

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

**INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA JOALHEIRA: O USO DA MANUFATURA
ADITIVA E A REVOLUÇÃO 4.0 NO ESTADO DE SÃO PAULO**

THAÍSA MARA CEDANO GODOY PATRICIO DE SOUZA

Bauru – 2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

FACULDADE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN

INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA JOALHEIRA: O USO DA MANUFATURA ADITIVA E A REVOLUÇÃO 4.0

THAÍSA MARA CEDANO GODOY PATRICIO DE SOUZA

Programa de Pós-graduação em Design,
Curso de Mestrado Acadêmico, da
Faculdade de Arquitetura, Artes e
Comunicação da UNESP – Campus de
Bauru.

Orientador: Prof. Dr. Galdenoro Botura Jr.

Bauru – 2021

Souza, Thaisa Mara Cedano Godoy Patricio de.
Inovação na indústria joalheira: o uso da manufatura
aditiva e a revolução 4.0 / Thaisa
Mara Cedano Godoy Patricio de Souza, 2021
78 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e
Comunicação, Bauru, 2021

1. Design. 2. Manufatura Aditiva.
3. Inovação. 4. 3D Printing. 5. Impressão 3D. I.
Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Arquitetura, Artes e Comunicação. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE THAÍSA MARA CEDANO GODOY PATRÍCIO DE SOUZA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESIGN, DA FACULDADE DE ARQUITETURA, ARTES E COMUNICAÇÃO - CÂMPUS DE BAURU.

Aos 28 dias do mês de janeiro do ano de 2021, às 10:00 horas, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de THAÍSA MARA CEDANO GODOY PATRÍCIO DE SOUZA, intitulada **INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA JOALHEIRA: O USO DA MANUFATURA ADITIVA E A REVOLUÇÃO 4.0 NO ESTADO DE SÃO PAULO**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Prof. Associado GALDENORO BOTURA JUNIOR (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Programa de Pós-Graduação em Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Titular JOSE CARLOS PLACIDO DA SILVA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Design / FAAC/UNESP/Bauru, Prof. Dr. OSMAR VICENTE RODRIGUES (Participação Virtual) do(a) Departamento de Design / FAAC/UNESP/Bauru. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Prof. Associado GALDENORO BOTURA JUNIOR

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES).

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde, capacidade e força.

A minha família, aos meus pais que me reforçam a cada dia o poder do estudo, e por todo amor dedicado. Aos meus irmãos pelo incentivo constante. Ao meu amado esposo, pelo apoio incondicional.

Ao meu querido orientador Prof. Dr. Galdenoro Botura Junior, por ter acreditado na minha capacidade e me ensinado os melhores caminhos nessa jornada.

RESUMO

O uso de adornos corporais faz parte do comportamento humano há milhares de anos. Com o passar do tempo, o homem iniciou o desenvolvimento de peças em metal das mais variadas formas e, o uso de joias foi mudando de finalidade. Através da transformação da sociedade, costumes e desenvolvimento da tecnologia, houve uma intensa modificação no modo de fabricação das peças e, a atividade da joalheria, foi ganhando novos vetores como produtividade, questões ambientais, custo, material e design. Desta maneira, com a perspectiva de garantir o aumento da tecnologia e melhora na qualidade dos processos de fabricação, a indústria joalheira incorporou a manufatura aditiva (MA) viabilizando a produção de modelos com geometrias complexas. Assim, o emprego da MA no projeto de criação, com o auxílio de softwares, promoveu transformações do produto joalheiro, tornando possível, a partir do uso dessa nova técnica, gerar uma rede interligada ao processo de produção, impulsionando o setor a participar da chamada Indústria 4.0. A Indústria 4.0, é caracterizada como um conjunto de tecnologias que aproximam o mundo físico do virtual e, pode-se entender o termo como um processo que envolve maquinários de fábrica, processos e uso correto de recursos naturais, o que leva a indústria a ter mais eficiência na produção, menos desperdício, criação de novos modelos e melhoramento da qualidade do produto. Com o objetivo de identificar e caracterizar a aplicação da manufatura aditiva na produção joalheira, sob a ótica de quem nela está presente, a pesquisa desenvolvida avaliou o seu uso, custos, pontos positivos, e benefícios, além de interpretar quais modificações foram necessárias no processo para a implantação dessa tecnologia na produção de joias, tendo a Indústria 4.0 e o atual cenário da indústria paulista como pano de fundo. A pesquisa aponta que mais da metade das empresas pesquisadas estão utilizando a impressão 3D, e 52% relatam diminuição no tempo de trabalho com o uso da manufatura aditiva. Mostrou, também, que todas as empresas consideram os benefícios superiores aos custos da impressão 3D, sendo que 90% delas apontaram crescimento no lucro após a implantação dessa tecnologia no processo produtivo. Por meio de seus resultados, foi possível conhecer o posicionamento do setor mediante as constantes inovações da manufatura aditiva e da Indústria 4.0, além de direcionar informações que podem ser utilizadas na implantação da impressão 3D em novas indústrias do setor joalheiro e/ou as orientar na contratação de empresas que ofereçam serviços com essa tecnologia, dentro do conceito conhecido como inovação aberta. Fornece, ainda, informações para implantação de novas empresas que desejem atuar junto ao setor joalheiro na execução de serviços necessários a elas.

Palavras-chave: Design; Joalheria; Manufatura Aditiva; Inovação, Indústria 4.0; 3D Printing, Impressão 3D.

ABSTRACT

The use of body adornments has been part of human behavior for thousands of years. In the course of time, man started to develop metal pieces in the most varied ways and, the use of jewelry changed its purpose. Through the transformation of society, customs, and the development of technology, there was an intense change in the way of manufacturing the pieces and, the activity of jewelry gained new vectors such as productivity, environmental issues, cost, material and design. In this way, with the perspective of guaranteeing an increase in technology and an improvement in the quality of manufacturing processes, the jewelry industry incorporated additive manufacturing (AM), enabling the production of complex geometries models. Thus, the use of AM in the creation project, with the help of software, promoted transformations of the jeweler product, making it possible, through the use of this new technique, to generate a interconnected network to the production process, encouraging the sector to participate in Industry 4.0. Industry 4.0 is characterized as a set of technologies that bring the physical and virtual worlds closer together, and the term can be understood as a process that involves factory machinery, processes and the correct use of natural resources, which leads to industry to be more efficient in production, less waste, creating new models and improving product quality. In order to identify and to characterize the application of additive manufacturing in jewelry production, from the perspective of those present, the research developed evaluated its use, costs, positives, and benefits, in addition to interpreting which modifications were necessary in the process for the implementation of this technology in the production of jewelry, with Industry 4.0 and the current scenario of the industry in São Paulo as a backdrop. The survey shows that more than half of the companies surveyed are using 3D printing, and 52% report a decrease in working time with the use of additive manufacturing. It also showed that all companies consider the benefits to be greater than the costs of 3D printing, with 90% of them pointing to profit growth after the implementation of this technology in the production process. Through its results, was possible to know the positioning of the sector through the constant innovations of additive manufacturing and Industry 4.0, in addition to directing information that can be used in the implementation of 3D printing in new industries of the jewelry sector and / or guiding them in hiring of companies that offer services with this technology, within the concept known as open innovation. It also provides information for the implantation of new companies that wish to work with the jewelry sector in the execution of services necessary for them.

Keywords: Design; Jewelry; Additive Manufacturing; Innovation, Industry 4.0; 3D Printing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas de fabricação na indústria joalheria: tradicional x uso de impressão 3D.....	16
Figura 2 – Etapa 4: matriz de silicone sendo cortada.	17
Figura 3 – Etapa 6: árvore de cera; cilindros revestidos.	18
Figura 4 - Preenchimento do molde de gesso com metal líquido e árvore em metal.....	18
Figura 5 - Processo de Produção por cera perdida	19
Figura 6 – Etapa 7: cravação da pedra na cera	21
Figura 7 - Representação das principais etapas do processo de manufatura aditiva.	22
Figura 8 - Mesa de uma máquina descendo sobre a resina líquida	23
Figura 9 - Algumas das variações de nomenclatura	23
Figura 10 - Princípios de algumas tecnologias da manufatura aditiva.	25
Figura 11 - Processo de impressão DLP.....	28
Figura 12 - Renderização feita a partir do plugin Matrix.	31
Figura 13 - Algumas ferramentas disponíveis no Plugin Matrix.	32
Figura 14 - Detalhes do Plugin Matrix em funcionamento.	33
Figura 15 - Protótipos ainda com suportes de sustentação.....	33
Figura 16 - Tecnologias e elementos estabilizadores da Indústria 4.0	38
Figura 17 - Grau de efetividade das questões do questionário enviado para análise dos especialistas.	41
Figura 18 - Localização das indústrias.	43
Figura 19 - Área de atuação dos respondentes.	43
Figura 20 - Métodos de fundição utilizados pelas indústrias joalheiras em função do número de empregados.....	44
Figura 21 - Uso da impressora em indústrias joalheiras em função do número de funcionários.	44
Figura 22 - Impressora 3D existente nas indústrias em função de seu tempo de existência.	45
Figura 23 – Área atuação das indústrias joalheiras.	45
Figura 24 - Volume fabricado por mês em cada segmento joalheiro.....	46
Figura 25 - Utilização da impressão 3D no processo de produção.	46
Figura 26 - Aumento no lucro após implantação da impressora 3D.	47
Figura 27- Investimento em treinamento de funcionários para utilização da impressora.	47
Figura 28 - Investimento em treinamento das indústrias que consideram o custo baixo em relação aos benefícios.....	48
Figura 29 - Utilização de diferentes materiais para impressão 3D.....	48
Figura 30 - Custo médio mensal com insumos para impressão 3D.	49
Figura 31 - Aquisição de insumos apenas do fornecedor/vendedor da impressora 3D.....	49
Figura 32 – Relação custo/benefício a partir da utilização da manufatura aditiva.....	50
Figura 33 - Lucratividade e processo de produção.....	50
Figura 34 – Compreensão dos funcionários de cada setor sobre conceitos da Indústria 4.0....	51
Figura 35 – Compreensão de cada segmento sobre conceitos da Indústria 4.0.....	51
Figura 36 - Uso de elementos para organização do sistema de automação na indústria joalheira.	52

Figura 37 - Uso de sistemas de automação de acordo com a produção mensal da indústria. ..	52
Figura 38 - Mudanças nos setores após a implantação da manufatura aditiva.....	53
Figura 39 - Mudanças ocorridas no processo de produção após a implantação da manufatura aditiva.	54

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	PROCESSO DE FABRICAÇÃO	16
2.1.1	PROCESSO TRADICIONAL DE FABRICAÇÃO	16
2.1.2	PROCESO COM USO DA MANUFATURA ADITIVA	20
2.1.3	PROCESSO DE BANHO NAS PEÇAS DE JOALHERIA.....	24
2.2	TIPOS DE TECNOLOGIAS NA MANUFATURA ADITIVA	25
2.2.1	TIPOS DE TECNOLOGIA ADITIVA USADA NA JOALHERIA.....	27
2.2.2	INSUMOS UTILIZADOS NA MA DE JOALHERIA.....	29
2.3	SOFTWARES UTILIZADOS PARA GERAÇÃO DOS MOLDES 3D.....	31
2.4	INOVAÇÃO E A INDÚSTRIA 4.0	34
3	MATERIAL E MÉTODO	40
3.1	COLETA DE DADOS.....	40
4	RESULTADOS	43
4.1	CARACTERIZAÇÃO	43
4.2	USO DA IMPRESSÃO 3D - GASTOS E LUCROS	47
4.3	INDÚSTRIA DE JOALHEIRA E INDÚSTRIA 4.0.....	51
5	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	55
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
7	BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA	59
	APÊNDICE 1	62
	APÊNDICE 2	63
	APÊNDICE 3	64

1 INTRODUÇÃO

A utilização de adornos faz parte da cultura do homem há milhares de anos. Goya e Benutti (2015) apontam que o adorno tem sua origem com função mística, e com aspecto político social, já que as peças mais antigas que se tem conhecimento são amuletos ou símbolos religiosos e objetos que representavam poder, diferenciando e até distanciando socialmente quem os usava dos demais.

Teixeira (2017) mostra que entre uma das formas de embelezamento que o indivíduo criou, estão as joias, que eram produzidas a partir dos recursos que a natureza oferecia e, no período mais remoto da antiguidade, eram usadas como: conchas com formas peculiares, plumas de pássaros, sementes, pedras polidas, ossos e presas de animais, muitas vezes associados para compor os adornos.

Com o passar do tempo cada povo, romanos, egípcios, gregos, dentre outros, passaram a desenvolver joias em metais das mais variadas formas e o uso de adornos foi mudando de propósito (MOURÃO; DE MIRANDA; TAVARES, 2019).

Através da transformação da sociedade, costumes, e desenvolvimento da tecnologia, houve uma intensa modificação no modo de uso e de fabricação das peças. A função principal da joia é simbólica, e implica na transição de um conceito, uma ideia, representando o usuário e seus anseios sociais e culturais, mesmo que ela seja considerada falsa ou com materiais alternativos (GOYA; BENUTTI, 2015).

Para Benutti e Muller (2013), como adorno corporal, as joias carregam valores de uma época, além de características estéticas, materiais e técnicas que permitem a nós identifica-las de acordo com suas origens étnicas, territoriais e históricas, sendo registros de um determinado grupo, indivíduo ou território.

Fundamentado no desenvolvimento da sociedade e nos meios de consumo ao longo de anos, a criação de novos adornos foi designada ao ourives, o artesão que constrói cada detalhe da joia a ser desenvolvida. A criação artesanal do produto envolve entre vários aspectos, habilidade minuciosa e sobretudo, demanda muito tempo.

Ao longo de séculos os ourives detiveram os conhecimentos acerca do processo de produção joalheira, criando e executando cada uma de suas peças à mão, cumprindo todas as etapas da produção até que a joia fosse concluída (ROCHA, 2007).

Múltiplas nomenclaturas são utilizadas com a intenção de diferenciar o tipo de técnica aplicada na fabricação de cada adorno. Durante o processo de modernização da tecnologia, com a substituição de metais preciosos por metais mais acessíveis, surgiu a possibilidade de criação de acessórios populares, com técnicas que possibilitam a imitação da joia. Dessa maneira, surgiram alternativas nesse mercado, distinguindo-se basicamente pelo material utilizado na fabricação de cada uma delas. A diferenciação de cada um dos termos utilizados está no Apêndice 1.

A atividade da joalheria foi ganhando novos vetores, como a questão da produtividade, questões ambientais, custo, material e design. A mudança do mercado

sobre a concepção de um artefato, com a finalidade de compor uma experiência de uso cada vez mais complexa e adequada para o usuário se tornou um processo específico para o designer de joias.

O desenvolvimento de um protótipo manufaturado artesanalmente diminui a agilidade na concepção de um novo produto, assim não se encaixa quando existe a necessidade de rápida produção de uma indústria. Fundamentada na evolução da sociedade, a elaboração de adornos recebeu um estímulo com o início das fábricas e da comercialização, e obteve mudanças significativas na confecção manual, até os dias atuais com o progresso da tecnologia. A alta rotatividade das tendências impostas pelo mercado de moda reflete a maneira acelerada de desenvolvimento de novas coleções de joias (SCHWAB; DE OLIVEIRA, 2019).

O aperfeiçoamento da indústria e do processo de fabricação promovem o aprimoramento do design, funcionalidade e ergonomia das peças, para adaptar as necessidades do consumidor. Incorporado ao processo, o método tradicional de criação de protótipos, limitado a um ourives ou modelista que esculpe peças em cera ou metal, se modernizou com a introdução de técnicas que possibilitam diferentes alternativas no design, com o uso de programas habilitados a criação de elementos detalhados.

Desse modo, ao longo dos anos, a joalheria incorporou a Manufatura Aditiva (MA) como forma de aumento da tecnologia para a indústria, viabilizando a criação de modelos diferenciados, melhor acabamento e diminuição do tempo no processo de fabricação. A manufatura aditiva trabalha por sistemas automatizados de fabricação, e a utilização dessas tecnologias acaba por gerar um dispêndio de tempo menor pelos ourives nas atividades de modelagem além de aumentar a confiabilidade e qualidade nos processos de produção em massa (MOURÃO; DE MIRANDA; TAVARES, 2019).

A manufatura aditiva, também conhecida como Impressão 3D é uma tecnologia que consiste na produção de modelos utilizando a sobreposição de camadas de material, formando estruturas com formas elaboradas, alto grau de detalhamento e infinitas possibilidades dimensionais com uso de múltiplos materiais. Segundo Schwab e Oliveira (2019), o processo de modelagem digital, prototipagem rápida e tecnologias de fabricação aditiva tiveram um grande desenvolvimento nas últimas décadas, dando mais agilidade e qualidade ao processo produtivo.

As empresas buscam entregar produtos em menor tempo, com valores reduzidos, primando pela confiabilidade e eficiência para se manterem competitivas no mercado, com tecnologias cada vez mais, auxiliando e criando novas formas de produzir que trazem grandes benefícios tanto para os consumidores quanto para os produtores (MOURÃO; DE MIRANDA; TAVARES, 2019).

O emprego da MA no projeto de criação, com o auxílio de programas promoveu transformações do produto joalheiro, tornando possível a partir do uso dessa nova técnica, gerar uma rede interligada ao processo de produção, impulsionando a indústria a participar da chamada Revolução 4.0.

A Revolução 4.0, também denominada Indústria 4.0, consiste em um conjunto de tecnologias integradas que unem dados dinâmicos de uma indústria com tecnologias digitais inteligentes, sendo possível controlar e coletar dados da produção a qualquer momento. Anand e Nagendra (2019), definem o termo como um ecossistema industrial em rede, que permite o compartilhamento de dados em tempo real e interações homem-máquina e máquina-máquina em uma velocidade e escala sem precedentes.

A comunicação desses sistemas facilita a agilidade e controle do processo de produção, tornando viável por exemplo, a personalização de peças dentro do processo sem que seja afetado o andamento da manufatura. A partir desse engajamento, a atividade joalheira que aplica a Indústria 4.0 como modelo, controlando a produção com custos otimizados, é capaz de inovar e sair à frente no mercado competitivo.

Pesquisas realizadas junto a literatura científica encontraram poucos trabalhos que relacionassem a indústria de joalheria, a Indústria 4.0 e a modernização conseguida com a manufatura aditiva, sendo que os principais temas abordaram a manufatura aditiva na revolução 4.0, na indústria de uma forma geral, e não na indústria joalheira especificamente, com o foco apenas em processos específicos e suas tendências.

Ao passo que os preços vão sendo diminuídos e a tecnologia vem se tornando mais acessível, boa parte dos segmentos dentro da joalheria utilizarão máquinas de manufatura aditiva em alguma demanda ou momento específico, essa tendência de migração de processos impactará boa parte do processo tradicional de fabricação (MONTEIRO, 2015).

A manufatura aditiva é o principal desafio para a implantação da indústria 4.0 nas empresas, e torna-se essencial controlar as possíveis contribuições desse processo inovador desde os estágios iniciais do design (SEGONDS, 2018). Dilberoglu et al. (2017) enfoca em sua revisão três aspectos importantes da MA: avanços recentes na ciência dos materiais, desenvolvimento de processos e aprimoramentos na consideração do projeto.

Foram encontrados também, diversos artigos de revisão de literatura sobre o tema. Ahuett-Garza e Kurfess (2018), mostraram em seu estudo que a Indústria 4.0 é um conceito que compreende a integração de tecnologias e agentes com o objetivo comum de melhorar a eficiência e a capacidade de resposta de um sistema de produção.

Em diversos trabalhos foi evidenciado as vantagens da aplicação de novas tecnologias nos processos de produção, em relação aos custos de produção, que podem ser significativamente reduzidos, enquanto as tecnologias aditivas permitem uma produção personalizada, característica da indústria 4.0, com gasto mínimo de tempo e materiais em desenvolvimento e prototipagem (OSTROUKH et al., 2019).

Os poucos artigos que abordaram os processos industriais na joalheria, se referiam ao movimento de modificação da fabricação trazido pela manufatura aditiva. Oliveira (2012) mostrou que, tendo em vista ganhos expressivos na inovação e na competitividade, o setor joalheiro nacional busca constantemente incorporar novos recursos a fim de eliminar erros e agilizar a fabricação de modelos.

O desenvolvimento joalheiro, antigamente produzido em sua totalidade por meios artesanais, são agora desenvolvidos, em grande parte, por métodos computacionais que permitem a interação direta entre desenho e modelo 3D virtual com o sistema de manufatura de produção para o desenvolvimento da peça real, também conhecidos como sistemas CAD/CAM, desenho assistido por computador e manufatura assistida por computador (SCHWAB, 2016). Essa tecnologia possibilitou, também, o oferecimento de serviços por parte de terceiros, que seriam contratados para o desenvolvimento e confecção de partes específicas do processo, dentro do conceito conhecido como inovação aberta (ROSSI; BOTURA JR., 2018).

