

# ESTUDO DA CIÊNCIA NA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL 4.0 COM ÊNFASE EM MANUFATURA ADITIVA

Luana Machado dos Santos<sup>1</sup>  
Ronaldo Rosa dos Santos Junior<sup>2</sup>  
Karla Kellem de Lima<sup>3</sup>  
Soraya Pedroso Coqueiro<sup>4</sup>

## RESUMO

Visando compreender melhor o estado da arte sobre a indústria 4.0, com ênfase em manufatura aditiva foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura, conforme a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta – Analyses* (PRISMA) utilizando como base de dados a plataforma “*Science Direct*”. Os critérios de inclusão utilizados foram: artigos publicados a partir de 2012 e estudos que detalharam a Revolução 4.0 e as tecnologias também foi explorada nesta pesquisa a interface da indústria 4.0 com a Manufatura Aditiva e seus insumos. Resultados: Dos 326 estudos inicialmente compilados, somente 56 foram elegíveis para esta presente pesquisa de revisão. Conclusão: Os resultados descritos nas publicações evidenciam o aspecto positivo na produção industrial, advindos da Revolução 4.0, em conjunto com os aspectos tecnológicos da Manufatura Aditiva, sendo possível verificar que existe 5 tipos de polímeros termoplásticos que possa ser utilizado pela manufatura aditiva.

**Palavras-chave:** Revolução Industrial 4.0; Manufatura Aditiva; Polímeros.

## STUDY OF SCIENCE IN INDUSTRIAL REVOLUTION 4.0 WITH EMPHASIS ON ADDITIVE MANUFACTURING

### ABSTRACT

In order to better understand the state of the art on industry 4.0, with an emphasis on additive manufacturing, a systematic literature review was carried out, according to the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta - Analyzes (PRISMA) methodology using the “Science” database. Direct”. The inclusion criteria used were: articles published from 2012 and studies that detailed Revolution 4.0 and technologies. The interface of industry 4.0 with Additive Manufacturing and its inputs was also explored in this research. Results: Of the 326 studies initially compiled, only 56 were eligible for this present review survey. Conclusion: The results described in the publications show the positive aspect in industrial production, arising from Revolution 4.0, together with the technological aspects of Additive Manufacturing, being possible to verify that there are 5 types of thermoplastic polymers that can be used by additive manufacturing.

**Keywords:** Industrial Revolution 4.0; Additive Manufacturing; Polymers.

Recebido em 03 de novembro de 2020. Aprovado em 16 de novembro de 2020.

<sup>1</sup> Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas pela PUC-Goiás e graduada em Administração pela PUC-Goiás. Atualmente professora no Centro Universitário Araguaia.

<sup>2</sup> Doutor em Educação pela PUC-Goiás e graduado em Administração de Empresas pela Faculdade Cambury e mestrado em Gestão de Patrimônio Cultural pela PUC Goiás. Atualmente é coordenador e professor do Curso de Administração do Centro Universitário Araguaia nas modalidades presencial e EaD.

<sup>3</sup> Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial pela PUC – Goiás e graduada em Administração pela Faculdades Alves Faria. Atualmente é coordenadora dos cursos de pós-graduação dos cursos de Planejamento Tributário, Auditoria e Controladoria e Perícia, Auditoria e Direito Tributário e professora no Centro Universitário Araguaia.

<sup>4</sup> Mestrado em Desenvolvimento e Planejamento Territorial pela PUC – Goiás e graduada em Ciências Contábeis pela PUC-Goiás. Atualmente é coordenadora Pedagógica de Ciências Contábeis e professora titular do Centro Universitário Araguaia.

## INTRODUÇÃO

A cada dia que passa surgem novas tecnologias no mercado visando uma produção mais flexível e ágil, além de produtos cada vez mais personalizados. Objetivando atender esta latente necessidade surgiu a “Quarta Revolução Industrial”, mais conhecida como Indústria 4.0 (HOFMANN *et al.*, 2017).

A Indústria 4.0 nasceu na Alemanha após algumas estratégias que foram elaboradas para o desenvolvimento tecnológico (KARGEMANN *et al.*, 2013). É caracterizada por um conjunto de inovações tecnológicas que proporcionam melhorias para a indústria, a partir das máquinas inteligentes, sensores, equipamentos para controlar e auxiliar na produção sem a intervenção humana (NG *et al.*, 2015; IVANOV *et al.*, 2016).

