

AValiação DA DEFLEXÃO DA VIGA EM BALANÇO E DO MÓDULO DE YOUNG

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4524

Abner Vieira Pereira - abner.pereira@aluno.cefet-rj.br
CEFET

Sara Rodrigues Duarte Montenegro - sara.montenegro@aluno.cefet-rj.br
CEFET

Tuani da Silva Carvalho - tuanicarvalhoeng@gmail.com
CEFET

Lucy Hellen Caldas Carioca - lucy.carioca@aluno.cefet-rj.br
CEFET

Leandra Almeida de Jesus - leandra.jesus@aluno.cefet-rj.br
CEFET

Rebeca Cremoniz Portinho de Carvalho - cremonezrebeca@gmail.com
CEFET

Guilherme Conceição Oliveira - guilhermeangra1998@hotmail.com
CEFET

Hugo Claus da Silva Martins - claushugo77@gmail.com
CEFET

Felipe de Almeida Rosa - felipe.almeida@aluno.cefet-rj.br
CEFET

Fernando da Silva Araújo - fernando.araujo@cefet-rj.br
CEFET

Otávio Uchôa Coimbra leal - otavioucleal@gmail.com
CEFET

Resumo: Este trabalho tem por objetivo aplicar uma estratégia de ensino para o estudo de deflexão de vigas e eixos, na disciplina Resistência dos Materiais II que compõe o ciclo profissionalizante da Graduação em Engenharia Mecânica, do CEFET/RJ Campus Angra dos Reis. Este tipo de metodologia utilizando conceitos da Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP) proporciona motivação, interesse, autonomia e interação dos alunos diante de cada uma das etapas realizadas no trabalho. O intuito do experimento foi proporcionar aos alunos da graduação a aplicação prática dos conceitos de Resistência dos Materiais vistos em aula. Sendo assim, o presente trabalho buscou desenvolver um protótipo de viga, com aparato de baixo custo, submetê-lo a pesos progressivos e observar sua deflexão. A partir dos dados obtidos, o coeficiente angular da reta foi calculado e, a partir dele, encontrou-se que o módulo de elasticidade (E) experimental foi de 2,893 GPa - que em comparação com o E catalogado estava dentro do limite disposto na literatura (entre 2,41 e 4,14 GPa). Em seguida, foi feita uma simulação de viga pelo software Fusion 360 para um material que também tivesse 2,893 GPa como módulo de elasticidade. Nessa etapa, a viga projetada por simulação foi submetida aos mesmos pesos que o protótipo de viga foi submetido no experimento. A comparação entre os resultados das deflexões obtidas experimentalmente e por simulação foi satisfatória, demonstrando bastante similaridade de resultados obtidos entre os dois métodos. Além disso, a partir das respostas ao questionário aplicado ao final do trabalho, foi verificada a importância da estratégia de ensino empregada com a qual os alunos conseguiram assimilar a teoria e compreenderam o fenômeno de forma mais fácil e motivadora.

Palavras-chave: Aprendizagem baseada em projeto. Deflexão de viga. Resistência dos Materiais. Módulo de Elasticidade.

AVALIAÇÃO DA DEFLEXÃO DE VIGA EM BALANÇO E DO MÓDULO DE YOUNG

1 INTRODUÇÃO

Um dos fatores mais importantes em qualquer análise estrutural é a observação do fenômeno da deflexão dos corpos, que é dada pelo grau de deslocamento que ocorre em uma parte do elemento submetida a um determinado carregamento. A previsão precisa desse tipo de deformação é crucial para as especificações de todo tipo de projeto de viga, pois está diretamente ligada a potenciais falhas desta (GAWANDE, 2023). Diante dos potenciais riscos que podem ser observados nos projetos estruturais, existem alguns desafios encontrados durante o processo de análise da deflexão estrutural, por exemplo, as diversas variáveis que podem estar influenciando a viga em questão como material, tipo de suporte e cargas exercidas sobre a viga. Por conta disso, atualmente são aplicados diversos métodos, como a utilização de sonares ultrassônicos, laser, correlação de imagens digitais, acelerômetros, entre outros com a finalidade de se obter medições mais precisas e evitar potenciais falhas do projeto (DATTA, 2023).