Porém, apesar da ampla pesquisa a respeito dos temas propostos, não se identificou nenhum trabalho que abordasse a relação entre a tecnologia e a revolução sob a ótica de quem trabalha na indústria joalheira.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho da manufatura aditiva na produção joalheira, relacionando-o com desafios apresentados pela Revolução 4.0 no atual cenário da indústria brasileira, sob a ótica das pessoas envolvidas com esse setor da indústria, identificando as modificações no processo de fabricação, suas implicações e perspectivas futuras. A pesquisa realizada se limita ao estado de São Paulo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 PROCESSO DE FABRICAÇÃO

O processo de fabricação pode ter dois métodos, com algumas diferenças entre suas etapas. O método tradicional segue a partir de uma peça esculpida por um ourives em metal ou cera, enquanto o método de criação tridimensional é feito a partir de uma peça impressa em 3D com a utilização de impressoras e softwares especializados. A Figura 1 mostra a diferença entre cada etapa dentro das diferentes opções de processos.

Figura 1 - Etapas de fabricação na indústria joalheria: tradicional x uso de impressão 3D



Fonte: Criada pela autora.

2.1.1 PROCESSO TRADICIONAL DE FABRICAÇÃO

O método tradicional e amplamente conhecido de criação de uma joia consiste em um esboço seguido por um projeto detalhado com desenho técnico, especificando tamanho do artefato, detalhamento de pedras, tipo de cravação utilizada e consequentemente o estilo de garra. Para garantir que o produto final atinja os níveis de qualidade desejados, durante o processo devem ser considerados, todos os temas que irão interferir na qualidade do produto final e consequentemente em sua aceitação no mercado (ROCHA, 2007).

A partir do desenho técnico, o modelista ou ourives esculpe a peça selecionada a partir de um bloco de metal ou cera própria para joalheria. Para Mourão, De Miranda e Tavares (2019), a etapa da modelagem é de fundamental importância visto que todo o processo reflete o que é feito no molde. Nessa etapa as técnicas artesanais são essenciais, e dependem diretamente do ourives seu conhecimento e sua experiência aplicando-as.

A história das joias tem sua origem no processo artesanal, dos objetos de adornos confeccionados a partir de ossos e pedras na pré-história, aos profissionais da ourivesaria,

sendo que a habilidade manual na confecção das peças sempre foi fundamental (SCHWAB, 2016).

O primeiro exemplar, denominado protótipo, modelo ou arquétipo, é produzido com o auxílio de limas, brocas e lixas, respeitando precisamente todos os detalhes estabelecidos no projeto. O projeto da joia é, de acordo com Rocha, Rubio e Filho (2011), o principal elemento de comunicação entre as etapas de concepção e produção.

O modelo artesanal é disposto em um recipiente e coberto por silicone líquido. Com a secagem do material, o silicone é separado ao meio para retirada da peça, produzindo um molde resistente, como mostra a Figura 2. Essa matriz cortada segue para o equipamento de injeção, para produção de réplicas da peça.

Figura 2 – Etapa 4: matriz de silicone sendo cortada.

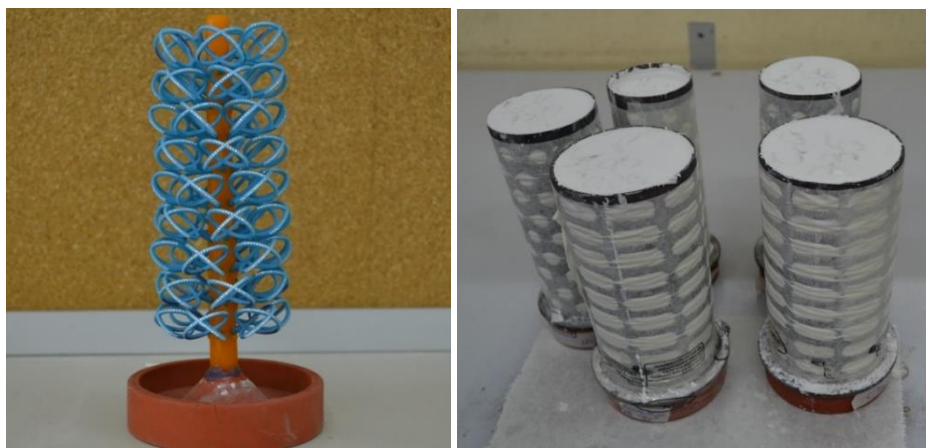


Fonte: Foto tirada pela própria autora.

O corte é feito manualmente, com auxílio de um bisturi, normalmente em ziguezague, com exceção no entorno da peça, formando dentes na borracha, o que auxilia na precisão do encaixe posterior e reduz problemas com rebarbas na injeção da cera (SCHWAB, 2016).

A partir do molde em silicone, são produzidas diversas cópias do artefato em cera, que são fixadas em um canal similarmente do mesmo material, formando uma “árvore”. A “árvore” é colocada em um recipiente cilíndrico de metal e coberta com massa refratária (geralmente gesso) que, após a secagem e endurecimento é encaminhado ao forno de alta temperatura como mostra a Figura 3.

Figura 3 – Etapa 6: árvore de cera; cilindros revestidos.



Fonte: Fotos tiradas pela própria autora.

O cilindro é levado ao forno para a etapa de calcinação, etapa essa que consiste no tratamento térmico para a remoção da água presente na massa, alterando sua estrutura tornando o material sólido (MOURÃO; DE MIRANDA; TAVARES, 2019). Como resultado do processo, a árvore de cera é derretida, sustentando em seu lugar o gesso resistente como um molde em formato das joias.

Após a remoção dos moldes do forno, o desenvolvimento das peças segue com o molde em gesso preenchido com metal líquido (ouro, prata, latão etc) com o objetivo de originar uma árvore em metal, como mostra a Figura 4. No forno de fusão, a matéria-prima é transformada de metal em estado sólido para estado líquido, através de alta temperatura, a qual varia conforme a liga de metal utilizada (SCHWAB, 2016).

Com a solidificação do metal a massa refrataria é retirada em um banho de água e depois, corta-se as peças criadas na árvore, por fim essas peças seguem para o processo de acabamento (MOURÃO; DE MIRANDA; TAVARES, 2019).

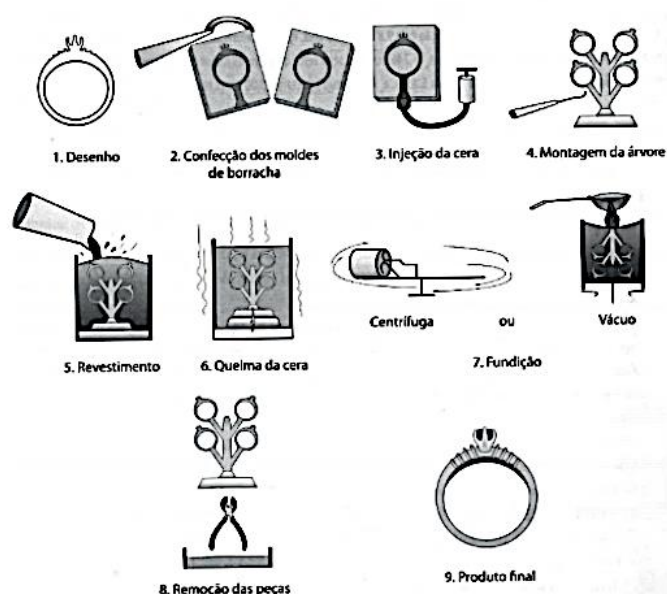
Figura 4 - Preenchimento do molde de gesso com metal líquido e árvore em metal



Fonte: Foto tirada pela própria autora.

Cada peça é retirada do canal central a fim de ser trabalhada individualmente. A técnica de fundição, conhecida como “cera perdida”, é a mais utilizada pela indústria de joalheria e forma um molde capaz de reproduzir diversas peças de maneira eficiente, como mostra a Figura 5.

Figura 5 - Processo de Produção por cera perdida



Fonte: Kliauga e Ferrante (2009), p.188.

O processo de fundição por cera perdida é uma produção em série com custo baixo, realizado por 90% das joalherias no mundo todo, e é eficiente para diversos tipos de peças por menores que sejam os detalhes (AQUINO; MAURO, 2009). Schwab (2016) mostra que esse tipo de fundição também pode ser chamada de microfusão, e possibilita um grande nível de detalhamento dos modelos desenvolvidos, além da fabricação de um grande número de peças com apenas uma injeção de metal no molde.

A fundição por cera perdida utiliza materiais de alta tecnologia e permite a fabricação de componentes com alta fidelidade, facilidade de reprodução, versatilidade e integridade em uma vasta gama de metais e ligas de alto desempenho, é também capaz de reproduzir formas complexas, e ainda requer pouca usinagem de ajuste e pouco acabamento superficial (MONTEIRO, 2015).

É importante lembrar que, embora o processo por cera perdida seja o mais utilizado, existem diversas técnicas de fundição disponíveis no mercado como a fundição em Casca (Shell Molding), fundição em Coquilha, e fundição de Lingote.

Os processos de fundição são utilizados para a manufatura de peças em larga escala e podem ser classificados de acordo com o material do molde, com o método de vazamento do metal e com a pressão aplicada sobre o molde durante o preenchimento (OLIVEIRA, 2012).

A etapa seguinte exige que, após a retirada das peças da fundição, seja feita uma revisão de cada peça e possível desobstrução dos orifícios para que seja iniciado o processo de cravação. Assim a pedra é posicionada e as garras são empurradas e dobradas sobre ela com a finalidade de prendê-la ao metal. O tempo de desenvolvimento da joia a partir do arquétipo manufaturado artesanalmente torna-se extenso sobretudo no decorrer da cravação em metal, o que aumenta o valor final do produto. Por outro lado, a cravação no metal e a confecção artesanal do protótipo tornam o produto final disforme e muitas vezes dissimétrico.

O processo utilizado na confecção do modelo também é um fator limitante na confecção da joia e, por mais habilidade que o profissional possua, algumas características da peça não podem ser facilmente controladas manualmente (ROCHA, 2007).

Consequentemente, os processos que seguem a cravação são acabamento, com lixa e polimento com a finalidade de estabelecer superfícies lisas e uniformes ao produto final e eventualmente, caso a peça em questão não seja de um metal nobre, passa pelo recurso de banho.

2.1.2 PROCESO COM USO DA MANUFATURA ADITIVA

O processo de fabricação a partir do uso da manufatura aditiva se inicia igualmente com um esboço seguido por um projeto técnico. A partir disso, a indústria de joalheria buscou uma solução objetivando uma produção sem contratempos no decorrer do projeto, e possibilitando a integração do setor de criação com os demais setores da indústria. Esses novos critérios e considerações, resultaram na alteração do processo produtivo da joalheria, fundamentada na inovação da manufatura aditiva, com o princípio da modelagem 3D, substituindo a modelagem manual do molde.

No que diz respeito a tecnologia tridimensional, o software específico para joalheria, disponível no mercado com recursos que possibilitam a elaboração do protótipo com formas e simetrias inovadoras, perfurações de ângulos exatos para a cravação da pedra, viabilizando o encaixe preciso. A partir do modelo impresso, o molde de silicone é preparado como no processo manual, e cópias de cera são produzidas.

Como mostrado por Nishimura e Rodrigues (2014), adotando tecnologias de prototipagem rápida para a confecção de joias, pode-se eliminar as etapas de escultura do modelo, acelerando o processo. Os autores ressaltam ainda que a criação de protótipos possibilita a realização de testes e provas, a fim de minimizar os erros no final do processo e, destacam também sua automação.

O progresso estabelecido em virtude da manufatura aditiva ocasionou transformações significativas no processo de produção, alterando o procedimento para cravação de pedras pequenas (geralmente com menos de 6mm).

Em razão do novo modelo de cravação no qual as pedras são posicionadas na cera, um processo que antecede a fundição se prova mais eficaz e acelerado, uma vez que o material mais maleável facilita o posicionamento da pedra como mostra a Figura 6.

Selecionada a partir de um mecanismo com pequena sucção e atenciosamente posicionada na abertura criada na cera, a pedra é ‘abraçada’ de imediato pelas garras, sem a necessidade de operação posterior como no processo primitivo. Observando o cenário, além de benefícios no design, o novo estilo de cravação proporcionado pela manufatura aditiva é uma técnica simples, com o tempo de trabalho do operador diminuído, além de facilitar o treinamento de novos funcionários.

Consequentemente, o restante do processo permanece semelhante ao antigo, no entanto, o artefato em metal retirado do gesso encontra-se agora com as pedras cravadas. Paralelamente, o acabamento das peças elaboradas a partir do modelo criado com a tecnologia da manufatura aditiva, é facilitado e torna-se mais rápido, visto que a fabricação se dá a partir de protótipos com superfícies lisas e simétricas.

Figura 6 – Etapa 7: cravação da pedra na cera



Fonte: Foto tirada pela própria autora.

A manufatura aditiva é um recurso de fabricação que utiliza adição de material em camadas para a construção de objetos. A fabricação de peças a partir desses equipamentos é controlada por computador a partir de uma construção 3D originada no sistema CAD e permite a utilização de diversos materiais, formando múltiplas formas. Volpato (2017) define a manufatura aditiva como um processo de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do componente.

A impressão 3D possibilita a reprodução das peças com maior precisão e qualidade, criando um produto exatamente igual ao digital, já os modelos feitos artesanalmente sofrem variáveis que podem alterar o design e afetar a qualidade do molde por não serem tão precisos e dependerem exclusivamente das técnicas e experiência de quem faz o faz (MOURÃO; DE MIRANDA; TAVARES, 2019).

Outra proposta mais recente de facilidade ofertada pela manufatura aditiva ao processo de criação da joalheria é a impressão de peças diretamente em cera. Algumas máquinas desenvolvidas especialmente para produção de adornos são capazes de produzir

protótipos em cera de modelagem, facilitando a produção e pulando etapas, diminuindo custos de material, tempo e mão de obra.

Levi (2018), defende que a tecnologia evoluiu da produção predominante de protótipos para a fabricação de peças de uso final que melhoram os produtos, reduzindo peso, tempos de produção, custos de ferramentas ou fornecendo geometrias complexas. Desde que seja utilizada uma tecnologia adequada e um material adequado para a criação dos modelos, é mais vantajoso a obtenção de joias por meio da manufatura aditiva, do que a produção de peças em cera pelo processo manual (NISHIMURA; RODRIGUES, 2014).

O processo consiste inicialmente na modelagem tridimensional em software específico, no qual o designer projeta o objeto a partir de ferramentas que determinam formato, tamanho, textura e detalhes preestabelecidos. A partir do modelo, outro software especial modifica o arquivo em um formato próprio para a impressora 3D, repartindo-o em camadas (por exemplo o formato STL – Estereolitografia) para que a peça física seja construída a partir da sequência do arquivo por níveis seguindo o modelo criado, assim como mostra a Figura 7.

Figura 7 - Representação das principais etapas do processo de manufatura aditiva.



Fonte: Volpato (2017), p.17.

Quanto mais fina for a camada, mais próxima a peça final estará da original, e as principais maneiras pelas quais as máquinas de manufatura aditiva diferem, são os materiais utilizados e a maneira como as camadas são criadas e ligadas umas às outras (GIBSON; ROSEN; STUCKER, 2010).

Conhecido como inventor da primeira tecnologia de manufatura rápida comercial, Chuck Hull criou a ideia de um feixe de luz ultravioleta focado sobre um líquido de fotopolímeros e controlado por um computador, onde solidifica camadas transformando-as no objeto desejado como mostra a Figura 8. De acordo com Hull (2012), a estereolitografia evoluiu para um nível notável de precisão, detalhe e produtividade, e parece destinada a ser o método de impressão 3D preferido para uma ampla variedade de aplicativos nos próximos anos, com a combinação de versatilidade, confiabilidade, precisão e produtividade.

Figura 8 - Mesa de uma máquina descendo sobre a resina líquida

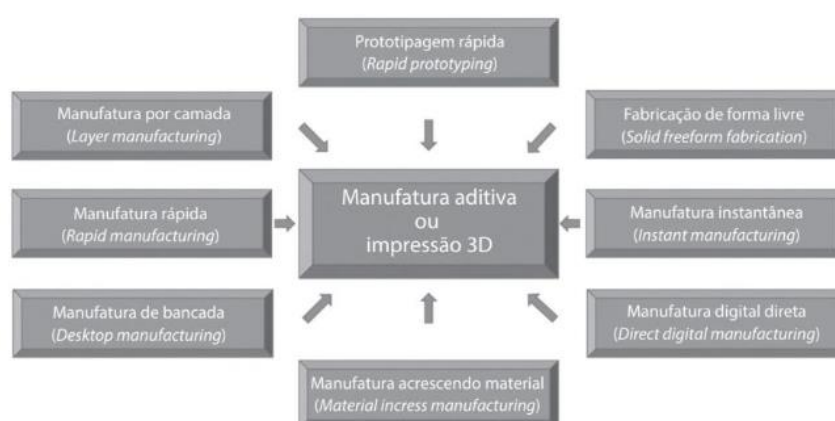


Fonte: Foto tirada pela própria autora.

Essa tecnologia é capaz de trabalhar detalhes precisos na peça, até mesmo os internos, e executar formas elaboradas com mais liberdade do que o processo convencional, inclusive gerar peças prontas para o uso, além disso, depois de executado, o modelo está praticamente pronto para o uso (NISHIMURA; RODRIGUES, 2014).

Por essas características, durante os anos foram estabelecidas variadas nomenclaturas para essa tecnologia. O uso do termo “protótipo” para caracterizar um objeto em desenvolvimento ou em processo de avaliação, fez surgir o termo Prototipagem Rápida, utilizado por anos na literatura. No entanto, as terminologias mais utilizadas atualmente são manufatura aditiva e Impressão 3D como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Algumas das variações de nomenclatura



Fonte: VOLPATO, 2017

Os novos equipamentos de manufatura aditiva podem utilizar diversos materiais desde plástico simples, a metais preciosos, açúcar ou cerâmica. O material desempenha a função de acordo com a finalidade do objeto a ser criado, podendo ter grande resistência ao calor, flexibilidade, transparência entre outras propriedades. Integrando assim, infindas alternativas de aplicações, a manufatura aditiva tornou-se elementar em inúmeros setores e determina amplas possibilidades dentro da indústria.

O uso da Manufatura aditiva pode acelerar o processo de produção pois a peça é feita em apenas uma máquina do começo ao fim, além da redução de material usado e o fato de que a manufatura aditiva dispensa o uso de moldes e ferramentas ao longo do Processo de Desenvolvimento de Produtos. (NISHIMURA; RODRIGUES, 2014).

Além de possibilitar a criação de formas complexas, uma das vantagens da implantação da manufatura aditiva na indústria é a possibilidade de construção de produtos distintos, embora não seja necessário o treinamento de habilidades específicas de pessoas, além da capacidade de replicar exatamente a mesma peça por diversas vezes.

Dentre os inúmeros motivos que destacam a importância da impressão 3D na indústria, a possibilidade de personalização de produtos de maneira ágil, ainda na fase da criação tridimensional e sem que haja necessidade de alteração nos processos posteriores de fabricação, é uma das grandes inovações que essa tecnologia trouxe para a indústria.

Por esse motivo, Pérez-Pérez, Gómez e Sebastián (2018) evidenciam que a flexibilidade nas alterações de projeto permite criar produtos diferentes com a mesma base, gerando infinitas possibilidades de personalização, adaptação etc.

A manufatura aditiva inserida na indústria, não somente facilitou a produção como também criou uma nova perspectiva de produção personalizada. Este recurso exclusivo da impressão 3D torna viável a produção de itens únicos ao consumidor, sem grandes alterações na cadeia de produção.

2.1.3 PROCESSO DE BANHO NAS PEÇAS DE JOALHERIA

O setor joalheiro gera peças a partir de metais não nobres como a semijoia e as bijuterias. O campo que fabrica e vende peças correspondentes ao setor, atende o público que pretende investir valores menos significativos neste tipo de adorno. Além disso, a possibilidade de oferecer um design diferenciado nesse segmento é superior se comparado à joia. Segundo Rocha (2007), as bijuterias oferecem maior liberdade de criação, uma vez que não existem tantas limitações de tamanho e materiais utilizados.

Quando torna-se inviável economicamente para a indústria que o produto seja feito integralmente em metal nobre, a superfície da peça é tratada com o objetivo de mantê-la visualmente semelhante a joia e, paralelamente conservá-la.

Diversos processos são utilizados para viabilizar uma peça correspondente visualmente a uma joia, e um dos mais conhecidos é o de Eletrodeposição ou Galvanização. O método permite que a peça mergulhada em solução de metal nobre inicie uma eletrólise, reação química que possibilita a união dos metais, formando uma camada de ouro ou prata sobre a semijoia.

As peças são submetidas a um ou mais banhos eletrolíticos, que podem ser de cobre, ouro, prata, zinco, e outros metais, e o processo é realizado em três etapas: Pré-tratamento, tratamento e pós-tratamento (VALANDRO et al., 2019).

Para que ocorra a eletrólise, o artefato bruto é submetido a um procedimento de limpeza para retirada de impurezas provenientes da fabricação e posteriormente recebe o

banho de cobre para acabamento e proteção. A imersão em níquel pode ser introduzida à técnica com o propósito de tornar a peça antialérgica. Para a conclusão do processo, a peça recebe o banho de ouro, seguindo o mesmo processo.

É importante destacar que a ordem dos materiais utilizados no processo, tal como a quantidade de produto e os metais utilizados para o banho, baseiam-se no planejamento do tipo de produto e acabamento pretendido pelo fabricante. Igualmente, a quantidade de metal nobre sobreposta no decorrer da galvanização define, entre outros elementos a qualidade do produto final. A fração do material em cada produto identifica a peça como uma bijuteria ou semijoia, assim como influencia no valor final.

