



Anhanguera

RUAN FÉLIX GARCIA ROSA

**INDÚSTRIA 4.0 E AS INOVAÇÕES PARA ENGENHARIA
MECÂNICA**

Campinas
2020

RUAN FÉLIX GARCIA ROSA

**INDÚSTRIA 4.0 E AS INOVAÇÕES PARA ENGENHARIA
MECÂNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Helington Leandro

RUAN FÉLIX GARCIA ROSA

**INDÚSTRIA 4.0 E AS INOVAÇÕES PARA ENGENHARIA
MECÂNICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade Anhanguera, como requisito parcial para a obtenção do título de graduado em Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Titulação Nome do Professor (a)

Prof (a). Titulação Nome do Professor (a)

Prof (a). Titulação Nome do Professor (a)

Campinas, 26 de outubro de 2020.

Dedico esse trabalho à minha família, e amigos, pela grande ajuda e compreensão com meu afinho pela realização desse trabalho, além do apoio moral e afetivo na certeza de eu concluiria mais esse objetivo de vida. Obrigado a todos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre iluminou meus caminhos, me protegeu e me auxiliou nas minhas conquistas. Aos meus pais, pelo amor e pela educação que me deram. Aos amigos que sempre estiveram ao meu lado nas alegrias e nas tristezas.

“Que os vossos esforços desafiem as impossibilidades, lembrai-vos de que as grandes coisas do homem foram conquistadas do que parecia impossível”.

Charles Chaplin.

ROSA, Ruan Félix Garcia. **Indústria 4.0 e as inovações para engenharia mecânica**. 2020. 35 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera, Campinas, 2020.

RESUMO

O termo indústria 4.0, deriva por um lado, do termo Web 2.0, a *Internet* interativa. Por outro lado, ele se refere à quarta revolução industrial. Se a invenção do motor a vapor no final do século XVIII levou à mecanização da produção manual, quase 100 anos depois a segunda revolução industrial começou com a eletrificação: produção em massa usando linhas de montagem. No final do século XX, os sistemas de TI e a eletrônica conquistaram as salas de produção; agora, na quarta etapa, segue-se a rede digital completa de todas as áreas da economia. As Organizações enfrentam pontos e desafios respeitáveis que conformarão seu futuro. A quarta revolução industrial e mudanças tecnológicas expressivas comprometem o desenvolvimento das economias em todo o planeta. Acelerar o ciclo de inovação, mudar as perspectivas dos clientes de produtos, serviços, logística, mudar para automatização e digitalização ou novos desafios em segurança digital são as modificações indispensáveis que a Indústria 4.0 traz consigo. O objetivo deste trabalho foi entender, através da revisão de literatura, o efeito da engenharia mecânica em um cenário da indústria 4.0. A metodologia utilizada neste trabalho foi a bibliográfica. A digitalização e as inovações tecnológicas associadas criam inúmeras novas estratégias e modelos de negócios que levam a mudanças sustentáveis em todos os setores. Na engenharia mecânica, em particular, isso cria oportunidades inimagináveis e oportunidades como máquinas e sistemas de alta tecnologia e o uso dos dados associados como serviços digitais para o futuro, que podem garantir crescimento e sucesso para empresas.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Engenharia Mecânica; Inovação.

ROSA, Ruan Félix Garcia. **Industry 4.0 and innovations for mechanical engineering**. 2020. 35 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera, Campinas, 2020.

ABSTRACT

The term industry 4.0 derives, on the one hand, from the term Web 2.0, the interactive Internet. On the other hand, he refers to the fourth industrial revolution. If the invention of the steam engine in the late 18th century led to the mechanization of manual production, almost 100 years later the second industrial revolution started with electrification: mass production using assembly lines. At the end of the 20th century, IT systems and electronics conquered production rooms; now, in the fourth stage, the complete digital network of all areas of the economy follows. Organizations face respectable points and challenges that will shape their future. The fourth industrial revolution and significant technological changes compromise the development of economies across the planet. Accelerating the innovation cycle, changing customers' perspectives on products, services, logistics, switching to automation and digitalization or new challenges in digital security are the indispensable changes that Industry 4.0 brings with it. The objective of this work was to understand, through literature review, the effect of mechanical engineering in an industry 4.0 scenario. The methodology used in this work was the bibliographic. Digitization and associated technological innovations create countless new strategies and business models that lead to sustainable change in all sectors. In mechanical engineering, in particular, this creates unimaginable opportunities and opportunities such as high-tech machines and systems and the use of associated data a digital services for the future, which can guarantee growth and success for companies.

Keywords: Industry 4.0; Mechanical Engineering; Innovation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 O PAPEL DOS ENGENHEIROS MECÂNICOS NA INDÚSTRIA 4.0	11
2.1 QUAL SERIA O EFEITO NA ENGENHARIA MECÂNICA EM UM CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0?	13
2.2 O QUE IMPULSIONA A INDÚSTRIA 4.0	16
3 COMO O SETOR 4.0 AFETA OS PROJETOS DE ENGENHARIA MECÂNICA ..	18
3.1 PROTOTIPAGEM	18
3.2 ORIENTADO POR DADOS.....	19
3.3 A IMPRESSÃO 4D AVANÇA NA FABRICAÇÃO DE ADITIVOS.....	20
3.3.1 Como funciona	21
3.4 POSSIBILIDADES FUTURAS ABUNDAM	22
4 A INDÚSTRIA 4.0 E AS INOVAÇÕES PARA O FUTURO DO TRABALHO	24
4.1 MÁQUINAS QUE OUVEM E SENTEM	25
4.2 RESULTADOS MAIS RÁPIDOS E INTELIGENTES	27
4.3 MOLDANDO O FUTURO	29
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

A engenharia mecânica é uma área muito ampla que, efetivamente, cobre tudo o que se move. Sua amplitude se deve, em parte, à necessidade de cobrir os projetos e a fabricação de tudo e qualquer coisa em um sistema móvel. Isso varia dos menores componentes de um sistema à máquina concluída. Ao longo da história, algumas inovações vieram para definir a mecânica como a se conhece. Essas inovações de engenharia variam de qualquer uma das máquinas simples clássicas a conceitos complexos, como voo.

As inovações em engenharia mecânica tornaram a vida mais fácil, rápida e gratificante para todos. É difícil de imaginar a vida sem grandes inovações como o computador, o automóvel ou o telefone celular. As pessoas estão cercadas por incríveis equipamentos tecnológicos, no entanto, cada inovação é única e deixou uma marca indelével em nossas vidas, melhorando-as.