Com isso o conceito da Indústria 4.0 apresenta-se na junção dos computadores com a automação, de forma integrada. Favorecendo sistemas de produção a partir dos algoritmos que foram desenvolvidos para autonomia na produção, permitindo cada vez mais personalização (SANTOS *et al.*, 2017).

Junto com estas inovações tecnológicas, têm-se as chamadas máquinas inteligentes que foram desenvolvidas a partir desta nova revolução, para auxiliar em toda produção e beneficiar as organizações, como por exemplo, à Manufatura Aditiva (MA) conhecida também como impressora 3D, inovação que compõem a Indústria 4.0 (DILBEROGLU *et al.*, 2017).

Pesquisas demonstram que a MA é um nome apropriado para descrever as tecnologias que compõem objetos 3D, adicionando camada sobre camada. O termo MA engloba muitas tecnologias, incluindo subconjuntos como: impressão 3D, Prototipagem Rápida (PR), Produção Digital Direta (PD), fabricação em camadas e fabricação de aditivos.

A principal vantagem da MA é que tem uma diversidade de insumos que podem ser utilizados para impressão, e o material mais utilizado são os polímeros termoplásticos que podem auxiliar na redução do impacto ambiental (BORGES *et al.*, 2016).

Diante disso, a problemática definida neste artigo, buscar compreender por meio da revisão sistemática, de que modo que a Revolução Industrial 4.0 contribuiu na área de MA e quais são os principais tipos de polímeros que possa ser utilizado na MA?

Este artigo tem como finalidade apresentar os estudos sobre a Indústria 4.0 e a sua ligação da MA, abordando também os tipos de polímeros que possam ser aproveitados como matéria prima a partir de uma revisão de literatura, com enfoque nos principais benefícios que possam contribuir para o estado da arte.

Este artigo está estruturado em 5 seções. A seção 2 apresenta expõe a metodologia do trabalho. A seção 3 apresenta o resultado dos artigos levantados. A seção 4 a discussão do tema abordado. A seção 5 contém as considerações finais do estudo e as referências bibliográficas.

## MATERIAL E MÉTODOS

Trata-se de uma Revisão Sistemática de Literatura (RSL). Primeiramente foi definido o objetivo da revisão, após isso foi identificada a literatura, e, só então selecionados os estudos possíveis de serem incluídos.

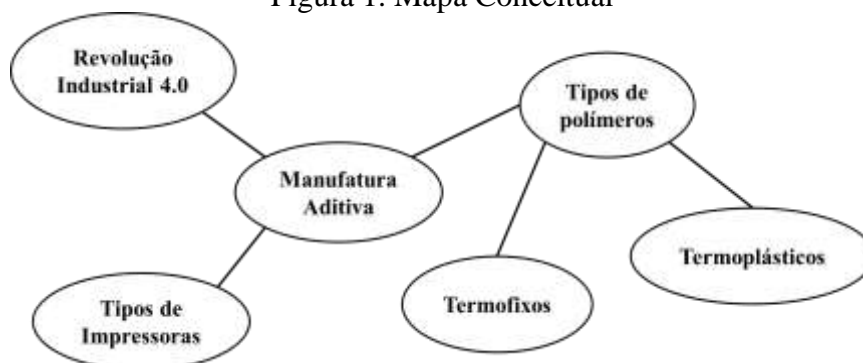
A RSL utilizada para a orientação deste estudo foi a metodologia *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), como um guia para realizar a classificação e os levantamentos de dados dos artigos selecionados (PAGOTTO *et al.*, 2013).

O método utilizado para realização deste trabalho é composto por algumas etapas como: definição de palavras chaves, realizar a pesquisa no banco de dados, desenvolver um mapa para auxiliar no processo do trabalho, fazer uma síntese dos dados levantados, selecionar os artigos de acordo com o fator de impacto, finalização do artigo com o objetivo de ajudar o estado da arte

com informações sucintas e relevantes sobre o tema proposto (JESSON *et al.*, 2012).