De acordo com estudo de deflexão realizado por Minghsiung Ho et al (2020), com o objetivo de entender a rigidez estrutural em vigas extrudadas de alumínio 6063-T5, os autores compararam dois métodos de apoios diferentes de uma viga. O primeiro método em que uma viga foi engastada em uma extremidade e na outra extremidade livre aplicou-se uma carga, foi observado uma maior deflexão em comparação com o segundo método no qual as duas extremidades de uma viga foram engastadas e uma carga foi aplicada no meio do vão. Ressalta-se que os dados experimentais obtidos no estudo ficaram restritos ao regime de deformação linear elástica do material. Portanto, a rigidez estrutural foi maior no caso da viga bi-engastada, devido à restrição de duplo apoio.

Na prática da engenharia a deflexão elástica para vigas e eixos em sua maioria é limitada a pequenas deflexões. Cristian Comin et al (2021) analisaram a deflexão de uma barra de aço e constataram que o aumento da diferença entre os dados analíticos e experimentais com o aumento da carga e, por consequência, o aumento da deflexão, por exemplo, com uma carga de 3 kgf aplicada obteve-se um erro relativo de 0,7584% entre o método analítico e o experimental, enquanto com uma carga de 10 kgf obteve-se um erro de 37,3469%.

Em um estudo experimental e didático realizado por Eliedson Carvalho et al (2021), com o objetivo de determinar o módulo de elasticidade, foi medida a inclinação de um protótipo de viga e, a partir dos dados obtidos no experimento, observou-se que o módulo de elasticidade obtido em cada medição diminuiu com o aumento da carga. Os autores expressaram que isso pode estar relacionado também com a limitação das pequenas deflexões que é imposta pela equação utilizada.

Diante do exposto, é importante o egresso dos cursos de engenharia ter uma formação sólida na área de Mecânica dos Materiais a fim de projetar componentes mecânicos, máquinas e estruturas de forma otimizada, segura e confiável. Sendo assim, novas formas de ensinar são necessárias para motivar e melhorar o aprendizado do aluno. Dentre as metodologias ativas, pode-se destacar a Aprendizagem Baseada em Projetos – ABP (*Project Based Learning* - PBL) a qual, permite que os estudantes confrontem questões e problemas do mundo real significativos para eles, determinando assim a maneira mais prática de abordá-los e estabeleçam ação cooperativa em busca de soluções (CARVALHO et al, 2021).

Assim, este trabalho tem como objetivo determinar a deflexão em um protótipo de

viga, para analisar seu comportamento em relação aos esforços submetidos a ele. Adicionalmente, realizar uma simulação computacional pelo software Fusion 360 para um material com as mesmas medidas e módulo de elasticidade (E) que foi calculado a partir do experimento, considerando também os pesos os quais a viga foi submetida, a fim de comparar a deflexão observada empiricamente e pela simulação. Além disso, será aplicado um questionário para avaliar a estratégia de Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP) para a turma da disciplina de Resistência dos Materiais II do CEFET/RJ, Uned Angra dos Reis.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Usinagem, localizado no CEFET/RJ – Uned Angra dos Reis, pelos alunos da disciplina de Resistência dos Materiais II. O trabalho consiste na comparação entre os resultados (experimental e por simulação) da deflexão de uma viga submetida às mesmas condições para ambos os casos. Tendo em vista que os valores usados para a simulação levariam em conta os dados obtidos experimentalmente, o trabalho dividiu-se nas seguintes etapas: escolha do protótipo de viga, experimento, cálculo analítico e simulação. Além disso, uma etapa adicional de avaliação da metodologia de ensino foi feita por meio de um questionário enviado aos alunos.

2.1 Escolha do protótipo de viga

Essa escolha levou em consideração a pretensão do trabalho que foi, de modo didático, aplicar os conceitos de Resistência dos Materiais em um experimento e que fosse acessível e de baixo custo. Assim, para a simulação da viga, um cano de PVC (Cloreto de Polivinila) foi escolhido como material para o trabalho, por se enquadrar nos requisitos anteriormente citados.

As dimensões da peça utilizada são descritas na Tabela 1:

Tabela 1 – Dimensões do protótipo de viga

Comprimento da "viga" (L)	Material	Diâmetro interno (d)	Diâmetro externo (D)
1000 mm	PVC (cloreto de polivinila)	16,64 mm	20 mm

Fonte: Própria dos autores.