Justifica-se, pois, a engenharia mecânica é um ramo da engenharia que lida com o projeto, fabricação e manutenção de sistemas mecânicos. Este ramo usa princípios científicos de movimento e forças de energia. As máquinas desenvolvidas ajudam a humanidade a tornar a vida segura, econômica, agradável e fácil. Na verdade, este é uma área que ajuda a enfrentar os aspectos mais desafiadores como por exemplo, modos de transporte, energia e produção de itens.

O mundo está em constante transformação, a mudança da vez é a chegada da indústria 4.0, surgindo cada vez mais novas oportunidades de melhorias, nesse entendimento, este trabalho pretende responder a seguinte pergunta: qual o efeito da engenharia mecânica em um cenário da indústria 4.0?

O objetivo geral deste trabalho foi entender, através da revisão de literatura, o efeito da engenharia mecânica em um cenário da indústria 4.0 e os objetivos específicos foram mostrar o papel dos engenheiros mecânicos na indústria 4.0, descrever como o setor 4.0 afeta os projetos de engenharia mecânica e entender como a indústria 4.0 pode realizar as inovações para o futuro do trabalho.

O tipo de pesquisa a ser realizado neste trabalho foi uma revisão de literatura, no qual foi realizada uma consulta a livros, dissertações e por artigos científicos selecionados através de busca nas seguintes bases de dados “Biblioteca USP”, “Google acadêmico” e “UNESP”. O período dos artigos pesquisados foram os

trabalhos publicados nos últimos “10” anos. As palavras-chave utilizadas na busca foram: Indústria 4.0, engenharia mecânica, inovação.

2 O PAPEL DOS ENGENHEIROS MECÂNICOS NA INDÚSTRIA 4.0

O centro da Indústria 4.0 é o produto inteligente como a *Internet* das Coisas. Até agora, o produto era “estúpido e passivo”. O processo de produção geralmente dependia de humanos e máquinas se comunicando entre si através do produto. Agora, o produto possui todas as informações, tornando-o ativo e inteligente. Usando um chip, ele é capaz de se comunicar de forma independente com as máquinas de fabricação. O produto digitalizado controla a máquina e otimiza o processo de logística e produção em si.

A cadeia de valor não é mais escalonada entre fornecedores, fabricantes e clientes, mas ocorre entre muitos participantes em rede que se comunicam em tempo real. A *Internet* muito popular de coisas e serviços está entrando na indústria. Mas ocorre entre muitos atores conectados em rede que se comunicam em tempo real (ALMEIDA, 2019).

A engenharia mecânica é um assunto diverso que deriva da necessidade de projetar e fabricar tudo, desde pequenas peças e dispositivos individuais (por exemplo, sensores de microescala e bicos de impressora a jato de tinta) a sistemas grandes (por exemplo, naves espaciais e máquinas-ferramentas). O papel de um engenheiro mecânico é levar um produto de uma ideia ao mercado.

A engenharia mecânica lida com qualquer coisa que se mova, incluindo o corpo humano, uma máquina muito complexa. Os engenheiros mecânicos aprendem sobre materiais, mecânica de sólidos e fluidos, termodinâmica, transferência de calor, controle, instrumentação, *design* e fabricação para entender os sistemas mecânicos (FLEURY, 2016).

Os assuntos especializados de engenharia mecânica incluem biomecânica, engenharia de tecidos de cartilagem, conversão de energia, processamento de materiais assistidos por laser, combustão, MEMS, dispositivos micro fluídicos, mecânica de fraturas, nanomecânica, mecanismos, geração de micropoder, tribologia (atrito e desgaste) e vibrações (SANTOS; LEME; STEVAN JUNIOR, 2018).

As inovações são uma nova ideia, dispositivo ou processo. As inovações são a aplicação de melhores soluções que atendem a novos requisitos, necessidades desarticuladas ou necessidades de mercado existentes. É proficiente através de produtos, processos, serviços, tecnologias ou novas ideias mais eficazes que estão prontamente disponíveis para mercados, governos e sociedade. As inovações são

algo original e inovador, como uma novidade significativa que entra em ação? O mercado ou a sociedade.

Como qualquer outro campo da tecnologia, existem vários avanços experimentados. A cada dia, há novas inovações ou uma melhoria das existentes. No entanto, como todos os campos enfrentam desafios, a engenharia mecânica também tem seus próprios desafios. Na maioria dos casos, não existem máquinas especializadas prontas disponíveis no mercado. As empresas de produção e fabricação solicitam o que precisam dos projetistas de máquinas. A necessidade de ter uma máquina especializada faz com que os engenheiros tentem projetá-la para ajudar na produção

A Indústria 4.0 dependerá fortemente dos Engenheiros Mecânicos para sua evolução, na tentativa de conectar físico e digital, sua adaptação às melhores práticas e em seu esforço para eficiência e sustentabilidade. Vi como há uma confusão geral em torno de seu papel em uma revolução industrial fortemente influenciada pela digitalização (e frequentemente atribuída erroneamente ao domínio da TI e da eletrônica). Apesar da agitação em torno de *big data*, inteligência artificial e IoT (*Internet das Coisas*), é necessário perceber que a Indústria 4.0, no seu sentido mais verdadeiro, é uma revolução na fabricação e, por essa mesma natureza, sua implementação e evolução bem-sucedidas dependerão muito dos engenheiros mecânicos (habilidades, adaptação à digitalização e abordagem inovadora (PAULO; MARCIANO, 2017).

Para oferecer uma perspectiva ampla, simples e geral, o papel dos engenheiros mecânicos não será apenas crucial na “fábrica inteligente”, mas também expandirá e abrangerá uma diversidade de tarefas e papéis que podem diferir das descrições de cargos tradicionais em campo. No entanto, o ponto a favor dos engenheiros mecânicos é que ele continuará compreendendo muito bem os objetos físicos, processos e sistemas para transformá-los em seus alter-egos ou avatares digitais, capturar pontos de dados cruciais e desenvolver algoritmos da implementação ao controle (ALMEIDA, 2019).

Também é necessário mencionar aqui que o conjunto de habilidades de um grande número daqueles recentemente empregados na força de trabalho não é adequado para lidar com as mudanças que a digitalização trará e a requalificação é a necessidade da hora.