Para o levantamento dos dados foi utilizada a plataforma *Science Direct*, sendo consultados artigos publicados no período de 2012 a 2018, empregando como palavras-chave os termos: “Revolução Industrial 4.0”, “Manufatura Aditiva”, “Tipos de Impressora 3D”, “Polímeros” e em inglês: “*Industrial Revolution 4.0*”, “*Additive e Manufacturing*”, “*3D Printer Types*”, “*Plastics*” e “*Termoplastic*”. Após esta pesquisa de artigos, desenvolveu o mapa conceitual para facilitar e definir os processos a serem seguidos nesta revisão sistemática, como mostra na Figura 1:

Figura 1. Mapa Conceitual

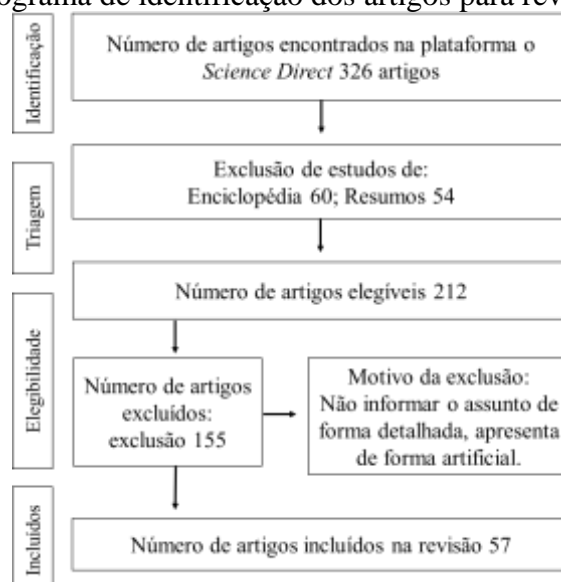


Fonte: Autores (2021)

## RESULTADOS

Tendo com critério inicial para a seleção o ano de publicação foram detectados um total de 326 artigos. Destes apenas 56 artigos tratavam do tema de interesse. Na Figura 2 está representada a sistematização utilizada nesta revisão bibliográfica.

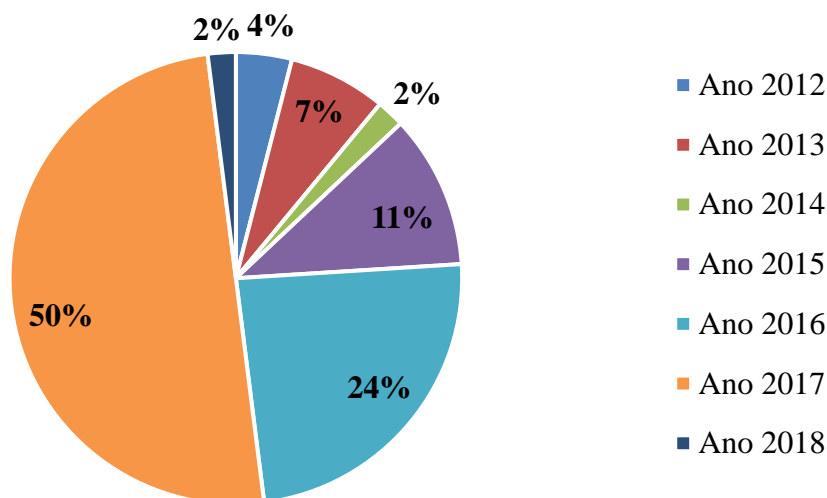
Figura 2. Fluxograma de identificação dos artigos para revisão da literatura



Fonte: Autores (2021)

Notou-se um aumento nas publicações a partir do ano de 2015, representando 11% em publicação, e em 2016 este índice aumentou para 24%, e, em 2017 foi o ano que superou as publicações com 50%, conforme representa a quantidade de artigos publicados por ano na Figura 3.

Figura 3. Número de publicações anais nos periódicos selecionados



Fonte: Autores (2021)

Diante das informações fornecidas pelos artigos publicados, pode-se perceber que alguns países como, por exemplo, Estados Unidos, Alemanha, França tem o incentivo do governo e o interesse das pessoas em implantar as novas tecnologias que a Indústria 4.0 pode oferecer, e os mesmos já estão em um processo de desenvolvimento em relação às inovações tecnológicas (ZHONG *et al.*, 2017).

