

# Indústria 4.0: O Uso da Modelagem 3D na Prototipação Industrial

Filipe Daniel Ribeiro Gouveia

Estudante de Engenharia Mecânica, Recife, Brasil, filipedgouveia@gmail.com

Túlio Flávio Santos de Andrade

Estudante de Engenharia Mecânica, Recife, Brasil, tuliof.andrade@outlook.com

João Paulo da Silva Santos - Professor do Curso de Engenharias e Tecnologias, UNIFG, Brasil, santos.joao@animaeducacao.com.br

## RESUMO

A 4ª revolução Industrial, mais conhecida como indústria 4.0 trouxe diversas vantagens para as empresas na área de tecnologia digitais, podemos usar como exemplo a prototipação com a utilização de ferramentas computacionais para modelagem de peças (sistemas CAD/ CAE), essas ferramentas fazem parte cada vez mais da realidade da maioria dos setores de desenvolvimento de produtos das empresas. Os sistemas CAD/ CAE 3D auxiliam aos engenheiros mecânicos ou analistas, na visualização, simulação e análise do comportamento do protótipo digital sob condições muito próximas das reais de temperatura e estresse estrutural( torção, flexão, cisalhamento, compressão), antes mesmo da construção do produto ou da peça final, permitindo que os fabricantes lancem produtos com maior rapidez e menor quantidade de protótipos físicos e ainda reduzindo consideravelmente os custos de produção, como o uso de insumos, energia elétrica, mão de obra, etc. Com o uso de tais ferramentas também é possível alterar/ atualizar produtos já criados anteriormente e assim dando origem a um novo produto, tudo isso em um curto período de tempo. Com essa otimização dos processos, a velocidade de produção e a conexão entre as máquinas, permite a integração de toda a cadeia de valor, tornando a empresa mais competitiva no mercado comercial.

Palavras-chaves: Indústria 4.0, CAE, CAD 3D, Prototipação.

## ABSTRACT

The 4th Industrial Revolution, better known as industry 4.0, brought several advantages to companies in the area of digital technology, we can use prototyping as an example with the use of computational tools for modeling parts (CAD/CAE systems), these tools are part of every more and more from the reality of most product development sectors of companies. CAD/CAE 3D systems help mechanical engineers or analysts to visualize, simulate and analyze the behavior of the digital prototype under conditions very close to real conditions of temperature and structural stress (torsion, bending, shearing, compression), even before the construction of the product or the final part, allowing manufacturers to launch products faster and with fewer physical prototypes, and also considerably reducing production costs, such as the use of inputs, electricity, labor, etc. With the use of such tools it is also possible to change/update previously created products and thus giving rise to a new product, all this in a short period of time. With this process optimization, the production speed and the connection between the machines, it allows the integration of the entire value chain, thus making the company more competitive in the commercial market.

Keywords: Industry 4.0, CAE, 3D CAD, Prototyping

## INTRODUÇÃO

A primeira revolução industrial iniciada no final do século XVIII marcou a transição dos métodos de produção artesanais para processos mecanizados. Essas mudanças revolucionaram não só a economia, com o aumento da produtividade, mas a vida cotidiana das pessoas. Desde então, a indústria tem passado por transformações tanto nos seus sistemas de produção, quanto de gestão.

Nas últimas três décadas, o desenvolvimento das tecnologias de informação (TI) e a sua integração nos processos de produção trouxeram benefícios ao nível de toda a cadeia de valor. A evolução da capacidade das tecnologias alavancou a produtividade industrial, reduzindo os custos de produção e fornecendo soluções eficazes para atender os clientes com qualidade, velocidade e melhor custo/benefício (CHENG et al.,2015)

Desde o início do processo de substituição das pranchetas de desenho por computadores equipados com sistemas CAD (Desenho Assistido por Computador), entre os seus usuários já havia a percepção da necessidade de evolução dos mesmos, a fim de se atender requisitos para a redução do tempo dedicado ao projeto, as alterações necessárias e ao próprio desenvolvimento de produto, otimizando todas as etapas envolvidas desde a concepção inicial até os desenhos bidimensionais (2D), destinados à confecção de protótipos físicos e dos produtos finais.

Os sistemas CAD atuais permitem desenvolvimento de projetos tridimensionais (3D), atribuindo propriedades físicas como massa, volume e centro de gravidade. Estes sistemas geram, posteriormente, e de forma automática, vistas, cortes, perspectivas e demais informações necessárias, tais como, lista de peças e componentes de uma montagem. Estabelecem uma associação entre o modelo 3D e os desenhos em 2D, destinados à fabricação, permitindo que, qualquer alteração realizada no modelo tridimensional, implique na atualização imediata de todos os desenhos derivados dele, no ambiente 2D. Com estes recursos, é possível reduzir drasticamente o tempo destinado às alterações no projeto, facilitando o desenvolvimento de novos produtos e aumentando a competitividade das empresas pela redução dos custos desta etapa do desenvolvimento.