2.2 TIPOS DE TECNOLOGIAS NA MANUFATURA ADITIVA

O desenvolvimento da manufatura aditiva originou uma diversidade de equipamentos que operam diversas tecnologias capazes de fabricar peças a partir de variados materiais, com distintas finalidades, capacidade de tamanho e acabamento. A descrição dessas tecnologias pode gerar mais de uma nomenclatura para designar a mesma técnica, por serem marcas registradas de diferentes fabricantes, que atuam nos mesmos processos. A Figura 10 apresenta algumas das tecnologias utilizadas em impressão 3D.

Figura 10 - Princípios de algumas tecnologias da manufatura aditiva.

Classificação tecnologias AM	Descrição dos princípios	Algumas tecnologias na categoria
Fotopolimerização em cuba	Polímero fotossensível líquido é curado seletivamente em uma cuba por polimerização ativada por luz	Estereolitografia (<i>stereolithography</i> – SL), produção contínua com interface líquida (<i>continuous liquid interface production</i> – CLIP), tecnologia da empresa Invision-TEC, outros
Extrusão de material	Material é extrudado através de um bico ou orifício, sendo seletivamente depositado	Modelagem por fusão e de posição (<i>fused deposition modeling</i> - FDM), markerBot, RepRap, Fab@Home, outros
Jateamento de material	Material é depositado em pequenas gotas de forma seletiva	PolyJet, impressão por múltiplos jatos (<i>MultiJet printing</i> – MJP), tecnologia da Solidscape, outros
Jateamento de aglutinante	Um agente aglutinante líquido é seletivamente depositado para unir materiais em pó	Impressão colorida por jato (<i>ColorJet Printing</i> – CJP), tecnologia da VoxelJet, tecnologia da ExOne, outros
Fusão de leito em pó	Energia térmica funde seletivamente regiões de um leito de pó	Sinterização seletiva a laser (<i>selective laser sintering</i> – SLS), sinterização direta de metal a laser (<i>direct metal laser sintering</i> – DMLS), fusão seletiva a laser (<i>selective laser melting</i> – SLM), LaserCUSING, fusão por feixe de elétrons (<i>electron beam melting</i> – EBM), outros
Adição de lâminas	Lâminas recortadas de material são unidas (coladas) para formar um objeto	Manufatura laminar de objetos (<i>laminated object manufacturing</i> – LOM), tecnologia da Solido, deposição seletiva de laminados (<i>selective deposition lamination</i> – SDL), outros
Deposição com energia direcionada	Energia térmica é usada para fundir materiais à medida que estes são depositados	Forma final obtida com laser (<i>laser engineered net shaping</i> – LENS), deposição direta de metal (<i>direct metal deposition</i> – DMD), revestimento a laser tridimensional (<i>3D laser cladding</i>), outros

Fonte: Volpato (2017, p. 24)

As tecnologias apresentadas na Figura 10 podem ser descritas a partir da forma como são comumente conhecidas:

- **DMLS (Direct Metal Laser Sintering)**: A tecnologia de sinterização direta de metal por laser produz peças em metal a partir da construção camada a camada do material em pó sinterizado, unindo as partículas e construindo o objeto a partir do arquivo criado. Um braço de metal distribui uma fina camada do material em pó sobre uma plataforma, aquecendo partes específicas a serem transformadas em sólido, e o processo se repete até a construção total da peça. Costuma ser um processo com velocidade rápida de fabricação, com boa precisão e acabamento médio. Conforme mostram Patil *et al.* (2019), a sinterização a laser de metal direto (DMLS) é uma variante do processo LPBF, onde o pó de metal é derretido seletivamente sob atmosfera controlada para depositar camada após camada, fabricando objetos complexos com relativa facilidade.

- **FDM (Fused Deposition Modelling)**: A modelagem por deposição fundida é uma tecnologia amplamente utilizada que atua baseada em um bico extrusor controlado que se movimenta no plano XY depositando finas camadas de material termoplástico aquecido em uma plataforma fixa, camada a camada. As peças feitas a partir dessa tecnologia podem apresentar qualidade inferior devido a porosidade resultante da extrusão do material. Gordeev, Galushko e Ananikov (2018) demonstraram que a fabricação aditiva com modelagem por deposição fundida (FDM) é otimizada para uma ampla gama de aplicações comerciais e de pesquisa, e que a principal desvantagem dos produtos criados pela FDM é sua baixa qualidade e defeitos estruturais (porosidade), que impõem um obstáculo à sua utilização na manufatura funcional e na fabricação digital direta de objetos destinados a entrar em contato com gases e líquidos.

- **EBM (Electron Beam Melting)**: A tecnologia de fusão por feixe de elétrons se caracteriza a partir de um feixe de elétrons de alta potência que aquece as camadas de metal em pó até o ponto de fusão do material, em uma câmara de vácuo. Este processo diminui a necessidade de suportes mecânicos nas peças. Herzog *et al.* (2016) assegura que na MA de metais, uma matéria-prima em pó ou, mais raramente, um fio é totalmente derretido pela entrada de energia de um feixe de laser ou elétron e transformado camada por camada em uma parte sólida de praticamente qualquer geometria.

- **LPBF (Laser powder bed fusion)**: Assim como outras tecnologias que utilizam o pó metálico para fabricação de peças, a fusão a laser em pó fabrica a peça a partir do aquecimento das partículas usando uma fonte de calor. A LPBF utiliza um laser para formar a peça desejada camada a camada a partir do modelo 3D. Como indicam Debroy *et al.* (2018), a peça se forma espalhando finas camadas de pó e fundindo passagem a passagem e camadas sobre camada deste pó, sob controle de computador, dentro de uma câmara inerte, diminuindo gradualmente o eixo Z após cada camada.

- **PBF (Powder Bed Fusion)**: A tecnologia PBF opera diversos materiais, como metais, cerâmica e polímeros e os manipula a partir do aquecimento do material em pó ou pequenas partículas, usando uma fonte de calor para formar a peça desejada camada a camada a partir do modelo 3D. Porém, apesar da variedade de materiais, Debroy *et al.*

(2018) mostram que a fabricação de pó de alta qualidade continua sendo um desafio crítico devido à sua alta área superficial e à suscetibilidade à oxidação, sendo importante uma avaliação das rotas de fabricação de pós de liga e seus respectivos desempenhos durante os processos de MA.

Um exemplo significativo da profusão de nomenclaturas é a tecnologia Powder Bed Fusion (PBF) que utiliza material em pó para a fabricação de peças camada por camada, onde as partículas se unem a partir de uma fonte de calor. As modificações em tecnologias geradas a partir da PBF são as fontes de calor, que geraram patentes a partir do laser, se dividindo em Direct Metal Laser Sintering (DMLS) e Laser Powder Bed Fusion (LPBF).

A tecnologia DMLS trabalha a partir da sinterização de partículas, ou seja, o pó é aquecido a uma temperatura menor ao seu ponto de fusão, enquanto a tecnologia LPBF trabalha a partir da temperatura de fusão dos materiais, proporcionando a mudança do estado sólido para o estado líquido, criando peças com maior resistência e melhor acabamento.

2.2.1 TIPOS DE TECNOLOGIA ADITIVA USADA NA JOALHERIA

O mercado oferece múltiplas opções em relação a materiais e processos de manufatura aditiva, disponibilizando variadas possibilidades específicas para o desenvolvimento de seus produtos e protótipos. Em síntese, as tecnologias se expandiram de maneira a se adequar a necessidade de cada setor.

A indústria joalheira faz o uso da chamada manufatura aditiva direta e indireta. Quando nos referimos à manufatura aditiva direta, significa que a impressora desenvolveu o produto final, diretamente no metal. Já a manufatura aditiva indireta se baseia no desenvolvimento de protótipos em resina ou cera, que, embora representem o modelo final, demandam diversos processos até termine no produto final em metal.

As joias podem ser fabricadas usando quase todas as técnicas. Porém, o design das peças de joalheria pode muitas vezes exigir detalhes específicos e com tamanhos reduzidos cuja capacidade de algumas tecnologias não conseguem garantir (YAP; YEONG, 2014).

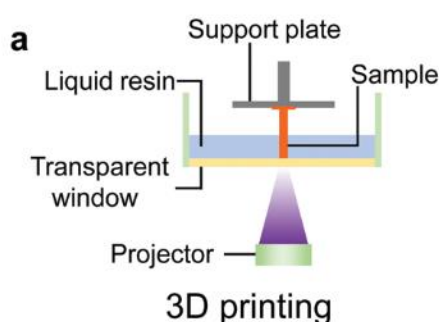
Os processos mais utilizados para criação de protótipos em resina são Estereolitografia (SLA) e Processamento de Luz Digital (DLP), onde a resina é exposta a uma fonte de luz diferente em cada uma das tecnologias, camada a camada para que seja curada. Algumas variedades de resina podem ser utilizadas de acordo com a necessidade da indústria e do artefato a ser criado, podendo variar a composição para alterar a maleabilidade, resistência e definição.

A primeira tecnologia criada, a SLA, bastante utilizada no mercado por ser capaz de entregar alta definição e precisão em seus protótipos, trabalha com um único feixe de luz que desenha a imagem da peça em cada linha, por esse motivo proporciona peças com paredes finas e lisas.

A precisão e o acabamento de superfícies alcançados com as técnicas de estereolitografia permitem o processamento de peças com alta qualidade que atenda aos padrões dessa indústria de luxo (CHARTIER et al., 2015).

Por sua vez, a tecnologia DLP viabiliza, a partir da sua tecnologia, uma forma de fabricação com alta velocidade, pois utiliza um projetor de alta definição com a intenção de curar toda a camada superior de uma única vez como um carimbo na resina líquida, solidificando-a. Assim, o processo de DLP torna-se mais rápido, porém, com menos definição em comparação a SLA. A Figura 11 mostra o processo de impressão DLP.

Figura 11 - Processo de impressão DLP



Fonte: (WU et al., 2019)

Essa tecnologia, muito utilizada na fabricação indireta de joalheria tem a capacidade de produção de pequenos detalhes, e necessita de um processo de cura após o término da impressão. Wu *et al.* (2019) mostraram que o processo de pós-cura UV pode levar à distorção da forma e, assim, à redução da precisão da dimensão. Dessa maneira, podemos dizer que a utilização dessa tecnologia para a criação de peças de joalheria exige cuidado.

Os processos diretos em metal abrangem as tecnologias DMLS, SLM e EBM. A criação direta em metal é um dos mais recentes avanços do setor, que utiliza o metal em pó fino sob uso de calor e pressão para a formação da peça.

Assim como em outros processos, as camadas são impressas uma sobre a outra até a formação total. Yap e Yeong (2014) afirmam que os processos diretos de metais úteis para a fabricação de joias são o derretimento seletivo a laser (SLM) e o derretimento por feixe de elétrons (EBM).

A diferença entre algumas dessas tecnologias é unicamente a temperatura utilizada para a fusão do metal onde a SLM aquece até o derretimento total do metal e a DMLS não atinge o ponto de fusão do material, usando menos energia.

Apesar de existirem no mercado diversos fabricantes que desenvolvem e comercializam impressoras 3D para metais com diferentes nomenclaturas, o processo utilizado é conceitualmente o mesmo, ou seja, todos eles funcionam com um feixe de

laser direcionado em uma cama de pó de metal que vai processando seletivamente as áreas de cada camada do modelo tridimensional (MONTEIRO, 2015).

A fabricação direta extingue a fundição e a técnica de cera perdida usualmente empregadas no processo de produção da joalheria. O uso dessa tecnologia pode acelerar o processo de fabricação e permitir que a produção de artigos personalizados se torne mais viável.

O desenvolvimento de máquinas para manufatura aditiva tem focado em soluções cada vez mais específicas e existem impressoras desenvolvidas para metais preciosos com principal foco no segmento joalheiro (MONTEIRO, 2015).

Porém, apesar de ser uma técnica muito atrativa para o setor, a fabricação aditiva a partir de metais em pó, necessita de atenção especial em alguns momentos específicos de sua fabricação. De acordo com Monteiro (2015), precisa ser observada a densidade do material depois de processado, pois esta característica depende de vários fatores sendo os mais importantes a potência do feixe de laser aplicado e o tipo de pó, que pode ser de um único metal ou uma liga metálica.

Ponderando as variações de processos e materiais, a indústria de joalheria usa sobretudo os processos que operam com o uso de resina líquida. Tal seleção se dá tanto pelo valor acessível da máquina e do insumo, quanto pela condição favorável ao material em trabalhar uma tecnologia que permite produzir detalhes reduzidos com extrema precisão.

2.2.2 INSUMOS UTILIZADOS NA MA DE JOALHERIA

A fabricação de adornos corporais possibilita diversas aplicações de materiais a partir da manufatura aditiva. Tal prática é possível devido ao processo de fabricação de produtos que permite alterações em conformidade com o material utilizado para fabricação de modelos. Em virtude das numerosas alternativas de tecnologias disponíveis na manufatura aditiva, naturalmente a indústria determina a opção adequada às necessidades do produto a ser fabricado.

É indiscutível que, ao longo da produção de modelos e protótipos do setor joalheiro, a indústria trabalha sobretudo a partir de tecnologias eficientes na criação de peças com tamanho reduzido e ainda com capacidade de produzir objetos com paredes finas, detalhes apurados e acabamento de superfície lisa.

A indústria de joalheria opera habitualmente três alternativas de produção a partir da manufatura aditiva, sendo elas:

a-) Produção a partir do modelo em resina fotossensível: Inegavelmente, a resina é o material mais empregado na fabricação de modelos no setor joalheiro. Diante das necessidades do setor, a indústria manipula a resina como principal material para seus protótipos, visto que as tecnologias mais utilizadas nesse caso são a SLA e DLP. A funcionalidade de equipamentos atuais, permite a variação de diferentes categorias de resina, de acordo com a necessidade de cada peça a ser projetada, tendo em vista a

possibilidade de ajustar a configuração da máquina e trocar o material do reservatório. As linhas populares de resinas fotossensíveis constroem peças rígidas e resistentes, ideais para montagem de moldes em silicone, podendo conter na mistura, pó cerâmico para auxiliar no acabamento superficial, alta resistência a temperaturas e detalhes nítidos, gerando modelos duráveis e rígidos. Por essas características, esse material costuma ser o mais utilizado em grandes escalas de produção.

b-) Produção a partir do modelo em cera: A matéria prima com baixo ponto de fusão, pode apresentar variados componentes, preços e características. O material empregado frequentemente no modelo de impressão consiste em uma resina que pode conter diferentes níveis de cera líquida ou em pó adicionada ao conjunto, alterando a expansão térmica durante a queima e podendo chegar a 100% de cera. Embora seja composto por substância sensível, o material surpreendentemente é durável, fácil de manusear, produz detalhes nítidos e superfícies lisas. O modelo em cera feito a partir da impressora 3D especializada de alta resolução, passa diretamente para o sistema de fundição por cera perdida, tornando-se primordial a capacidade de criação de peças com rico acabamento e de superfície lisa. Ademais, o material tem resistência ao revestimento de gesso para fundição, além de grande velocidade de impressão. Igualmente usadas na impressão 3D em resina, as tecnologias SLA e DLP também são as que mais se adequam para a impressão em peças de cera e, embora o uso seja menos frequente na indústria em comparação à resina padrão, torna-se uma opção bastante interessante para alguns setores. Para Monteiro, Krucken e Lana (2014), uma extensão da aplicação já pode ser observada em alguns casos específicos, onde se imprime não a peça modelo, mas as peças diretamente em cera para serem utilizadas diretamente na fundição da peça final, descartando assim a etapa de fabricação do molde em silicone. Em vista disso, o modelo de impressão em cera é conveniente na aplicação por exemplo de pequenas oficinas, produtos personalizados, fabricantes de peças exclusivas, ou ainda produções de pequena escala, tendo em vista a possibilidade de imprimir a quantidade total de peças a serem fabricadas e leva-las diretamente à fundição.

c-) Produção de peças diretamente no metal: O uso da manufatura aditiva direta opera com a impressão do modelo tridimensional diretamente no metal a ser trabalhado. Certamente, é o processo cuja quantidade de etapas consequentemente é reduzida durante a produção. Deste modo, a chamada manufatura aditiva direta utiliza geralmente as tecnologias DMLS, SLM e EBM. Yap e Yeong (2014) afirmam que as joias impressas em 3D podem ser fabricadas com uma ampla variedade de materiais, como metais, aço inoxidável, bronze e outros metais preciosos como ouro. Dessa forma, para a fabricação de peças a partir das tecnologias citadas, o material empregado na fabricação é o metal em pó. O processo de transformação de metais em pó costuma ter o custo bastante expressivo, e com isso, elevando o valor final do insumo para impressora 3D. Em consequência, a utilização dessa tecnologia, é empregada geralmente na personalização de joias ou na produção de pequenas quantidades. Segundo a European Powder Metallurgy Association (2015), os pós metálicos para fabricação aditiva são geralmente produzidos usando o processo de atomização a gás, onde uma corrente de metal fundido

é atomizada graças a um jato de gás neutro de alta pressão em pequenas gotículas de metal, formando partículas de pó metálico após rápida solidificação. Assim, diversos materiais metálicos podem ser utilizados na fabricação direta de peças de manufatura aditiva, como ligas de titânio, alumínio, níquel, cobalto, aço e metais preciosos.

2.3 SOFTWARES UTILIZADOS PARA GERAÇÃO DOS MOLDES 3D

Com o progresso da computação e a evolução da capacidade de armazenamento e desenvolvimento da informática, a manufatura aditiva pode dispor de um maior controle de desenvolvimento de arquivos a partir de programas tridimensionais.

Os sistemas de projeto auxiliado por computador estão hoje disponíveis para o auxílio no projeto de grandes edifícios até pequenos produtos, eles também se especializaram conforme o tipo de projeto a ser realizado como produto, elétrico, térmico, dentre outros (MONTEIRO, 2015).

Os softwares de modelagem utilizados na manufatura aditiva são incontáveis e, objetivando aperfeiçoar e facilitar a modelagem, houve a necessidade da elaboração de programas específicos para cada área da indústria, cada qual com característica fundamentais visando o desenvolvimento de detalhes para o produto individualmente.

Igualmente, o setor de joalheria apresenta diversos programas cujas ferramentas são capazes de elaborar um produto final de maneira assertiva, entretanto os usados com maior frequência são: Solidworks, AutoCAD e Rhinoceros.

A utilização de programas próprios para joalheria, permite a criação de infinitas formas tridimensionais, acrescentando-se a possibilidade de renderização com materiais focados na joalheria como ouro, prata, gemas e pérolas, auxiliando na visualização do produto final. A utilização deste recurso, facilita ao designer para que o produto final seja exatamente como programado no projeto por se tratar de uma representação muito semelhante ao produto real, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Renderização feita a partir do plugin Matrix.



Fonte: Imagem feita pela própria autora.

Com um rendering, a aparência final do modelo pode ser simulada, permitindo a visualização dos resultados de superfície que serão obtidos com os materiais (como ligas metálicas e gemas) a serem empregados (OLIVEIRA, 2012).

O programa Rhinoceros 3D facilita o trabalho com superfícies curvas complexas em comparação com o Solidworks, ele é mais amplamente usado na modelagem 3D de produtos de moda em que o design envolve muitas superfícies curvas (YAP; YEONG, 2014).

O programa Rhinoceros disponibiliza dois plugins exclusivos para joalheria: Matrix e Rhinogold, que operam acrescentando funcionalidades e recursos específicos ao software principal. Os plugins são programas secundários que geralmente trabalham de maneira rápida, são leves e tem funções específicas. Dessa forma, opera a partir da instalação do programa central que o comanda e, suas ferramentas gerais são iguais ao programa matriz, como mostra a Figura 13.

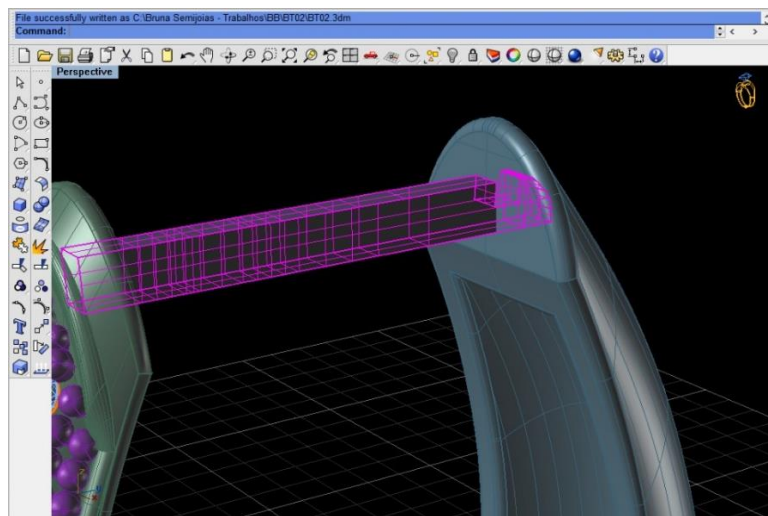
Figura 13 - Algumas ferramentas disponíveis no Plugin Matrix.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

A partir desse dispositivo é possível a criação de aberturas para cravação, com ângulos individuais de ferramentas direcionadas para esse fim, assim como a colocação de garras e simulação de lapidação de pedras, como mostra a Figura 14. Esses plugins permitem de maneira específica e com rapidez, fazer a grade de numeração de anéis, diferenciando o tamanho dos aros sem modificar a modelagem da peça como um todo. Consequentemente o uso desse modelo de programa permite a elaboração de peças mais específicas com design livre e diminuem o tempo final de modelagem da peça.