Os demais países como, por exemplo, o Brasil tem o apoio do governo para o desenvolvimento tecnológico, mas o que falta é o interesse por parte das universidades e das pessoas em busca de conhecer o que a tecnologia tem a oferecer para beneficiar o sistema produtivo. Por isso é necessário que seja implementado políticas fortes de incentivos a estas pessoas, oferecendo uma capacitação aos trabalhadores para manusear as novas tecnologias (ZHONG *et al.*, 2017; BARRETO *et al.*, 2017).

Um estudo apresentado em uma consultoria Accenture estima que a economia do Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil é de 21,3% e terá um aumento de 24,3% em 2020, mas necessita que o país continue investindo na educação e nas novas tecnologias que poderá movimentar outros R\$ 494 bilhões, mas isso depende do interesse das pessoas, universidades junto com o incentivo e apoio do governo brasileiro (BARRETO *et al.*, 2017).

Uma das adversidades encontradas é o censo comum declarando que a Indústria 4.0 trata de mudanças negativas para o mercado de trabalho, substituindo a mão de obra humana, por máquinas. É importante ressaltar que está inovação surgiu para auxiliar o sistema produtivo, ofertando diversos benefícios como: diminuindo a carga horária de trabalho, o risco de acidentes, a redução de insumos, dentre outros.

## DISCUSSÃO

Ao realizar toda leitura dos trabalhos selecionados, foi construído uma síntese com as principais informações que possam contribuir para esta revisão sistemática, é possível destacar Dilberoglu *et al* (2017), Ford e Despeisse (2016), Mrugalska e Wyrwicka (2017), Osejcs (2016), De Paoli (2015) como os principais autores que apresentou melhores conceitos sobre o tema proposto.

## Revolução Industrial 4.0 no contexto da manufatura Aditiva

De acordo com Mrugalska e Wyrwicka (2017), até o momento não existe um conceito claro a respeito da indústria 4.0, mas aborda uma definição de uma forma geral que é uma integração com as inovações tecnológicas para utilizar as máquinas com o auxílio de alguns *softwares* em redes, com o objetivo de controlar, planejar e encontrar melhores resultados para o mercado de trabalho, ou seja, a indústria 4.0 surgiu como uma estratégia competitiva de mercado.

A indústria 4.0 pode ser representada pelos seguintes protótipos: o produto inteligente é classificar o papel do trabalho para aqueles produtos que tem memória para armazenar determinados dados; a máquina inteligente e a substituição da produção tradicional para uma produção mais moderna; e por último o operador que trás uma automação de conhecimento sendo mais flexível com certas adaptações no sistema produtivo (LOS KYLL *et al.*, 2012; SCHMITT *et al.*, 2013; ZAMFIRESCU *et al.*, 2014).

Com isso a indústria 4.0 surgiu para mudar os conceitos e trazer uma produção inovada com as tecnologias que estão surgindo, pois no futuro terá a necessidade de estarem atentas às inovações constantes e buscando uma produção mais flexível. Diante dessas tecnologias inovadoras a MA faz parte desta tendência de mercado, pois tem como sua característica ser uma prototipagem rápida, com a oportunidade da criação de produtos personalizados, produção de pequenos lotes, reduzindo os insumos em não ocasionar desperdício de matéria prima (FORD & DESPEISSE, 2016).

A aplicabilidade da MA dentro da Indústria 4.0 está quebrando muitos paradigmas na produção em massa, substituindo uma nova tecnologia que oferece diversas vantagens, como: a criação, facilidade e a velocidade para desenvolver e ter o produto final em mãos.

Deve lembrar que, existe alguns tipos de impressora 3D que devemos compreender os principais tipos e suas diversas características para entender como funciona esta nova tecnologia, lembrando que a principal diferencial é a matéria prima e o método utilizado. Os principais autores que abordaram de uma forma mais detalhada foram Borges *et al* (2015), Dilberouglu *et al.*, (2017) Huang *et al* (2013) e Osejos (2016).

Figura 4 - Diferença entre os tipos de impressões 3D na MA

	Material Extrusão	Foto Polimerização	Pó cama Fusão	Folha de Laminação
FIGURA				
PROCESSO	Deposição de um material fundido por um cabeçote de extrusão realizando camada por camada	Aplicação de uma luz Ultra Violeta (UV) para curar um polímero fotocurável por um laser	Fusão de pó por um feixe laser passando por um armazenamento, derretendo toda região selecionada	Ajunção das camadas pode ser feita por colagem ou ligação térmica e soldagem
MATERIAIS	Filamentos de polímeros termoplásticos	Resinas Líquidas, Polímeros Fotossensíveis	Polímeros, Cerâmicas e Metais	Papel, Metal e Polímeros
NOME	FDM	SLA	SLS	LOM

Fonte: Adaptado de Borges *et al* (2015), Dilberouglu *et al* (2017) Huang *et al* (2013) e Osejos (2016).