## 2 Indústria 4.0

### 2.1 Contextualizando a Indústria 4.0

O mundo está atualmente na fronteira final da Indústria 3.0, que foi originalmente impulsionada pela tecnologia da informação e comunicação (TIC). Esse modelo industrial ainda se baseia no princípio de que quanto maior o número de itens produzidos, menor o custo unitário por produto. A Indústria 3.0 ou terceira revolução industrial sucede a primeira revolução industrial, marcada pela introdução da máquina a vapor, e a segunda revolução industrial, marcada pela invenção da eletricidade, e antecede a quarta revolução industrial, que conecta tudo por meio da tecnologia digital. A quarta revolução industrial é de algum interesse porque é a primeira vez na história que uma revolução industrial foi prevista antes de realmente nascer (SANTOS, 2018).

Em 2011, a Alemanha usou o termo "Indústria 4.0" pela primeira vez na Hannover Technology Fair, a maior feira de automação industrial do mundo, a quarta revolução industrial foi proposta à Alemanha como um projeto estratégico de alta tecnologia para promover o desenvolvimento da indústria manufatureira e promover a sua exportação. No Brasil, essas iniciativas têm como foco a qualificação de profissionais, a melhoria dos processos industriais e a modernização dos parques industriais (CARLOTA, 2018).

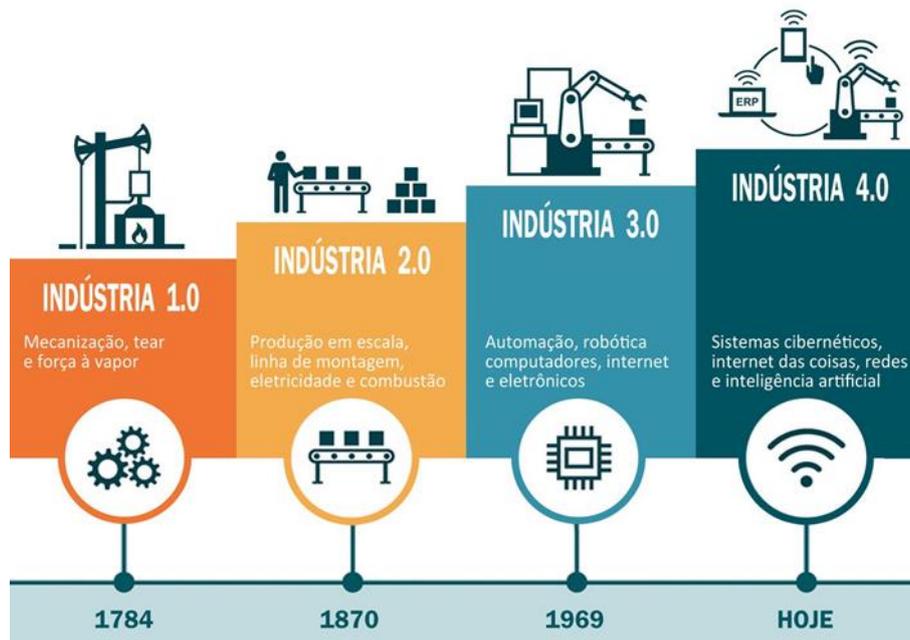


Figura 1: Linha do tempo Indústria 4.0 (Fonte: <https://constrularconstrutora.com.br/o-que-e-a-industria-4-0/>, 2019)

A Quarta Revolução Industrial é a integração de uma série de tecnologias que se beneficiam da redução das restrições ou barreiras entre os mundos digital e físico, permitindo que máquinas e humanos trabalhem e se comuniquem em colaboração, usando redes que unem os mundos físico e físico Produção física mundo digital de sistemas. Podemos destacar algumas das tecnologias que compõem a Indústria 4.0, e então podemos ter um entendimento básico do que são essas tecnologias, entre elas está a manufatura digital, tema deste artigo:

- **Internet das Coisas:** Essa tecnologia habilitante permite a conexão de objetos em ambientes virtuais e físicos, possibilitando sua rastreabilidade ao longo do processo produtivo. Um ambiente de produção ciberfísico pode ser entendido como uma rede online de máquinas organizadas de forma semelhante a uma rede social. "A Internet das Coisas é como os objetos físicos se conectam e se comunicam por meio de sensores inteligentes e softwares que transmitem dados para a rede. É como se fosse um grande sistema nervoso que troca informações entre dois ou mais pontos." (Villarino, 2016).
- **Computação em nuvem:** pode ser entendida como a evolução dos sistemas de armazenamento e serviços fornecidos por fornecedores "A computação em nuvem é um modelo para acesso onipresente e conveniente a pools de recursos de computação configuráveis e compartilhados, redes, servidores e dispositivos de armazenamento. e acesso à rede sob demanda, aplicativos e serviços) que podem ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo de esforço administrativo ou interação do provedor de serviços" (Mell & Grance, 2011).
- **Big data:** milhões de dados são gerados todos os dias, e esses dados massivos são chamados de big data. O principal fator no uso dessa tecnologia pela indústria é a capacidade de processar, avaliar e armazenar informações relevantes, pois de nada adianta ter grandes quantidades de dados sem poder utilizá-los. Portanto, os dados atuais são petróleo novo, mas devido à incerteza de sua medição, os dados não processados não têm valor.
- **Robótica:** É a utilização de sistemas em rede na realização de atividades, substituindo o ser humano em locais insalubres e atividades que possam colocar em risco a saúde humana. Um robô é um dispositivo

autônomo com conexões de feedback entre sensores, atuadores e o ambiente que não requer ações diretas de controle humano para executar tarefas.