Figura 14 - Detalhes do Plugin Matrix em funcionamento.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Concluído o modelo, um segundo programa repara possíveis erros de formação que podem surgir durante a modelagem 3D, otimizando o arquivo, além de projetar acessórios como suportes para estrutura da impressão, mostrados na Figura 15. Os suportes nas peças criadas são necessários dependendo do tipo de tecnologia utilizada na impressão 3D.

Em alguns processos que utilizam material em pó, o próprio pó não solidificado serve para essa sustentação, em outros processos (resina líquida, por exemplo) são construídas hastes de estrutura mais fina ou de outros materiais, que posteriormente são retiradas (ROCHA, 2007).

Figura 15 - Protótipos ainda com suportes de sustentação.



Fonte: Foto tirada pela própria autora.

Os suportes podem variar de acordo com a peça projetada e, se mal colocados constroem produtos defeituosos e utilizam material em excesso conforme o objeto é construído, ocasionando uma peça final mais cara. O software Magics por exemplo

viabiliza importar o modelo CAD e exportar o arquivo em STL finalizado para ser transferido a impressora.

O tempo de impressão de adornos de joalheria dependem do tipo de equipamento, do material utilizado e do tamanho da joia, variando de 2 a 9 horas ou mais.

2.4 INOVAÇÃO E A INDÚSTRIA 4.0

O desenvolvimento de novas tecnologias está diretamente ligado ao progresso do processo produtivo nas indústrias e consequentemente o desenvolvimento econômico de diversos setores. O desenvolvimento de soluções que alteram processos dentro da indústria pode significar o descobrimento de novos produtos, materiais, gerar eficiência na produção, entre outros. As inovações nos meios de comunicação, no modo de operação das atividades mercantis, geraram profunda integração econômica, cultural, social e política (ARRUDA, 2019).

De acordo com o Manual de Oslo, (2006), uma inovação é a implementação de um produto (bem ou serviço) novo ou significativamente melhorado, ou um processo, ou um novo método de marketing, ou um novo método organizacional nas práticas de negócios, na organização do local de trabalho ou nas relações externas.

Em sua última versão em 2018, o Manual de Oslo alterou o conceito de inovação dos 4 tipos previstos anteriormente: de produto, de processo, de marketing e organizacional, para apenas 2 tipos:

- **Inovação de produto:** é um bem ou serviço novo ou aprimorado que difere significativamente dos bens ou serviços anteriores da empresa e que foram introduzidos no mercado.
- **Inovação de processo:** é um processo de negócios novo ou aprimorado para uma ou mais funções de negócios que diferem significativamente dos métodos anteriores utilizados pela empresa.

A inovação de processos de negócios diz respeito a seis funções diferentes de uma empresa. Duas das funções estão relacionadas à atividade principal de uma empresa: produzir e entregar produtos para venda, enquanto os demais dizem respeito às operações de apoio. Assim, a implementação da manufatura aditiva no setor de produção da indústria joalheria para criação de novos produtos e processos, em substituição ao tradicional, torna-se uma inovação do setor joalheiro. Souza e Junior (2016), corroboram com isso quando colocam que uma das formas encontradas para implementar o aumento do índice de inovação de produtos é por meio do uso de prototipagem rápida como forma de alterar os ciclos do processo. Isso se consegue por meio da substituição de modelos feitos totalmente à mão por um ourives, por um protótipo gerado a partir de uma impressora 3D, implementando um processo antes inexistente dentro da cadeia de produção.

A partir da manufatura direta no metal, a indústria passa a gerar produtos novos, criados inteiramente a partir do design tridimensional e da fabricação aditiva direta no metal. Essa alteração do processo viabiliza o aumento da lucratividade e melhoramento

do produto, corroborando com o apresentado por Silva, Botura Junior e Paschoarelli (2013), que mostram que a definição de inovação é direcionada às práticas comerciais, industriais e de serviços, ou seja, para as atividades geradoras de capital.

As implicações destes modelos de inovação na gestão organizacional e tecnológica para as pequenas e médias empresas dependem das configurações estruturais específicas das organizações e do ambiente social e cultural onde estão inseridas (LIMA; MENDES, 2003).

Apesar disso, a manufatura aditiva tornou possível a implementação do conceito que vem sendo muito utilizado nas mais diferentes áreas de produção de bens, que é a Inovação Aberta, como certificam Stal, Nohara e Chagas Jr (2014), mostrando que muitas empresas estão adotando práticas de caráter misto, ou seja, conjugando os procedimentos tradicionais da inovação fechada com as várias possibilidades da atuação aberta para encontrar o melhor caminho para inovar.

É possível desenvolver e fabricar produtos de forma colaborativa, utilizando conceitos, ideias e ferramentas de outros, como impressoras de outras empresas, sendo os arquivos encaminhados por meio de internet. Rossi e Botura Jr (2018), apoiam o campo da Inovação Aberta aliado à necessidade de mudança e melhoria, especialmente na racionalização do processo produtivo, com facilitação da venda e renovação dos produtos, exige que as indústrias busquem, constantemente, a evolução contínua e tomadas de decisões mais conscientes e estratégicas, assegurando com que estes diferenciais sejam percebidos pelos clientes e suas necessidades sejam atendidas.

A Inovação Aberta trouxe uma experiência positiva para as grandes empresas e, o crescimento da tecnologia e da lucratividade aliados ao aumento da competitividade são os grandes fatores de sucesso deste processo e, a manufatura aditiva, quando usada dentro do conceito de Inovação Aberta, permite esta troca de informações e serviços de modo prático, diminuindo os custos de desenvolvimento e propiciando a otimização de todo o processo (SOUZA; JUNIOR, 2019).

A inovação e o desenvolvimento tecnológico implementados na indústria joalheira contribuíram para que fosse possível a chegada da Revolução 4.0 no setor. Ivanov, Dolgui e Sokolov (2019) mostram que inovações disruptivas, como a digitalização e a Indústria 4.0, influenciam o desenvolvimento de novos paradigmas, princípios e modelos no gerenciamento da cadeia de suprimentos, assim como Fernandes (2019), que demonstra como as revoluções industriais são caracterizadas por profundas alterações no modo de produção, cada qual tendo características marcantes.

A primeira Revolução Industrial foi caracterizada pelo uso da energia a vapor e transformou o comportamento da sociedade no século XIX, facilitando o transporte e modificando a ergonomia organizacional das indústrias.

Por outro lado, a segunda Revolução Industrial atualizou a economia e a composição dos processos produtivos com a descoberta da eletricidade, modernizando e alterando completamente o estilo de vida das pessoas daquela época.

A terceira Revolução Industrial, nas décadas de 1950 e 1970, representada pela revolução digital da robótica e da internet, transformou o modo de comunicação entre as pessoas e as máquinas. Assim, o progresso trouxe o desenvolvimento da tecnologia que evoluiu durante anos, passando por inúmeras revoluções até os dias atuais.

A quarta Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, é caracterizada nos dias atuais como um conjunto de tecnologias que aproximam o mundo físico do mundo virtual, analisando dados para tomada de decisões automatizadas. De acordo com Rodriguez-Salvador e Mancilla-De-La-Cruz (2018), as origens da indústria 4.0 remontam a uma estratégia lançada pelo governo alemão em 2013, focada em obter maior eficiência operacional e de produção por meio da automação.

Pode-se entender o termo como um processo que envolve maquinários de fábrica, processos e uso correto de recursos naturais, o que leva a indústria a ter mais eficiência na produção, menos desperdício, criação de novos modelos e segurança, melhoramento da qualidade do produto. A FIRJAN (2019) esclarece que a Indústria 4.0 deve ser vista, antes de tudo, como instrumento para as empresas entenderem o que está ocorrendo no seu chão de fábrica.

Esse modelo de processo age como um facilitador para a organização de todo um sistema promovendo uma otimização de processos com aumento de lucro. Ostroukh *et al.*(2019) afirma que a fábrica inteligente oferece benefícios particulares nas seguintes circunstâncias: quando os processos de produção são complexos e dinâmicos; quando a oferta e a demanda são indeterminadas; quando cada produto é projetado individualmente; quando a gama de produtos é expandida; e na produção de pequenos lotes.

As principais características da Indústria 4.0 são

- Informações virtuais;
- Coleta e análise de dados;
- Interoperabilidade;
- Descentralização do trabalho.

Essas características permitem a rápida tomada de decisões, monitoramento remoto de processos, avaliação rápida da produção, alteração de procedimentos durante o processo e a solução rápida de possíveis problemas. Para a organização desse sistema, alguns elementos chave analisam e armazenam dados da indústria, com a intenção de ordenar o processo a entrar em funcionamento. São os chamados ‘pilares tecnológicos’:

- **Computação em nuvem:** O crescimento de informações, tarefas e arquivos armazenados nos computadores, desenvolveu a necessidade da criação de uma rede onde fosse possível o salvamento de trabalhos. Essa rede, conhecida como nuvem, conectada ao serviço online possibilita ao usuário o acesso aos arquivos de qualquer lugar com acesso à internet.

- **Internet das coisas (IoT):** Segundo a FIRJAN (2016), a rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos e externos é o que chamamos de internet das coisas. Essa rede gera uma ligação entre os instrumentos e tecnologias, gerando uma interação entre eles, organizando o processo, unificando os setores e capacitando a tomada de decisões.

- **Big data:** Se baseia na capacidade de armazenar e processar uma grande quantidade de dados coletados. No contexto da Indústria 4.0, com esse conjunto de informações salvas, inserindo diferentes dados em um mesmo local, é possível facilitar o direcionamento da produção e as decisões em tempo real. Para Ahuett-Garza e Kurfess (2018), a convergência de novas tecnologias de sensores a preços acessíveis, com a capacidade cada vez maior dos sistemas de informação de armazenar e analisar grandes quantidades de dados, são elementos-chave da Indústria 4.0.

- **Realidade Virtual e aumentada:** Essa tecnologia inovadora é capaz de integrar o ambiente real com aplicações virtuais. Isso é possível a partir de dispositivos como computadores, celulares ou óculos especiais. Com esse sistema, ainda iniciante nos processos industriais, é possível o envio de informações e instruções a trabalhadores, como suporte de serviços.

- **Inteligência Artificial:** Um dos suportes iniciais da Indústria 4.0, a inteligência artificial atua diretamente nas máquinas, permitindo que aprendam, percebam, e aprimorem as atividades realizadas, tornando-se cada vez mais capazes de realizar tarefas. Para a FIRJAN (2019), técnicas de inteligência artificial também permitem agir com antecedência, antevendo problemas como quebras de equipamentos e planejar manutenções preditivas. A inteligência artificial permite assim a solução mais rápida de problemas e a atuação em áreas inacessíveis ao homem.

Com todas as tecnologias disponíveis à indústria, o controle de produção e melhoramento é facilitado. A FIRJAN (2019), mostra que o uso de sensores e de tecnologias como internet das coisas, computação em nuvem e big data já estão disponíveis a custos acessíveis e podem ajudar gestores a compreender melhor eventos que ocorrem na produção.

O início de uma produção pode ser facilitado, como o lançamento de um novo produto, e testes que podem ser feitos sem gerar prejuízos a empresa. Segundo Lima e Pinto (2019) com a Indústria 4.0, deixa de ser necessário o fato de uma empresa estar instalada para perceber se conseguirá operar de uma forma eficiente e como serão os produtos que colocará no mercado. Os autores também mostram que cada processo poderá ser simulado e verificado virtualmente e, só quando a versão final estiver pronta, se dará início à produção física, transferindo todo o software, parâmetros e matrizes numéricas para as máquinas que controlam a produção.

A fábrica inteligente permite ajuste adaptativo e correção de planos em resposta a eventos em tempo real que afetam o cliente ou outros sistemas de controle, ou para entrada de sensores da linha de produção, painéis de controle dos supervisores ou telas de

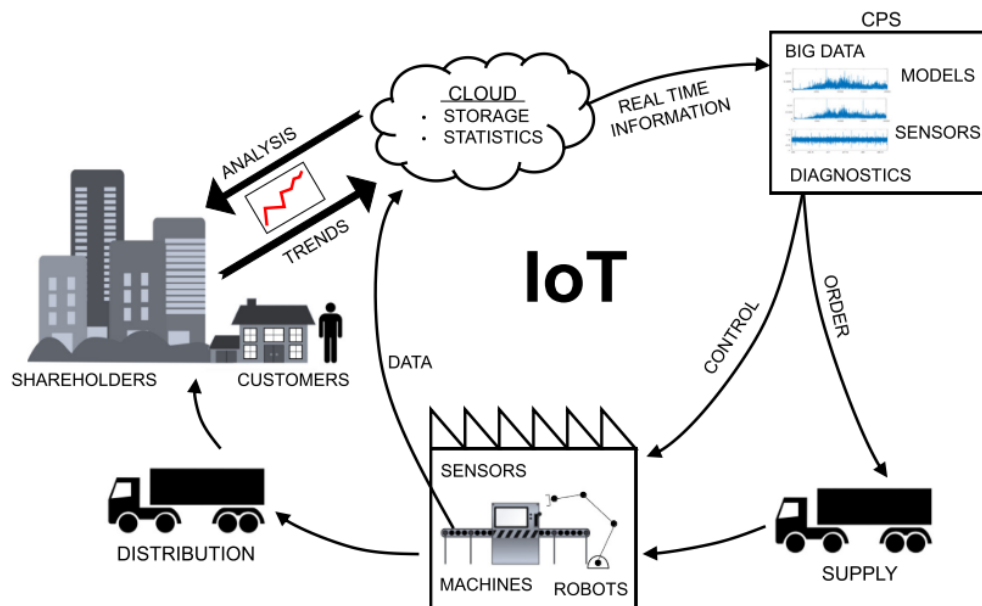
dados dos operadores, e assim é possível evitar tempo de inatividade ou escassez de recursos ou pessoal qualificado (OSTROUKH et al., 2019).

Além dos pilares tecnológicos citados, a Indústria 4.0 possui técnicas específicas para um melhor funcionamento e facilidade de integração de informações, assim como a impressão 3D, mobilidade, segurança e captura de informações. Assim, essa indústria pode ser considerada um sistema autônomo, com a associação de todos os componentes sendo possível o gerenciamento e a visão total do processo desde a criação, insumos, máquinas, transporte, contagem de estoque, monitoramento de qualidade, gerenciamento de pessoas e rastreamento de peças.

A facilidade de acessibilidade a dados e a análise de tendências e comportamentos que esses dados representam, estão revolucionando a maneira pela qual as decisões são tomadas, e assim novos modelos de negócios e formas de melhorar a qualidade de produtos e serviços são resultados diretos da Indústria 4.0 (AHUETT-GARZA; KURFESS, 2018).

Todo esse processo de integração garante o aumento do rendimento, verificando as falhas e reorganizando processos de acordo com as necessidades gerais da empresa, conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Tecnologias e elementos estabilizadores da Indústria 4.0



Fonte: Ahuett-Garza e Kurfess (2018)

A partir da implantação da Indústria 4.0, muitas vezes também chamada de manufatura avançada, e com a tomada de decisões, a análise dos dados gerais, a linha de produção mais ágil tornou possível o aumento da qualidade dos produtos, resultando também na criação de novos modelos de indústrias, possibilitando a capacidade de personalização de produtos. De acordo com a FIRJAN (2019), somado a isso, as

tendências de tecnologia mundial com ofertas de produtos inteligentes e acessibilidade global quebraram as barreiras entre os mundos físico e virtual.

3 MATERIAL E MÉTODO

O princípio desta pesquisa foi de caráter exploratório, descritivo e quantitativo, com a finalidade de interpretar as ocorrências sobre o tema nos últimos anos.

Configurado como um estudo exploratório, tem o objetivo de associar ideias e percepções, investigar alternativas e descobrir novos pensamentos para apresentar maior conhecimento sobre os temas. Desse modo, a fase inicial do projeto compreende uma ampla pesquisa bibliográfica acerca do tema proposto, incluindo teses, artigos científicos e pesquisas científicas em geral, realizadas nos últimos anos. A pesquisa inicial viabilizou mais proximidade com os temas.

Como propósito da pesquisa descritiva, está a caracterização dos elementos das indústrias com a finalidade de obter informações a respeito de sua produção e fundamentos. De acordo com Rossi (2018), a pesquisa descritiva possui o objetivo de descrever os dados de determinado público ou fenômeno, para assim ser possível relacioná-los com outras variáveis.

Por ser quantitativa, a pesquisa busca identificar a partir das informações contidas nas respostas do questionário, dados referentes ao funcionamento de cada indústria, com a finalidade de descrever relações entre os temas propostos nessa pesquisa.

A aplicação de questionário, permite investigar a partir de dados coletados, questões relacionadas ao estudo e verificar como os temas estão atuando nas etapas de produção das indústrias. Além disso, a coleta de informações por meio de questionário eletrônico viabiliza contato rápido com empresas e garante o anonimato, facilitando a obtenção de dados.

A determinação dos sujeitos, iniciou com a solicitação do apoio da Sindijoias (Sindicato da Indústria de Joalheria, Bijuteria e Lapidação de Gemas do Estado de São Paulo), da AJESP (Associação dos Joalheiros do Estado de São Paulo) e da ALJ (Associação Limeirense de Joias) para contribuir com a divulgação do questionário para seus associados, de modo a conseguir o maior número possível de coletas.

Além das associações e sindicato, uma busca foi realizada em sites de internet, e nas plataformas de comunicação LinkedIn e Facebook, para determinar possíveis empresas que poderiam ampliar o universo da amostra. Participaram da pesquisa, indústrias joalheiras do estado de São Paulo, divididas por segmento de joias, semijoias, bijuterias e folhados, além de definidas entre micro, pequena, média e grande indústria, como mostra o Apêndice 2.

3.1 COLETA DE DADOS

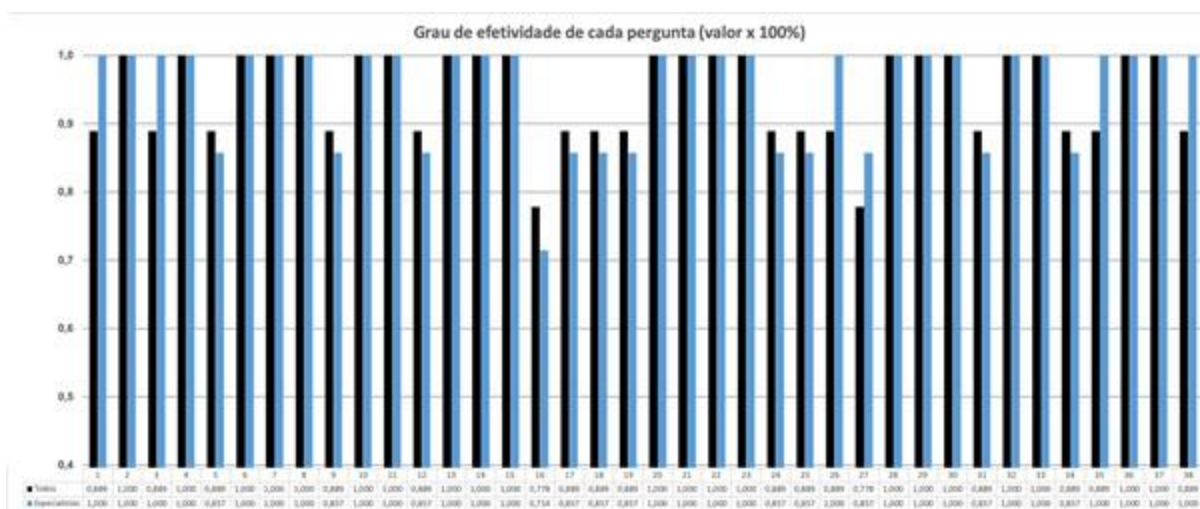
A coleta teve como base um questionário eletrônico, apresentado no Apêndice 3, encaminhado às empresas. Esse formulário foi obtido a partir da convalidação de um primeiro questionário enviado e respondido por especialistas da área.

O processo de convalidação partiu do modelo com 38 questões, apresentado no Apêndice 4 e, a partir dos resultados obtidos, elaborou-se a Figura 17 para determinação das questões que precisariam ser refeitas.

A convalidação utilizou o modelo apresentado por Alexandre e Coluci (2009), que demonstram que em relação à seleção, deve-se levar em consideração a experiência e a qualificação dos membros desse comitê.

Nesta figura, todas as questões que tiveram grau de eficiência abaixo de 90% foram alteradas pois não propiciavam que ocorresse o correto entendimento das mesmas.

Figura 17 - Grau de efetividade das questões do questionário enviado para análise dos especialistas.



Fonte: Figura elaborada pela própria autora.