Momento de inércia de área da viga

O momento de inércia de uma área é uma grandeza que surge sempre que é feita a relação entre a tensão normal, σ , ou força por unidade de área que atua na seção transversal de uma viga elástica, e o momento externo aplicado M, que causa curvatura da viga (Hibbeler, 2006).

Segundo Hibbeler (2010), o momento de inércia de área da seção transversal de um eixo tubular pode ser calculado pela Equação (1):

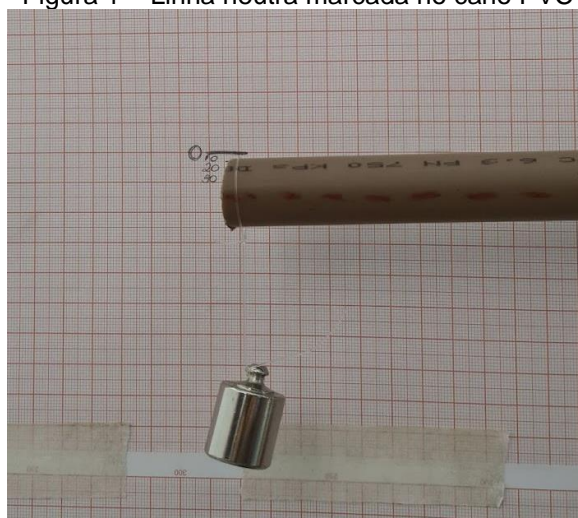
$$I = \pi(D^4 - d^4)/64 \quad (1)$$

Onde D é o diâmetro externo e d é o diâmetro interno. Substituindo os valores na Equação (1) acima, obteve-se um momento de inércia de $4090,557 \text{ mm}^4$ para o protótipo de viga.

2.2 Experimento

Foi feita uma marcação longitudinal (linha tracejada) no cano de PVC utilizado representando a linha neutra da viga, a qual foi utilizada como o “zero” das medições, para que a deflexão fosse medida a partir dela, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Linha neutra marcada no cano PVC



Fonte: Própria dos autores

Em seguida, o cano de comprimento total de 1120 mm foi preso na morsa de bancada disposta no Laboratório de Usinagem, de modo que a “viga” tenha ficado com comprimento $L = 1000 \text{ mm}$ em balanço para defletir. Um papel milimetrado foi colado em um quadro, posicionado de forma que fosse possível observar e medir a deflexão do cano tendo como base de referência a escala do papel. O arranjo experimental é mostrado na Figura 2.

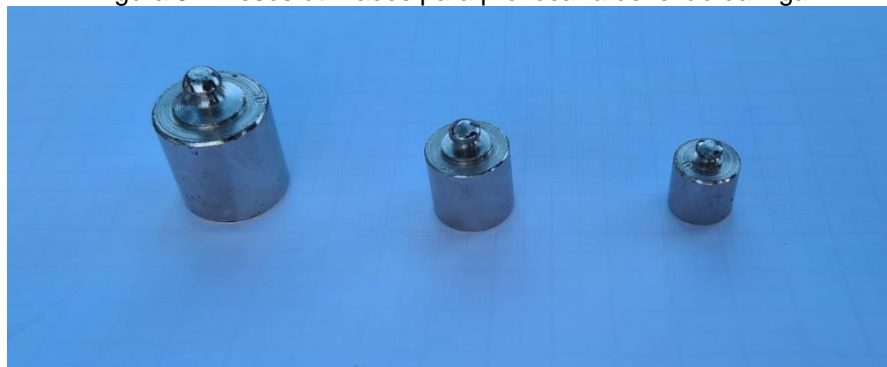
Figura 2 – Aparato experimental montado



Fonte: Própria dos autores

Após isso, foram utilizados pesos de 10, 20 e 50 gramas (conforme Figura 3) para submeter a viga a carregamentos de 10, 20, 30, 40, 50, 60 e 70 gramas. Para isso, eles foram posicionados na extremidade livre da viga por meio de um fio de *nylon*, como referenciado também na Figura 1.

