 3D printing waste: Taking the maker movement perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 241, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118313>
- PETROVIC, V.; GONZALES, J. V. H.; FERRADO, O. J.; GORDILLO, J. D.; PUCHADES, J. R. B.; GINAN, L. P.. Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. **Int. J. Prod. Res.**, v. 49, n. 4, p. 1071-1079, 2011. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540903479786>
- PINTO, V. C.; RAMOS, T.; ALVES, A. S. F.; XAVIER, J.; TAVARES, P. J.; MOREIRA, P. M. G. P.; GUEDES, R. M.. Dispersion and failure analysis of PLA, PLA/GNP and PLA/CNT-COOH biodegradable nanocomposites by SEM and DIC inspection. **Engineering Failure Analysis**, v. 71, 63-71, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2016.06.009>
- RAYNA, T.; STRIUKOVA, L.. From rapid prototyping to home fabrication: How 3D printing is changing business model innovation. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 214-224, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.023>
- RECH, F.; SILVA, S. M.; ROLDO, L.; OLIVEIRA, J. M.; SILVA, F. P.. Formulation and characterization of potential composites filaments from PLA and tobacco stems for application in additive manufacturing. **Matéria**, v. 26, n. 2, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620210002.1288>
- RÉQUILÉ, S.; LE DUGOU, A.; BOURMAUD, A.; BALEY, C.. Peeling experiments for hemp retting characterization targeting biocomposites. **Industrial Crops and Products**, v. 123, p. 573-580, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.012>
- REVILLA-LEÓN, M.; ÖZCAN, M. Additive manufacturing technologies used for processing polymers: current status and potential application in prosthetic dentistry. **Journal of Prosthodontics**, v. 28, n. 2, p. 146-158, 2019. <https://doi.org/10.1111/jopr.12801>
- RODRIGUES, V. P.; ZANCUL, E. S.; MANÇANARES, C. G.; GIORDANO, C. M.; SALERNO, M. S.. Additive manufacturing: state-of-the-art and application framework. **Revista Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, v. 12, n. 3, p. 1-34, 2017. <https://doi.org/10.15675/gepros.v12i3.1657>
- ROSSATO, J. H. H.; LEMOS, H. G.; MANTOVANI, G. L.. The influence of viscosity and composition of ABS on the ABS/SBS blend morphology and properties. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 136, p. 1-11, 2019. <https://doi.org/10.1002/app.47075>
- RUDNIK, E.; BRIASSOULIS, D.. Degradation behaviour of poly(lactic acid) films and fibres in soil under Mediterranean field conditions and laboratory simulations testing. **Industrial Crops and Products**, v. 33, n. 3, p. 648-658, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.12.031>

SAADE, M. R. M.; YAHIA, A.; AMOR, B.. How has LCA been applied to 3D printing? A systematic literature review and recommendations for future studies. **Journal of Cleaner Production**, v. 244, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118803>

SANATGAR, R. H.; CAMPAGNE, C.; NIERSTRASZ, V.. Investigation of the adhesion properties of direct 3D printing of polymers and nanocomposites on textiles: Effect of FDM printing process parameters. **Applied Surface Science**, v. 403, p. 551-563, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.01.112>

SANDSTRÖM, C. G. The non-disruptive emergence of an ecosystem for 3D Printing - Insights from the hearing aid industry's transition 1989–2008. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 102, p. 160-168, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.09.006>

SAYYAR, S.; OFFICER, D. L.; WALLACE, G. G.. Fabrication of 3D structures from graphene-based biocomposites. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 5, n. 19, p. 3462-3482, 2017. <https://doi.org/10.1039/C6TB02442D>

SCAFFARO, B.; LOPRESTI, F.; BOTTA, L.. PLA based biocomposites reinforced with Posidonia oceanica leaves. **Composites Part B: Engineering**, v. 139, p. 1-11, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2017.11.048>

SCHEREN, M. A.; GOMES, S. D.; CEREDA, M. P.. Determination of Coefficient Biodegradation of Plastic Base Starch under Aerobic Condition. **Acta Iguazu**, v. 3, n. 3, p. 149-163, 2014.