Após as modificações o questionário final passou a conter 37 (trinta e sete) questões, divididas em seções, sendo elas:

- 1- Apresentação do trabalho: a seção inicial inclui a autorização de participação do sujeito.
- 2- Caracterização da empresa: A primeira seção é destinada a entender o tamanho da indústria, tipo de produto fabricado e tempo de atuação no mercado.
- 3- Método de fundição: Destinada a compreender o tipo de fundição utilizada.
- 4- Caracterização do processo para obtenção do modelo: A quarta seção identifica a possibilidade de utilização da manufatura aditiva dentro da indústria.
- 5- Impressão 3D: A quinta seção aborda detalhes sobre a utilização da impressora 3D e sua influência no contexto do processo produtivo.
- 6- Detalhes sobre a impressão 3D: Destinada a entender o tipo de tecnologia e custos envolvidos na utilização da impressora.
- 7- Impressão 3D no processo de produção: Destinada a compreender questões relacionadas ao lucro e alterações no processo de produção.

8- Revolução 4.0: A última seção abordou a Revolução 4.0 e seus elementos dentro da indústria.

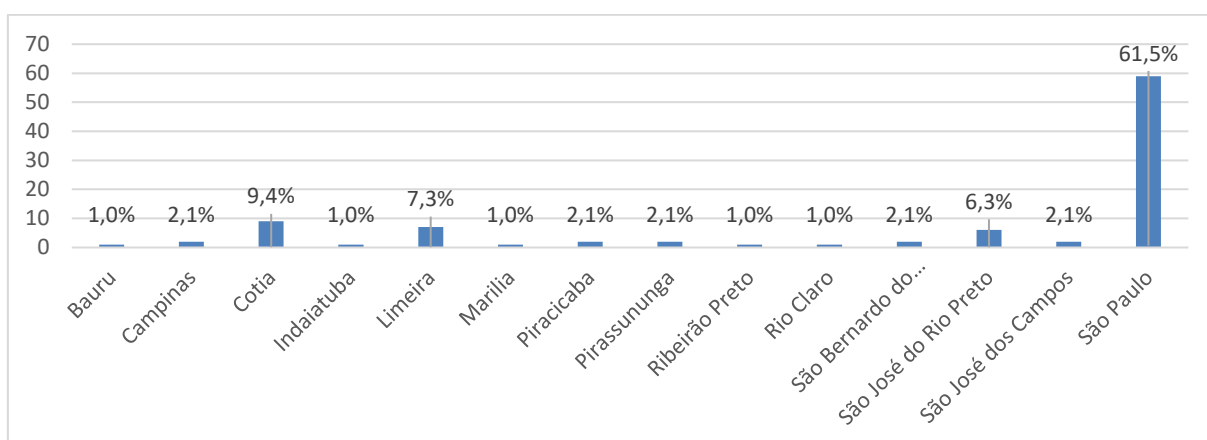
É importante lembrar que o questionário utilizou termos de fácil entendimento com a finalidade de facilitar a resposta dos funcionários de variados setores da empresa.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO

Os resultados aqui apresentados mostram a caracterização do universo que participou da pesquisa proposta. O questionário encaminhado obteve 106 respostas. Para análise dos resultados estão sendo consideradas somente 96 respostas, pois 2 participantes não aceitaram o termo de consentimento apresentado e como mostra a Figura 18, 8 retornos foram desconsiderados por estarem localizados fora do Estado de São Paulo. Assim, identifica-se que a grande maioria das indústrias, 61,5% delas, estão localizadas na cidade de São Paulo.

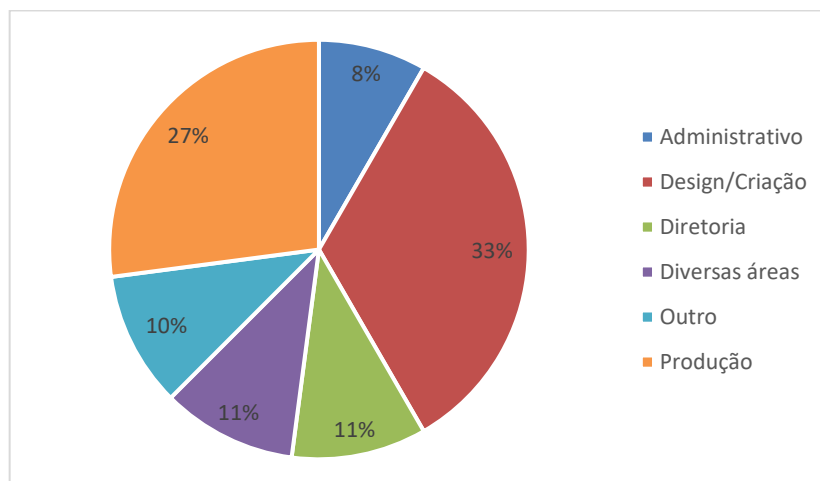
Figura 18 - Localização das indústrias.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

A análise feita caracterizou o setor responsável em responder ao questionário e, o maior número pertence ao setor de Design/Criação com 33% das respostas, seguido pelo setor de produção com 27% das respostas, como mostra a Figura 19.

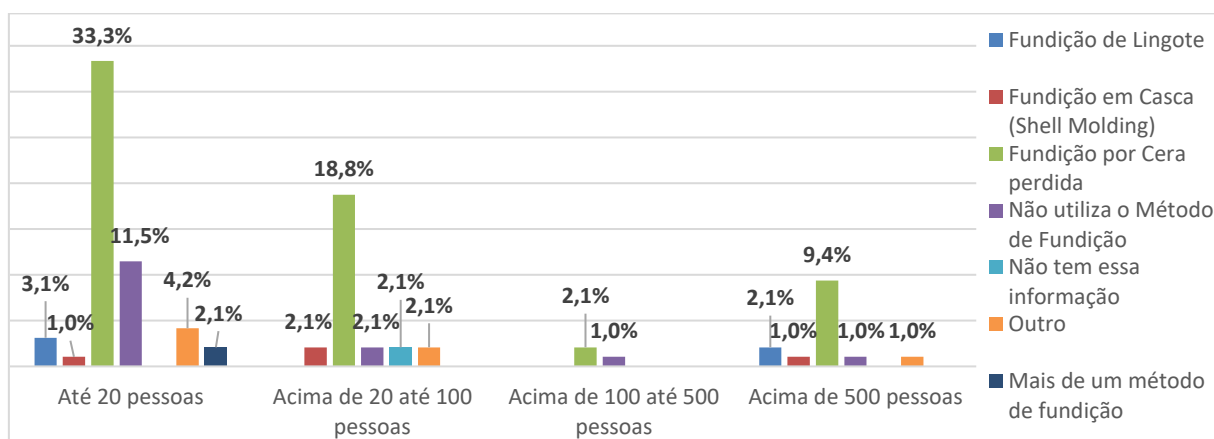
Figura 19 - Área de atuação dos respondentes.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

O método de cera perdida é aplicado no processo por cerca de 64% das indústrias, independentemente do seu tamanho, como apresentado na Figura 20. Esse processo de fabricação é utilizado por 60% das empresas com até 20 funcionários, seguidas por 69% daquelas que possuem entre 20 e 100 pessoas, 67% entre 100 e 500 pessoas, e 65% com mais de 500 pessoas. Os dados confirmam estudos encontrados e mostram a capacidade do método de fundição em reproduzir peças de joalheria com pequenas dimensões, preservando suas características e estruturas necessárias para a fabricação da joia.

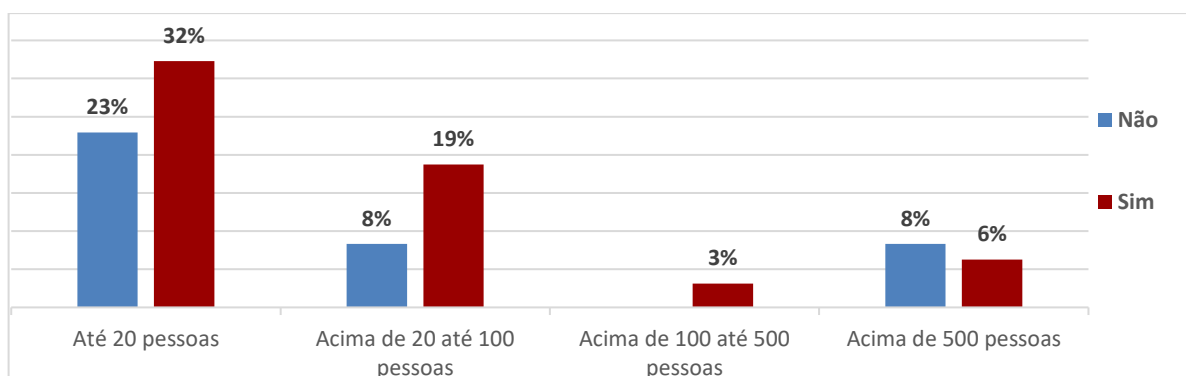
Figura 20 - Métodos de fundição utilizados pelas indústrias joalheiras em função do número de empregados.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

O número de funcionários, relevante para especificar o tamanho da empresa, possibilita entender como pequenas, médias e grandes indústrias trabalham no setor joalheiro. A Figura 21 indica a utilização da impressão 3D incorporada às indústrias e separadas por tamanho. É possível concluir que o número de empresas que faz uso dessa tecnologia com até 500 funcionários ultrapassa aquelas que não utilizam. Os dados analisados mostram que 58% das empresas com até 20 funcionários utilizam a impressão 3D e, em empresas que tem entre 20 e 100 funcionários, esse número sobe para 69%. Todas as empresas entre 100 e 500 funcionários utilizam a manufatura aditiva e naquelas com mais de 500 funcionários, apenas 43% delas utilizam essa tecnologia.

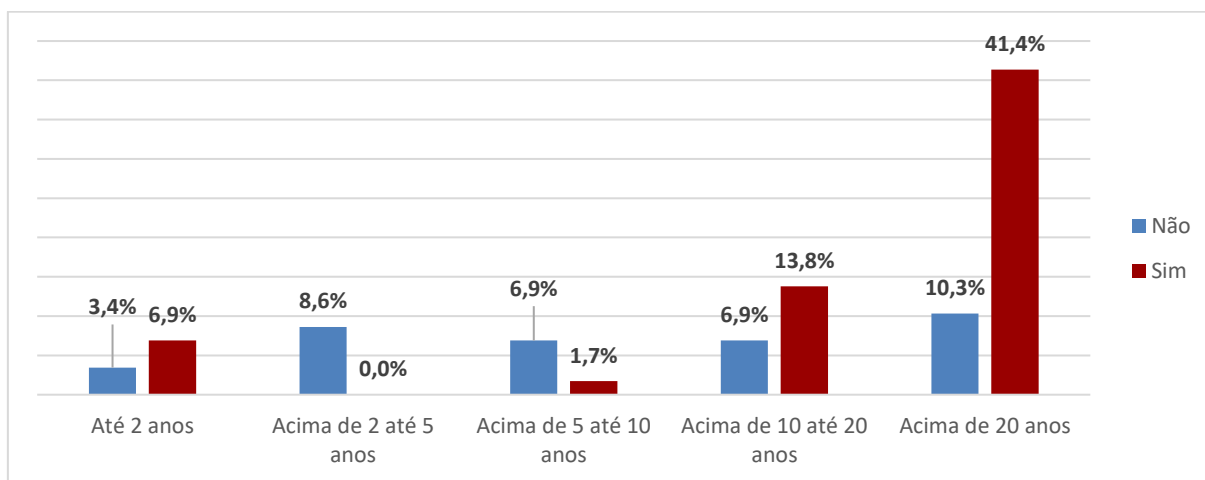
Figura 21 - Uso da impressora em indústrias joalheiras em função do número de funcionários.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Com o objetivo de entender qual perfil de indústria possui a própria impressora, a Figura 22 demonstra que aproximadamente 64% das empresas que responderam ao questionário tem sua própria impressora 3D. Levando em consideração o tempo de mercado da empresa, observamos que 80% das indústrias com mais de 20 anos de mercado possuem sua própria máquina. Em contraposição, 80% das indústrias acima de 5 até 10 anos não tem sua própria impressora 3D.

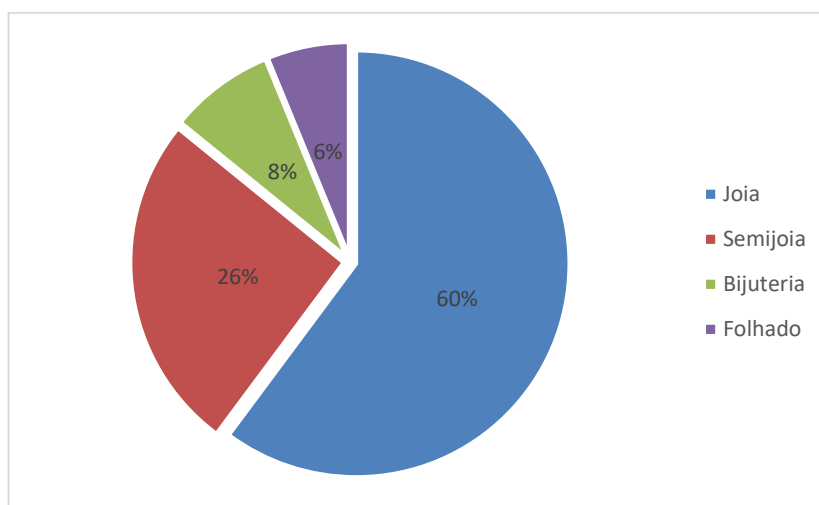
Figura 22 - Impressora 3D existente nas indústrias em função de seu tempo de existência.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Quanto ao produto fabricado pela indústria, quando se analisa os dados referentes às indústrias de joia, semijoia, bijuterias e folhados separadamente, é possível certificar informações relevantes sobre cada um dos segmentos. A Figura 23 mostra que 60% dos respondentes do questionário são fabricantes de joias, seguidos por 26% de fabricantes de semijoias.

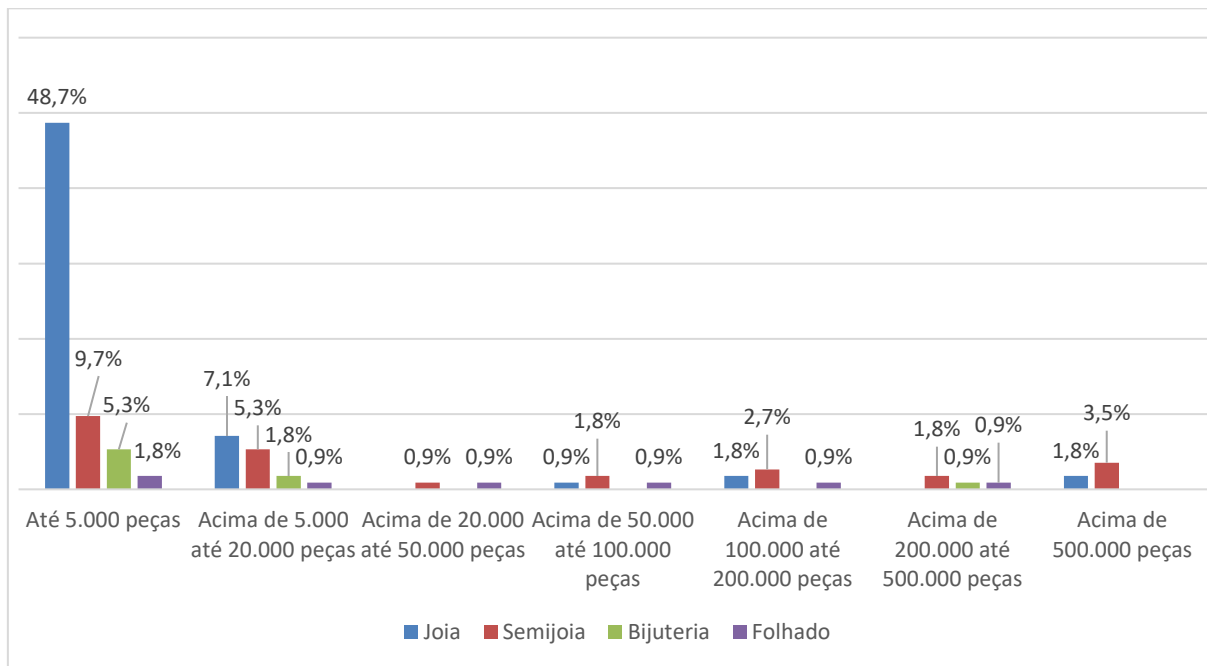
Figura 23 – Área atuação das indústrias joalheiras.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

No que diz respeito ao volume médio fabricado por mês em cada um dos segmentos, pode-se afirmar que 81% das empresas fabricantes de joias tem volume médio de até 5 mil peças mensais e 38% das indústrias fabricantes de semijoias fabricam até 5 mil peças mensais, como demonstrado na Figura 24.

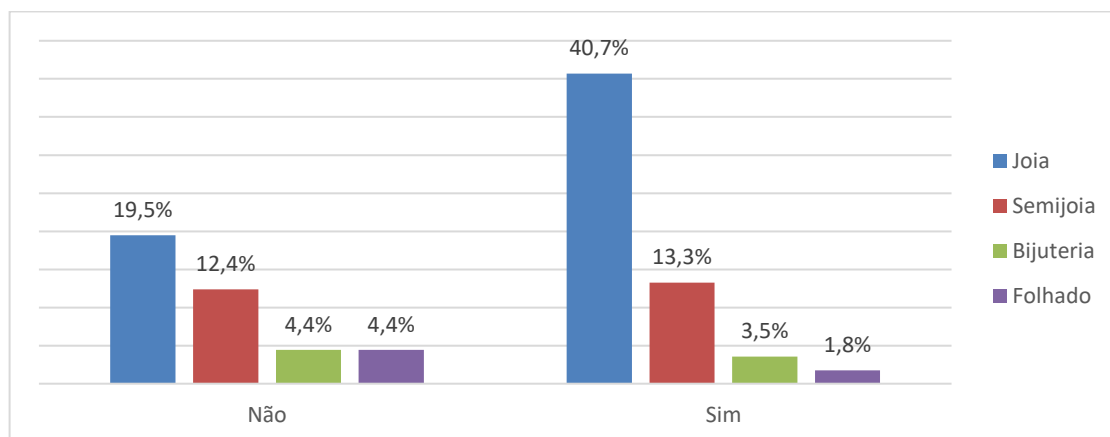
Figura 24 - Volume fabricado por mês em cada segmento joalheiro.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Ainda segmentando cada tipo de indústria, pode-se concluir que as fabricantes de joias e semijoias utilizam em sua maioria a impressão 3D. Dessa maneira percebe-se que 68% das indústrias de joias e 52% das de semijoias utilizam a impressão 3D nos processos de produção. Em contrapartida, apenas 44% das indústrias de bijuteria e 29% das de folhado utilizam essa tecnologia em suas empresas, como é demonstrado na Figura 25.

Figura 25 - Utilização da impressão 3D no processo de produção.



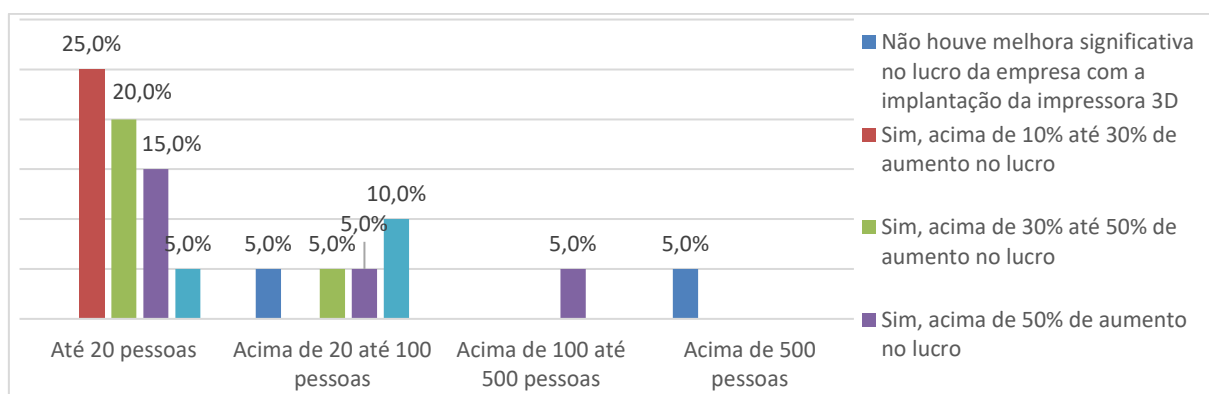
Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

4.2 USO DA IMPRESSÃO 3D - GASTOS E LUCROS

Os gráficos a seguir demonstram as conclusões que relacionam a indústria à impressão 3D, levando em consideração o uso dessa tecnologia, os gastos após a implantação e os lucros obtidos com seu uso.

Ainda levando em consideração o tamanho da empresa e excluindo respostas das quais não tem essa informação, com a implantação da impressora 3D no processo de produção das indústrias, pode-se concluir, como mostra a Figura 26, que a maioria das empresas alcançou resultado positivo nos lucros. A pesquisa demonstra que as empresas com até 500 pessoas perceberam melhora significativa no lucro, sendo em sua maioria acima de 10% até 30%. Apenas 10% das empresas declara não ter percebido melhora significativa no lucro. Contrariamente, 25% afirma ter gerado um aumento de mais de 50% no lucro.

