



III Encontro de Iniciação Científica e Tecnológica

III EnICT

ISSN: 2526-6772

IFSP – Câmpus Araraquara

19 e 20 de Setembro de 2018



## APLICAÇÕES DE MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO CÁLCULO DO MÓDULO DE RESILIÊNCIA E TENACIDADE.

GABRIELA LISBOA DE ALMEIDA, FABIANA TESINE BAPTISTA

<sup>1</sup> Graduanda em Engenharia Mecânica, Bolsista PIBIFSP, IFSP Campus Piracicaba, lisboagabriela07@gmail.com.

<sup>2</sup> Docente do Instituto Federal São Paulo, Campus Piracicaba, prof\_tesine@ifsp.edu.br

**Área de conhecimento** (Tabela CNPq): Matemática Aplicada – 1.01.04.00-3

**RESUMO:** O estudo de Métodos Numéricos é fundamental em diversas áreas da Engenharia Mecânica, seja na análise de dados ou no próprio cálculo de hipóteses e projetos; porém os engenheiros frequentemente recorrem à utilização de soluções prontas para a resolução de problemas na área técnica não aplicando os Métodos Numéricos em nenhuma forma. Uma possível causa desse efeito decorre do fato que a maioria dos alunos não conseguem relacionar as disciplinas da área técnica com as disciplinas da área geral enquanto cursam Engenharia. É de extrema importância que o graduando aprenda a aplicar os Métodos Numéricos em problemas didáticos simples, pois a função desses é auxiliar na compreensão e modelagem de fenômenos físicos interpretando os resultados empíricos. Baseado nisso, esse trabalho propõe um estudo e aplicação de Métodos Numéricos na área de Ensaio Mecânico, aplicando métodos de Integração Numérica e obtendo, a partir disso, os valores aproximados do Módulo de Resiliência e Tenacidade por meio dos gráficos de Tensão e Deformação. O resultado esperado é a construção de uma tabela com os módulos de Resiliência e Tenacidade de determinados materiais, obtidos por meio da utilização dos Métodos de Newton-Cotes e repassada para linguagem computacional C++.

**PALAVRAS-CHAVE:** ensaio de tração; métodos numéricos; módulo de resiliência; módulo de tenacidade; Newton-cotes.

### INTRODUÇÃO

O estudo de Métodos Numéricos é fundamental em diversas áreas da engenharia, seja na análise ou na modelagem dos dados utilizados em projetos, procurando demonstrar isso este trabalho propõe um estudo de Métodos Numéricos na área de Ensaio Mecânico e como objeto de estudo escolheu-se o ensaio de tração, um ensaio amplamente utilizado na determinação e avaliação de importantes propriedades mecânicas. Entretanto, os equipamentos de ensaio de tração na maioria das vezes não determinam o valor de algumas propriedades concomitantemente aos ensaios, como por exemplo, a tenacidade, característica definida como a quantidade de energia que o material absorve antes de romper; e a resiliência definida como a quantidade de energia que o material absorve sem sofrer deformação plástica; obrigando assim o executor do ensaio a buscar tabelas prontas em livros, utilizando assim valores aproximados com uma determinada margem de erro para esses valores. Nesse projeto os valores aproximados do Módulo de Resiliência e Tenacidade serão obtidos por meio da aplicação dos Métodos de Integração Numérica nos resultados dispostos pela Máquina Universal de Ensaio em gráficos de tração por deformação, permitindo a aplicação de métodos de modelagem e compreensão de fenômenos físicos com base em resultados numéricos empíricos.

Portanto, esse estudo envolve a aplicação dos Métodos de Newton-Cotes para Integração Numérica, como a Regra do Trapézio e as Regras de Simpson, nos resultados obtidos graficamente através dos ensaios realizados na máquina, os dados calculados serão comparados com os resultados obtidos em livros, demonstrando a minimização dos erros das tabelas prontas, para finalizar esse trabalho visa desenvolver

programas computacionais em linguagem C/C++ para serem utilizados por turmas posteriores, mostrando assim a importância da aplicação de Métodos Numéricos nas disciplinas técnicas.

## FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

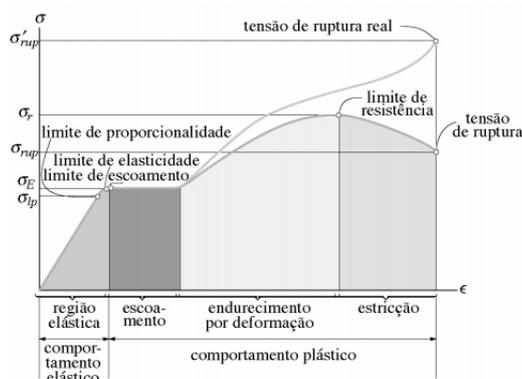
Na elaboração de um projeto o engenheiro necessita de uma série de propriedades mecânicas do material a ser utilizado, podendo se destacar: resistência, elasticidade, plasticidade, resiliência e tenacidade. Desta forma o projetista necessita determinar o valor dessas propriedades para realizar a seleção e dimensionamento do material que será utilizado na fabricação do seu projeto, seja ele uma peça ou um componente; atualmente o ensaio mecânico mais utilizado é o ensaio de tração.

“Entre os diversos tipos de ensaios existentes para avaliação das propriedades mecânicas dos materiais, o mais amplamente utilizado é o Ensaio de Tração.” (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012). Pois esse ensaio é: “um experimento considerado relativamente simples e com rapidez nos resultados.” (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012)

Callister (2011) explica que durante os ensaios convencionais, as extremidades do corpo de prova são alocadas as garras da Máquina Universal de Ensaio e elas são tracionadas na mesma direção, mas em sentidos opostos, assim se analisa a força aplicada e a deformação do material, gerando gráficos e possibilitando a realização de cálculos para determinação de propriedades mecânicas. Para melhor análise, é aplicado sobre dois pontos da amostra um equipamento denominado extensômetro, o qual registra precisamente a deformação longitudinal da peça a prova.

O ensaio de compressão é utilizado quando a exigência do projeto passa por cargas de compressão como no caso de colunas, barramentos, suportes e outros. E pode ser trabalhada com matérias que possuem fraturas frágeis a tração, assim sendo a forma mais indicada de análise do material. (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012)

As normas para realização deste tipo de ensaio são a ABNT NBR 6892/13 para metais e a ABNT NBR 12025/12 para concretos; os ensaios realizados neste projeto irão seguir tais normas. A Máquina Universal de Ensaio realiza também ensaios de compressão, sendo o resultado dos dois tipos de ensaios os gráficos de Tensão x Deformação (Figura 1) que relaciona a tensão pela deformação específica do material, este gráfico tem características particulares e nos passa diversas informações a respeito das propriedades do material utilizado. A análise dos resultados do ensaio de compressão são as mesmas que o de tração, assim são obtidos os mesmos parâmetros e são utilizadas as mesmas analogias, cálculos e gráfico.



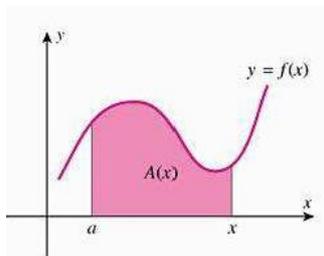
**Figura 1. Diagrama de Tensão x Deformação.**

**Fonte: HIBBELER, 2000.**

Como fica evidenciado no gráfico acima, podemos adquirir uma série de valores neste ensaio e na análise de seu resultado. Porém, neste projeto vamos focar em dois módulos específicos que são fundamentais para determinação de características como a elasticidade e a energia absorvida pelo material. Os valores que serão estudados são o Módulo de Resiliência e o Módulo de Tenacidade, uma vez que os dois são representados por áreas do gráfico, sendo o primeiro a área representada pela região elástica e o segundo representado pela área total do gráfico.

Observa-se que esses fenômenos físicos apresentam um nível de complexidade relacionado à geometria, mais específico ao cálculo de áreas e através disto é possível utilizar os Métodos Numéricos para calcular tais áreas dos gráficos fornecidos pela Máquina Universal de Ensaio. Em Cálculo Diferencial e

Integral podemos obter a área entre um eixo  $x$  e uma curva  $y$  (Figura 2) e delimitada por um intervalo através do cálculo da integral definida.