SEPAHI, M. T.; ABUSALMA, H.; JOVANOVIĆ, V.; EISAZADEH, H.. Mechanical Properties of 3D-Printed Parts Made of Polyethylene Terephthalate Glycol. **J. of Mater Eng and Perform**, v. 30, p. 6851-6861, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06032-4>

SHIBATA, S.; CAO, Y.; FUKUMOTO, I.. Flexural modulus of the unidirectional and random composites made from biodegradable resin and bamboo and kenaf fibres. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 39, n. 4, p. 640-646, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2007.10.021>

SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; BENITEZ, L. B.; HOMRICH, A. J. O.. Sustentabilidade ambiental da impressão 3D por FDM. In: XL ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, **Anais...** ABEPRO, Foz do Iguaçu, 2020a.

SILVA, A. L. E.; MORAES, J. A. R.; BENITEZ, L. B.; KAUFMANN, E. A.; FURSTENAU, L. B.. Mapeamento da produção científica acerca do uso de biocompósitos nos processos de impressões 3D. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 236-250, 2020b. <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0022>

SINGH, J. I. P.; DHAWAN, V.; SINGH, S.; JANGID, K.. Study of Effect of Surface Treatment on Mechanical Properties of Natural Fiber Reinforced Composites. **Materials Today: Proceedings**, v. 4, n. 2, p. 2793-2799, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.158>

SINGH, M.; JONNALAGADDA, S. Advances in bioprinting using additive manufacturing. **Eur J Pharm Sci**, v. 143, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ejps.2019.105167>

SINGH, R. Process capability study of polyjet printing for plastic components. **J Mech Sci Technol**, v. 25, n. 4, p. 1011-1015, 2011. <https://doi.org/10.1007/s12206-011-0203-8>

SOUZA, M. P.; RIZZETTI, T. M.; HOELTZ, M.; DAHMER, M.; JÚNIOR, J. A.; ALVES, G.; BENITEZ, L. B.; SCHNEIDER, R. C. S.. Bioproducts characterization of residual periphytic biomass produced in an algal turf scrubber (ATS) bioremediation system. **Water Science and Technology**, v. 1, p. 1-2, 2020. <https://doi.org/10.2166/wst.2020.343>

SOUZA, S. F.; FERREIRA, M.; SAIN, M.; FERREIRA, M. Z.; PUPO, H. F.; CHERIAN, B. M.; LEÃO, A. L.. The use of curaua fibers as reinforcements in composites. **Biofiber Reinforcements in Composite Materials**, p. 700-720, 2015. <https://doi.org/10.1533/9781782421276.5.700>

STANSBURY, J. W.; IDACAVAGE, M. J. 3D Printing with polymers: challenges among expanding options and opportunities. **Dental Materials**, v. 32, n. 1, p. 54-64, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2015.09.018>

STEFANIAK, A. B.; LÉBOUF, R. F.; YI, J.; HAM, J.; NURKEWICZ, T.; SCHWEGLER-BERRY, D. E.; CHEN, B. T.; WELLS, J. R.; DULING, M. G.; LAWRENCE, R. B.; MARTIN JR., S. B.; JOHNSON, A. R.; VIRJI, M. A.. Characterization of chemical contaminants generated by a desktop fused deposition modeling 3-dimensional Printer. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 14, n. 7, p. 540-550, 2017. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1302589>

STEINLE, P.. Characterization of emissions from a desktop 3D printer and indoor air measurements in office settings. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 13, n. 2, p. 121-132, 2016. <https://doi.org/10.1080/15459624.2015.1091957>

STEPHENS, B.; AZIMI, P.; ORCH, Z. E.; RAMOS, T.. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. **Atmospheric Environment**, v. 79, p. 334-339, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.06.050>