Além disso, a academia ainda não enfrentou o desafio, oferecendo diplomas e especializações em silos, em vez de criar um curso educacional verdadeiramente multidisciplinar (*Mechantronics Engineering*, um subcampo em engenharia mecânica ganhou popularidade e, embora abranja amplamente os fundamentos para o *design* de dispositivos inteligentes e sistemas, não é totalmente adequado para compreender a Indústria 4.0, que se encontra na interseção entre computação, eletrônica, mecânica e negócios) (SÁTYRO et al., 2018).

Nesse sentido, nenhum graduado de qualquer disciplina em particular com habilidades essenciais limitadas está bem preparado para a Indústria 4.0 e, portanto, engenheiros mecânicos sem desvantagem em comparação com os outros. Porém, como um estudo sobre manufatura compreende uma parte substancial e fundamental de seus cursos, ele está bem equipado com várias habilidades e conceitos importantes. Os processos de engenharia de projeto, *design* industrial, pesquisa operacional e fabricação estão na vanguarda dos campos, evoluindo rapidamente com o tempo e as melhores práticas do setor.

As oportunidades são vastas e inúmeras para engenheiros mecânicos com forte base de conhecimento em sua área, juntamente com mão e pé em automação, IoT, IA, *big data*, Simulação, programação Controlador Lógico Programável (CLP), abordagem de sistemas e abordagem de sistemas, e uma simples pesquisa no *LinkedIn* revela centenas de perfis de engenheiros mecânicos liderando a revolução 4.0 e seu kit de habilidades (FLEURY, 2016).

A única advertência para qualquer indivíduo que aspira trabalhar nesta área é ficar de olhos abertos, mente aberta e alerta para as mudanças neste campo que são quase esmagadoras devido ao rápido progresso tecnológico. Pode-se ficar por dentro de tudo com cursos nos cursos *Coursera*, *edX* e *Udemy* e certificação em Gerenciamento de Projetos da Indústria 4.0, que acaba de chegar ao mercado do conhecimento.

2.1 QUAL SERIA O EFEITO NA ENGENHARIA MECÂNICA EM UM CENÁRIO DA INDÚSTRIA 4.0?

Indústria 4.0 é um nome para a tendência de automação e troca de dados em tecnologias de fabricação. Inclui sistemas ciber-físicos, a *Internet* das coisas,

computação em nuvem e computação cognitiva. A Indústria 4.0 cria o que foi chamado de fábrica inteligente.

Dentro das fábricas inteligentes estruturadas modulares, os sistemas ciber-físicos monitoram processos físicos, criam uma cópia virtual do mundo físico e tomam decisões descentralizadas. Na *Internet das Coisas*, os sistemas ciber-físicos se comunicam e cooperam entre si e com os seres humanos em tempo real e, através da computação em nuvem, serviços internos e interorganizacionais são oferecidos e utilizados pelos participantes da cadeia de valor (WICKERT; LEWIS, 2015).

Acho que esse tipo de arranjo pode mudar ou até acabar com o mercado de manipuladores de materiais, maquinistas, montadores, pessoal da cadeia de suprimentos etc., mas também que será preciso de pessoas para projetar, solucionar problemas e manter todo esse equipamento por algum tempo vir.

Muita coisa já está automatizada na fabricação. Um rolo de arame é carregado em uma extremidade de uma máquina e de onde saem molas formadas, uma após a outra, da outra extremidade. Aqui está um exemplo de uma máquina que pode fazer isso. Eis como acho que um ambiente mais inteligente pode mudar essa operação (ALMEIDA, 2019).

Antes de tudo, essa máquina pode “saber” que possui um pedido em sua fila para os terminais da bateria 4500, número de peça 100123. Talvez já tenha as especificações desses terminais da bateria na memória do último lote, ou poderá baixar as especificações exatas e seu programa de um banco de dados central, incluindo a verificação de alterações desde o último pedido.

Ele saberia quanto tempo leva para obter o fio, quando as peças são necessárias, quanto tempo o fio e as peças levarão para chegar aonde estão indo, a urgência do trabalho e assim por diante, e calculará as prioridades dos terminais da bateria em comparação com outros trabalhos em sua fila (FLEURY, 2016).

A máquina solicitava automaticamente o fio correto, nas quantidades corretas, para chegar pontualmente, armazenando materiais somente se os prazos de entrega fossem excessivos ou incertos, ou se o mesmo material fosse necessário para vários trabalhos e houvesse algumas economias de custos com pedidos em grandes quantidades.

Em termos de alcançar uma cadeia de suprimentos sem interrupção, eu também esperaria que, em vez de simplesmente colocá-la em uma lixeira ou caixa, a

máquina possa ter recursos de manipulação para carregar os terminais da bateria finalizada em um cartucho ou em um rolo de fita (como os que lidam com muitos componentes eletrônicos para serem colocados em conjuntos de circuitos impressos). Isso pode ser carregado automaticamente na próxima máquina e montado automaticamente na montagem de destino. Haverá uma Identificação por radiofrequência (RFID) e um código de barras para que as próximas máquinas na fila saibam para onde as peças estão indo (PAULO; MARCIANO, 2017).

O que não muda necessariamente (pelo menos ainda não) na parte de engenharia mecânica é que ainda precisa haver algum projeto, tanto do próprio terminal da bateria quanto das ferramentas e processos. Honestamente, espero que possa esperar algumas melhorias aqui também. Como primeiro passo, uma máquina como esta, ou parte do *software* usado para controlá-la, poderia fazer uma curva de teste em uma pequena amostra de material e medir o resultado e fazer seus próprios ajustes para acertar as peças.

Também poderia recomendar formas para as ferramentas fazerem o trabalho. Suspeito que possa haver alguns ajustes humanos nas ferramentas, e possivelmente na peça, para unir o processo aos requisitos e à intenção do projeto. Ainda assim, um pouco de entrada no início do processo pode reduzir as iterações e reduzir a incerteza e os atrasos (WICKERT; LEWIS, 2015).

As próprias máquinas ainda precisarão ser projetadas também, provavelmente incluindo consideravelmente mais recursos de manuseio de material. Se tudo o que está fazendo é cortar o fio e deixar algo cair em uma lixeira, não há mais o que fazer. Se tiver que ser alinhado em um cartucho e virado para o lado certo, esse é outro mecanismo, e provavelmente variará de uma parte para outra.

Se precisar de 4.500.000 de algo, é uma máquina dedicada. Se precisar apenas de 45 ou 450 antes de passar para a próxima peça, os mecanismos de manuseio precisarão ser intercambiáveis, versáteis ou ambos. Por algumas partes suficientes, ainda pode valer a pena executar parte do processo manualmente (PAULO; MARCIANO, 2017).