É uma dessas tecnologias que se espera para o futuro visando a substituição da manufatura tradicional para MA, que caminha em busca de inovações tecnológicas para facilitar o processo de desenvolvimento do produto, atendendo a demanda do mercado com total qualidade e personalização do produto, com as reduções de custo, personalização do produto, diversidade de matéria prima, dentre outros (BERMAN, 2012; DILBEROGLU, 2017).

Um estudo apresentado pela consultoria *McKinsey*, mostrou que a MA terá um giro aproximadamente cerca de US\$ 350 bilhões está previsto até 2025. E estes valores serão distribuídos entre: 5% a 10% para indústrias de consumos; 30% a 50% de manufatura direta na fabricação de produtos; 30 a 50% de ferramentas e protótipos de peças. Mas não necessariamente somente para prototipagem e sim para fabricação de peças finais (LEE *et al.*, 2014).

### *Tipos de Polímeros*

Com o avanço contínuo dessa tecnologia, percebemos a necessidade de compreender toda família dos polímeros que será utilizados para criação de todo produto utilizado pela MA pelo processo FDM, para atender as devidas necessidades e a demanda do mercado (DE PAOLI, 2015; BARBOSA *et al.*, 2017).

Diante disso, os polímeros são considerados como um conjunto de combinação de materiais que possam favorecer o aumento na resistência e dificultando a sua deformação que venha contribuir para proteção dos raios ultravioletas protegendo os polímeros reduzindo a fragilidade de todo o material (RODRIGUES, 2014).

Existem dois tipos de universos de plásticos que podem ser chamados de termoplásticos que tem sua característica que se caso forem aquecidos pode ser reestruturado sua forma, tendo uma flexibilidade para o seu manuseio, podendo ser repetido diversas vezes sem alterar a sua composição originária e os termofixos que têm como característica em ser um plástico mais resistente, com dificuldade para realizar o manuseio, por ser um plástico inflexível (CATTO, 2012; DE PAOLI, 2015).

Sendo assim, será apresentado no Quadro 1 os principais tipos de polímeros da família termoplásticos com suas devidas características e exemplos de onde pode ser aplicado, adaptado de De Paoli (2015).

Quadro 1. Principais polímeros

Tipos de Resinas	Características	Aplicabilidade
Acetais e Poliacetais (PA)	Sua estrutura é parcialmente cristalina e não altera em sua propriedade, sendo resistente à temperatura com uma resistência química aprofundada. Podendo ser processados e moldados sem haver problemas ao realizar todo processo para ter o produto final.	Pode ser aplicado em engrenagens, é ideal para fabricação de peças, como rodas de engrenagens, bomba d'água, eixos.
Acrílicos	É um material totalmente rígido e transparente, muito utilizado devido a sua flexibilidade em realizar a moldagem, alta resistência e a durabilidade do produto. E um dos tipos de polímeros mais barato que temos na família do termoplástico. Este material é muito utilizado para fabricação de chapas devido a sua altíssima qualidade no desenho e totalmente sustentável.	Este tipo de material é muito utilizado para fabricação de lentes óticas, refletores, lanternas automotivas, para brisas, coberturas de um determinado estabelecimento.
Celulósicos	Este tipo de material é produzido por modificações química, e totalmente inflamáveis e possui um baixo desempenho contra o calor. Mais possui uma boa resistência há quebradura e um material totalmente rígido. O processamento é feito por moldagem e um	Este tipo de material é muito aplicado para fabricação de moldes, brinquedos.