STOOF, D.; PICKERING, K.; ZHANG, Y. Fused Deposition Modelling of Natural Fibre/Polylactic Acid Composites. **J. Compos. Sci.**, v. 1, n. 8, 2017. <https://doi.org/10.3390/jcs1010008>

SURYANEGARA, L.; NAKAGAITO, A. N.; YANO, H.. The effect of crystallization of PLA on the thermal and mechanical properties of microfibrillated cellulose-reinforced PLA composites. **Composites Science and Technology**, v. 69, n. 7-8, p. 1187-1192, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2009.02.022>

TANG, D. Y. Y.; KHOO, K. S.; CHEW, K. W.; TAO, Y.; HO, S. H.; SHOW, P. L.. Potential utilization of bioproducts from microalgae for the quality enhancement of natural products. **Bioresource Technology**, v. 304, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122997>

TARRÉS, Q.; MELBØ, J. K.; DELGADO-AGUILAR, M.; ESPINACH, F. X.; MUTJÉ, P.; CHINGA-CARRASCO, G.. Biopolyethylene reinforced with thermomechanical pulp fibers: Mechanical and micromechanical characterization and its application in 3D-printing by fused

deposition modelling. **Composites Part B: Engineering**, v. 153, p. 70-77, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.07.009>

TRAN, D. T.; LEE, H. R.; JUNG, S.; PARK, M. S.; YANG, J. W.. Lipid-extracted algal biomass based biocomposites fabrication with poly (vinyl alcohol). **Algal Research**, v. 31, p. 525-533, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.08.016>

TRAN, N. G.; BAYER, I.S.; HEREDIA-GUERRERO, J. A.; FRUGONE, M.; LAGOMARSINO, M.; MAGGIO, F.; ATHANASSIOU, A.. Cocoa Shell Waste Biofilaments for 3D Printing Applications. **Macromol. Mater. Eng.**, v. 302, n. 11, 2017. <https://doi.org/10.1002/mame.201700219>

TOURLOUKI, K.; TSAVATOPOULOU, V.; ALEXANDROPOULOS, D.; MANARIOTIS, I. D.; MAZZUCATO, S.. A Novel Microalgae Harvesting Method Using Laser Micromachined Glass Fiber Reinforced Polymers. **Photonics**, v. 7, n. 2, pp. 42, 2020. <https://doi.org/10.3390/photonics7020042>

TURCO, R.; ZANNINI, D.; MALLARDO, S.; DAL POGGETTO, G.; TESSER, R.; SANTAGATA, G.; MALINCONICO, M.; DI SERIO, M.. Biocomposites based on Poly(lactic acid), Cynara Cardunculus seed oil and fibrous presscake: a novel eco-friendly approach to hasten PLA biodegradation in common soil. **Polymer Degradation and Stability**, v. 188, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.polymdegradstab.2021.109576>

TÜRK, D. A.; BRENNI, F.; ZOGG, M.; MEBOLDT, M.. Mechanical characterization of 3D printed polymers for fiber reinforced polymers processing. **Materials & Design**, v. 118, p. 256-265, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2017.01.050>

VAEZI, M.; BLACK, C.; GIBBS, D. M. R.; OREFFO, R. O. C.; BRADY, M.; MOSHREFI-TORBATI, M.; YANG, S.. Characterization of New PEEK/HA composites with 3D HA network fabricated by extrusion freeforming. **Molecules**, v. 21, n. 6, p. 1-22, 2016. <https://doi.org/10.3390/molecules21060687>

VALENCIA, G. A.; LUCIANO, C. G.; LOURENÇO, R. V.; SOBRAL, P. J. A.. Microstructure and physical properties of nanobiocomposite films based on cassava starch and laponite. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 107, p. 1576-1583, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.10.031>

VALERGA, A.P.; BATISTA, M.; PUYANA, R.; SAMBRUNO, A.; WENDT, C.; MARCOS, M.. Preliminary study of PLA wire colour effects on geometric characteristics of parts manufactured by FDM. **Procedia Manufacturing**, v. 13 p. 924-931, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.161>

VEIT, D. R. **Impactos da manufatura aditiva nos sistemas produtivos e suas repercussões nos critérios competitivos**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2018.