Então, como a engenharia mecânica muda? Eu diria que haverá pelo menos o que fazer e provavelmente mais consideração pela automação e modularidade, tanto por peças e montagens, quanto pelas máquinas que as fabricam e manipulam. Os recursos de fabricação continuarão evoluindo, e as regras em torno do *design*

para fabricação e *design* para montagem continuarão evoluindo à medida que os processos de fabricação e montagem continuarem evoluindo.

2.2 O QUE IMPULSIONA A INDÚSTRIA 4.0

As seguintes tecnologias são normalmente consideradas componentes-chave do Setor 4.0: *Internet of Things* - utiliza tecnologia de sensores para conectar todo o ecossistema de manufatura com comunicação e dados em tempo real de máquinas e dispositivos interconectados, acompanhando o desempenho operacional

Big data e análise - utiliza a *Internet* das Coisas para capturar, analisar e armazenar dados em todos os estágios da produção, do *design* à produção. Simulação de Engenharia - depende da realidade virtual e da realidade aumentada para criar imagens ou hologramas tridimensionais realistas e perfeitamente dimensionados que aceleram o *design* do produto, reduzem as iterações e reduzem o tempo de lançamento no mercado (PAULO; MARCIANO, 2017).

Fabricação aditiva, incluindo impressão 3D e 4D - essas tecnologias de rápido avanço permitem que os engenheiros projetem e fabriquem produtos que geralmente não podem ser fabricados usando métodos tradicionais de fabricação. Cada um desses componentes da Indústria 4.0 tem grandes impactos no projeto de engenharia (WICKERT; LEWIS, 2015).

Por exemplo, com a *Internet* das Coisas, os dados podem ser usados para otimizar os processos de fabricação, geralmente através de ajustes de engenharia. Robótica e automação, também as principais tecnologias da indústria 4.0, precisam ser integradas aos equipamentos de fabricação, geralmente na forma de recursos adicionais de manuseio de materiais.

Recursos de coleta de dados como RFID também podem ser projetados em peças e produtos. Haverá mais consideração pela automação e modularidade, tanto pelas peças quanto pelos conjuntos, e pelas máquinas que as fabricam e manipulam. Os recursos de fabricação e as regras de *design* para fabricação e *design* para montagem continuarão evoluindo (SANTOS; LEME; STEVAN JUNIOR, 2018).

O controle inteligente é uma característica definidora da Indústria 4.0, essas máquinas em rede se controlam de forma independente e inteligente. Toda máquina sabe quantos componentes ainda estão em estoque. Se um estoque estiver baixo, o

sistema envia automaticamente um pedido ao fornecedor, que envia os reabastecimentos. Outras máquinas planejam seus próprios processos de produção na velocidade da luz: se um comprador de carro decide no último minuto que seu carro deve ter uma claraboia, a fábrica planeja automaticamente outra rota de produção para esse carro.

3 COMO O SETOR 4.0 AFETA OS PROJETOS DE ENGENHARIA MECÂNICA

O setor 4.0 - a combinação de processos digitais como a *Internet* das Coisas, automação, robótica e manufatura aditiva - tem um impacto disruptivo no projeto de engenharia mecânica. Os engenheiros não apenas precisam redesenhar processos e operações para acomodar esses novos avanços, mas a Indústria 4.0 afeta o modo como eles projetam produtos para instalações de fabricação cada vez mais inteligentes.

À medida que a indústria 4.0 instala, os engenheiros de visão de futuro vão adotar essas ferramentas e tecnologias digitais. Isso permite que eles produzam produtos de alta qualidade com mais eficiência e reajam mais rapidamente às mudanças nas demandas dos consumidores, construindo a lealdade dos clientes e ganhando participação de mercado. A geração do milênio, por exemplo, é uma população em rápido crescimento que espera produtos personalizados que correspondam às suas preferências pessoais (SCHWAB; DAVIS; MIRANDA, 2018).

As marcas que oferecem produtos personalizados geralmente desfrutam de uma taxa de fidelidade 50% maior. Infelizmente, os métodos tradicionais de fabricação são projetados para produção em massa, não para personalização (SANTOS et al., 2018).

As empresas que podem adaptar rapidamente as linhas de produção para explorar as tendências dos consumidores têm mais probabilidade de implementar a Indústria 4.0. Isso é confirmado por um estudo de 2016 da McKinsey and Company que mostrou que as fábricas da Indústria 4.0 são melhores em projetar e fabricar produtos individualizados do que as fábricas tradicionais (SCHWAB; DAVIS; MIRANDA, 2018).

3.1 PROTOTIPAGEM

Protótipos rápidos e prontos para produção são essenciais para a fabricação eficiente e a velocidade de lançamento no mercado. Os cenários de modelagem / simulação no início do processo de *design* ajudam a determinar o melhor *design* possível para a criação de protótipos.

Os programas de realidade virtual e de realidade aumentada estão rapidamente se tornando potentes ferramentas de visualização e *design*,

especialmente em P&D médica. Por exemplo, Stryker, um fabricante de implantes ortopédicos, está usando a tecnologia holográfica HaloLens da Microsoft para projetar a sala de operações do futuro, juntamente com as ferramentas e instrumentos necessários (AMARANTE et al., 2018).

A impressão 3D e outras tecnologias de fabricação aditiva (AM) podem prototipar peças prontas para produção em questão de horas, dando aos engenheiros uma peça que eles podem reter, examinar e até reiterar no mesmo dia. Um número crescente de produtos complexos só pode ser produzido através da fabricação aditiva. Portanto, é essencial que os engenheiros entendam completamente os recursos que essas máquinas oferecem, que também evoluem continuamente (SCHWAB; DAVIS; MIRANDA, 2018).

Por exemplo, a Caterpillar treina seus engenheiros em sua própria “Fábrica AM”, que é abastecida com os mais recentes equipamentos AM. As equipes de engenharia aprendem a aplicar a impressão 3D a novos produtos, cadeia de suprimentos e até operações (por exemplo, fabricação de peças e acessórios para seus equipamentos de fabricação). Grande parte de sua pesquisa e desenvolvimento de produtos é realizada nesta instalação.

O *design* para a AM é onde se vê enormes avanços na tecnologia de fabricação. As empresas de manufatura passaram anos treinando pessoas para projetar para fabricação (SCHWAB; DAVIS; MIRANDA, 2018). Isso significa que tem peças limitadas pela maneira como se fabrica tradicionalmente. Na Caterpillar, está se removendo esses limites de nossos engenheiros. Ter a capacidade de projetar o que nunca poderia ser feito antes, com recursos que não se acha viáveis, é tremendamente emocionante.