- **Manufatura Aditiva:** Método de fabricação muito utilizado na prototipagem, é o processo de criação de um objeto a partir de dados de um modelo virtual 3D por meio da sobreposição de materiais, geralmente camada por camada.
- **Integração de Sistemas:** O processo de buscar a verticalização e horizontalização das indústrias, ou melhor, este conceito é utilizado para mostrar como dados de processos, produtos, sistemas de produção e sistemas de gestão estão integrados na Indústria 4.0.
- **Fabricação digital:** é o processo de comissionamento virtual usando realidade aumentada e/ou realidade virtual. Também podemos defini-lo como o uso de ferramentas e softwares de modelagem 3D a partir de matérias-primas, processos de produção e produtos acabados.

## **2.2 Sistemas CAE/CAD**

Com o avanço da tecnologia de ferramentas de produção e a crescente demanda do mercado, há uma tendência cada vez maior de simplificar as linhas de produção, visando reduzir custos como energia, armazenamento, inflação e ainda produtos mais personalizados e com vida útil cada vez menor. Por isso, as empresas precisam de linhas de produção cada vez mais flexíveis para atender esse mercado dinâmico.

Os sistemas CAE/CAD são uma das tecnologias utilizadas na Indústria 4.0. Essas ferramentas incluem bancos de dados que fornecem processo de pesquisa e projeto e informações técnicas para peças e produtos em formato gráfico, texto ou lista de materiais a qualquer momento, diretamente na tela do computador. O CAE inclui análise de materiais, programação operacional, controle de qualidade e controle de processo.

O processo de prototipagem passou por uma série de evoluções ao longo das últimas décadas, sendo a mais importante, sem dúvida, a utilização de recursos computacionais em ambientes de projeto e manufatura CAD/CAE/CAM.

Com tolerâncias mais rígidas e capacidade de produzir peças com níveis de repetibilidade muito altos, os projetos começam a exigir mais que possam explorar totalmente esse potencial de fabricação. Como resultado, os recursos dedicados ao desenvolvimento de software aumentaram ano a ano, resultando em melhorias significativas no processo de design e avanços significativos na prototipagem e fabricação.

A disciplina CAD/CAE incorpora uma ampla gama de produtos e recursos disponíveis para engenharia e design, e se relaciona diretamente com outras disciplinas para criar conceitos integrados que usam computação em ambientes de prototipagem e manufatura. As principais áreas relacionadas ao CAE/CAD incluem: CAM e CIM. Porque o CIM (Manufatura Integrada por Computador) engloba as áreas de CAE, CAD e CAM.

### **2.2.1 CAD**

Acredita-se que o termo Computer Aided Design (CAD) tenha se originado de uma série de palestras na década de 1960 por Ivan Stearns e teorias de Steve Koons, um dos pioneiros no campo. Falcões B. – “Processo CAD/CAM” – Pitman Publishing, Londres, 1988

Na verdade, os engenheiros têm usado computadores para realizar cálculos complexos desde o desenvolvimento dos supercomputadores do pós-guerra, versões primitivas das atuais máquinas CAD que existiam em meados da década de 1950.

Mas, como se sabe, o CAD ganhou vida com o desenvolvimento do microprocessador, a computação gráfica de Ivan Sutherland tornou possível criar, modificar e manipular rapidamente informações gráficas complexas em uma tela de vídeo. Em seu conceito moderno, CAD refere-se a um processo de projeto que utiliza técnicas de computação gráfica apoiadas por programas que ajudam a resolver problemas relacionados à análise, desenvolvimento, custeio, projeto etc.

O sistema permite que engenheiros/designers desenvolvam estudos e projetos diretamente no computador, criem representações gráficas em 2D ou 3D, criem elementos, criem renderização de modelos sólidos e desenvolvam para desenvolvimento de projetos.

### **2.2.2 CAE**

CAE (Computer Aided Engineering) ou Engenharia Auxiliada por Computador, abrange todas as disciplinas de engenharia que usam o computador, além de CAD e CAM.

Este sistema são softwares para engenharia que incluem a análise de elementos finitos (FEA), dinâmica de multicorpos (MDB), dinâmica computacional de fluidos (CFD). São softwares de engenharia desenvolvidos para apoiar essas atividades são considerados ferramentas CAE e estão sendo usados, por exemplo, para analisar a resistência e o desempenho de peças e conjuntos. O termo engloba simulação, validação e otimização de produtos e ferramentas de fabricação.

### **2.2.3 CAM**

CAM (Computer Aided Manufacturing) ou Fabricação auxiliada por computador refere-se a um processo de fabricação automatizado controlado por um computador e originalmente começou com o desenvolvimento de máquinas controladas numericamente (NC) nas décadas de 1940 e 50. idade.

Nas décadas de 1950 e 1960, quando a tecnologia era controlada por computadores, adotou-se o termo CNC. O controle numérico computadorizado (CNC) agora abrange muitos tipos de processos de fabricação automatizados, como furação, torneamento, corte a laser e soldagem.