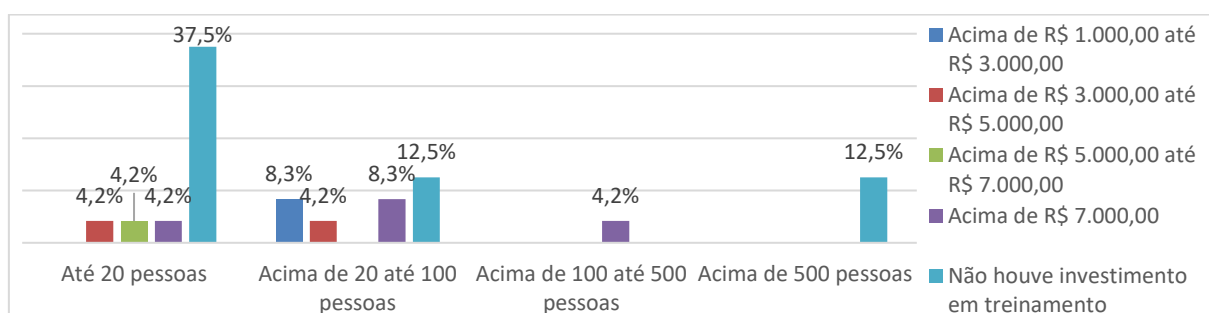
Figura 26 - Aumento no lucro após implantação da impressora 3D.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

A relação entre o tamanho da empresa (ainda levando em consideração número de funcionários) e o valor investido em treinamento para o uso da manufatura aditiva, considerando apenas as respostas elegíveis, conclui-se, como mostra a Figura 27, que cerca de 63% das indústrias não investiram em treinamento para utilização das impressoras. É possível afirmar que em pequenas empresas (até 20 pessoas) o número é ainda mais elevado, subindo para 75%.

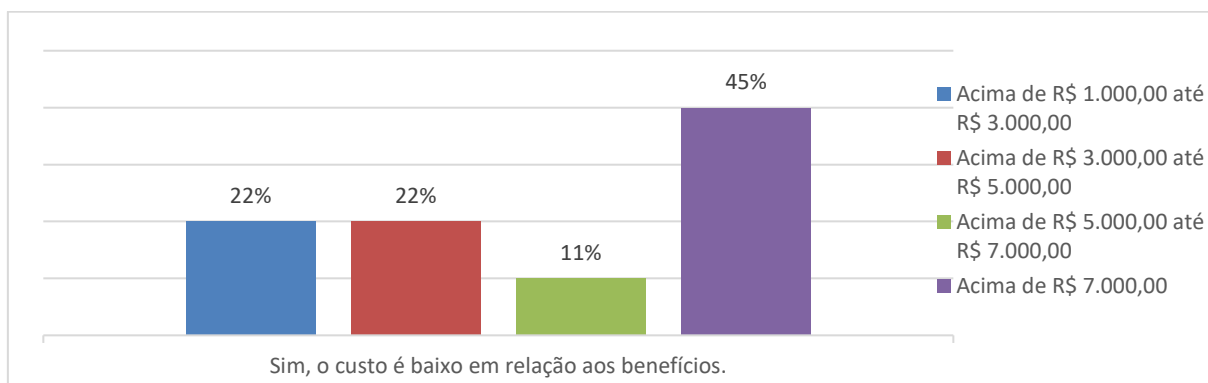
Figura 27- Investimento em treinamento de funcionários para utilização da impressora.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Avaliando apenas as indústrias que investiram em treinamento e consideram o custo baixo em relação aos benefícios da impressão 3D, 45% delas investiram acima de R\$ 7.000,00, 22% entre R\$ 1.000,00 e R\$ 3.000,00, 22% entre R\$ 3.000,00 e R\$ 5.000,00, e 11% entre R\$ 5.000,00 e R\$ 7.000,00, conforme a Figura 28. Os dados indicam que entre as empresas que consideram conveniente o uso da manufatura aditiva, a maior parte investiu um valor relevante em treinamento de funcionários para o uso da máquina.

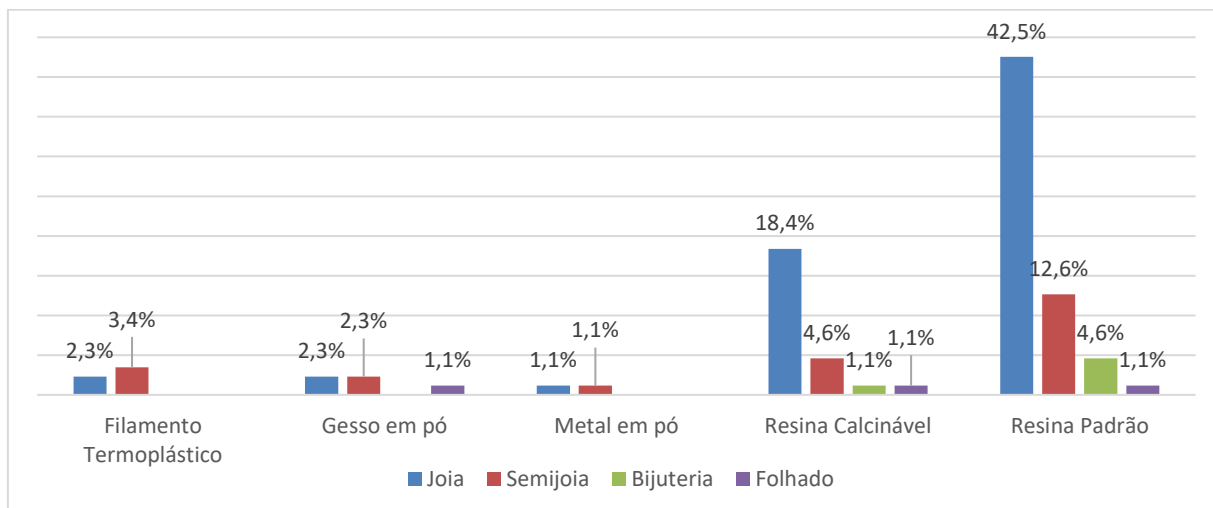
Figura 28 - Investimento em treinamento das indústrias que consideram o custo baixo em relação aos benefícios.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

É importante reconhecer que independente do segmento, as indústrias de joalheria em geral utilizam em grande escala a resina para produção de seus protótipos impressos por manufatura aditiva. No segmento de joia por exemplo, 64% das indústrias utilizam resina padrão em suas impressoras 3D, seguido por 28% que utilizam resina calcinável. Com esse dado, podemos confirmar a grande capacidade desse material no que diz respeito a acabamento e detalhamento em impressão de pequenas peças. É possível observar também, segundo a Figura 29 que, apesar de ser uma realidade, a impressão de peças diretamente no metal ainda não é amplamente utilizada nos setores de joalheria.

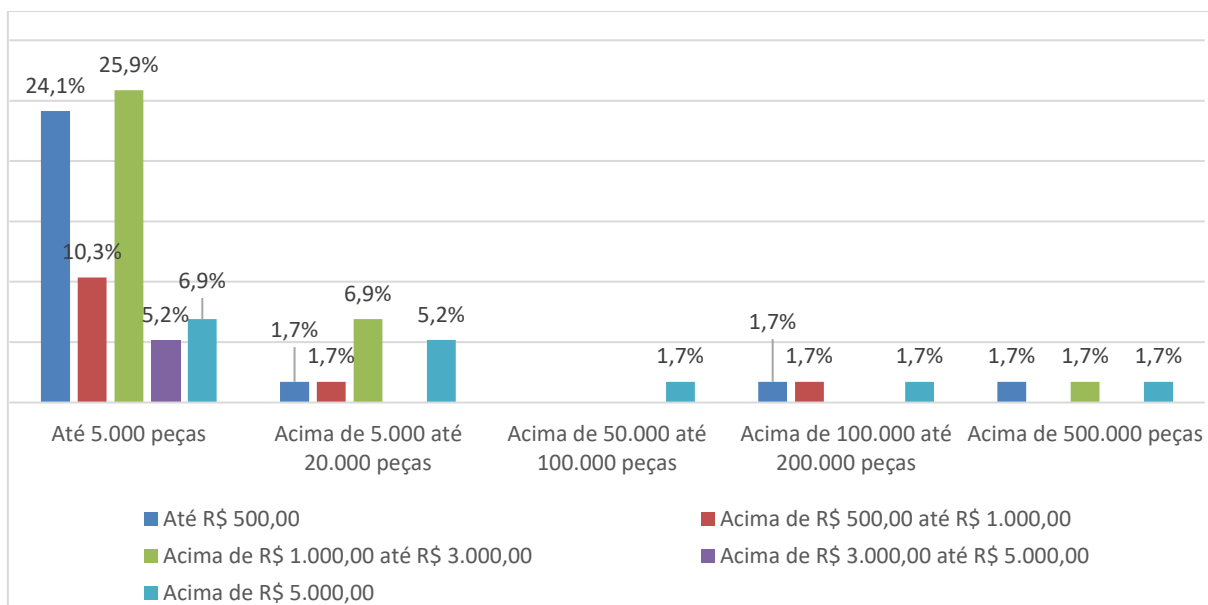
Figura 29 - Utilização de diferentes materiais para impressão 3D.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Alinhado ao material utilizado para a fabricação 3D de protótipos, é possível identificar o custo médio mensal com insumos da impressora a partir da Figura 30 e conclui-se que 29% das indústrias pesquisadas tem um gasto médio mensal de até R\$ 500,00, seguido por 34,5% das empresas que gastam acima de R\$ 1.000,00 até R\$ 3.000,00 mensais. Separados por categorias, verificou-se que empresas que produzem até 5 mil peças por mês tem um gasto diversificado em relação a insumos, sendo que a maioria (25,9%) delas tem um gasto de R\$ 1.000,00 até R\$ 3.000,00 mensais, e 24% tem um gasto mensal de até R\$500,00 com insumos.

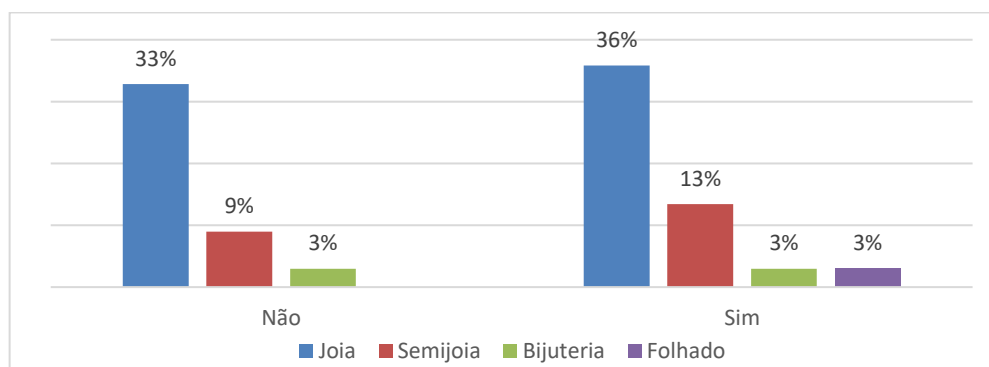
Figura 30 - Custo médio mensal com insumos para impressão 3D.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Com o objetivo de entender sobre os esforços da indústria na utilização da manufatura aditiva, a pesquisa observou dados sobre a compra dos insumos. A Figura 31 indica que 55% das indústrias compram os insumos para as impressoras apenas do fornecedor/vendedor da própria impressora 3D.

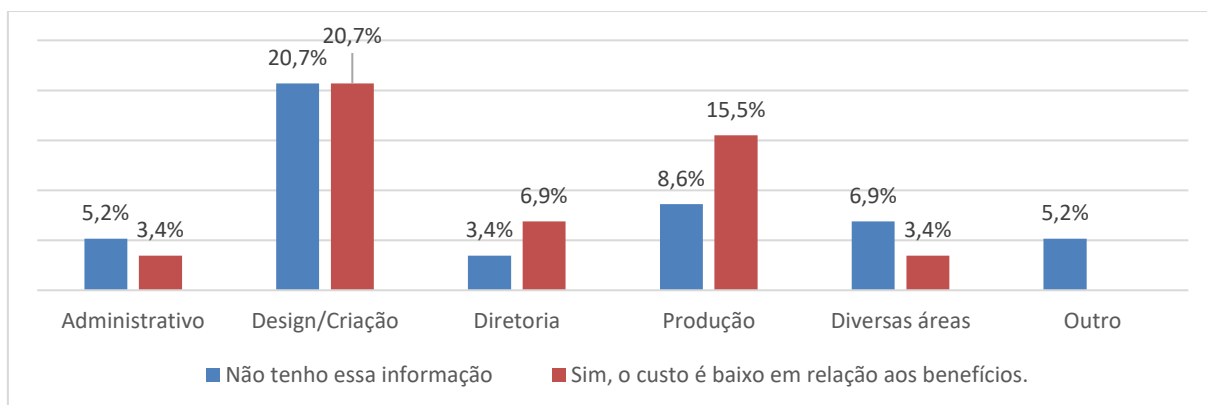
Figura 31 - Aquisição de insumos apenas do fornecedor/vendedor da impressora 3D.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Quanto a relação custo/benefício encontrada a partir da utilização da manufatura aditiva, todos os respondentes com essa informação consideraram o emprego dessa tecnologia conveniente, referindo-se ao custo baixo em relação aos benefícios trazidos pela implantação desse novo método de criação de peças. A figura 32 mostra que na diretoria, 67% consideram os benefícios maiores que os custos.

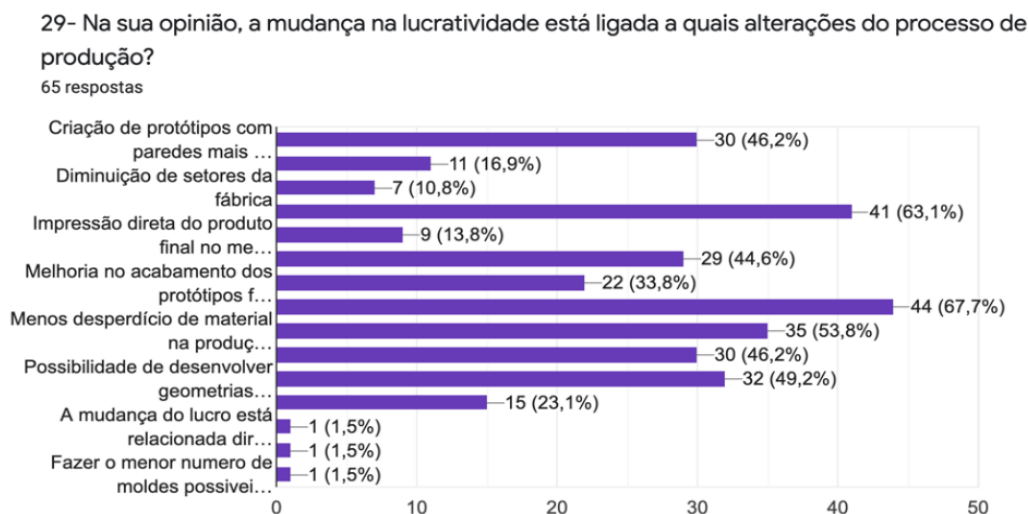
Figura 32 – Relação custo/benefício a partir da utilização da manufatura aditiva.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Com relação à lucratividade, observando as respostas à pergunta 29 do questionário, apresentado na Figura 33, mais de 67% dos respondentes consideram que a mudança na lucratividade está ligada à melhoria no design das peças, além da diminuição no tempo de fabricação das peças para 63,1%, diminuição no desperdício de material na produção (53,8%), possibilidades de desenvolvimento de novas geometrias (49,2%), da possibilidade de criação de protótipos com paredes mais finas e personalização de produtos, para 46,2% dos respondentes.

Figura 33 - Lucratividade e processo de produção.



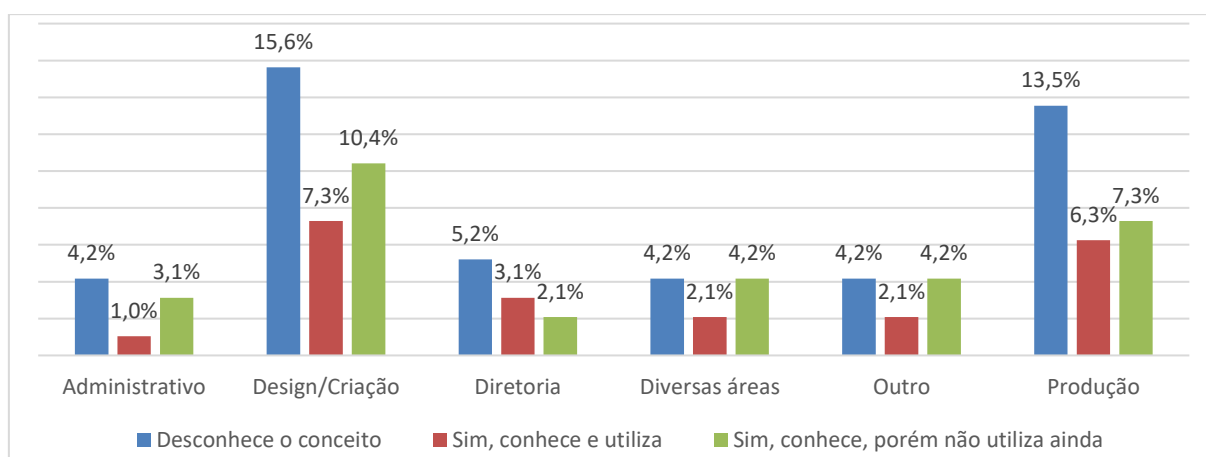
Fonte: Respostas Formulário Google.

4.3 INDÚSTRIA DE JOALHEIRA E INDÚSTRIA 4.0

A partir da análise do questionário, é possível entender o nível de ligação da indústria joalheira com as tecnologias recentes de automação.

Dessa forma, percebe-se que 47% dos funcionários das indústrias de joalheria desconhece o termo “Indústria 4.0” e apenas 22% das indústrias afirma utilizar os conceitos relacionados à Indústria 4.0. Com relação ao setor pesquisado, pode-se concluir que Administração, Diretoria e Produção têm metade de seus funcionários (50%) que desconhece o termo, como mostra a Figura 34.

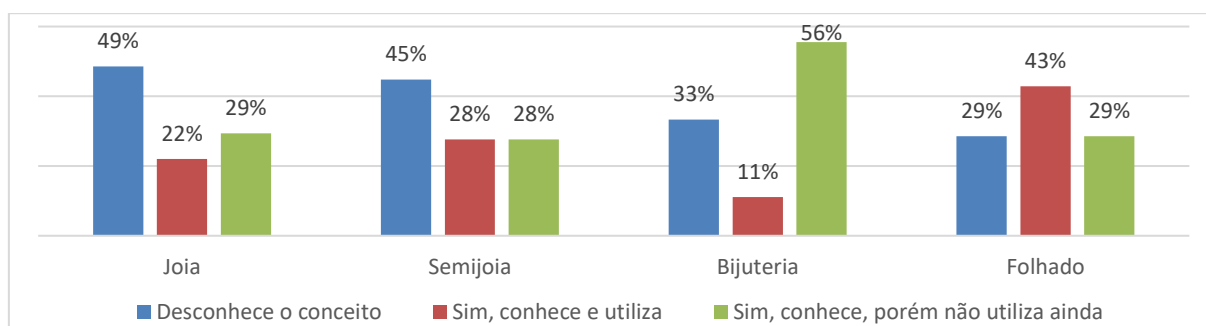
Figura 34 – Compreensão dos funcionários de cada setor sobre conceitos da Indústria 4.0.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Com referência ao entendimento das empresas em relação aos conceitos da Indústria 4.0, a pesquisa concluiu que no setor de joias, 49% dos respondentes não conhecem o termo e 29% conhece, porém não utiliza. Em relação às indústrias de semijoia, é possível concluir que 45% desconhece o termo e 28% conhece, porém não utiliza. O segmento de bijuteria tem 56% dos respondentes que conhece o termo, porém não utilizam em suas indústrias e 33% que desconhece o termo. O campo dos folhados difere brevemente dos demais, com 43% das indústrias que conhece e utiliza os conceitos relacionados à Indústria 4.0, como mostra a Figura 35.

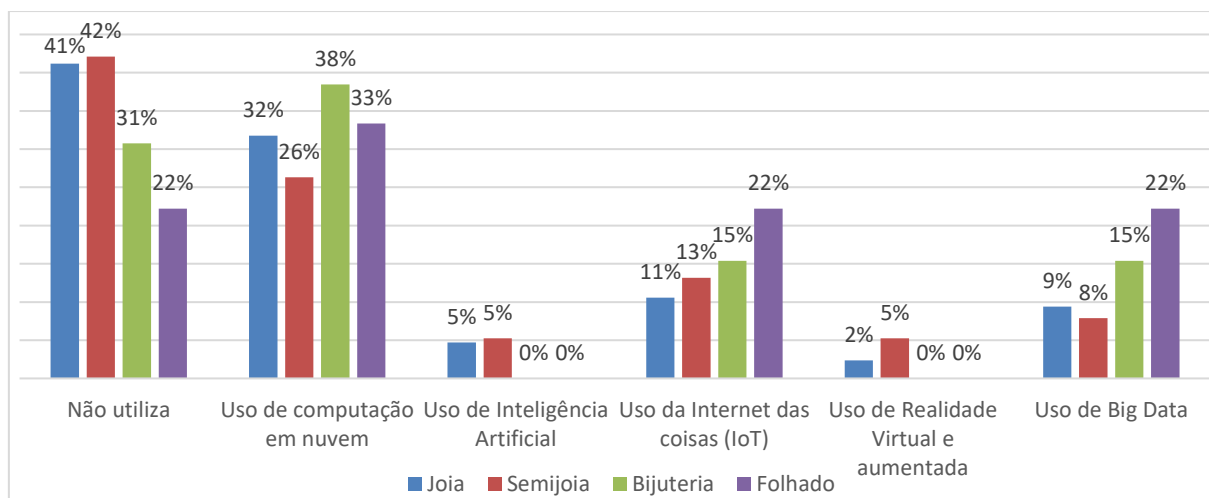
Figura 35 – Compreensão de cada segmento sobre conceitos da Indústria 4.0.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Levando em consideração o baixo nível de informação a respeito da Indústria 4.0, foi importante avaliar separadamente o uso de elementos para organização do sistema de automação em cada empresa. De acordo com a Figura 36, entendemos que 41% das indústrias com fabricação de joia não utilizam elementos para automação, seguidos por 32% que utilizam a computação em nuvem. No setor de semijoia o resultado se mostra semelhante, com 42% e 26% respectivamente. Em contrapartida, o setor de bijuteria apresenta 38% das indústrias utilizando a computação em nuvem e o setor de folhado com 33%.