3.2 ORIENTADO POR DADOS

Quando as empresas adotam a Indústria 4.0, elas também devem adotar *big data* e análise. Às vezes, isso exige a contratação de seus próprios cientistas de gerenciamento de dados. A *big data* é essencial para otimizar o desempenho em todas as fases do desenvolvimento, desde o *design* até a produção.

Os dados de desempenho do ambiente de uso final também podem levar a alterações no projeto de engenharia para versões futuras. A *big data* também é necessária para identificar e analisar as tendências do consumidor, que podem

impactar diretamente o que os engenheiros fabricam e como eles as fabricam (AMARANTE et al., 2018).

Empresas menores podem comprar estudos de dados; empresas maiores podem usar a *Internet* das Coisas para coletar seus próprios dados e identificar tendências para oferecer melhores experiências aos clientes. “Os dados da *Internet* das Coisas, por si só, nem sempre são úteis”, comenta Jesper Grode, diretor de estratégia de produtos da Stibo Systems, fornecedora de soluções de gerenciamento de clientes (SHIGLEY, 2016).

Somente quando combinados com outros dados, como dados mestre do produto, dados mestre do cliente ou dados mestre da localização, será possível entender melhor como os produtos estão sendo utilizados - abrindo assim o caminho para melhorias.

3.3 A IMPRESSÃO 4D AVANÇA NA FABRICAÇÃO DE ADITIVOS

A impressão “4D” é uma tecnologia emergente que imprime em 3D componentes sólidos programados para mudar para outras formas quando determinados parâmetros ambientais - temperatura, luz e umidade - são atingidos.

Assim, a quarta dimensão é, literalmente, transformação. Essa capacidade depende do desenvolvimento e uso de materiais programáveis exclusivos. Embora a impressão em 4D ainda seja um campo emergente, ela tem um enorme potencial para expandir o projeto de engenharia (SHIGLEY, 2016).

A impressão 4D requer etapas de pós-processamento complexas e demoradas para programar mecanicamente cada componente. Além disso, a maioria das impressoras comerciais só pode imprimir 4D usando um único material, o que limita bastante as opções de *design*.

Mas uma equipe de pesquisa liderada por Jerry Qi, professor de engenharia mecânica do Instituto de Tecnologia da Geórgia, juntamente com cientistas da Universidade de Tecnologia e *Design* de Cingapura, desenvolveu uma nova e poderosa impressora 4D que pode criar estruturas 4D de montagem automática muito mais rapidamente e eficientemente (SHIGLEY, 2016).

Chama-se isso de impressora 3D multi-material e multi-método [m4]. É um sistema de impressão 3D muito poderoso que integra quatro métodos de impressão em uma única plataforma, o que permite a impressão eficiente de peças

complicadas que podem mudar de forma, expandindo assim as futuras aplicações de impressão (AMARANTE et al., 2018).

Os pesquisadores preveem que ele seja usado para uma variedade de aplicações em indústrias como aeroespacial e medicina. O artigo deles sobre a tecnologia foi publicado recentemente no *ScienceDaily*.

3.3.1 Como funciona

A impressora da Qi combina quatro tecnologias diferentes de impressão: aerossol, jato de tinta, gravação direta com tinta e modelagem de deposição por fusão. Ele pode fabricar produtos a partir de uma variedade de materiais, incluindo hidro géis, tintas condutoras, elastômeros e polímeros com memória de forma, que podem ser programados para “embrar” uma forma e depois se transformar quando aquecidos a uma certa temperatura.

Usando sua impressora e um material composto especial feito de acrílico e epóxi, imprimiu com sucesso objetos impressos em 4D que se transformaram em até 90% mais rápido do que o anteriormente possível, porque as tediosas etapas de programação mecânica já estavam integradas ao processo de impressão 3D. Os compósitos podem oferecer propriedades físicas significativamente melhoradas e maior funcionalidade, em comparação com materiais individuais (LIMA; PINTO, 2019).

Quando dois ou mais materiais que respondem diferentemente aos estímulos ambientais são combinados em um material composto, haverá alguma incompatibilidade na estrutura. Assim, pode-se aproveitar essa incompatibilidade e projetar estruturas que podem mudar drasticamente de forma.

Para múltiplos polímeros, seus relacionamentos propriedade-estrutura-processamento podem ser muito complicados e muito específicos do material. Por exemplo, Qi combinou um elastômero e um polímero vítreo para criar uma transformação de impressão unidirecional em 4D, em que a forma é permanente e não pode ser alterada após resfriamento ou aquecimento posterior. Em outro caso, Qi combinou um elastômero e um elastômero de cristal líquido para criar um produto com uma capacidade de forma reversível, onde a forma pode mudar de um lado para outro com as mudanças de temperatura (SCHWAB; DAVIS; MIRANDA, 2018).

Um dos principais desafios de engenharia no *design* do sistema foi a integração dos módulos de controle para os diferentes métodos de impressão. A impressora é controlada por uma plataforma de *software* desenvolvida internamente usando o código *Python*.

Então, pode-se pressionar um botão e, em seguida, o trabalho de impressão é iniciado, sem intervenção humana no meio do processo de impressão para vários materiais e métodos múltiplos de impressão. Isso requer um *design* muito cuidadoso do *software*, incluindo a passagem de comandos de controle para diferentes módulos de impressão, a transformação de sistemas de coordenadas quando diferentes métodos de impressão são usados e a coordenação da espessura da camada de impressão (AMARANTE et al., 2018).

O sistema também requer uma mesa de granito muito grande, com cerca de 1.500 kg. Isso ocorre porque é preciso transportar a plataforma de impressão para diferentes módulos de impressão e as variações do zDirection devem estar dentro de três microns. Qualquer placa de aço entortará mais de 3 *microns* quando a temperatura mudar ligeiramente. Assim, apenas um grande pedaço de granito fornece estabilidade para manter essa precisão.

3.4 POSSIBILIDADES FUTURAS ABUNDAM

Quando a maioria das pessoas veem a impressora m4 pela primeira vez, o momento “aha” é quando elas percebem o nível de integração necessário para combinar quatro recursos de impressão diferentes em uma única plataforma de impressão. A Qi está colaborando com várias empresas para ver como a impressora m4 pode ser útil na solução de alguns de seus desafios exclusivos de *design* de produtos.