Figura 3 – Pesos utilizados para provocar a deflexão da viga



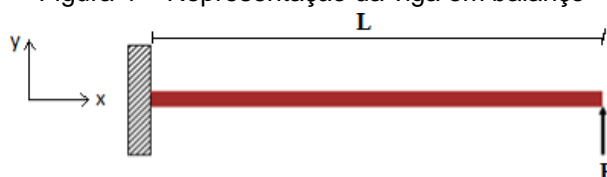
Fonte: Própria dos autores

Dessa forma, a deflexão indicada para cada peso foi marcada no papel milimetrado e então medida. Para auxílio dessa leitura, fotos da viga a cada carregamento foram tiradas por um celular que estava sempre na mesma posição em relação à viga, para que a leitura das deflexões sobre o papel milimetrado fossem feitas com o mesmo fator de escala.

2.3 Cálculo analítico

Os cálculos analíticos foram realizados utilizando linguagem de programação *Python*. Para este fim, foram necessárias as importações das bibliotecas *Sympy* e *Numpy*, além do módulo *Continuum Mechanics*, preponderante para o desenvolvimento dos cálculos envolvendo a teoria de resistência dos materiais. A configuração do sistema proposto está representada na Figura 4, salientando que a orientação da força está no sentido oposto ao realizado no experimento devido a uma imposição do módulo supracitado, no entanto, esse fato não gera impactos nos resultados, pois o módulo das forças e das deflexões é o mesmo.

Figura 4 – Representação da viga em balanço



Fonte: Própria dos autores

Para calcular a deflexão, o primeiro passo consistiu em determinar as reações do sistema. Adotou-se um engaste em $x = 0$, pelo fato da viga estar presa a uma morsa na sua extremidade inicial. Dessa forma, foi preciso calcular o momento M_0 e a reação R_0 na direção y para este ponto. E, aplicando as fórmulas $\sum F_y = 0$ e $\sum M_0 = 0$, obteve-se:

$$R_0 = -P \quad (2)$$

$$M_0 = LP \quad (3)$$

Após isso, as funções de Macaulay foram usadas para encontrar:

- A equação de carregamento

$$w(x) = LP \langle x \rangle^{-2} - P \langle x \rangle^{-1} + P \langle x - L \rangle^{-1} \quad (4)$$

- A equação de cisalhamento

$$V(x) = -LP \langle x \rangle^{-1} + P \langle x \rangle^0 - P \langle x - L \rangle^0 \quad (5)$$

- A equação do momento

$$M(x) = -LP \langle x \rangle^0 + P \langle x \rangle^1 - P \langle x - L \rangle^1 \quad (6)$$

- A equação de inclinação

$$\theta(x) = \left(LP \langle x \rangle^1 - \frac{P \langle x \rangle^2}{2} + \frac{P \langle x - L \rangle^2}{2} \right) \frac{1}{EI} \quad (7)$$

- A equação da deflexão

$$y(x) = \left(\frac{LP \langle x \rangle^2}{2} - \frac{P \langle x \rangle^3}{6} + \frac{P \langle x - L \rangle^3}{6} \right) \frac{1}{EI} \quad (8)$$

Na Equação (8) acima, da função da deflexão, quando se substitui "x" por "L" (comprimento total da viga), chega-se na equação para deflexão no final da viga:

$$y = L^3 P / 3EI \quad (9)$$

A Equação (9) acima evidencia uma relação linear entre a força peso e a deflexão ($y = \alpha P$), a qual o coeficiente angular da reta é dado por $\alpha = L^3 / 3EI$. Sendo assim, o módulo de elasticidade (E) é dado por

$$E = L^3 P / 3\alpha I \quad (10)$$

2.4 Simulação

A presente seção teve como objetivo simular as deflexões que seriam encontradas ao mimetizar o experimento em um software que utiliza o Método de Elementos Finitos (MEF). Para este fim, foi utilizado o *software* Fusion 360. Modelou-se no *software* uma viga com as mesmas dimensões apresentadas na Tabela 1, com uma extremidade engastada e na outra uma carga foi aplicada. Configurou-se um material com o mesmo módulo de elasticidade encontrado no método analítico e aplicou-se às mesmas forças do experimento, como demonstra a Figura 5.