	material mais caro devido a sua composição.	
Acetato vinil etileno (EVA)	É um material bem flexível que suporta diversas temperaturas, com um custo totalmente acessível, possui uma boa elasticidade. Este material é resistente a qualquer tipo de substância química que possa ser aplicado.	Pode – se encontrar a aplicabilidade deste material em embalagens, material escolar, produtos infantis, artesanato, produtos sob uso domésticos.
Poliétileno Tereftalato (PET)	É um material que possui boa resistência quanto ao impacto suportando qualquer tipo de substância, isolando até mesmo odores do produto. É um material que pode aplicar o conceito dos 3r's que é reutilizar determinados tipos de material e os demais serem reciclados. Podendo ser processado por injeção, extrusão, sopro e tem um fácil manuseio.	Encontra-se este tipo de material no uso de garrafas de bebidas, chapas, telhas, cerdas de vassoura, tecido.
Poliamidas (nylon)	Possui uma boa flexibilidade, elasticidades, suporta temperaturas baixas, absorve toda água.	Normalmente são utilizadas em peças automotivas e lacres.
Poliétileno (PE)	A sua principal característica é que o custo é baixo, fácil manuseio. Existem dois tipos de polietileno como o de alta densidade (PEAD) e um material fácil de ser processado e possui mais resistências, e baixa densidade (PEBD) e resistente às ações químicas.	O polietileno de alta densidade pode ser aplicado em peças grandes como conexões, tanque de gasolina, material de pesca. E o polietileno de baixa densidade encontra – se em tubos de irrigação, pequenas peças, embalagens tetrapark.
Poliestireno (PS)	Tem uma facilidade em definir a coloração do material, e de baixo custo, baixa resistência ao calor e substâncias química, não tem resistências ao impacto, e um produto totalmente inflamável, com a sensibilidade a luz.	É utilizado em brinquedos, material de escritório, reforços para automóveis, produtos descartáveis como copo, prato.
Cloreto de Polivinila (PVC)	São um material que possui uma boa resistência a diversas substâncias químicas, baixas temperaturas.	Encontra – se na construção civil como tubos, janelas, pisos, nas embalagens laminadas, revestimentos de latas, componente de borracha, eletrônico como revestimento de fios.
Polycarbonato (PC)	É extremamente resiliente, com uma resistência a qualquer tipo de danificação, mais não é resistente a uma boa parte das substâncias químicas. Pode ser processado por moldagem pela injeção e extrusão, e um tipo de plástico muito utilizado e importante na engenharia.	Utilizados nos semáforos, conectores, farol de automóveis, películas, lamina de banners luminosos.
Polipropileno (PP)	É um tipo de plástico que possui uma baixa densidade, material rígido que suporta qualquer tipo de substâncias químicas. É um material transparente, resistente à elétrica e mecânica.	Aplica – se em embalagens de alimentos, peças automotivas, placas de produtos eletrônicos, papel fotográfico, cartão.
Acrilonitrila Butadieno Estireno – (ABS)	É um tipo de plástico composto de petróleo, que possui uma resistência ao impacto e as baixas temperaturas, e de fácil o manuseio. O aspecto é totalmente fosco mais tem disponibilidade em diversas cores.	Encontra – se este tipo de material em fabricação de peças automotivas, eletrodomésticos, eletroeletrônico, matéria prima para impressora 3D.
Poliácido Láctico – (PLA)	É um material biodegradável, produzido por fermentação do milho. A sua aparência é brilhante possuindo em diversas cores, é um plástico rígido e resistente em deformar a peça.	Utilizado – se em embalagens, sacolas plásticas, canetas, garrafas, copos, vidros, insumo para impressora 3D.

Fonte: Adaptado por De Paoli (2015).

Para realizar a fabricação de peças pela impressa 3D, existem alguns tipos de insumos que possam ser utilizados como cerâmica, metais, argilas, polímeros, dentre outros (CHEN *et al.* 2015). Ao analisar todos os tipos de resinas existentes dos polímeros, nota-se que apenas os polímeros classificados como termoplásticos pode ser utilizado no processo da MA devido ao fato

que, a MA permite utilizar material reciclado para fabricação de peças atendendo os pedidos dos consumidores e apenas os polímeros termoplásticos possui resistências para realizar esse processo (SANTOS *et al.*, 2018).

Osejos (2016) apresentou em seu estudo dois tipos de polímeros que são mais utilizados como matéria prima para impressora 3D, o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e o Ácido Polilático (PLA). Sendo que o PLA por ser produzido por composto de materiais naturais e considerado ecológico, mas o ABS é considerado mais ecológico que o PLA, sendo que ambos os polímeros termoplástico podem ser reciclados (SANTOS *et al.*, 2018).