Ele também está trabalhando com o *Children's Healthcare* de Atlanta para determinar se essa nova tecnologia pode imprimir dispositivos protéticos para crianças. Está-se prestes a criar uma nova geração de dispositivos que podem expandir amplamente as aplicações práticas para impressão 3D e 4D. Nossa impressora protótipo integra muitos recursos que parecem simplificar e agilizar os processos usados na impressão 3D tradicional (SCHWAB; DAVIS; MIRANDA, 2018).

Como resultado, pode-se usar uma variedade de materiais para criar componentes rígidos e flexíveis ao mesmo tempo, incorporando até a fiação condutora diretamente na forma - mudar estruturas e, finalmente, preparar o terreno para o desenvolvimento de uma série de produtos 4D que podem remodelar nosso mundo.

4 A INDÚSTRIA 4.0 E AS INOVAÇÕES PARA O FUTURO DO TRABALHO

Uma transformação poderosa, profunda e abrangente está em andamento na indústria. Está mudando fundamentalmente a maneira como se projeta e produtos e o que esses produtos podem fazer. Está tornando as complexas redes de suprimento e distribuição que unem a economia global mais rapidamente, mais flexíveis e mais resilientes. Essa transformação é o que se chama de Futuro do Trabalho. Das principais forças convergentes para moldar essa transformação, a de maior interesse para os engenheiros mecânicos é a *Internet Industrial*.

As linhas entre os mundos físico e digital estão se tornando cada vez mais borradas. A integração de análises baseadas em nuvem (*Big data*) com máquinas industriais (*Big Iron*) está criando enormes oportunidades para ganhos de produtividade. Em um *white paper* de 2012 da GE, um de nós (*Annunziata*, juntamente com Peter C. Evans) escreveu que o rápido declínio nos custos dos sensores eletrônicos e do armazenamento e processamento de dados agora nos permite coletar grandes quantidades de informações de máquinas industriais. Usando análises avançadas, pode-se extrair *insights* que podem aumentar a eficiência (SCHWAB; MIRANDA, 2018).

Máquinas como turbinas a gás, motores a jato, locomotivas e dispositivos médicos estão se tornando preditivas, reativas e sociais, tornando-as mais capazes de se comunicar perfeitamente entre si e conosco. As informações que eles geram tornam-se inteligentes, chegando até nós de forma automática e instantânea quando precisa e nos permitindo consertar as coisas antes que elas quebrem. Isso elimina o tempo de inatividade, melhora a produtividade de máquinas individuais - como os motores a jato consomem menos combustível e as turbinas eólicas produzem energia mais barata - e aumenta a eficiência de sistemas inteiros, reduzindo os atrasos nos hospitais e no tráfego aéreo.

O futuro do trabalho acelerará substancialmente a produtividade e o crescimento econômico. Nesse *white paper* de 2012, por exemplo, os principais benefícios econômicos que podem advir apenas da *Internet industrial* foram estimados para setores específicos. Um ganho de 1% em eficiência com a implantação da *Internet industrial* renderia uma economia de US \$ 90 bilhões no setor de petróleo e gás, US \$ 66 bilhões no setor de energia e US \$ 30 bilhões em aviação (NORTON, 2013).

Alguns economistas, notadamente Robert Gordon, da *Northwestern University*, argumentam que as inovações modernas não estão nem perto do poder transformador e do potencial impacto econômico da Revolução Industrial. Mas acredita-se que o futuro do trabalho será tão transformador quanto a revolução industrial e, possivelmente, mais ainda. Isso trará grandes melhorias na qualidade de nossas vidas.

As sementes dessa transformação foram plantadas há algum tempo e levaram tempo para germinar. Mas agora está se entrando no estágio em que as mudanças que se descreve devem acelerar de maneira decisiva. Para usar uma expressão criada por Ray Kurzweil, do Google, está se entrando na segunda metade do tabuleiro de xadrez - a fase em que as mudanças se tornam repentinamente muito mais visíveis, onde a ficção científica se transforma em realidade mais rapidamente (NORTON, 2013).

Mesmo assim, essa transformação não acontecerá por si só. É preciso investir nas novas tecnologias e adaptar as organizações e práticas gerenciais. É necessário ter uma abordagem robusta de segurança cibernética para proteger informações confidenciais e propriedade intelectual e proteger a infraestrutura crítica contra ataques cibernéticos (SCHWAB; MIRANDA, 2018).

O sistema educacional precisará evoluir para garantir que os alunos estejam equipados com as habilidades certas para essa economia em rápida mudança. Será necessária educação e reciclagem contínuas para amortecer o impacto de interrupções transitórias no mercado de trabalho. Isso exigirá tempo e investimento, mas essa onda de inovação tecnológica transformará fundamentalmente a maneira como vive.

4.1 MÁQUINAS QUE OUVEM E SENTEM

A *Internet* industrial está criando enormes oportunidades para ganhos de produtividade. As máquinas industriais estão sendo equipadas com um número crescente de sensores eletrônicos, que permitem ver, ouvir e sentir muito mais do que nunca - ao mesmo tempo em que gera enormes quantidades de dados.

As análises sofisticadas analisam esses dados, fornecendo informações que nos permitem operar máquinas - e, portanto, frotas de aviões e locomotivas e sistemas inteiros, como redes elétricas ou hospitais - de maneiras totalmente novas

e mais eficientes. Agora está se entrando em um mundo onde as máquinas com as quais trabalha não são apenas inteligentes, mas brilhantes (DORF; BISHOP, 2013).

Os sensores eletrônicos já existem há algum tempo, então por que esses sensores só agora estão criando ganhos de produtividade? Primeiro, seu custo está diminuindo rapidamente, tornando-o mais barato e fácil de implantá-los. E, graças aos avanços da computação em nuvem, o custo de armazenamento e processamento de dados desses sensores também está diminuindo rapidamente, permitindo que o uso de sensores seja ampliado em um ritmo acelerado.

E embora muitos ativos industriais tenham sido dotados de sensores e *software* há algum tempo, tradicionalmente o *software* foi fisicamente incorporado ao *hardware* de uma maneira que o *hardware* precisa mudar toda vez que o *software* é. Está começando a implantar tecnologias como virtualização incorporada, tecnologia de processador multinúcleo e comunicações avançadas baseadas em nuvem em todo o mundo industrial (DORF; BISHOP, 2013).

Essa nova infraestrutura de máquina definida por *softwares* permitirá que a funcionalidade da máquina seja virtualizada em *software*, dissociando o *software* da máquina do *hardware* e nos permita monitorar automática, remotamente, gerenciar e atualizar ativos industriais.