Figura 5 – Modelo da viga para simulação no software
Fusion 360



Fonte: Própria dos autores

2.5 Avaliação da metodologia

Sabe-se que após o término da atividade, o aluno consegue comparar com clareza seu nível de conhecimento antes e depois da realização do trabalho e apontar as lições aprendidas. Então, foi elaborado um questionário para os alunos cujo objetivo foi verificar se a estratégia de ensino utilizando conceitos da Aprendizagem Baseada em Projeto (ABP) facilitou o processo de ensino aprendizagem sobre o assunto abordado. Então, as perguntas do questionário versaram sobre os aspectos positivos e negativos da metodologia do ensino empregada no trabalho. O formulário foi elaborado na plataforma *Teams*, que é disponibilizada pela instituição para os alunos e professores, por meio da ferramenta *Microsoft forms* e disponibilizado por meio de *link* no ambiente de postagens da turma.

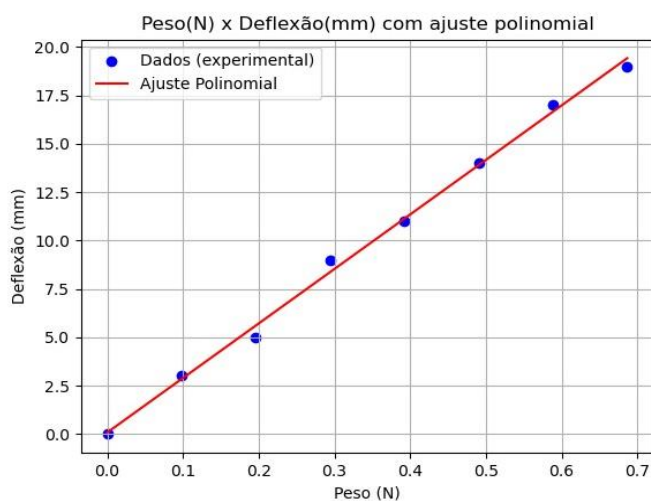
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

É sabido que a teoria exposta neste trabalho é válida apenas para pequenas deflexões, pois dessa maneira a linearidade entre as grandezas de força e deslocamento é garantida, tornando possível a determinação do módulo de elasticidade por meio do coeficiente angular da reta. Por esse motivo, foram adicionados somente pequenos pesos na extremidade da viga.

O valor de α foi determinado a partir da plotagem de um gráfico contendo pontos que representam os valores de peso e das respectivas deflexões que foram obtidos no experimento, conforme mostrado no Gráfico 1. Os resultados de peso e deflexão puderam ser visualizados e analisados a partir de gráficos construídos com auxílio das bibliotecas *Matplotlib: A 2D Graphics Environment* e *Seaborn* do programa Python. A partir da plotagem desses pontos, foi traçado uma reta de regressão linear, a qual o coeficiente angular coincide com o valor de α . O valor encontrado para α foi de $28,16 \text{ (N/mm)}^{-1}$.

Depois que o valor de α foi determinado, os valores de $L = 1000 \text{ mm}$ e $I = 4090,557 \text{ mm}^4$ também foram substituídos na Equação (10), obtendo-se que o valor $E = 2,893 \text{ GPa}$ do módulo de elasticidade do material da viga.

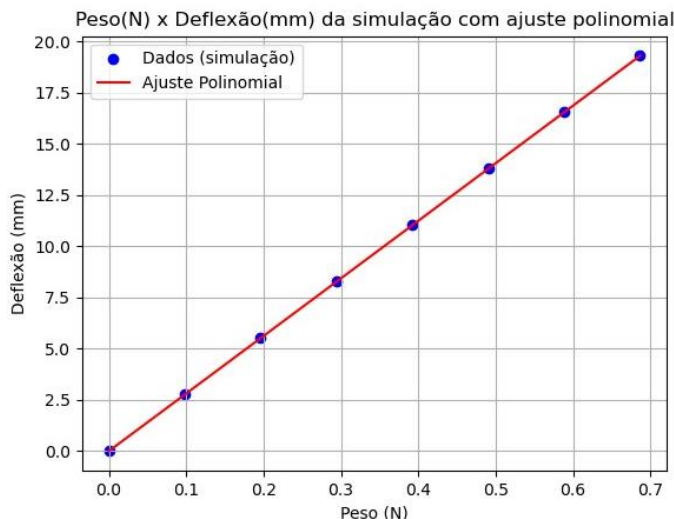
Gráfico 1 – Peso (N) x Deflexão (mm) do experimento com ajuste polinomial



Fonte: Própria dos autores

Os dados da deflexão obtidos por meio da simulação numérica e do ajuste polinomial são mostrados no Gráfico 2. Como esperado, o ajuste de curva não apresenta nenhuma discrepância entre os dados.