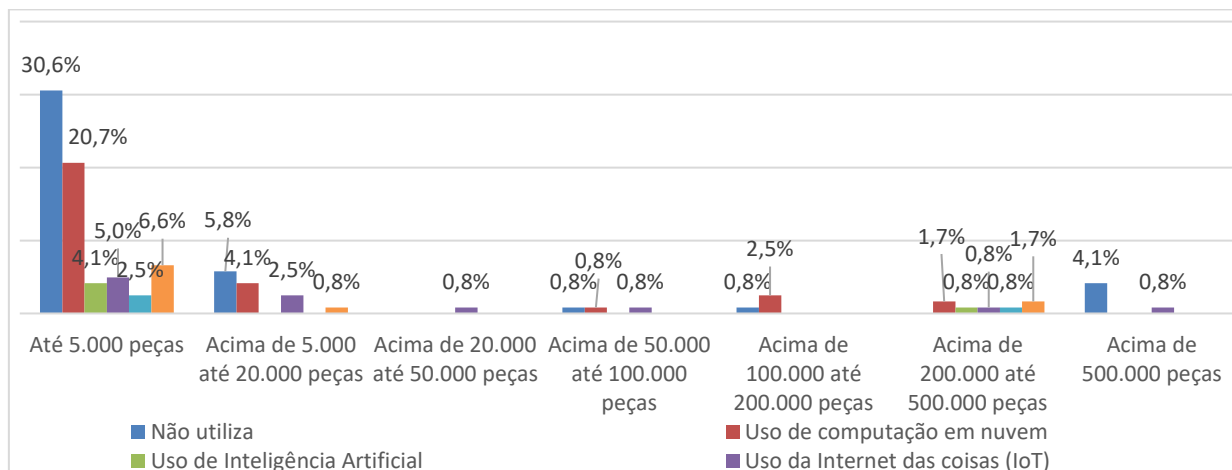
Figura 36 - Uso de elementos para organização do sistema de automação na indústria joalheira.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

Levando em conta a possibilidade de empresas com maior produção terem um sistema de automação mais avançado, a Figura 37 demonstra que independentemente do tamanho da produção, as indústrias do setor de joalheria não empregam elementos de organização para um sistema de automação.

Figura 37 - Uso de sistemas de automação de acordo com a produção mensal da indústria.



Fonte: Imagem elaborada pela própria autora.

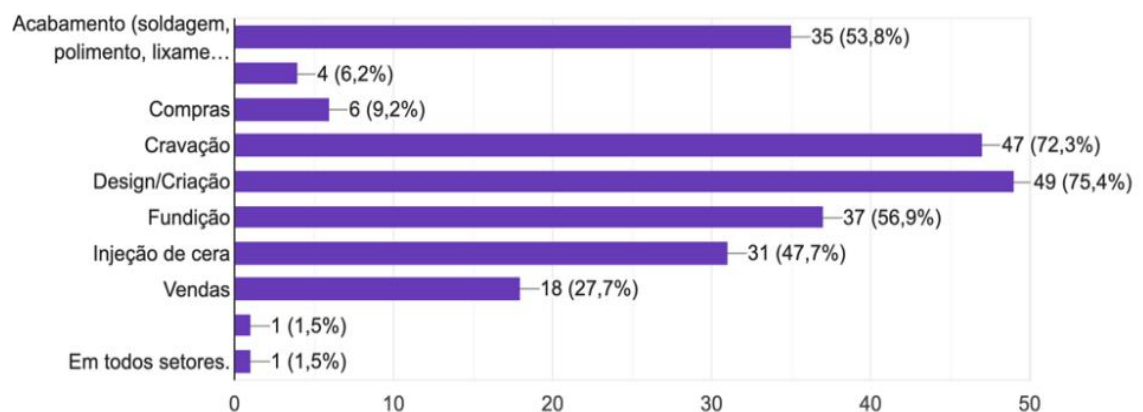
Ainda sobre as mudanças verificadas após a introdução da tecnologia aditiva no processo de produção, a Figura 38 demonstra os setores com maiores alterações dentro do processo. A análise dessa transformação permite entender quais serviços foram afetados por essa mudança, verificando as modificações que podem levar à introdução do setor joalheiro na Indústria 4.0.

O setor de Design/Criação foi considerado por mais de 75% das empresas uma área com mudanças significativas, seguido pelo setor de cravação com mais de 72%. Além disso, a fundição foi considerada por mais de 56% das empresas um setor com grande transformação a partir da implantação da impressão 3D. Os dados apresentados mostram que alterações feitas a partir da criação do protótipo impresso em 3D, se distribui por toda a indústria, alterando ciclos e gerando inovação dentro do processo de produção.

Figura 38 - Mudanças nos setores após a implantação da manufatura aditiva.

30- Na sua opinião, quais setores dentro da indústria de joalheria tiveram mudanças mais significativas a partir da implantação da impressora 3D?

65 respostas



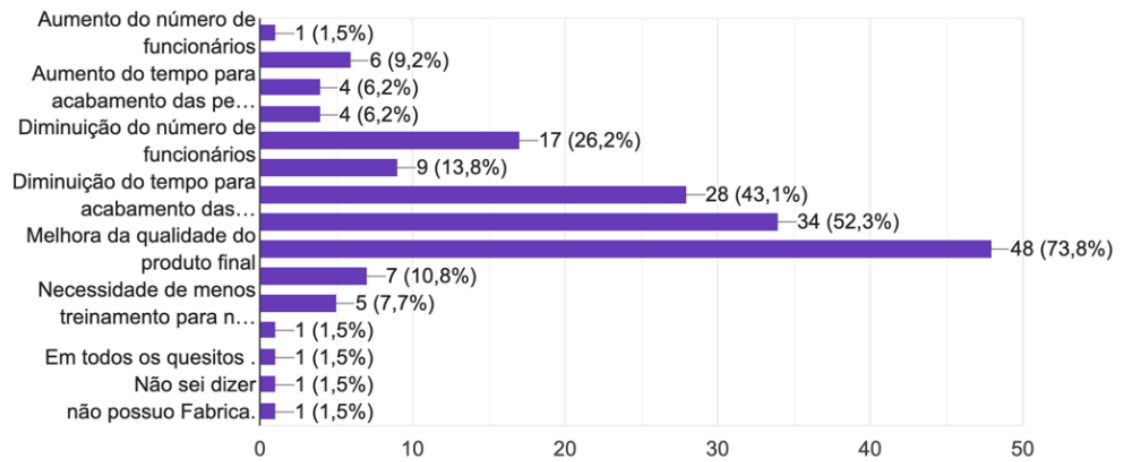
Fonte: Respostas Formulário Google.

Além disso, as respostas da questão 31 do questionário, mostrada na Figura 39 avaliou o tipo de mudança ocorrida na produção, onde mais de 73% das empresas acreditam ter conseguido uma melhora na qualidade do produto final a partir da introdução da impressão 3D no processo. Ademais, mais de 52% apontam uma diminuição do tempo para produção do protótipo e mais de 43% uma diminuição do tempo para acabamento das peças.

Figura 39 - Mudanças ocorridas no processo de produção após a implantação da manufatura aditiva.

31- Que tipo de mudança houve no processo de produção da fábrica a partir da implantação da Impressão 3D no processo?

65 respostas



Fonte: Respostas Formulário Google.

5 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Parte do desconhecimento da indústria joalheira em relação a termos e utilização de novas tecnologias manifesta-se por falta de uma maior quantidade de pesquisas e divulgação voltadas para elas e de seus processos. Um potencial usuário ou mesmo comprador dessas tecnologias, que necessita de informações sobre o uso e aplicação de máquinas dentro da cadeia produtiva, assim como dados da relação custo/benefício e do investimento na implantação da impressão 3D no processo produtivo, pode ficar privado de referências que o ajudem a esclarecer possíveis dúvidas ou mesmo solucionar problemas originados durante a operação do equipamento.

Os dados de que 55% das indústrias comprem insumos apenas do fornecedor da própria máquina mostra a pouca informação existente por parte das empresas fabricantes de joalheria na possibilidade em diversificar a aquisição desses insumos e muitas vezes otimizar seus produtos e lucros, por desconhecimento das alternativas existentes no mercado.

A ocorrência do aumento do lucro de cerca de 90% das indústrias após a implantação da impressora 3D, dentro do processo produtivo, mostra que essa tecnologia se tornou fundamental dentro do setor joalheiro. O aumento no lucro está diretamente ligado aos fatores relacionados às mudanças nos processos dessas empresas, como: o design e criação, cravação, fundição e acabamento, uma vez que a impressão 3D viabiliza a criação e obtenção de peças com design diferenciado, facilidade de cravação das pedras e com melhor acabamento.

Essa pesquisa apresentou, também, que a totalidade das empresas, ou seja, 100% consideram que os custos do uso da impressão 3D são baixos, em relação aos benefícios trazidos pela tecnologia, permitindo concluir que o retorno do investimento realizado por elas é consistente e a que transformação do processo produtivo ocasionado a partir de seu uso é uma mudança que chegará à todas as empresas do setor.

A pesquisa mostra, também, que 63% das indústrias não investem em treinamento de funcionários para o uso da manufatura aditiva, sendo que, em empresas de pequeno porte, esse índice chega a 75%. A falta de investimento em treinamento é um obstáculo a ser questionado, considerando que as máquinas exigem um conhecimento específico sobre seu funcionamento e operação. O manual de utilização e manutenção que acompanha o produto nem sempre está adequado à realidade específica de uma determinada empresa, impossibilitando, muitas vezes, que o usuário ajuste a impressora da forma mais apropriada, incluindo as especificações adequadas do material utilizado e a manutenção, de acordo com o seu uso. Nesse sentido, é importante que o fabricante do produto forneça treinamento voltado especificamente para suas máquinas, e que as empresas invistam nele, com o intuito de gerar melhores resultados com o equipamento.

Ainda em relação a capacidade de uso de modo eficiente dessa tecnologia, existe uma diferença significativa entre os resultados obtidos por aquelas que a utilizam por mais tempo, e as com menos experiência de uso. Nas indústrias com mais de 20 anos de mercado, 80% delas possuem a própria impressora 3D e, essa experiência demonstra que

o treinamento interno, ajustado às necessidades da produção, foi aperfeiçoado com o tempo. O aprendizado de uso, que ocorre naturalmente dentro da empresa, obtido a partir de tentativa e erro, não é o ideal e pode ocasionar descontentamento com o produto, gasto excessivo de material, de insumo e má qualidade dos produtos impressos. É importante ressaltar a importância do investimento em realização de treinamento específico na tecnologia, e que ele não se dá apenas para o uso da impressora 3D, mas também para manutenção do equipamento, evitando possíveis danos e trocas desnecessárias de peças. Sua falta, a longo prazo, pode ocasionar o baixo aproveitamento dos recursos oferecidos pela impressora e ter como consequência produtos com acabamento de baixa qualidade, baixo rendimento, e possível abandono do uso da máquina.

Para efeito de atualização dos valores apresentados, quando da leitura desse trabalho, a relação do Dólar (moeda americana e usada como referência para compra do equipamento e insumos), frente ao Real (moeda brasileira), quando de sua redação dessa dissertação, em dezembro de 2020, era US\$ 1,00 para R\$ 5,19.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Investigar a manufatura aditiva e a revolução 4.0 torna-se complexo levando em consideração o desconhecimento dos termos e muitas vezes a distância entre a visão da indústria e da academia, porém uma das grandes contribuições da pesquisa foi mostrar que os recursos da manufatura aditiva são bem vistos pela indústria joalheira, o que é imprescindível para o crescimento e valorização dessa tecnologia na indústria em geral.

O custo de uma impressora 3D no mês de dezembro de 2020, com tecnologia SLA, capaz de criar produtos a partir da resina líquida e com o objetivo de fabricação de protótipos para uso na indústria joalheira, tem valores a partir de R\$ 4.500,00 nas mais simples (onde o acabamento das peças necessita de revisão). Para impressões com alta resolução, superfícies lisas e acabamento detalhado, como da impressora Aureus da EnvisionTec, o valor médio é de R\$60.000,00. Além disso, os custos podem ter alterações e serem mais elevados de acordo com as possibilidades oferecidas pela máquina e tamanho da área de impressão. Identificou-se que 36% das indústrias do segmento de joalheria ainda não possuem impressora 3D, o que demonstra um espaço a ser explorado, um mercado em potencial para fornecimento de serviços personalizados para esse setor, aproveitando o conceito de inovação aberta, ou comercializar impressoras ou insumos nesse campo da joalheria.

Assim, com a caracterização desse mercado, como preço de insumo, investimento em treinamento, tamanho das indústrias, dentre outros, foi possível disponibilizar importantes informações para futuros compradores/usuários de impressoras ou empresários/empreendedores interessados em adquirir o equipamento.

Além disso, classificou-se e especificou-se o uso efetivo da manufatura aditiva nas indústrias do segmento joalheiro do Estado de São Paulo, relacionando-as com a Indústria 4.0 a partir de 106 participantes. Dentro desse cenário, identificou-se que a maior parte (cerca de 64%) utiliza o método de fundição de cera perdida, o que comprova sua potencialidade de construção de artefatos com alto padrão de acabamento e alto desempenho em detalhamento de pequenas impressões.

A pesquisa conectou os dados referentes à inovação trazida pela implantação da impressão 3D aos custos e benefícios dessa nova tecnologia, apresentando sob a ótica percebida pela indústria e levando a conhecer a realidade das empresas usuárias dessa tecnologia. Os dados levantados confirmam a inevitabilidade da continuação de pesquisas para aprofundar as carências desse setor industrial, a partir de uma abordagem baseada nas necessidades dos usuários.

Os dados expostos demonstram que, apesar das impressoras em geral terem valores expressivos, a diminuição no tempo de trabalho apontada por 63% das empresas, e a excelência nos modelos e design registrada por 67% das indústrias respondentes, se sobrepõem ao custo, sendo que 90% das empresas apresenta crescimento no lucro após a implantação da impressora 3D no processo produtivo.

No que se refere à Indústria 4.0, pode-se identificar que a maioria, cerca de 47% das indústrias desconhece o conceito e, além disso não aplicam ferramentas que facilitam a tomada de decisões de modo a se ter uma linha de produção mais ágil. Dessa maneira, conclui-se que, de um modo geral, sem automação de sistemas, a indústria de joalheria está distante da implantação da Indústria 4.0, que tornaria possível entre outras coisas, a criação de novos modelos de indústrias, o aumento da qualidade, além de possibilitar e facilitar a personalização de seus produtos.

Os estudos apontam que mais de 60% das indústrias estão utilizando a manufatura aditiva em seu processo de produção e que, essa tecnologia está presente em 80% das indústrias com mais de 20 anos de mercado e que cerca de 64% das empresas pesquisadas possuem sua própria impressora 3D, das quais mais da metade (63%) não investiu em treinamento de funcionários para seu uso. Esse dado mostra a tendência crescente do uso das novas tecnologias pelo setor de joalheria, disponibilizadas por meio da impressão 3D.

O trabalho, delimitado apenas às indústrias do Estado de São Paulo, conseguiu avançar no que diz respeito à resposta das indústrias, pois não se encontrou estudos semelhantes voltados para empresas usuárias da manufatura aditiva no setor de joalheria, e, assim, ele serve como um instrumento de consulta e análise para todos aqueles que se interessem pelo assunto.

Por outro lado, em uma próxima pesquisa sobre o assunto, existe a necessidade de aprofundar e avançar os conhecimentos referentes à aplicação da manufatura aditiva no processo de produção, dentre aquelas que afirmaram o seu uso, além de identificar com maiores detalhes a razão daquelas que optaram por continuar somente com o processo tradicional. Desse modo será possível entender de maneira assertiva quais as necessidades das empresas para que possam avançar a implementação de novas tecnologias e integrar a Indústria 4.0.

7 BIBLIOGRAFIA DE REFERÊNCIA

- AHUETT-GARZA, H.; KURFESS, T. A brief discussion on the trends of habilitating technologies for Industry 4.0 and Smart manufacturing. **Manufacturing Letters**, p. 60–63, 2018.
- ALEXANDRE, N. M. C.; COLUCI, M. Z. O. Validade de conteúdo nos processos de construção e adaptação de instrumentos de medidas. **Ciencia e Saude Coletiva**, p. 3061–3068, 2009.
- ANAND, P.; NAGENDRA, A. Industry 4.0: India's defence industry needs smart manufacturing. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 8, n. 11 Special Issue, p. 476–485, 2019.
- AQUINO, D. DE; MAURO, C. E. A sustentabilidade inserida no processo de fabricação por cera perdida no segmento joalheiro. **III Encontro de Sustentabilidade em Projeto do Vale do Itajaí**, 2009.
- ARRUDA, V. C. G. Inovação, desenvolvimento e propriedade intelectual. **Rev. Fac. Direito São Bernardo do Campo**, v. 25, n. 1, 2019.
- BENUTTI, M.; MÜLLER, B. **A joalheria no acervo do Museu de Arte Sacra de São Paulo**. VI World Congress on Communication and Arts. **Anais...**2013
- CHARTIER, T. et al. Additive manufacturing to produce complex 3D ceramic parts. **Journal of Ceramic Science and Technology**, v. 6, n. 2, p. 95–104, 2015.
- DEBROY, T. et al. Additive manufacturing of metallic components – Process, structure and properties. **Progress in Materials Science**, v. 92, p. 112–224, 2018.
- DILBEROGLU, U. M. et al. The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 11, n. June, p. 545–554, 2017.
- EUROPEAN POWDER METALLURGY ASSOCIATION (EPMA). Introduction to additive manufacturing technology, a guide for designers and engineers. **European Powder Metallurgy Association**, 2015.
- FERNANDES, F. R. **As mudanças provocadas pela indústria 4.0 no mercado de trabalho**. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2019.
- FIRJAN. Indústria 4.0: Internet das coisas. **Firjan – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro**, 2016.
- FIRJAN. Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios. **Firjan – Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro**, 2019.
- GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies**. [s.l.] Springer New York Heidelberg Dordrecht London, 2010.
- GORDEEV, E. G.; GALUSHKO, A. S.; ANANIKOV, V. P. Improvement of quality of 3D printed objects by elimination of microscopic structural defects in fused deposition modeling. **PLoS ONE**, v. 13, n. 6, 2018.
- GOYA, J. Y. L.; BENUTTI, M. A. Designers e seus materiais: adornos da segunda metade do século XX. **VIII World Congress on Communication and Arts**, 2015.
- HERZOG, D. et al. Additive manufacturing of metals. **Acta Materialia**, v. 117, p. 371–392, 2016.

- HULL, C. On Stereolithography. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 7, n. 3, p. 177, 2012.
- IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 3, p. 829–846, 2019.
- KLIAUGA, A. M.; FERRANTE, M. **Metalurgia básica para ourives e designers: do metal à joia**. [s.l.] Editora Edgard Blücher Ltda., 2009.
- LEVI, H. Changing the way we manufacture – AM in technical ceramics. **Metal Powder Report**, v. 73, 2018.
- LIMA, A. G. DE; PINTO, G. S. Indústria 4.0: um novo paradigma para a indústria. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 299–311, 2019.
- LIMA, M. A. M.; MENDES, J. P. F. **Inovação na gestão organizacional e tecnológica: conceitos, evolução histórica e implicações para as micros, pequenas e médias empresas no Brasil**. **Revista Produção Online**, v. 3, n. 2, 2003.
- MONTEIRO, M. T. F. **A IMPRESSÃO 3D NO MEIO PRODUTIVO E O DESIGN: um estudo na fabricação de joias**. [s.l.] Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, 2015.
- MONTEIRO, M. T. F.; KRUCKEN, L.; LANA, S. L. B. Potencialidades Da Impressão 3D Sob a Perspectiva Do Design: Uma Análise Do Setor De Joalheria Em Belo Horizonte. v. 1, n. 4, p. 2354–2364, 2014.
- MOURÃO, L. B.; DE MIRANDA, C. A. S.; TAVARES, P. H. C. P. Impacto da Manufatura Aditiva nos Processos Tradicionais de Produção: Um Estudo de Caso em Joalheria Artesanal. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 14, n. 3, p. 222–233, 2019.
- NISHIMURA, P. L. G.; RODRIGUES, O. V. A Prototipagem Rápida Aplicada À Joalheria. **Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design 2014**, v. 1, p. 2365–2374, 2014.
- OCDE. Manual de Oslo: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. **Publicado pela FINEP**, 2006.
- OLIVEIRA, M. P. DE. Contribuição ao estudo de materiais, processos e modelos utilizados na fabricação de joias em larga escala. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2012.
- OSTROUKH, A. V. et al. Life-Cycle Approaches in Computerized Vehicle Design and Additive Technology. **Russian Engineering Research**, v. 39, n. 8, p. 705–709, 2019.
- PATIL, A. S. et al. Effect of TiB₂ addition on the microstructure and wear resistance of Ti-6Al-4V alloy fabricated through direct metal laser sintering (DMLS). **Journal of Alloys and Compounds**, v. 777, p. 165–173, 2019.
- PÉREZ-PÉREZ, M. P.; GÓMEZ, E.; SEBASTIÁN, M. A. Delphi prospection on additive manufacturing in 2030: Implications for education and employment in Spain. **Materials**, v. 11, n. 9, 2018.
- ROCHA, V. C. A utilização de sistemas informatizados no auxílio ao design e produção de joias. **Escola de Engenharia - Departamento de Engenharia de Produção; Universidade Federal de Minas Gerais**, 2007.
- ROCHA, V. C.; RUBIO, J. C. C.; FILHO, E. R. Aplicações CAD/CAM para integração entre projeto e produção na Indústria De Jóias : Um estudo de caso em Minas Gerais. **6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação**, 2011.