Isso nos permite mudar para a manutenção preventiva baseada em condições. Será possível consertar as máquinas antes que elas quebrem, em vez de repará-las em um horário fixo, e isso nos levará a zero tempo de inatividade não planejado: sem mais quedas de energia, sem atrasos nos voos e sem paralisações na fábrica (SCHWAB; MIRANDA, 2018).

Como isso impactará a indústria? Aqui está um exemplo, dez por cento dos atrasos e cancelamentos de voos são causados por eventos de manutenção não programados, custando ao setor aéreo global cerca de US \$ 8 bilhões - sem mencionar o impacto sobre todos nós em termos de inconveniência, estresse e reuniões perdidas.

Sente-se impotente em um terminal do aeroporto. Para resolver esse problema, a GE desenvolveu um sistema de manutenção preditiva de autoaprendizagem que pode ser instalado em qualquer aeronave para prever problemas que um operador humano pode perder (SCHWAB; MIRANDA, 2018).

Durante o voo, a aeronave conversará com os técnicos em terra; quando chegar, eles já saberão se algo precisa ser reparado. Somente para as companhias

aéreas dos Estados Unidos da América (EUA), esse sistema pode evitar mais de 60.000 atrasos e cancelamentos por ano, ajudando mais de 7 milhões de passageiros a chegarem a seus destinos a tempo.

O setor de saúde também tem enormes ganhos em jogo com a *Internet* industrial; apenas uma redução de 1% nas ineficiências existentes poderia render mais de US \$ 60 bilhões em economia globalmente. Os enfermeiros passam em média 21 minutos por turno procurando equipamentos, o que significa menos tempo gasto no atendimento a pacientes (ANTUNES, 2019).

As tecnologias industriais da *Internet* podem permitir que os hospitais monitorem e conectem eletronicamente pacientes, funcionários e equipamentos médicos, reduzindo o tempo de resposta do leito em quase uma hora cada. Quando precisar de cirurgia, uma hora é importante; significa que mais pacientes podem ser tratados e mais vidas podem ser salvas (NORTON, 2013).

Avanços semelhantes estão ocorrendo em energia, incluindo fontes renováveis como o vento. Monitoramento e diagnóstico remotos, que permitem que as turbinas eólicas se comuniquem e ajustem o tom de suas pás de maneira coordenada à medida que o vento muda, ajudaram a reduzir o custo de geração de eletricidade nos parques eólicos para menos de 5 centavos de dólar por kWh. Há dez anos, o custo equivalente era superior a 30 centavos - seis vezes mais.

4.2 RESULTADOS MAIS RÁPIDOS E INTELIGENTES

As ferramentas e aplicativos industriais da *Internet* também ajudam as pessoas a colaborar de maneira mais rápida e inteligente - tornando os trabalhos não apenas mais eficientes, mas também mais gratificantes. Por exemplo, plataformas seguras e confiáveis baseadas na nuvem permitem que equipes de médicos e profissionais de saúde conferem rapidamente casos de pacientes, acessem simultaneamente imagens e relatórios e colaborem em planos de diagnóstico e tratamento. Ao aproveitar melhor os relatórios e a experiência de cada um, os profissionais de saúde podem oferecer melhores resultados de saúde.

Sistemas como esse são possíveis por plataformas de *software* digital integradas que suportam uma combinação de coleta e armazenamento de informações, novos recursos analíticos e novos modos de colaboração. Essas

plataformas podem fornecer uma maneira padrão de executar análises em escala industrial e conectar máquinas, dados e pessoas (DORF; BISHOP, 2013).

Eles podem ser implantados em máquinas, no local ou na nuvem, e suportam tecnologias para computação distribuída e análise de *big data*, gerenciamento de dados de ativos, comunicação e mobilidade de máquina para máquina - tudo em um ambiente seguro que protege dados e proteções industriais acesso a máquinas, redes e sistemas.

Não é apenas a *Internet Industrial* que está transformando a natureza do trabalho. A fabricação avançada está conectando digitalmente *design*, engenharia de produto, fabricação, cadeia de suprimentos, distribuição e remanufatura (ou manutenção) em um sistema inteligente e coeso - o que se chama de Fábrica Brilhante. Novas técnicas de produção, como aditiva ou impressão em 3D, permitem criar peças e produtos completamente novos com novas propriedades (ANTUNES, 2019).

Além disso, o progresso tecnológico e o crescimento econômico estão contribuindo para uma mudança sísmica no papel que os seres humanos desempenham no processo de produção. O progresso tecnológico, notadamente em computação de alto desempenho, robótica e inteligência artificial, está estendendo a gama de tarefas que as máquinas podem executar melhor do que os humanos. Isso pode ter custos dolorosos no curto prazo, pois alguns empregos são deslocados e algumas habilidades são obsoletas. Mas aumenta drasticamente o poder e o valor econômico das áreas onde os humanos se destacam: criatividade, empreendedorismo e habilidades interpessoais (SOUZA, 2018).

E a ligação da inteligência coletiva dos seres humanos em todo o mundo, integrada pelas redes de comunicação digital, criará uma versão humana da computação de alto desempenho - o cérebro global. Plataformas de código aberto e *crowdsourcing* são duas das maneiras mais eficazes de liberar o potencial de criatividade e empreendedorismo do cérebro global. A indústria está cada vez mais confiando em uma tendência que proporcionará maior flexibilidade e maiores recompensas a empregadores e funcionários - e redefinirá as relações entre os dois.

4.3 MOLDANDO O FUTURO

O futuro do trabalho está sendo moldado por uma profunda transformação, impulsionada pela mistura do mundo digital e do mundo físico, pelo surgimento de novas técnicas de *design* e produção e por uma mudança sísmica no papel que os seres humanos desempenham no processo de produção. A maioria dessas mudanças já está em andamento há algum tempo, mas agora estão ganhando velocidade e escala de uma maneira que mudará rapidamente a face da indústria como a se conhece.

A *Internet* industrial está alavancando o poder da *big data* para criar uma nova geração de máquinas brilhantes que são preditivas, reativas e capazes de se comunicar perfeitamente entre si e conosco. Técnicas avançadas de fabricação, como a impressão 3D, não estão apenas produzindo novos produtos, mas permitindo um ciclo de *feedback* mais rápido entre *design*, prototipagem, produção e experiência do cliente. Eles estão desencadeando uma reorganização baseada em dados das redes de fornecimento e distribuição que vinculam a fábrica individual ao seu ecossistema de clientes, distribuidores e fornecedores (ANTUNES, 2019).