**Figura 2. Área delimitada pelo eixo  $x$  e a curva  $y$  no intervalo  $[a, x]$ .**

**Fonte: ANTON, BIVENS e DAVIS, 2007.**

No entanto é necessário que a Máquina Universal de Ensaio forneça a curva  $y$ , mas a máquina em questão fornece apenas os pontos da curva de ensaio, então não é possível calcular de maneira analítica a área entre a curva e o eixo no diagrama de Tensão x Deformação (Figura 1).

As fórmulas de Newton-Cotes são os esquemas mais comuns de Integração Numérica. Elas são baseadas na estratégia de substituir uma função complicada ou dados tabulados por uma função polinomial aproximada que seja fácil de integrar. (CHAPRA e CANALE, 2008, p. 504)

Então, os Métodos Numéricos nos permitem calcular a área aproximada de cada região do gráfico utilizando as fórmulas de Newton-Cotes, como a Regra dos Trapézios e as Regras de Simpson. Estimando também o erro de cada método para decidir qual é o melhor grau de polinômio e o melhor método a ser utilizado. Assim temos como comparar o resultado obtido pela integração aproximada do gráfico para a área de um trapézio representando a integral numérica da mesma seção do gráfico sem aproximações.

Para o Módulo de Tenacidade utiliza-se toda a extensão do gráfico, adquirida pela integral de todas as regiões. Assim temos uma simplificação para o cálculo da tenacidade, mas a indicação ideal para obtenção desse módulo é uma Integração Numérica que será calculada nesse trabalho através das fórmulas de Newton-Cotes, como citado anteriormente. Esse módulo representa a capacidade que o material tem de absorver energia até fraturar, ou seja, quantifica a dificuldade de levar o material a fratura. (GARCIA, SPIM e SANTOS, 2012)

## **METODOLOGIA**

O projeto terá sua metodologia apoiada nas etapas descritas a seguir:

Etapa 1: Revisão e estudo da bibliografia citada. Etapa 2: Estudo das normas de execução dos ensaios de tração e compressão vigentes no Brasil. Etapa 3: Definição dos materiais e realização dos ensaios na Máquina Universal de Ensaio para obtenção dos dados e análise dos gráficos fornecidos pela máquina. Etapa 4: Escolha dos melhores pontos e a divisão do intervalo de integração conforme a mudança de traçado da curva dada pelo gráfico Tensão x Deformação. Etapa 5: Análise e determinação do melhor método de Newton-Cotes para cada intervalo dividido. Etapa 6: Resolução descritiva (sem utilização de artifícios computacionais) das integrações numéricas utilizando os métodos de Newton-Cotes. Etapa 7: Desenvolvimento de um programa computacional em Linguagem C e C++ para o cálculo de áreas do gráfico Tensão x Deformação dentro dos intervalos selecionados na Etapa 4 usando algoritmos de Métodos Numéricos (métodos de Newton-Cotes definidos na Etapa 5). Etapa 8: Comparação dos valores obtidos na Etapa 6 com os valores obtidos na Etapa 7, para observação de equivalência entre os valores encontrados. Etapa 9: Confrontamento e discussão dos valores obtidos através de Métodos Numéricos com os valores fornecidos pela Máquina Universal de Ensaio. Será construída uma tabela com os materiais e seus módulos calculados nesse projeto, tornando clara a significância do uso de Métodos Numéricos nas áreas práticas da Engenharia Mecânica.

## **CONCLUSÕES**

Até o momento foram obtidos os ensaios dos seguintes materiais: aço SAE 1045 e Alumínio; e seus ensaios geraram gráficos de tensão por deformação, os valores de cada ponto do ensaio foram extraídos do software da Máquina Universal de Ensaio em um arquivo de texto (.txt) e inseridos no Excel, para fins de organização dos dados e a aplicação dos Métodos de Integração Numérica foi feita em um primeiro momento de forma manual. Com a curva dos gráficos notou-se a viabilidade da aplicação dos métodos de Newton-Cotes para a determinação dos módulos supracitados.