O desenvolvimento paralelo levou ao desenvolvimento de unidades de produção completas controladas por sistemas de computador e organizadas de acordo com uma filosofia conhecida como Sistema de Manufatura Flexível (FMS). O termo CAM tem sido usado como uma definição geral para todos esses campos e novas tecnologias de manufatura assistida por computador (BALBI, 1991).

Abaixo é apresentado um infográfico especificando como acontece a manufatura integrada pelo computador na elaboração de um projeto:



## CAD

Um programa CAD é uma tecnologia computadorizada com foco no desenho do produto e na documentação da fase de projeto, durante o processo de engenharia.

---



## CAE

É o amplo uso de programas de computador para auxiliar nas tarefas de análise de engenharia. O termo engloba simulação, validação e otimização de produtos e ferramentas de fabricação.

---



## CAM

A manufatura assistida por computador consiste no uso de um software para controlar ferramentas de máquinas e equipamento relacionado ao processo de fabricação.

---

**Figura 2:** Sequência da produção de um projeto (Fonte: <https://www.4ieng.com.br/single-post/2017/03/16/cad-cae-e-cam-qual-a-diferenca-entre-eles>, 2022)

### 2.3 Software de Modelagem

Para modelagem 3D voltados para a área de engenharia, existem diversos softwares e desenvolvedores, podemos destacar os mais completos e mais difundidos no mercado atual, como o Solidworks, CATIA, Fusion 360, AutoCAD e Inventor, o qual foi amplamente usado no decorrer deste artigo. Considerando o alto custo de aquisição desses softwares, podemos destacar o DesignSpark Mechanical, o FreeCAD e o Onshape Free, que são opções gratuitas, porém muito mais limitados em questões de simulação CAE e CAM.

Foi definido que o Inventor 2023 seria utilizado no estudo pratico deste artigo, devido a sua grande gama de funções disponíveis tanto para o desenho em CAD quanto para as simulações CAE, além deste software ser um dos mais utilizados pelas empresas e profissionais da área de modelagem voltada para a engenharia

O Inventor é um programa de modelagem desenvolvido pela Autodesk, uma das gigantes dessa área. Esse software está disponível para os principais sistemas operacionais como Windows, Linux e MacOS. O Inventor nos permite criar peças tridimensionais em um sistema virtual onde esses modelos ou protótipos também podem ser totalmente funcionais, ou seja, aquele protótipo criado pode ser testado da mesma forma que ele seria utilizado no mundo real, obtendo resultados muito precisos e fiéis à realidade.

Em 2018 o Inventor incorporou o software de análise de elementos finitos (FEA), essa ferramenta oferece ao engenheiro mecânico e analistas, uma simulação muito detalhada cobrindo vários tipos de análise, como tensão linear e não linear, dinâmica e transferência de calor.

## 2.4 Exemplo Prático

Como exemplo prático, nós criamos uma peça fictícia que seria utilizada como um suporte para um motor.

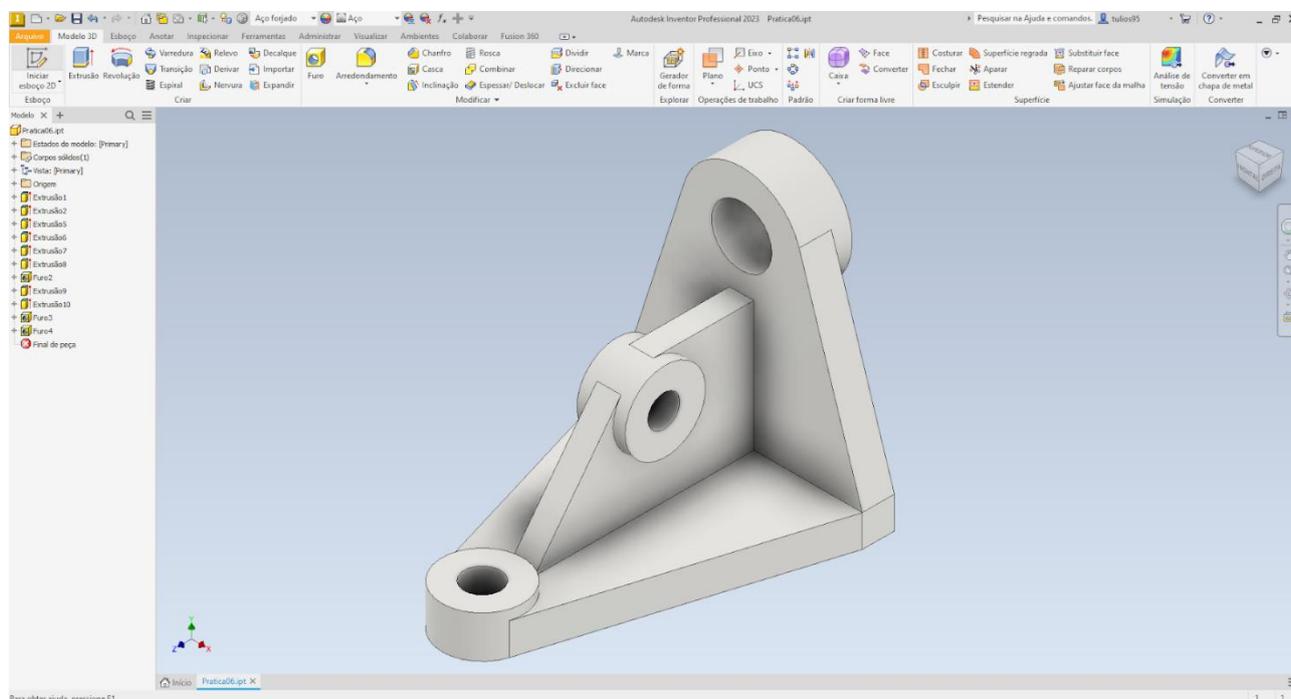


Figura 3: Suporte de motor (Fonte: Própria, 2023)

Após todo o processo de desenho da peça, podemos partir para a simulação e análise de tensões. Nessa etapa é necessário escolher o material de que a peça desenhada será feita, o próprio software já disponibiliza diversos materiais para simular com suas respectivas características mecânica, térmicas e etc. caso o material que será usado na simulação não esteja presente no software, é possível incluir um novo ou até mesmo criar um material fictício, apenas inserindo informações referentes às características do novo material como densidade, elasticidade e condutibilidade.

No exemplo prático apresentado nesse artigo, escolhemos o material: alumínio 6061, que é uma liga de alumínio endurecida por precipitação, contendo magnésio e silício. Possui boas propriedades mecânicas, e comumente utilizado em peças desse tipo.

Após a escolha do material iniciamos o processo de simulação, no exemplo em questão indicamos que a peça é fixa em sua superfície inferior e posterior, e ainda aplicamos uma força vetorial descendente de 5000N conforme a imagem a seguir.

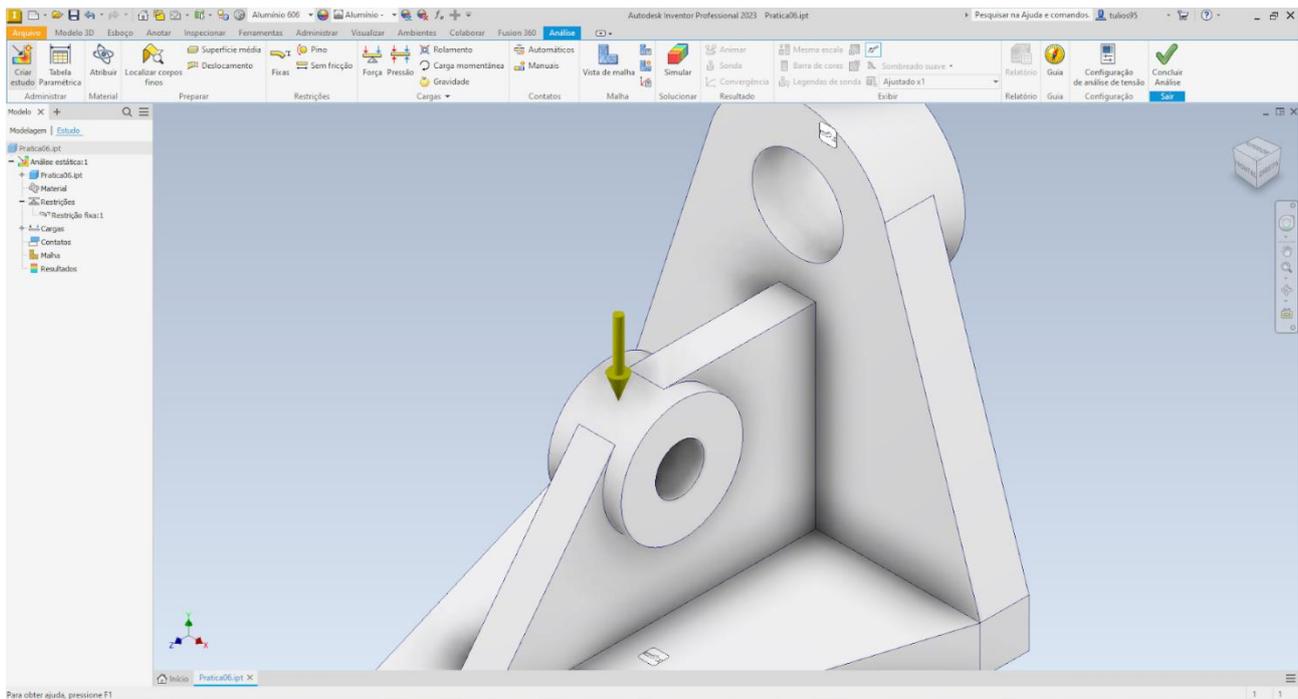


Figura 4: Suporte de motor com força aplicada (Fonte: Própria, 2023)

Com o uso da ferramenta do software de análise de elementos finitos (FEA), a peça é subdividida em vários elementos tetraédricos para que seja possível realizar a simulação computacional nesse ambiente virtual, no exemplo prático foram gerados 2723 nós, essa quantidade pode ser alterada, quanto mais nós gerados na simulação mais precisa ela será. A quantidade de nós gerados é diretamente proporcional ao poder de processamento do computador utilizado, para a execução do exemplo prático deste artigo foi utilizado um computador com a seguinte configuração:

Tabela 1: especificações técnicas do computador utilizado.(Fonte: Própria, 2023)

Especificações	
Sistema operacional	Windows 10 Pro 64bits
Processador	Intel I3 8100 3.60 GHz
Placa de vídeo dedicada	Galax GTX1060 6gb
Memória RAM	16gb
Armazenamento	SSDs M.2 NVMe 500gb
Fonte de Alimentação	600W

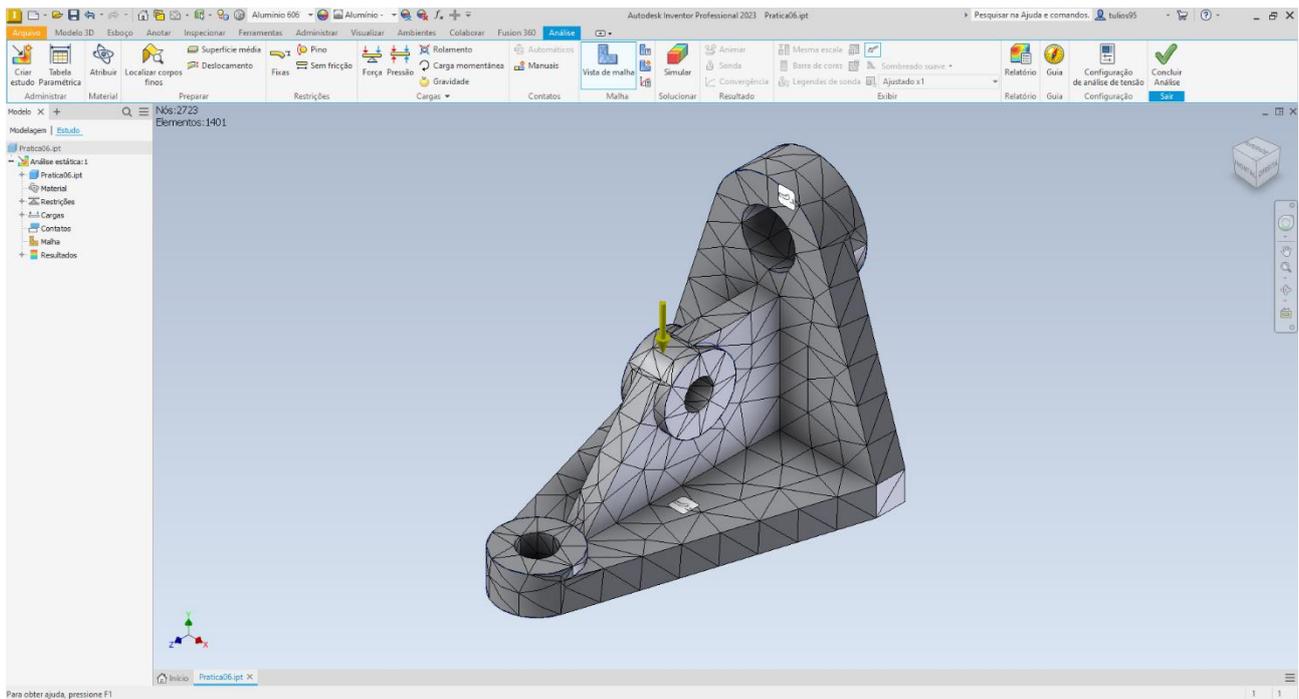


Figura 5 Suporte de motor com uso do FEA (Fonte: Própria, 2023)

Em seguida a simulação nos mostra o resultado do que iria ocorrer na peça após a aplicação da força vetorial.

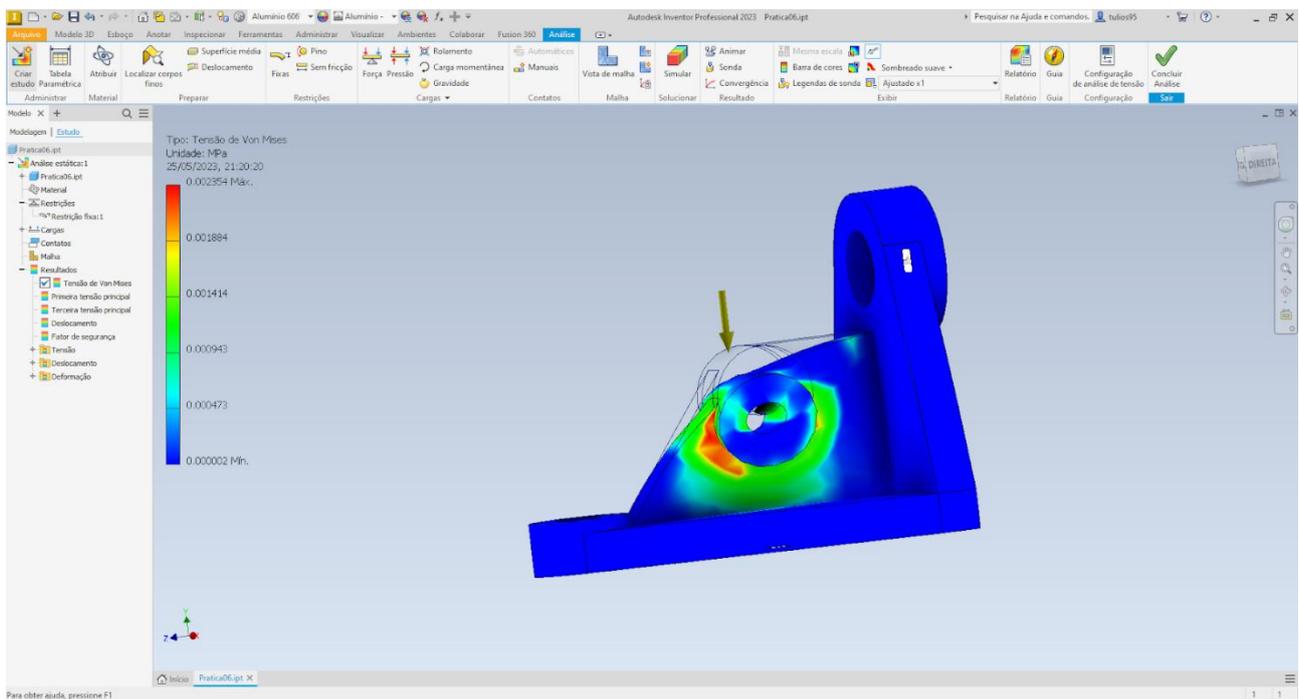


Figura 6: Suporte de motor após simulação de carga (Fonte: Própria, 2023)

Dessa forma é possível identificar claramente que a peça irá deformar bastante ao receber a aplicação de tal força, assim dando ao engenheiro ou analista a oportunidade de refazer a peça de uma outra forma para que a deformação anteriormente apresentada nunca aconteça.

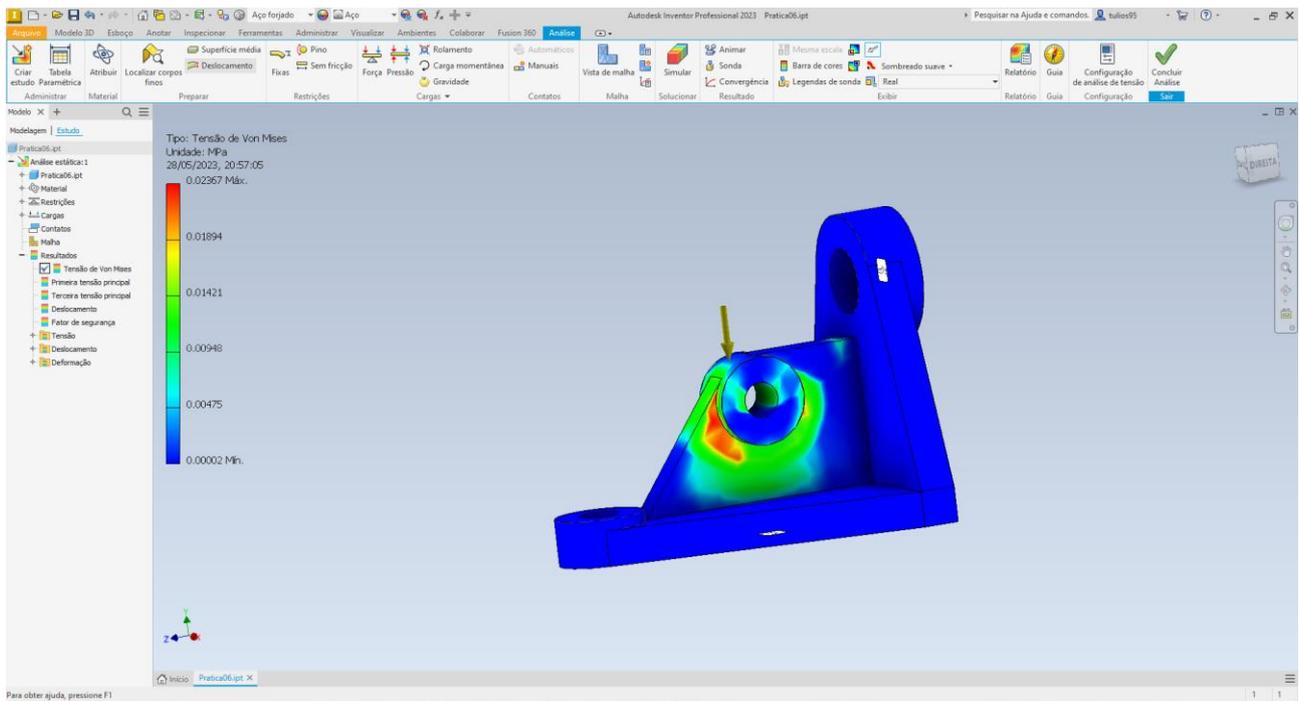


Figura 7: Suporte de motor (aço carbono) após simulação de carga (Fonte: Própria, 2023)

Na figura 6, é o resultado da alteração do material de que a peça em questão é feita, considerando as mesmas condições que foram empregadas na figura 5, como o sentido, direção e magnitude da força aplicada, o uso do alumínio foi substituído por aço carbono, dando uma maior resistência à peça e assim não existindo mais a deformação anterior

Tabela 2: Comparação de propriedades dos materiais (Fonte: <https://www.qualinox.com.br/aco-carbono>, 2019).

Material	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	Módulo de elasticidade (Mpa)	Limite de resistência (Mpa)	Limite de escoamento (Mpa)	Dureza (HB)
Alumínio 6061	2,71	69000	304	277	95
Aço 1020	7,87	215000	870	440	68

### 3 Considerações finais

Com o uso da metodologia de pesquisa, fizemos uma densa leitura de artigos e literaturas da área em questão, com isso pudemos observar que a importância da simulação, nesse novo cenário, é vital para as empresas que buscam diferenciação no mercado, pois novos projetos/produtos em uma linha de produção demandam tempo e recursos, o que pode gerar grandes desperdícios caso sejam implementados de maneira inadequada. O uso das ferramentas CAE e CAD são indispensáveis considerando que tais ferramentas podem simular e antecipar possíveis falhas de projetos que futuramente podem acarretar em mais prejuízos à empresa fabricante. A simulação permite observar com precisão o que está acontecendo com uma determinada peça sem ter que realizar fisicamente a operação da mesma. A modelagem tenta tirar proveito de “gêmeos digitais” ou representações digitais de objetos físicos.

No contexto atual das organizações que caminham para a Indústria 4.0, os processos industriais estão sendo bombardeados com variáveis cada vez mais diversas, além de uma necessidade constante de melhorar e evoluir a tecnologia que o mercado precisa. Com isso, as simulações computacionais aplicadas

desempenham um papel fundamental e outras ferramentas constituem as chamadas tecnologias facilitadoras. Este estudo buscou compreender como esta ferramenta habilitadora está sendo percebida e implementada.

A tecnologia de simulação também fornece autonomia como uma ferramenta de auto aprendizagem a sistemas de manufatura inteligentes, gerando decisões dinâmicas e automatizadas. Feedback para o sistema tomadores de decisão, as simulações geram oportunidades de melhoria de desempenho e previsão de riscos, aumentando os níveis de segurança. Com o avanço de tecnologia computacional empregado nas ferramentas CAE/CAD, também estão extrapolando paradigmas de simulação, como ferramentas de otimização. Cada vez mais o acesso ao mundo virtualizado é obtido por meio de imagens, realidade virtual, layouts de fábrica e outras representações gráficas cada vez mais ricas em detalhes.

## REFERÊNCIAS

SANTOS, Beatrice. **INDÚSTRIA 4.0: DESAFIOS E OPORTUNIDADES**. RPD, Revista Produção e Desenvolvimento, Rio de Janeiro V 4, p.111-124, Jan de 2018.

CHENG, C; GUEELFIRAT, T; MESSEINGER, C; SCHMITT, T; SCHNELTE, M; WEBER, P. **Semantic Degrees for industrie 4.0**. EUROPEAN SOFTWARE ENGINEERING CONFERENCE. Nova York, p. 1010-1013, Mai 2015.

JUNIOR, Antonio. **UMA RÁPIDA ANÁLISE SOBRE AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**. Redes para Automação Industrial, Natal – RN, Jan de 2003.

MELL, P. M., & Grance, T. (2011). **The NIST definition of cloud computing**. Gaithersburg, v. 800-145, p. 1-7, Set 2011.

Vargas, R. V. **Gerenciamento de projetos: estabelecendo diferenciais competitivos**. Rio de Janeiro: Brasport. (2002).

Vilarino, J. (2016) **Internet das Coisas (IoT) Tudo o que você precisa saber**. Paraná: Atena Editora (2020).

Bittencourt, Leide. **UTILIZAÇÃO DAS FERRAMENTAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A PROTOTIPAGEM NO SETOR VESTUÁRIO**. DAPesquisa, Florianópolis, v. 16, p. 01-25, Jul.2021.

CARLOTA, C MARIANA. **A INDÚSTRIA 4.0 APLICADA AOS SETORES DA MODA**, Covilhã, Out de 2018.

Hawkes B. **The CAD/CAM process**. Londres: Pitman Publishing (1988).

BALBI, Tadeu A Peçanha. **ESTUDO E PROJETO DE SISTEMA CAE/CAD PARA ACESITA**, Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Fev de 1991.

AHRENS, Carlos Henrique. **CARACTERÍSTICAS DESEJÁVEIS PARA A IMPLEMENTAÇÃO E O EMPREGO DE SISTEMAS CAE/CAD/CAM NO SETOR DE MOLDES DE INJEÇÃO DE PLÁSTICOS**, Dissertação (Doutorado em engenharia mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Mar de 1994.

POLISSER, C; CAPELETTO, A; HOELSCHER, F; MARTINI, J; BET, F; ZILIO, D. **CAD/CAE/CAM APLICADOS AO LAYOUT, DESIGN E MODELAGEM INDUSTRIAL: UMA REVISÃO**. E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial, Florianópolis, v. 14, p. 63-74, Jun.2021.

ARAKAKI, Reginaldo. **UMA METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS CAE/CAD/CAM**, Dissertação (Mestrado em engenharia mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, Mar de 2002.