Tudo isso resultará na capacidade de todo o processo de produção se ajustar em tempo real, automaticamente, a circunstâncias inesperadas, garantindo zero tempo de inatividade não planejado no nível do sistema de produção. Essas mudanças, por sua vez, permitirão uma mudança mais rápida em direção à fabricação distribuída, inclusive através de uma maior dependência de micro fábricas.

O progresso tecnológico empurrará uma parcela crescente da força de trabalho para a criatividade e o empreendedorismo, onde os humanos têm uma clara vantagem comparativa sobre as máquinas. O cérebro global - a inteligência coletiva dos seres humanos em todo o mundo, integrada pelas redes de comunicação digital - ficará maior e mais poderoso à medida que dezenas de milhões de pessoas tiverem acesso à educação e à *Internet*, tornando-se capazes de explorar o estoque global de conhecimento e contribuir para isso (SOUZA, 2018).

Essa transformação levará tempo para liberar todo o seu potencial. Isso exigirá que se invista em novas tecnologias e se adapte organizações e práticas gerenciais. É preciso de uma abordagem robusta de segurança cibernética para

proteger informações confidenciais e propriedade intelectual e proteger a infraestrutura crítica contra-ataques cibernéticos.

O sistema educacional precisará evoluir para garantir que os alunos estejam equipados com as habilidades certas para essa economia em rápida mudança. A educação e a reciclagem contínuas podem amortecer o impacto de interrupções transitórias inevitáveis no mercado de trabalho (ANTUNES, 2019).

O futuro do trabalho exigirá tempo e investimento, mas reiniciará o crescimento da produtividade e a atividade econômica. E reorganizará o cenário competitivo de empresas e países e mudará fundamentalmente - para melhor - a maneira como trabalha e como se vive.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A digitalização e as inovações tecnológicas associadas criam inúmeras novas estratégias e modelos de negócios que levam a mudanças sustentáveis em todos os setores. Na engenharia mecânica, em particular, isso cria oportunidades inimagináveis e oportunidades que podem garantir crescimento e sucesso para empresas.

Quando se fala sobre a Indústria 4.0, também está se falando sobre a quarta revolução industrial. Enquanto a mecanização ainda estava em primeiro plano no início da primeira revolução industrial, a rede de desenvolvimento, produção, logística e clientes agora desempenha um papel central.

Se essas áreas estiverem inteligentemente ligadas entre si por uma solução holística, o crescimento, a lucratividade e o sucesso poderão ser garantidos a longo prazo. Novos modelos de negócios e potencial de criação de valor surgirão, permitindo que as empresas avancem mais e, assim, garantam sua posição na competição internacional.

Quando se investe na expansão das tecnologias digitais e implementa as mudanças necessárias, pode criar uma base sólida para o futuro das empresas. Ao usar uma solução adequada, no entanto, é preciso ter cuidado para combinar segurança e simplicidade. Como somente se a comunicação e a troca de dados entre pessoas e máquinas ocorrerem de maneira protegida, os fabricantes de máquinas podem garantir que eles estejam sempre no controle de seus dados e que informações confidenciais não caiam nas mãos de terceiros.

Os engenheiros mecânicos são capazes de trabalhar em uma ampla variedade de setores da indústria, e as novas tecnologias criarão indústrias que não existem. Os engenheiros mecânicos não estão mais confinados às indústrias tradicionais de indústria aeroespacial, automotiva e de fabricação, mas também são empregados extensivamente em áreas emergentes importantes, como tecnologia nuclear, robótica, tecnologia biomédica e sistemas de energia.

O mundo da produção em rede e digitalizada está se movendo cada vez mais para as fábricas de engenharia mecânica, agora a rede também ocorrerá além dos limites da empresa. Ao mesmo tempo, questões de dados e segurança jurídica ou proteção de *know-how* devem ser esclarecidas. O setor 4.0 surge na interface entre o setor e a TI. O seguinte se aplica ao futuro da engenharia mecânica: As empresas

precisam confiar em duas estratégias, a venda de máquinas e sistemas de alta tecnologia e o uso dos dados associados como serviços digitais para o futuro.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, P. S. **Indústria 4.0**: princípios básicos, aplicabilidade e implantação na área industrial. São Paulo: Érica, 2019.
- AMARANTE, M.; GERIBELLO, R.; DO NASCIMENTO, G.; DE ALMEIDA, R.; DE PAULA, R.; DE SOUZA, M. A indústria 4.0 e seus impactos na sociedade. **Revista Pesquisa e Ação**, v. 4, n. 3, p. 56-98, 2018.
- ANTUNES, J. P. M. **Programação de robôs industriais em operações de maquinagem**. 2019. 112 f. Tese (Mestrado em Robótica) - Universidade de Engenharia do Porto. Porto, 2019.
- DORF, R. C.; BISHOP, R. H. **Sistemas de controle modernos**. 12. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2013.
- FLEURY, A. C. C. Automação na indústria metal-mecânica: tendências da organização do trabalho e da produção. **Revista de administração**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 39-51, julho/setembro, 2016.
- LIMA, A.; PINTO, G. Indústria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, v. 16, n. 2, p. 299-311, 2019.
- NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**: uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PAULO, P.; MARCIANO, J. **Tópicos em Fabricação Mecânica**. 2017. 112 f. Teses (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Porto Alegre, 2017.
- SANTOS, M. M.; LEME, M. O.; STEVAN JUNIOR, S. L. **Indústria 4.0**: fundamentos, perspectivas e aplicações. São Paulo: Érica, 2018.
- SANTOS, B. P.; ALBERTO, A.; LIMA, T. D.; CHARRUA-SANTOS, F. M. B. Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.
- SÁTYRO, W. C.; SACOMANO, J. B.; RODRIGO FRANCO GONÇALVES, R. F.; BONILLA, S. H.; SILVA, M. T. **Indústria 4.0**: conceitos e fundamentos. São Paulo: Blucher, 2018.
- SCHWAB, K.; MIRANDA, D. M. **A Quarta revolução industrial**. São Paulo: Edipro, 2018.
- SCHWAB, K.; DAVIS, N.; MIRANDA, D. M. **Aplicando a Quarta Revolução Industrial**. São Paulo: Edipro, 2018.
- SHIGLEY, Joseph E. **Projeto de Engenharia Mecânica**. 10. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016.
- SOUZA, E. **Entenda sobre indústria 4.0**: a quarta revolução industrial que estamos vivendo hoje. São Paulo: Amazon, 2018.

WICKERT, J.; LEWIS, K. **Introdução à engenharia mecânica**. 2. Ed. São Paulo: Cengage Learning, 2015.