Para a realização dos ensaios as normas foram estudadas e seus procedimentos foram seguidos na confecção dos corpos de prova e na execução dos ensaios, uma das dificuldades enfrentadas foi a aquisição dos materiais, uma vez que o projeto demandou uma quantidade pequena de materiais e os fornecedores atendem a demandas muito maiores para a indústria, por isso foi difícil obter uma resposta e comprar o material certificado dos fornecedores.

Os pontos gerados pela Máquina Universal, durante o ensaio, possibilitam o uso da Regra dos Trapézios e Regra de Simpson, que por sua vez, permitem a obtenção dos módulos de Resiliência e Tenacidade através da área da região elástica e da área total, respectivamente; com a impressão dos gráficos obtidos através da Máquina de ensaios observou-se que será necessária a aplicação de diferentes métodos, Método de Simpson e Método do Trapézio em intervalos diferentes do gráfico corroborando assim para uma maior aplicação de Métodos Numéricos.

Os valores obtidos serão tabelados e comparados com a literatura atual de Ensaio Mecânicos e Materiais para a Construção Mecânica; espera-se que esse estudo desencadeie uma série de melhoramentos nas tabelas utilizadas atualmente e que os valores obtidos sejam mais fidedignos as características dos materiais, garantindo assim a qualidade dos projetos executados.

Além das conclusões acima, almeja-se que esse estudo propicie um estreitamento entre as disciplinas de Métodos Numéricos e as disciplinas técnicas, como a de Ensaio Mecânicos, uma vez que a primeira pode ser aplicada na complementação da segunda, pois os Métodos Numéricos são utilizados para modelamento e análise de fatos físicos por meio de resultados empíricos, caso muito comum nos projetos mecânicos durante a aplicação de novos materiais e no desenvolvimento de novas tecnologias.

## AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao aluno Gabriel Leandro Lopes Nanzer pela ideia inicial do trabalho, ao técnico da área de indústria Gabriel de Carvalho e a professora Dra. Daniele Maria Bruno Falcone Oian pelo apoio dado na execução desse projeto.

## REFERÊNCIAS

- ANTON, H.; BIVENS, I.; DAVIS, S. **Cálculo**. 8ª Edição. ed. Porto Alegre: Bookman Companhia Editora Ltda., v. 1, 2007.
- ARENALES, S.; DAREZZO, A. **Cálculo Numérico Aprendizagem com apoio de software**. 2ª Edição revisada e ampliada. ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2016.
- BARROS, I. Q. **Introdução ao cálculo numérico**. São Paulo: Edgar Blucher, 1972.
- BARROSO, L. C. **Cálculo Numérico (com aplicações)**. 2ª Edição. ed. São Paulo: Harbra, 1987.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais uma Introdução**. 7ª Edição. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011.
- CHAPRA, S. C.; CANALE, R. P. **Métodos Numéricos para Engenharia**. 5ª Edição. ed. São Paulo: McGraw-Hill Interamericana do Brasil Ltda., 2008.
- FRANCO, N. B. **Cálculo Numérico**. 1ª Edição. ed. São Paulo: Person Prentice Hall, 2006.
- GARCIA, A.; SPIM, J. A.; SANTOS, C. A. D. **Ensaio dos Materiais**. 2ª Edição. ed. RIO de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 2012.
- HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 3ª Edição. ed. São Paulo: Ltc - Livros Técnicos e científicos s/a, 2000.
- J D FAIRES, R. L. B. **Análise numérica**. São Paulo: Pioneira, 2003.
- RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L. R. **Cálculo Numérico - Aspectos Teóricos e Computacionais**. 2ª Edição revisada. ed. São Paulo: Person Makron Books, 2014.
- SPERANDIO, D.; MENDES, J. T.; SILVA, L. H. M. **Cálculo Numérico: Características matemáticas**. 1ª Edição. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2003.
- STOER, J.; BULIRCH, R. **Introduction to numerical analysis**. Nova York: Springer-Verlag, 2002.
- WOODFORD, C.; PHILIPS, C. **Numerical Methods with Worked Examples**. Londres: Chapman & Hall, 1997.