VERMA, A.; TYAGI, S.; YANG, K. Modeling and optimization of direct metal laser sintering process. **Int J Adv Manuf Technol**, v. 77, p. 847-860, 2015. <https://doi.org/10.1007/s00170-014-6443-x>

VIEIRA, E. S.; GOMES, J. A. N. S.. A comparison of Scopus and web of science for a typical university. **Scientometrics**, v. 81, n. 2, p. 587-600, 2009. <https://doi.org/10.1007/s11192-009-2178-0>

VILELA, C.; SOUSA, A. F.; FREIRE, C. S. R.; SILVESTRE, A. J. D.; PASCOAL NETO, C.. Novel sustainable composites prepared from cork residues and biopolymers. **Biomass and Bioenergy**, v. 55, p. 148-155, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.01.029>

VOLPATO, N. **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.

WANG, L.; GRAMLICH, W. M.; GARDNER, D. J.. Improving the impact strength of Poly(lactic acid) (PLA) in fused layer modeling (FLM). **Polymer**, v. 114, p. 242-248, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.polymer.2017.03.011>

WENG, Z.; WANG, J.; SENTHIL, T.; WU, L.. Mechanical and thermal properties of ABS/montmorillonite nanocomposites for fused deposition modeling 3D printing. **Materials & Design**, v. 102, p. 276-283, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2016.04.045>

WINNEBECK, K. H.. An abbreviated alternatives assessment process for product designers: a children's furniture manufacturing case study. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 5, p. 464-476, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2010.10.008>

WITTBRODT, B.; LAURETO, J.; TYMRAK, B.; PEARCE, J. M.. Distributed manufacturing with 3-D printing: a case study of recreational vehicle solar photovoltaic mounting systems. **Journal of Frugal Innovation**, v. 1, n. 1, 2015. <https://doi.org/10.1186/s40669-014-0001-z>

WOJTYŁA, S.; KLAMA, P.; BARAN, T.. Is 3D printing safe? Analysis of the thermal treatment of thermoplastics: ABS, PLA, PET, and nylon. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 14, n. 6, p. 80-85, 2017. <https://doi.org/10.1080/15459624.2017.1285489>

WONG, K. V.; HERNANDEZ, A.. A review of additive manufacturing. International Scholarly Research Network, **ISRN Mechanical Engineering**, 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/208760>

WOOSLEY, S.; GALEHDARI, N. A.; KELKAR, A.; ARAVAMUDHAN, S.. Fused deposition modeling 3D printing of boron nitride composites for neutron radiation shielding. **Journal of Materials Research**, v. 33, n. 22, p. 3657-3664, 2018. <https://doi.org/10.1557/jmr.2018.316>

WU, G.; LIU, S.; JIA, H.; DAI, J.. Preparation and properties of heat resistant polylactic acid (PLA)/Nano-SiO₂ composite filament. **J. Wuhan Univ. Technol.-Mat. Sci. Edit**, v. 31, p. 164-171, 2016. <https://doi.org/10.1007/s11595-016-1347-2>

WURM, M. C.; MOST, T.; BERGAUER, B.; RIETZEL, D.; NEUKAM, F. W.; CIFUENTES, S. C.; WILMOWSKY, C. V.. In-vitro evaluation of Poly(lactic acid) (PLA) manufactured by fused deposition modeling. **Journal of Biological Engineering**, v. 11, n. 1, 2017. <https://doi.org/10.1186/s13036-017-0073-4>

XU, J.; WANG, K.; SHENG, H.; GAO, M.; ZHANG, S.; TAN, J.. Energy efficiency optimization for ecological 3D printing based on adaptive multi-layer customization. **Journal of Cleaner Production**, v. 245, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118826>