Osejos (2016) mostra que o PLA possui algumas vantagens quanto ao ABS, como diversos tipos de impressora possa operar com este tipo de filamentos, não há necessidade de pré aquecer a mesa da impressora. Já o ABS permite que após o processo de impressão possa ser realizado os acabamentos como lixar toda a peça, pintar com uma variedade de cores, fazer a perfuração na peça, são processos que o PLA não permite ser feito.

Além dos polímeros ABS e o PLA, outro polímero que esta sendo muito utilizado no processo de MA, é o Poliestireno Modificado com Glicol (PETG) que é o Polietileno Tereftalato (PET) modificado com um alto teor de Glicol, visando a cristalinidade, aumentando a resistência quanto ao impacto e de baixo custo (SANTOS *et al.*, 2018).

Outro polímero que foi apresentado é o Polietileno de Alta Densidade (PEAD), apesar de não ser muito utilizado no processo de MA, é um polímero de baixo custo, possui resistência química e mecânica, flexível e de fácil de manuseio (HAMOD, 2014; SANTOS *et al.*, 2018).

O autor Santos *et al* (2018) apresentou o polímero Polipropileno (PP) também é outro polímero pouco utilizado, porém possui suas vantagens, como de baixa densidade, baixo custo, material rígido e resistente a altos impactos e altas temperaturas, proporcionando uma melhor qualidade na impressão.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar toda análise de todos os artigos levantados com o objetivo de contribuir com o estado da arte após um estudo aprofundado em uma revisão da literatura. A principal contribuição deste artigo foi apresentar a relação da revolução industrial 4.0 com ênfase na MA e quais polímeros que possa ser utilizados neste processo e que possa oferecer para a sociedade.

Ao analisar a literatura disponível, foram encontradas diversas vantagens relacionadas à Revolução Industrial 4.0, com as novas tecnologias que vem surgindo, como o caso da MA. E, todo esse processo se deu devido à dinamização da Indústria 4.0, em que os fabricantes enfrentaram os desafios com os prazos, as personalizações e o aumento do envolvimento dos clientes no processo de desenvolvimento do produto.

Foi possível conhecer os 13 polímeros que compõem a família do termoplásticos, que são polímeros que possam ser reciclados e reutilizados, devido a sua flexibilidade de manuseio e as resistências mecânicas. Diante de toda análise, identificamos que existe 5 tipos de polímeros que possam ser utilizados na MA, sendo que apenas três destes polímeros são mais utilizados.

Conclui-se que a Revolução Industrial 4.0 com ênfase na MA contribui com o meio ambiente, podendo utilizar material reciclado devido a utilização da impressora 3D pelo processo FDM com o uso de polímeros termoplásticos como matéria prima.

## REFERÊNCIAS

- BARBOSA, L. G.; PIAIA, M.; CENI, G. H. *Analysis of impact and tensile properties of recycled polypropylene. International Journal of Materials Engineering*, v. 7, n. 6, p. 117-120, 2017.
- BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. *Industry 4.0 implications in logistics: an overview. Procedia Manufacturing*, v. 13, p. 1245-1252, 2017.