- RODRIGUEZ-SALVADOR, M.; MANCILLA-DE-LA-CRUZ, J. Presence of Industry 4.0 on additive manufacturing: Technological trends analysis. **Dyna (Spain)**, v. 93, n. 6, p. 597–601, 2018.
- ROSSI, A. K. Inovação aberta: Uso e implicações nas indústrias de confecção do norte do Paraná. **Pós-Graduação em Design, do Campus de Bauru, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”**, 2018.
- ROSSI, A. K.; BOTURA JR., G. Procedimentos De Pesquisa Científica Em Inovação Aberta. **VIII Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, 2018.
- SCHWAB, F. A. Mecânica das joias: Estudo estrutural aplicado à concepção e ao desenvolvimento. **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**, 2016.
- SCHWAB, F. A.; DE OLIVEIRA, B. F. Jewels mechanics: structural research applied in conception and development. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing**, v. 13, n. 3, p. 1049–1059, 2019.
- SEBRAE. Anuário do trabalho na Micro e Pequena Empresa. **Departamento Intersindical de Estatística e Estudos Socioeconômicos**, 2013.
- SEGONDS, F. Design By Additive Manufacturing: an application in aeronautics and defence. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 13, n. 4, p. 237–245, 2018.
- SILVA, D. C.; BOTURA JÚNIOR, G.; PASCHOARELLI, L. C. Inovação e pesquisa em design nas universidades brasileiras. **Design e Tecnologia**, v. 3, n. 06, p. 1, 2013.
- SOUZA, T. M. C. G. P. DE; JUNIOR, G. B. Uso da Prototipagem Rápida no processo de produção de semijoias como fator de aumento da produtividade e qualidade do produto. **1º Congresso Internacional de Ergonomia Aplicada**, v. 3, n. 1, 2016.
- SOUZA, T. M. C. G. P. DE; JUNIOR, G. B. O uso da prototipagem rápida na inovação aberta. **XIX Congresso Brasileiro de Ergonomia**, 2019.
- STAL, E.; NOHARA, J. J.; CHAGAS JR., M. D. F. Os Conceitos Da Inovação Aberta E O Desempenho De Empresas Brasileiras Inovadoras. **Revista de Administração e Inovação**, v. 11, n. 2, p. 295–320, 2014.
- TEIXEIRA, A. G. Joalheria de Crioulas: Subversão e Poder no Brasil Colonial. **Antíteses**, v. 10, n. 20, p. 829, 2017.
- VALANDRO, L. et al. Influência dos parâmetros de eletrodeposição de cobre e níquel sobre o zamac. **Revista Tecnologia e Tendências**, v. 10, n. 1, p. 159–184, 2019.
- VOLPATO, N. **Manufatura Aditiva: Tecnologias e aplicações da impressão 3D**. [s.l.] Editora Edgard Blücher Ltda., 2017.
- WU, D. et al. Mechanics of shape distortion of DLP 3D printed structures during UV post-curing. **Soft Matter**, v. 15, n. 30, p. 6151–6159, 2019.
- YAP, Y. L.; YEONG, W. Y. Additive manufacture of fashion and jewellery products: a mini review: This paper provides an insight into the future of 3D printing industries for fashion and jewellery products. **Virtual and Physical Prototyping**, v. 9, n. 3, p. 195–201, 2014.

APÊNDICE 1

DEFINIÇÕES DE NOMENCLATURAS

Joia

A utilização dessa nomenclatura pelo comércio atual identifica a peça produzida integralmente com metais nobres como o ouro ou a prata, fazendo com que tenha grande durabilidade. A joia pode ainda, conter pedras preciosas no conjunto. Em razão da composição, possui valor elevado e pode ser considerada um acessório de luxo. Comumente produzida em menor quantidade, costuma ter design diferenciado, com propostas de peças atemporais.

Semijoia

Produzida em metal simples como latão ou bronze e envolta por camadas de metal nobre como ouro ou prata. Visualmente semelhante a uma joia por possuir a camada externa revestida de metal nobre, porém com custo médio. O design comumente segue o da joia com o objetivo de imitação.

Bijuteria

Produzida com metal simples e de fácil acesso como níquel. Não inclui banho de ouro no processo. Para o acabamento dourado ou prateado pode se aplicar uma leve camada de tinta e em alguns casos uma fina camada de ouro no processo denominado flash de ouro. Geralmente produzida e vendida em grande quantidade, sem design exclusivo, acompanha a moda e tem baixo valor de mercado.

APÊNDICE 2

DEFINIÇÃO DE MICRO, PEQUENA E MÉDIA EMPRESA

A definição entre micro, pequena, média e grande indústria pode se dar de acordo com a receita bruta anual por ela recebida ou pelo número de funcionários. Por se tratar de um questionário encaminhado as indústrias, foi escolhida a definição por número de funcionários.

De acordo o SEBRAE (2013), o porte do estabelecimento é definido em função do número de pessoas ocupadas.

Tabela 1 - Porte da empresa de acordo com o número de funcionários

Porte	Indústria
Microempresa	Até 19 pessoas ocupadas
Pequena empresa	De 20 a 99 pessoas ocupadas
Média empresa	De 100 a 499 pessoas ocupadas
Grande empresa	500 pessoas ocupadas ou mais

Fonte: SEBRAE (2013, p. 17)

APÊNDICE 3

QUESTIONÁRIO

03/05/2020

Pesquisa acadêmica destinada a indústrias do segmento de joalheria no Estado de São Paulo

Pesquisa acadêmica destinada a indústrias do segmento de joalheria no Estado de São Paulo

Olá! Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a) do questionário online da pesquisa de mestrado intitulada "O uso da Manufatura Aditiva na indústria 4.0 de joalheria". Esta pesquisa de caráter acadêmico está sendo desenvolvida pela aluna Thaís Mara Cedano Godoy Patricio de Souza sob orientação do Profº Dr. Galdenoro Botura Jr, junto ao o Programa de Pós-Graduação em Design da FAAC, pela UNESP de Bauru.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
(TERMINOLOGIA OBRIGATÓRIA EM ATENDIMENTO A RESOLUÇÃO 466/12 –CNS-MS)

O questionário objetiva entender a partir das opiniões e das respostas aqui registradas, o trabalho de indústrias de joalheria diante das modificações da Manufatura Aditiva e da Revolução 4.0 nos processos de produção.

Nenhum procedimento da presente pesquisa será invasivo, nem causará desconforto, risco ético, físico, ou maculará a integridade do respondente, tendo em vista que a coleta de dados será feita unicamente por meio deste protocolo e a identidade e os dados pessoais serão mantidos em sigilo. Caso se apresentem dúvidas, você poderá entrar em contato com os pesquisadores através dos endereços fornecidos abaixo.

"Entendo que as informações cedidas por mim são confidenciais, autorizando a sua divulgação no meio científico e acadêmico de forma anônima e global, tendo a minha identidade totalmente preservada. Estou ciente de que sou voluntário e, portanto, não receberei nenhum benefício por participar desta pesquisa, bem como não terei ônus algum. Tenho total liberdade para aceitar ou recusar fazer parte deste estudo e sei que a minha recusa, em qualquer momento, não acarretará nenhum prejuízo para mim".

PARA DAR CONTINUIDADE A ESTA PESQUISA, POR FAVOR, PREENCHA E CLIQUE EM ACEITE DO TERMO DE CONSENTIMENTO.

Muito obrigada.

thaisa.godoy@unesp.br
galdenoro.botura@unesp.br

*Obrigatório

1. Para dar continuidade à pesquisa, por favor, aceite o termo de livre consentimento. *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

Caracterização da Empresa

2. 1- Em qual cidade está localizada a empresa de joia que você trabalha/atua? *

3. 2- Qual sua área de atuação na empresa? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Administrativo

☐ Design/Criação

☐ Diretoria

☐ Financeiro

☐ Produção

☐ Outro: _____

4. 3- Qual o número de funcionários da empresa que você trabalha/atua? *

Considere também nesse número, assessores e consultores externos, excluindo vendedores.

Marcar apenas uma oval.

☐ Até 20 pessoas

☐ Acima de 20 até 100 pessoas

☐ Acima de 100 até 500 pessoas

☐ Acima de 500 pessoas

5. 4- Há quantos anos a empresa que você trabalha atua no mercado? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Até 2 anos
- ☐ Acima de 2 até 5 anos
- ☐ Acima de 5 até 10 anos
- ☐ Acima de 10 até 20 anos
- ☐ Acima de 20 anos

6. 5- Qual palavra descreve melhor o produto fabricado na empresa que você trabalha/atua? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Joia
- ☐ Semijoia
- ☐ Bijuteria
- ☐ Folhado

Outro: ☐ _____

7. 6- Quais produtos são fabricados na empresa que você trabalha/atua? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Anel
- ☐ Brinco
- ☐ Colar
- ☐ Pingente
- ☐ Pulseira

Outro: ☐ _____

8. 7- Qual o volume médio de peças fabricadas por mês na empresa que você trabalha/atua? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Até 5.000 peças
- ☐ Acima de 5.000 até 20.000 peças
- ☐ Acima de 20.000 até 50.000 peças
- ☐ Acima de 50.000 até 100.000 peças
- ☐ Acima de 100.000 até 200.000 peças
- ☐ Acima de 200.000 até 500.000 peças
- ☐ Acima de 500.000 peças

9. 8- Qual a capacidade máxima aproximada de produção por mês na empresa que você trabalha/atua? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Até 5.000 peças
- ☐ Acima de 5.000 até 20.000 peças
- ☐ Acima de 20.000 até 50.000 peças
- ☐ Acima de 50.000 até 100.000 peças
- ☐ Acima de 100.000 até 200.000 peças
- ☐ Acima de 200.000 até 500.000 peças
- ☐ Acima de 500.000 peças

Método de fundição

10. 9- Caso utilize o Método de Fundição, qual é o utilizado pela empresa? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não utiliza o Método de Fundição *Pular para a pergunta 13*
- ☐ Fundição em Casca (Shell Molding)
- ☐ Fundição em Coquilha
- ☐ Fundição por Cera perdida
- ☐ Fundição de Lingote
- ☐ Outro: _____

11. 10 - Caso utilize mais de um método de Fundição, diga quais:

12. 11- Por qual motivo utiliza o método de fundição escolhido? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ A qualidade do produto final é melhor
- ☐ Facilidade para repetição do processo
- ☐ Ganho de produtividade
- ☐ Necessita de menos treinamento de funcionários
- ☐ O custo é menor
- ☐ O produto final representa exatamente o protótipo original
- ☐ O processo é rápido
- ☐ Reproduz melhor peças com pequenos detalhes

Outro: ☐ _____

Caracterização do Processo para obtenção do modelo

13. 12- A empresa que você trabalha/atua utiliza modelos/protótipos manufaturados artesanalmente (feitos a mão)? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

☐ Outro: _____

14. 13- A empresa que você trabalha/atua utiliza a Impressão 3D ? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não *Pular para a pergunta 33*

Impressão 3D

15. 14- A empresa que você trabalha/atua tem sua própria impressora 3D? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Sim

☐ Não

16. 15- Há quanto tempo a empresa que você trabalha/atua utiliza a Impressão 3D? *

Marcar apenas uma oval.

☐ Até 1 ano

☐ Acima de 1 até 2 anos

☐ Acima de 2 até 5 anos

☐ Acima de 5 anos

17. 16- Qual material é utilizado para impressão 3D? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.☐ Filamento Termoplástico☐ Gesso em pó☐ Metal em pó☐ Resina Calcinável☐ Resina PadrãoOutro: ☐ _____

18. 17- Qual seu grau de satisfação com o processo de Impressão 3D? *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Insatisfeito	☐	☐	☐	☐	☐	Extremamente satisfeito

19. 18- Por favor, caso deseje, discorra sobre sua experiência como usuário, em relação ao uso de impressão 3D para a obtenção modelo/protótipo.

Detalhes sobre Impressão 3D

20. 19- Quantas impressoras 3D possui a empresa que você trabalha/atua? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Nenhuma
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5 ou mais

21. 20- Quantas pessoas sabem utilizar a Impressora 3D na empresa que você trabalha/atua? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Nenhuma
- ☐ 1
- ☐ 2
- ☐ 3
- ☐ 4
- ☐ 5
- ☐ Mais de 5 pessoas

22. 21- Qual tipo de tecnologia utilizam as impressoras 3D da empresa que você trabalha/atua? *

Caso a tecnologia não esteja listada abaixo, escreva a utilizada selecionando "outros". Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Não tenho conhecimento sobre isso
- ☐ Fotopolimerização em cuba (SLA, CLIP...)
- ☐ Extrusão de material (FDM, MarkerBot...)
- ☐ Jateamento de material (PolyJet, MultiJet printing – MJP...)
- ☐ Jateamento de aglutinante (CJP, VoxelJet, ExOne...)
- ☐ Fusão de leito em pó (SLS, DMLS, SLM, EBM...)
- ☐ Adição de lâminas (LOM, SDL...)
- ☐ Deposição com energia direcionada (LENS, DMD...)

Outro: ☐ _____

23. 22- Quanto a empresa que você trabalha/atua investiu na(s) impressora(s) 3D? *

Valor total

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não possuo essa informação/Prefiro não comentar
- ☐ Até R\$ 7.000,00
- ☐ Acima de R\$ 7.000,00 até R\$ 50.000,00
- ☐ Acima de R\$ 50.000,00 até R\$ 100.000,00
- ☐ Acima de R\$ 100.000,00 até R\$ 150.000,00
- ☐ Acima de R\$ 150.000,00

24. 23- Quanto foi investido no treinamento de funcionário(s) para utilização da impressora 3D na empresa que você trabalha/atua? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não possuo essa informação
- ☐ Não houve investimento em treinamento
- ☐ Até R\$ 1.000,00
- ☐ Acima de R\$ 1.000,00 até R\$ 3.000,00
- ☐ Acima de R\$ 3.000,00 até R\$ 5.000,00
- ☐ Acima de R\$ 5.000,00 até R\$ 7.000,00
- ☐ Acima de R\$ 7.000,00

25. 24- Qual o custo médio mensal com insumos (material utilizado na prototipagem) da impressora 3D? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Até R\$ 500,00
- ☐ Acima de R\$ 500,00 até R\$ 1.000,00
- ☐ Acima de R\$ 1.000,00 até R\$ 3.000,00
- ☐ Acima de R\$ 3.000,00 até R\$ 5.000,00
- ☐ Acima de R\$ 5.000,00

26. 25- A empresa que você trabalha/atua adquire insumos (material utilizado na prototipagem) APENAS do fornecedor/vendedor da impressora 3D? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não

27. 26- Qual o grau de dificuldade para encontrar diferentes fornecedores de insumos (material utilizado na prototipagem) da impressora 3D? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ A empresa nunca procurou outro fornecedor
- ☐ Nenhuma dificuldade
- ☐ Muita dificuldade
- ☐ Outro: _____

28. 27- Considerando a relação custo/benefício, o investimento na impressora 3D valeu a pena? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não tenho essa informação
- ☐ Sim, o custo é baixo em relação aos benefícios.
- ☐ Não, o custo é alto em relação aos benefícios.
- ☐ Outro: _____

Impressão 3D no Processo de Produção

29. 28- Houve aumento significativo no lucro da empresa após a implantação da impressora 3D? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Não tenho essa informação
- ☐ Não houve melhora significativa no lucro da empresa com a implantação da impressora 3D
- ☐ Sim, até 10% de aumento no lucro
- ☐ Sim, acima de 10% até 30% de aumento no lucro
- ☐ Sim, acima de 30% até 50% de aumento no lucro
- ☐ Sim, acima de 50% de aumento no lucro

30. 29- Na sua opinião, a mudança na lucratividade está ligada a quais alterações do processo de produção? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Criação de protótipos com paredes mais finas
- ☐ Diminuição de funcionários
- ☐ Diminuição de setores da fábrica
- ☐ Diminuição no tempo de fabricação das peças
- ☐ Impressão direta do produto final no metal
- ☐ Melhoria no acabamento das peças finais
- ☐ Melhoria no acabamento dos protótipos feitos na impressora 3D
- ☐ Melhoria no design das peças
- ☐ Menos desperdício de material na produção
- ☐ Personalização de produtos
- ☐ Possibilidade de desenvolver geometrias mais complexas
- ☐ Possibilidade de desenvolver modelos a partir de arquivos de internet

Outro: ☐ _____

31. 30- Na sua opinião, quais setores dentro da indústria de joalheria tiveram mudanças mais significativas a partir da implantação da impressora 3D? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Acabamento (soldagem, polimento, lixamento)
- ☐ Banho
- ☐ Compras
- ☐ Cravação
- ☐ Design/Criação
- ☐ Fundição
- ☐ Injeção de cera
- ☐ Vendas

Outro: ☐ _____

32. 31- Que tipo de mudança houve no processo de produção da fábrica a partir da implantação da Impressão 3D no processo? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Aumento do número de funcionários
- ☐ Aumento do número de maquinários usados na fabricação das peças
- ☐ Aumento do tempo para acabamento das peças
- ☐ Aumento do tempo para produção do protótipo
- ☐ Diminuição do número de funcionários
- ☐ Diminuição do número de maquinários usados na fabricação das peças
- ☐ Diminuição do tempo para acabamento das peças
- ☐ Diminuição do tempo para produção do protótipo
- ☐ Melhora da qualidade do produto final
- ☐ Necessidade de mais treinamento para novos funcionários da fábrica
- ☐ Necessidade de menos treinamento para novos funcionários da fábrica

Outro: ☐ _____

Revolução
4.0

Breve conceituação - Conjunto de tecnologias para automação e troca de dados voltadas para personalização e aumento de produtividade nas indústrias.

33. 32- A empresa que você trabalha/atua conhece e utiliza os conceitos relacionados à Indústria 4.0? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Desconhece o conceito
- ☐ Sim, conhece e utiliza
- ☐ Sim, conhece, porém não utiliza ainda

34. 33- A empresa que você trabalha/atua fabrica produtos personalizados para cada cliente? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Não fabrica produtos personalizados
- ☐ Sim, pequenas personalizações de peças da produção, SEM ALTERAÇÃO no processo
- ☐ Sim, pequenas modificações de peças da produção, COM ALTERAÇÃO no processo
- ☐ Sim, fabrica peças com design exclusivo de acordo com o pedido do cliente

35. 34- A personalização de produtos se iniciou depois da implantação da impressão 3D? *

Marcar apenas uma oval.

- ☐ Sim
- ☐ Não
- ☐ Outro: _____

36. 35- Para a organização do sistema de automação, quais elementos estão disponíveis e sendo utilizados na empresa que você trabalha/atua? *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Não utiliza
- ☐ Uso de computação em nuvem
- ☐ Uso de Inteligência Artificial
- ☐ Uso da Internet das coisas (IoT)
- ☐ Uso de Realidade Virtual e aumentada
- ☐ Uso de Big Data

Outro: ☐ _____

37. 36- Marque os processos que a empresa que você trabalha/atua utiliza para facilitar a produção: *

Assinale mais de um, se for o caso.

Marque todas que se aplicam.

- ☐ Coleta e análise de dados para fabricação do produto
- ☐ Descentralização do trabalho
- ☐ Flexibilização e customização nos processos produtivos
- ☐ Geração automática de relatórios sobre os índices de produtividade da empresa
- ☐ Integração do sistema de produção com o Departamento de Vendas
- ☐ Integração dos diversos Departamentos da fábrica (Design, Vendas, Estoque, Produção)
- ☐ Integração dos processos que envolvem maquinário da fábrica
- ☐ Interoperabilidade (onde um sistema é capaz de se comunicar com outro sistema)
- ☐ Não utilizo nenhum desses processos

Outro: ☐ _____

38. 37- Por favor, caso deseje, acrescente algo que julgue relevante sobre a Impressão 3D e a Indústria 4.0 na indústria de joias que você trabalha/atua. Obrigada.

Muito obrigada! Suas respostas foram muito importantes para a pesquisa que está sendo realizada.

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários