

MODELAGEM COMPUTACIONAL DE ELEMENTOS MECÂNICOS

Talisson Silva Oliveira (Unifacid Wyden) E-mail: talisson123sindi@gmail.com
Marcos Guilherme Carvalho Braulio Barbosa (UFPI) E-mail: marcosguilherme@ufpi.edu.br
Ítalo Rodrigo Monte Soares(Unifacid) E-mail: italo.rodrigo@unifacid.edu.br
Ediones maciel de souza (UFPI) E-mail: Edionesmaciel.36@gmail.com
José Weliton Nogueira Júnior(Unifacid) E-mail: jose.nogueira@professores.facid.edu.br
Rômulo Ribeiro Magalhães de Sousa (UFPI) E-mail: romulorms@gmail.com
Francisco de Tarso Ribeiro Caselli (UFPI) E-mail: tarso.caselli@ufpi.edu.br
Thercio Henrique de Carvalho Costa (UFRN) E-mail: thercioc@gmail.com
Francisco Rafael Campos de Macedo (Unifacid) E-mail: francico.macedo@professores.facid.edu.br

Resumo: Objetivo analisar a importâncias da Modelagem Computacional de Elementos Mecânicos, A análise estrutural computacional é um dos métodos utilizados para análise de comportamento de elementos mecânicos e estruturais quando submetidos a esforços e cargas dinâmicas ou estáticas. Sem essa etapa, o seu projeto pode correr inúmeros riscos. Para que essa análise estrutural apresente resultados confiáveis e condizentes com a realidade, a simulação precisa passar por alguns passos essenciais: Modelagem da estrutura, Definição dos materiais, Definição da malha, Definição dos parâmetros de simulação, Análise dos resultados A modelagem computacional estabelece estratégias e formulações matemáticas para a imposição de ligações mecânicas a um contexto de modelagem computacional de mecânica dos sólidos. As técnicas são empregadas em conjunto com métodos numéricos para a solução de campos cinemáticos envolvidos, como o Método dos Elementos Finitos. É feita a implementação computacional e são explorados cenários de simulação de contato envolvendo modelos de barras e cascas. Por fim, apresenta-se uma discussão comparativa entre as diferentes formulações, elencando as vantagens e proteção de cada uma. É feita uma proposta para a construção de uma família de modelos de contato pontual de forma unificada. A importância da modelagem computacional de maneira mais simplificada é criar e fornecer uma cópia de um projeto de um sistema, que poderão abranger planos detalhados, assim como planos mais gerais com uma visão panorâmica do sistema considerado. Com isso evitando problemas futuros na parte da escolha do material e seu tempo de uso de acordo com aplicação.

Palavras-chave: Modelagem Computacional, Elementos Mecânicos, Análise Estrutural, Elementos Finitos.

COMPUTATIONAL MODELING OF MECHANICAL ELEMENTS

Abstract: Aim to analyze the importance of Computational Modeling of Mechanical Elements, Computational structural analysis is one of the methods used to analyze the behavior of mechanical and structural elements when subjected to efforts and dynamic or static loads. Without this step, your project can take numerous risks. For this structural analysis to present reliable results consistent with reality, the simulation needs to go through some essential steps: Modeling the structure, Defining the materials, Defining the mesh, Defining the simulation parameters, Analyzing the results The computational modeling establishes strategies and mathematical formulations for the imposition of mechanical connections in a context of computational modeling of solid mechanics. The techniques are employed in conjunction with numerical methods for solving the kinematic fields involved, such as the Finite Element Method. The computational implementation is performed and contact simulation scenarios involving models of bars and shells are explored. Finally, a comparative discussion between the different formulations is presented, listing the advantages and protection of each one. A proposal is made for the construction of a family of point contact models in a unified way. The importance of computer modeling in a more simplified way is to create and provide a copy of a system design, which may cover detailed plans, as well as more general plans with a panoramic view of the considered system. With this, avoiding future problems in terms of choosing the material and its use time according to the application.

Keywords: Computational Modeling of Mechanical Elements, Analysis, Structural, Finite Elements, Simulation.

1. Introdução

A importância da modelagem computacional de elementos mecânicos é uma área de conhecimento multidisciplinar que trata da aplicação de modelos matemáticos e técnicas da computação à análise, compreensão e estudo da fenomenologia de problemas complexos em áreas tão abrangentes quanto as engenharias, ciências exatas, biológicas, humanas, economia e ciências ambientais. É a área que trata da simulação de soluções para problemas científicos, analisando os fenômenos, desenvolvendo modelos matemáticos para sua descrição, e elaborando códigos computacionais para obtenção daquelas soluções.

É área em expansão, de ampla aplicação, em: desenvolvimento de produtos industriais; pesquisas científicas básicas e aplicadas; simulações e previsões temporais e espaciais de fenômenos; matemática, física, química; engenharia e tecnologia; biologia e saúde; meio ambiente e ecologia; oceanografia e geofísica, dentre outras. Segundo a Revista interdisciplinar de pesquisa em engenharia - CILAMCE 2016, O advento de tecnologias computacionais permitiu à engenheiros estruturais se disporem de softwares intuitivos, que permitem a interpretação de resultados obtidos e credíveis, de forma que, mesmo não tendo acesso à fonte do código computacional, tem-se conhecimento das características do modelo que está a usar.

A simulação computacional permite a obtenção de resultados de forma rápida, e utilizando um modelo adequado, a mesma também é segura. Essa capacidade de trabalhabilidade e facilidade na obtenção de resultados permite a realização da otimização estrutural. Esse importante processo de otimização avalia a melhoria de um projeto, onde, definido um critério de avaliação, a otimização irá consistir na melhor geometria para um determinado fim. A presença de enrijecedores pode ser avaliada buscando a melhor geometria dos mesmos, a fim de se suportar os esforços de flambagem na estrutura.

Este estudo foi motivado em função de explicar a importância da modelagem computacional de elementos mecânicos para facilitar o trabalho em diversas áreas e aplicações na produção dos materiais e seu uso dentro das ferramentas e motores em geral. A modelagem melhora o desenvolvimento de produtos e máquinas, aumentando a confiabilidade no processo por meio da eliminação de erros, garantindo, assim, a qualidade do produto final. Além da agilidade no desenvolvimento do produto, os softwares utilizados também permitem levar em consideração o design e o funcionamento da máquina ou equipamento, por meio de análises estruturais e acompanhamento dos processos de produção. Por isso, o tempo total de execução e fabricação acaba sendo menor, e o produto pode ser inserido mais rapidamente no mercado, aumentando a competitividade (POLIJÚNIOR 2023).

Neste trabalho buscou-se conhecer a importância e a aplicação da modelagem computacional nas diversas áreas de abrangência da Engenharia e os fatores importantes para o desenvolvimento de projetos e pesquisas. A simulação é um recurso inestimável pois permite, através de modelos matemáticos condizentes com o problema, prever e observar fenômenos e situações com acurácia e precisão. Produzir e executar um determinado experimento, repetidas vezes, pode ser impossível devido aos custos decorrentes ou às dimensões dos elementos envolvidos. No entanto, com as ferramentas computacionais adequadas, a simulação de tal processo está atrelada ao modelo matemático e ao conhecimento das relações físicas que regem o experimento, bem como ao custo computacional necessário para reproduzir tal situação.

A modelagem computacional implica em seis passos bem determinados: 1) Fenômeno Físico – simplificação e extração das propriedades físicas; 2) Modelo matemático – equações governantes: as Equações Diferenciais Ordinárias (EDO) e as Equações Diferenciais Parciais (EDP); 3) Discretização do domínio do problema – métodos com malha/grades, nós ou partículas; 4) Algoritmo Numérico – Condições iniciais e/ou de contorno, discretização numérica, aproximações das EDO por funções e/ou soluções das equações algébricas; 5) Implementação do código – Acurácia Computacional; velocidade e armazenamento; robustez e facilidade de utilização; 6) Simulação numérica – obtenção, validação, renderização e visualização dos resultados. A modelagem computacional está sendo aplicada em modelos climatológicos, reações químicas, comportamento de gases e até mesmo no estudo de sistemas elétricos.

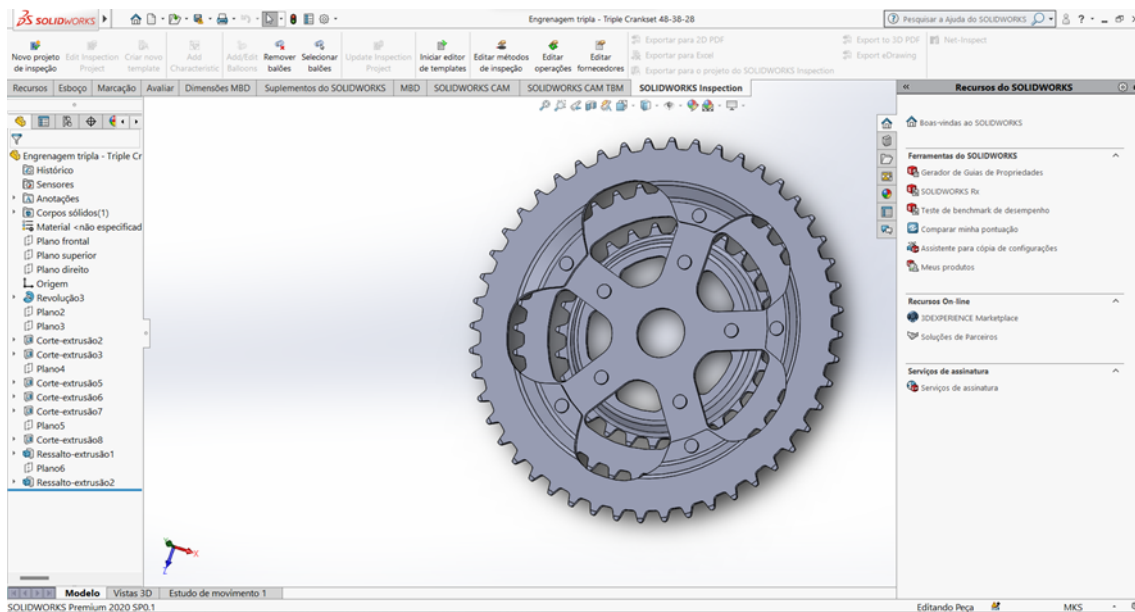
2. Software usado nessa pesquisa e exemplos de modelagens

Software utilizado foi o SolidWorks é um software de CAD 3D (Computer-Aided Design) desenvolvido inicialmente pela SolidWorks Corporation que funciona no sistema operativo Windows. A empresa iniciou a sua atividade nos EUA em 1993 e o primeiro produto surgiu em novembro de 1995. Em 1997 foi adquirida pela multinacional francesa Dassault Systems S. A. Dassault Systems S. A.: O SolidWorks baseia-se em computação paramétrica, criando formas tridimensionais a partir de operações geométricas elementares. No ambiente do programa, a criação de um sólido ou superfície tipicamente começa com a definição de um sketch 2D que depois é transformado através de uma operação num modelo tridimensional. O SolidWorks dispõe de um amplo leque de funcionalidades, incluindo funções específicas para chapa metálica, construção soldada e moldes.

Nessa etapa será apresentada algumas das peças que serão mostradas dentro de todo o trabalho como exemplos de modelagem computacional de elementos mecânicos.

2.1 Engrenagem Tripla

Engrenagens ou rodas dentadas são componentes de máquinas que se ligam a eixos para transmitir rotação, torque e potência. A proporção e o diâmetro entre duas engrenagens definem as velocidades rotacionais e o torque que se quer atingir em um sistema rotativo. As engrenagens possuem dentes (espaçados simetricamente) em torno do seu corpo. Desse modo, à medida que uma engrenagem gira, esses dentes se encaixam no espaço entre os dentes da outra engrenagem ou correntes de transmissão, de maneira sucessiva, movendo-os e transmitindo movimento. Elas têm como vantagens, ausência de geração de forças na direção axial, a habilidade de suportar altas cargas e altas velocidades e a produção de boas eficiências de transmissão. Como desvantagens, temos a alta concentração de tensões nos dentes e o grande ruído que é produzido quando elas são utilizadas em eixos que giram em altas velocidades. A menor engrenagem do par é o pinhão e a maior é a coroa. Se for necessário produzir grandes reduções, essas engrenagens podem ser facilmente utilizadas em combinação de quantidades superiores a duas. Ou seja, fazendo com que a velocidade de saída de uma engrenagem intermediária sirva como velocidade de entrada da outra (Abecom Rolamentos e Produtos de Borracha LTDA 2022).



mecânicos; - Amenizam os esforços axiais. Geralmente o ângulo entre os eixos na montagem com engrenagens cônicas é de 90° , mas podem ser usados tanto ângulos maiores quanto menores do que este. Os dentes destas engrenagens são cortados ao longo da superfície inclinada do tronco de cone e eles podem ser retos, em formato de hélice, espiralados, etc (Abecom Rolamentos e Produtos de Borracha LTDA 2022).

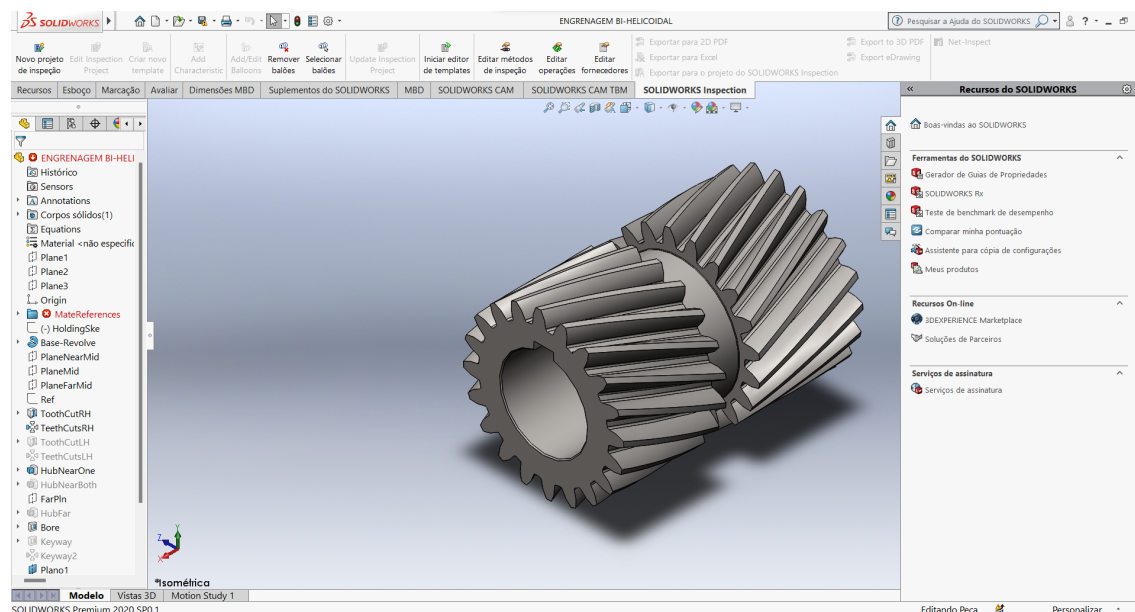


Figura 2 – Representação de uma Engrenagem BI Helicoidal

Fonte: Modelagem feita no Solidworks, 2023

2.3 Conjunto de Engrenagens Ligadas a um Eixo

As engrenagens possuem dentes (espaçados simetricamente) em torno do seu corpo. Desse modo, à medida que uma engrenagem gira, esses dentes se encaixam no espaço entre os dentes da outra engrenagem ou correntes de transmissão, de maneira sucessiva, movendo-os e transmitindo movimento. A primeira peça, chamada de parafuso sem fim,

é feita a partir da usinagem de uma rosca em torno de um eixo. A segunda peça é a coroa, que tem o formato de um cilindro achatado, com os dentes cortados em sua superfície curva, de maneira similar às das engrenagens cilíndricas. A transmissão de força entre o parafuso sem fim e a coroa é feito através do deslizamento do primeiro sobre a segunda, sendo necessário reduzir os efeitos da fricção entre as peças. Este deslizamento acaba gerando um desafio para a lubrificação desse tipo de engrenagem, já que uma peça acaba removendo o lubrificante da outra com esse movimento contínuo de raspagem das superfícies dos dentes. Este atrito também leva ao aumento de temperatura, que pode acabar até mesmo a comprometer a capacidade de suporte de carga das engrenagens. Devido a isso, geralmente o parafuso sem fim é feito de um material duro, enquanto que a coroa é feita de um material mais macio. Se forem utilizados os metais nas duas peças, ambos devem apresentar baixo coeficiente de fricção(Abecom Rolamentos e Produtos de Borracha LTDA 2022).

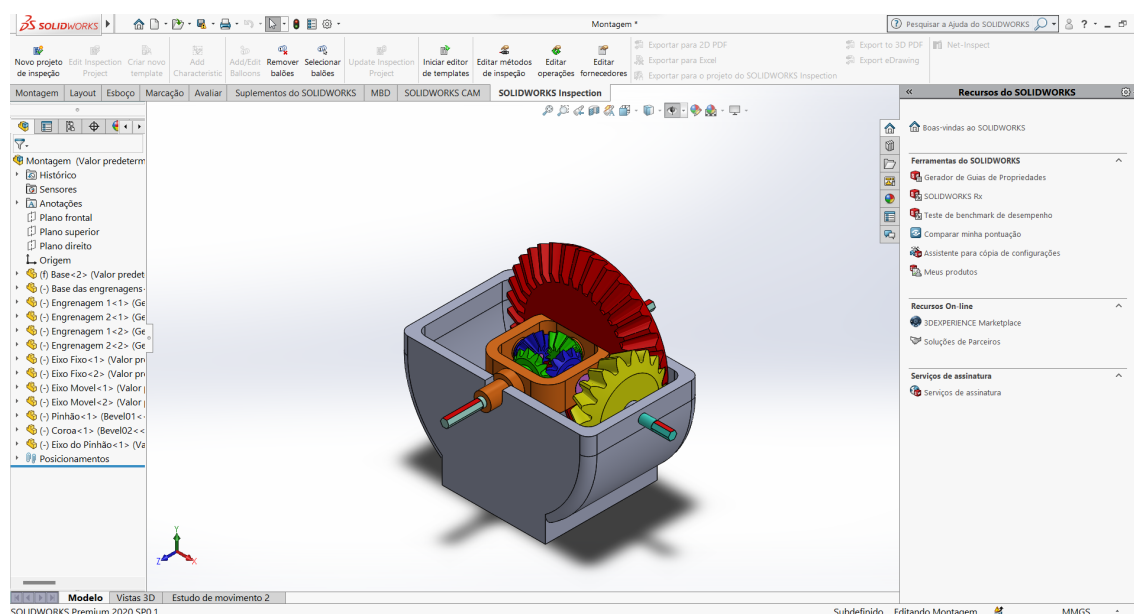


Figura 3 – Representação de um Conjuntos de Engrenagens Ligadas a um Eixo

Fonte: Modelagem feita no Solidworks, 2023

3. Simulação e resistência das peças modeladas

Uma simulação é uma imitação aproximada da realidade, operação de um processo ou sistema que representa sua operação ao longo do tempo. A simulação é usada em muitos contextos, como simulação de tecnologia para ajuste ou otimização de desempenho, engenharia de segurança, testes, treinamento, educação e videogames. Frequentemente, experimentos de computador são usados para estudar modelos de simulação. Simulação também é usada com modelagem científica de sistemas naturais ou sistemas humanos para obter uma visão sobre seu funcionamento, como na economia. Segundo Produção JR 2021 - A simulação pode ser usada para mostrar os eventuais efeitos reais de condições alternativas e cursos de ação. A simulação também é usada quando o sistema real não pode ser ativado, porque pode não ser acessível, ou pode ser perigoso ou inaceitável de ser ativado, ou está sendo projetado, mas ainda não foi construído, ou pode simplesmente não existir.

Em computação, simulação consiste em empregar formalizações em computadores, tais como expressões matemáticas ou especificações mais ou menos formalizadas, com

o propósito de imitar um processo ou operação do mundo real. Desta forma, para ser realizada uma simulação, é necessário construir um modelo computacional que corresponda à situação real que se deseja simular. A simulação computacional de sistemas, ou apenas simulação, consiste na utilização de certas técnicas matemáticas, empregadas em computadores, as quais permitem imitar o funcionamento de, praticamente qualquer tipo de operação ou processo do mundo real, ou seja, é o estudo do comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos. Existem diversas definições para a simulação, dentre elas podemos citar a de Pegden (1990) que diz “a simulação é um processo de projetar um modelo computacional de um sistema real e conduzir experimentos com este modelo com o propósito de entender seu comportamento e/ou avaliar estratégias para sua operação”. Desta maneira, podemos entender a simulação como um processo amplo que engloba não apenas a construção do modelo, mas todo o método experimental que se segue, buscando:

- Descrever o comportamento do sistema
- Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas
- Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

3.1 Estudo de malhas e elementos finitos dentro da simulação

Os elementos finitos são conectados entre si por pontos, os quais são denominados de nós ou pontos nodais. Ao conjunto de todos esses itens – elementos e nós – dá-se o nome de malha. Em função dessas subdivisões da geometria, as equações matemáticas que regem os comportamentos físicos não serão resolvidas de maneira exata, mas de forma aproximada por este método numérico. Desenvolvimento de um programa computacional para análise de trincas via método dos elementos de contorno: modelagem de sólidos e geração de malha A precisão do Método dos Elementos Finitos depende da quantidade de nós e elementos, do tamanho e dos tipos de elementos da malha. Ou seja, quanto menor for o tamanho e maior for o número deles em uma determinada malha, maior a precisão nos resultados da análise. Os softwares de simulação computacional vêm evoluindo e buscam aprimorar as análises abordadas pelo método, melhorando a escolha dos tipos e a geração da malha de elementos, as técnicas de modelagem, os critérios de aceitação, erros e a apresentação dos resultados, facilitando a utilização desta ferramenta. Dessa maneira, o conhecimento dos fundamentos do método é essencial para que juntamente com o domínio dos softwares sejam desenvolvidas boas práticas para uma aplicação consistente deste poderoso recurso no desenvolvimento e avaliação de produtos e projetos (Schiara, Leandro de Souza, Repositório Institucional – UNESP 2023).

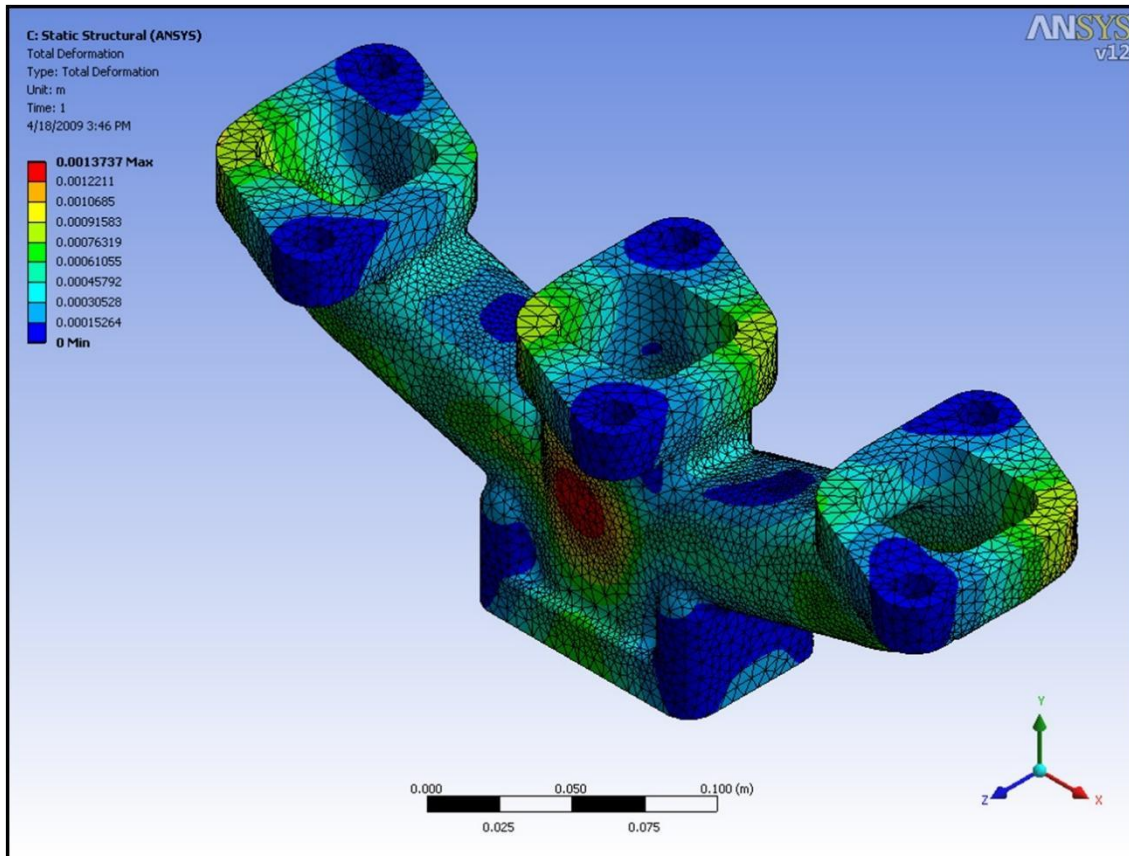


Figura 4 – Representação final dos dados de uma simulação completa com estatísticas
Fonte: Modelagem feita no Solidworks, 2023

3.2 Aplicações do Método dos Elementos Finitos

O método pode ser aplicado na resolução e diagnóstico de problemas de análise estrutural por meio da obtenção de deslocamentos, deformações e tensões, também permite representar diversos cenários e avaliar o desempenho de produtos com a aplicação de critérios de resistência, rigidez ou fadiga. Além disso, variações do Método dos Elementos Finitos viabilizam a análise térmica, acústica, dinâmica, eletromagnética e de fluidos para casos mais simples de comportamento linear ou outros não lineares, como quando há grandes deslocamentos ou contato entre partes de uma montagem. Fazer a malha do modelo de elementos finitos; Definir as cargas e condições de restrição; Resolver a análise; Verificar os resultados (tensão, deformação e deslocamento) (ENSUS – Advanced Engineering 2021).

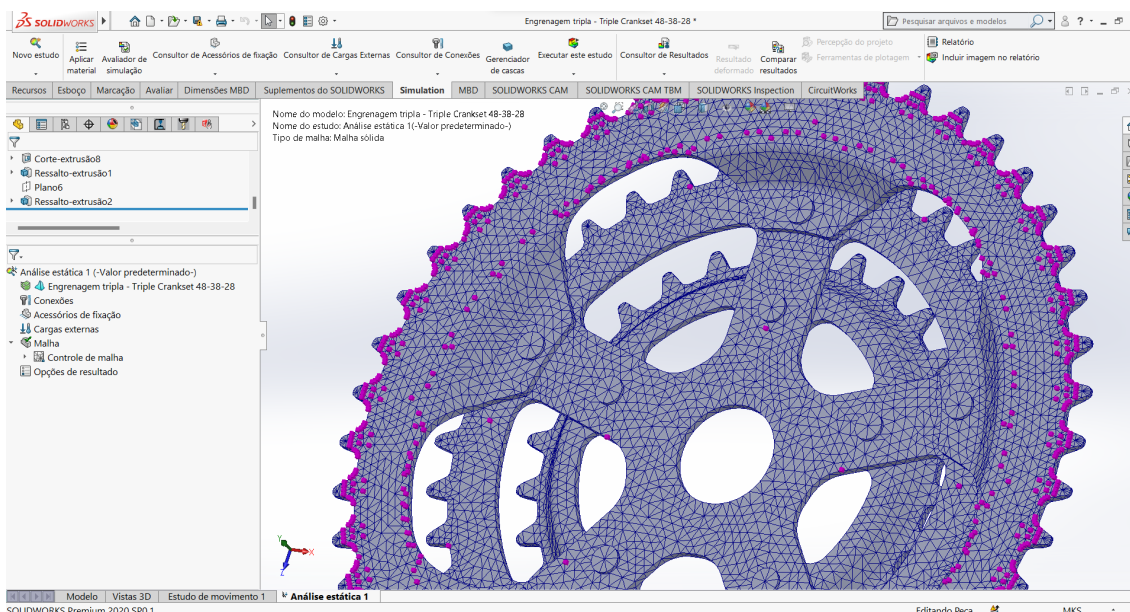


Figura 5 – Representação da criação do conjunto de malhas com elementos finitos

Fonte: Modelagem feita no Solidworks, 2023

É possível, portanto, com as tecnologias atuais realizar integrações com os softwares utilizados no desenvolvimento de representação geométrica – conhecidos como CAD (Computer Aided Design) – com os sistemas baseados no Método dos Elementos Finitos – denominados de CAE (Computer-Aided Engineerig). Essa integração permite alcançar melhores resultados com análises mais eficientes e ágeis.

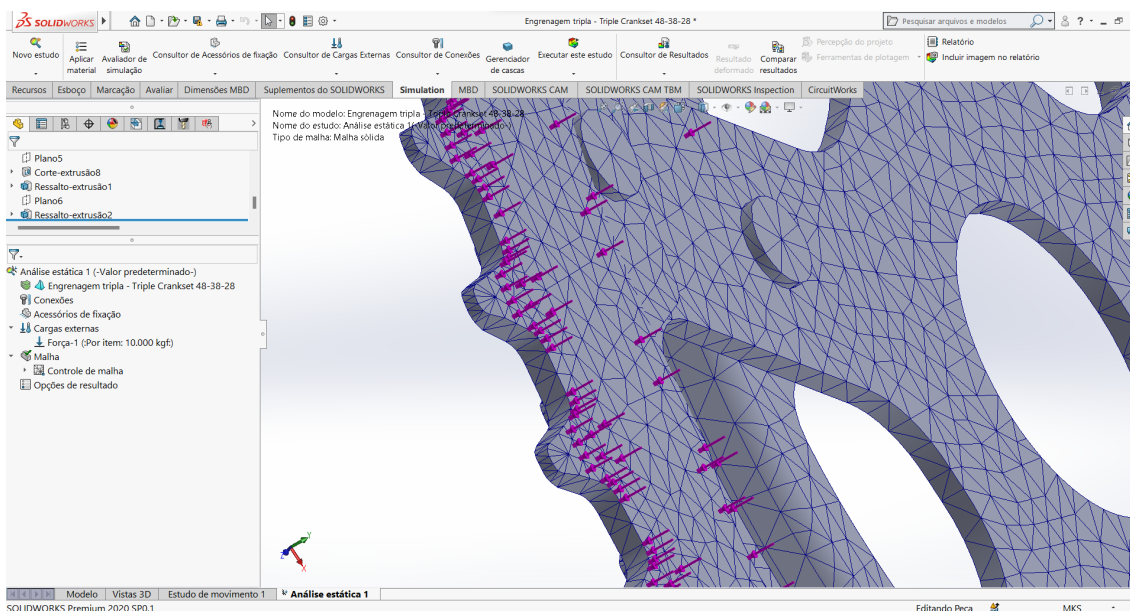


Figura 5 – Representação da aplicação de uma força no sentido determinado da peça

Fonte: Modelagem feita no Solidworks, 2023

4. Importância de usar a modelagem computacional de elementos mecânicos

Simulações computacionais têm se destacado, praticamente, em todas as áreas de Engenharia. Isto se deve ao desenvolvimento de novos produtos, a busca pela redução de custos, tempo e recursos consumidos em ensaios e testes experimentais, os quais podem ser minimizados com a utilização de simulações numéricas. Neste trabalho buscou-se conhecer a importância e a aplicação da modelagem computacional nas diversas áreas de abrangência da Engenharia e os fatores importantes para o desenvolvimento de projetos e pesquisas. A simulação é um recurso inestimável pois permite, através de modelos matemáticos condizentes com o problema, prever e observar fenômenos e situações com acurácia e precisão. Produzir e executar um determinado experimento, repetidas vezes, pode ser impossível devido aos custos decorrentes ou às dimensões dos elementos envolvidos. No entanto, com as ferramentas computacionais adequadas, a simulação de tal processo está atrelada ao modelo matemático e ao conhecimento das relações físicas que regem o experimento, bem como ao custo computacional necessário para reproduzir tal situação. A integridade das estruturas pode ser seriamente afetada pela presença de trincas, portanto, são necessários meios de se detectar, dimensionar e avaliar a severidade desses defeitos. Para essa avaliação, a mecânica da fratura tem se mostrado uma disciplina de crescente importância no projeto e na manutenção de estruturas e equipamentos em várias indústrias, especialmente nas de aviação e de óleo e gás. O uso dessa disciplina, no entanto, normalmente exige o emprego de métodos numéricos. O método dos elementos de contorno é uma técnica bastante adequada para a modelagem de defeitos planares em face se sua propriedade de redução de dimensionalidade ((Schiara, Leandro de Souza, Repositório Institucional – UNESP 2023).

5. Conclusão

A modelagem computacional implica em alguns passos bem determinados: Fenômeno Físico – simplificação e extração das propriedades físicas, Modelo matemático – equações governantes: as Equações Diferenciais Ordinárias (EDO) e as Equações Diferenciais Parciais (EDP), Discretização do domínio do problema – métodos com malha/grades, nós ou partículas, Algoritmo Numérico – Condições iniciais e/ou de contorno, discretização numérica, aproximações das EDO por funções e/ou soluções das equações algébricas, Implementação do código – Acurácia Computacional; velocidade e armazenamento; robustez e facilidade de utilização, Simulação numérica – obtenção, validação, renderização e visualização dos resultados. A modelagem computacional está sendo aplicada em modelos climatológicos, reações químicas, comportamento de gases e até mesmo no estudo de sistemas elétricos.

Além de todas as vantagens retratadas no decorrer, podemos destacar mais algumas como: Vantagens competitivas, Versatilidade de aplicação, Permite a comparação entre cenários, Possibilita otimizações assertivas, Reduz gastos desnecessários, Evita adversidades no dia a dia da organização. Sendo assim poupando tempo, dinheiro e gastos desnecessários em teste de materiais frágeis, pois com todos os testes em modelagem computacional tem a certeza total da peças prosuzida e completa perfeitamente para produção. Apesar da assertividade que a simulação pode gerar, a falta de um amplo estudo sobre o modelo a ser utilizado pode ser prejudicial. Assim, se aproximar de profissionais dispostos a realizar este estudo, fazer a coleta e tratar os dados cautelosamente é uma decisão a ser considerada para análises bem sucedidas

Referências

ABDEL-AAL, R.E. & AL-GARNI, Z. *Forecasting Monthly Electric Energy Consumption in eastern Saudi Arabia using Univariate Time-Series Analysis*. Energy Vol. 22, n.11, p.1059-1069, 1997.

Produção Jr. Aplicabilidade da modelagem e simulação computacional, c2021. Página em: <https://producaojr.com.br/modelagem-e-simulacao-computacional/>. Acesso em: 22 de março de 2023.

Attena. Modelagem computacional usando método de elementos finitos para aplicação em ensino de eletrostática, c2016. Página em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/43394>. Acesso em: 25 de março de 2023.

Digital Library. Modelagem computacional do contato pontual entre corpos, c2018. Página em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/livredocencia/3/tde-19102018-104230/en.php>. Acesso em: 27 de março de 2023.

Esss. Métodos de elementos finitos, c2023. Página em: <https://www.esss.co/blog/metodo-dos-elementos-finitos-o-que-e/#:~:text=Os%20elementos%20finitos%20s%C3%A3o%20conectados,se%20o%20nome%20de%20malha>. Acesso em: 10 de abril de 2023.

Almeida, Francisco José Pereira. Modelagem computacional de misturas asfálticas com a utilização do método dos elementos finitos, da teoria da viscoelasticidade linear e da mecânica do dano contínuo, c2019. Página em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/40405>. Acesso em 15 de maio de 2023.

Repositório Institucional UNESP. Desenvolvimento de um programa computacional para análise de trincas via método dos elementos de contorno: modelagem de sólidos e geração de malha, c2023. Página em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/242826>. Acesso em 19 de maio de 2023.

Abecom Rolamentos e Produtos de Borracha LTDA. Engrenagem: Veja os principais tipos e aplicações. Saiba qual usar e como especificar a sua., c2022. Página em: <https://www.abecom.com.br/engrenagem-tipos-e-aplicacoes/>. Acesso em 20 de maio de 2023.