XU, W.; PRANOVICH, A.; UPPSTU, P.; WANG, X.; KRONLUND, D.; HEMMING, J.; ÖBLOM, H.; MORITZ, N.; PREIS, M.; SANDLER, N.; WILLFÖR, S.; XU, C.. Novel biorenewable composite of wood polysaccharide and polylactic acid for three dimensional printing. **Carbohydrate Polymers**, v. 187, p. 51-58, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.01.069>

YANG, W., ZENG, N., MEI, H., CHEN, C., LIN, X. AND CHENG, L.. Designable Mechanical Properties of 3D Printing Composites with Multiple Filaments by Different Infill Percentages and Structures. **Adv. Eng. Mater.**, v. 21, 2019. <https://doi.org/10.1002/adem.201900508>

YANG, Y.; LI, L.. Total volatile organic compound emission evaluation and control for stereolithography additive manufacturing process. **Journal of Cleaner Production**, v. 170, p. 1268-1278, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.09.193>

YAO, F.; WU, Q.; LEI, Y.; XU, Y.. Rice straw fiber-reinforced high-density polyethylene composite: Effect of fiber type and loading. **Industrial Crops and Products**, v. 28, n. 1, p. 63-72, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.01.007>

YOON, H. S.; LEE, J. Y.; KIM, H. S.; KIM, M. S.; KIM, E. S.; SHIN, Y. J.; CHU, W. S.; AHN, S. H.. A comparison of energy consumption in bulk forming, subtractive, and additive processes: review and case study. **Int. J. of Precis. Eng. And Manuf.-Green Tech.**, v. 1, n. 3, p. 261-279, 2014. <https://doi.org/10.1007/s40684-014-0033-0>

YU, W. W.; ZHANG, J.; WU, J. R.; WANG, X. Z.; DENG, Y. H.. Incorporation of graphitic nano-filler and poly(lactic acid) in fused deposition modeling. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 134, n. 15, 2017. <https://dx.doi.org/10.1002/app.44703>

YUAN, B.; ZHOU, S. Y.; CHEN, X. S. Rapid prototyping technology and its application in bone tissue engineering. **J. Zhejiang Univ. Sci. B**, v. 18, n. 4, p. 303-315, 2017. <https://dx.doi.org/10.1631/jzus.B1600118>

ZHANG, F.; WEI, M.; VISWANATHAN, V. V.; SWART, B.; SHAO, Y.; WU, G.; ZHOU, C.. 3D printing technologies for electrochemical energy storage. **Nano Energy**, v. 40, p. 418-431, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.nanoen.2017.08.037>

ZHANG, L.; JING, J.; HAN, L.; WANG, J.; ZHANG, W.; LIU, Z.; GAO, A.. Characterization of gut microbiota, metabolism and cytokines in benzene-induced hematopoietic damage. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 228, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112956>

ZHANG, Y.; LI, T.; LUI, Y.; LI, X.; ZHANG, C.; FENG, Z.; PENG, X.; LI, Z.; QIN, S.; XING, K.. Volatile Organic Compounds Produced by *Pseudomonas chlororaphis* subsp. *aureofaciens* SPS-41 as Biological Fumigants To Control *Ceratocystis fimbriata* in Postharvest Sweet

Potatoes. **J. Agric. Food Chem.**, v. 67, n. 13, p. 3702-3710, 2019.
<https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00289>

ZHAO, F.; LI, D.; JIN, Z. Preliminary Investigation of Poly-Ether-Ether-Ketone Based on Fused Deposition Modeling for Medical Applications. **Materials**, v. 11, n. 2, p. 288, 2018.
<https://doi.org/10.3390/ma11020288>

ZHAO, P.; RAO, C.; GU, F.; SHARMIN, N.; FU, J.. Close-looped recycling of polylactic acid used in 3D printing: An experimental investigation and life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production**, v. 197, Part 1, p. 1046-1055, 2018.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.06.275>