- BERMAN, B. *3D printig: The new industrial revolution*. **Business Horizons**. V. 55, p.155-162, 2012.
- BORGES, M.; HADAR, R.; BILBERG, A. *Additive manufacturing for consumer – centric business models: Implications for supply chains in consumer goods manufacturing*. **Tecnological Forecasting & Social Change**, 2015. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2015.07.024>
- CATTO, A. L. **Estudo da compatibilização da matriz poliolefínica em compósitos termoplásticos a partir de resíduos pós-uso**. 2012.
- 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**, 2015. doi <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.009>
- DE PAOLI, M.A. Mudanças na Polímeros. **Polímeros**, v. 25, n. 5, p. E1-E1, 2015.
- DILBEROGLU, U. M.; GHAREHPAGAH, B.; YAMAN, U.; DOLEN, M.; *The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0*. **Procedia Manufacturing**, v.11, p.545-554, 2017. doi: 10.1016/j.promfg.2017.07.148
- FORD, S.; DESPEISSE, M. *Additive manufacturing and sustainability: na exploratory study of the advantages and challenges*. **Journal of Cleaner Production**, 2016. Doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.150
- HAMOD, H. *Suitability of Recycled HDPE for 3D printing filament*. 2014. Degree Thesis – Degree Program: Plastics Technology, Arcada University of Applied Science, Finlandia, 2014
- HOFMANN, E.; RÜSCH, M. *Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics*. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.
- HUANG, S. H; LIU, P.; MOKASDAR, A.; HOU, L. *Additive manufacturing and its societal impact: a literature review*. **Int. J. Adv. Manufacturing Technology**, vol. 67, nº 5- 8, p. 1191-1203, 2013.
- IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B.; WERNER, F.; IVANOVA, M. *A dynamic model and an algorithm for short-term supply chain scheduling in the smart factory industry 4.0*. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 2, p. 386-402, 2016.
- JESSON, J., MATHESON, J., KACEY, L. F., 2012. *Doing your Literature Review: Traditional and Systematic Techniques*. **SAGE Publications Ltd.**, p. 192, 2012.
- KAGERMANN, H.; HELBIG, J.; HELLINGER, A. & WAHLSTER, W. *Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0: Securing the future of German manufacturing industry; final report of the Industrie 4.0 Working Group*. **Forschungsunion**, 2013.
- LEE, J.; KAO, H.; YANG, S. *Service innovation and smart analytics for industry 4.0 and big data environment*. **Procedia Cirp**, v. 16, p. 3-8, 2014.
- LOS KYLL, M., HECK, I., SCHLICK, J., SCHWARZ, M. *Context-based orchestration for control of resource-efficient manufacturing processes*. **FutureInternet** 2012;4(3):737–761.
- MRUGALSKA, B.; WYRWICKA, M. K. Rumo à produção enxuta na indústria 4.0. **Engenharia Procedia**, v. 182, p. 466-473, 2017.
- NG, I.; SCHARF, K.; POGREBNA, G.; MAULL, R. *Contextual variety, Internet-of-Things and the choice of tailoring over platform: Mass customisation strategy in supply chain management*. **International Journal of Production Economics**, v. 159, p. 76-87, 2015.
- OSEJOS, M.; VINICIO, J. *Caracterización de materiales termoplásticos de ABS y PLA semi-rígido impresos en 3D con cinco mallados internos diferentes*. 2016. Dissertação de Mestrado. Quito, 2016.
- PAGOTTO, V.; BACHION, M. M.; SILVEIRA, E. A. Autoavaliação da saúde por idosos brasileiros: revisão sistemática da literatura. **Revista Panamericana de Salud Pública**, v. 33, p. 302-310, 2013.

- PINTO, J.F.R. **Injeção e caracterização do comportamento mecânico de polímeros termoplásticos**. Instituto Politécnico De Coimbra. Coimbra, Portugal: S.N., 2012, tese de doutorado em engenharia mecânica.
- RODRIGUES, D. A. **Reciclagem de resíduos poliméricos para a fabricação de um produto de tecnologia assistiva**. 2014.
- SANTOS, L. M.; ROCHA, D. S. G. M.; CARNEIRO, M. L.; LUZ, M. P. Tipos de polímeros utilizados como matéria prima no método de manufatura aditiva por FDM: uma abordagem conceitual. **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. A engenharia de produção e suas contribuições para o desenvolvimento do Brasil**. Maceió, p. 2, 2018.
- SANTOS, M. Y.; SÁ, J. O.; ANDRADE, C.; LIMA, F. V. L.; COSTA, E.; COSTA, C.; MARTINHO, B.; GALVÃO, J. *A Big Data system supporting Bosch Braga Industry 4.0 strategy*. **International Journal of Information Management**, v. 37, n. 6, p. 750-760, 2017.
- SCHMITT, M.; MEIXNER, G.; GORECKY, D.; SEISSLER, M.; LOSKYLL, M. *Mobile interaction technologies in the factory of the future*. **IFAC Proceedings**, v. 46, n. 15, p. 536-542, 2013.
- ZAMFIRESCU, C. B.; PÎRVU, B. C.; LOSKYLL, M.; ZÜHLKE, D. *Do not cancel my race with cyber-physical systems*. **IFAC proceedings** 2014;47(3):4346–4351
- ZHONG, R. Y., XUN, X., KLOTZ, E.; NEWMAN, S. T. *Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review*. **Engineering**, v. 3, n. 5, p. 616-630, 2017.