Gráfico 2 - Peso (N) x Deflexão (mm) da simulação (MEF) com ajuste polinomial



Fonte: Própria dos autores

Ademais, os dados da deflexão obtidos a partir do experimento e da simulação estão descritos na Tabela 2. Através deles, observa-se que os valores de peso para a simulação foram os mesmos utilizados na parte experimental, porém as respostas de deflexão da viga obtidas pelo *software* apresentaram pequena diferença.

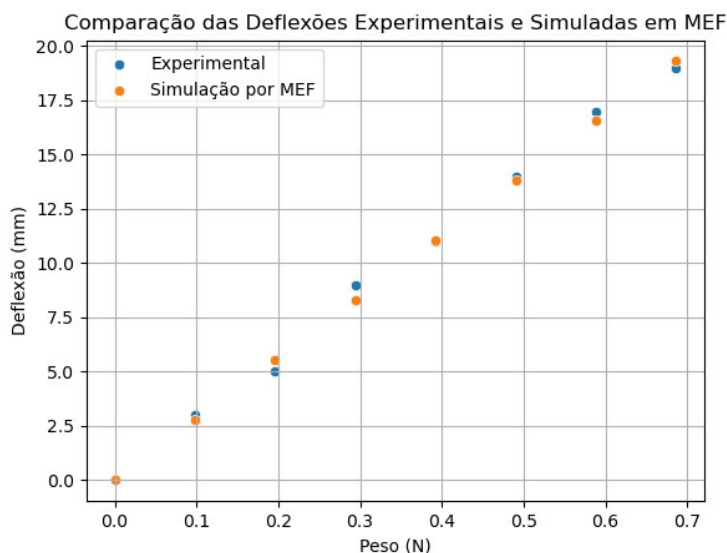
Tabela 2 – Resultados de deflexão da viga para o experimento e para a simulação

Peso (N)	0	0.09807	0.1961	0.2942	0.3923	0.4903	0.5884	0.6865
Deflexão do experimento (mm)	0	3	5	9	11	14	17	19
Deflexão da simulação (mm)	0	2.759	5.516	8.276	11.03	13.79	16.55	19.31

Fonte: Própria dos autores

Já o Gráfico 3 mostra a comparação direta obtida entre os pontos de deflexão para a simulação e o experimento, permitindo a conclusão geral de que os resultados foram muito próximos e satisfatórios. Entretanto, pode-se observar alguns pontos com pequena divergência na análise desses dois métodos. Isto ocorre devido ao erro associado ao método numérico de elementos finitos e erros de medição no experimento.

Gráfico 3 – Comparação das deflexões experimentais e simuladas em MEF



Fonte: Própria dos autores

É importante levar em conta que, se tratando de procedimentos empíricos, erros operacionais devem sempre ser levantados como uma possibilidade ao se analisar os resultados. Nesse experimento, a medição das deflexões foi feita manualmente, aderindo ao método uma imprecisão quanto às marcações, pois o observador é passível ao erro, sendo o mais comum o erro de paralaxe. Para o presente trabalho, foi utilizado um celular sempre na mesma posição para que as medições da viga em relação ao papel milimetrado fossem feitas sempre do mesmo ponto de vista. Entretanto, em caso de apenas erro de paralaxe, todas as medições perpetuariam esse mesmo erro de perspectiva.

Todavia, ao observar o Gráfico 1, vê-se que os pontos de deflexão experimental não parecem todos seguir a mesma perspectiva, visto que há pontos que divergem da linha de tendência tanto para cima quanto para baixo. Assim, o erro de paralaxe não é descartado, porém, nesse caso, é considerado também um possível erro operacional no momento de medição da deflexão, seja por motivo de erro manual da marcação no papel, ou equívoco na leitura do instrumento de medição utilizado.

Outro fator importante a citar, é que o *software* utilizado, Fusion 360, trabalha apenas com 3 algarismos significativos, o que também pode ter influenciado na pequena diferença observada.

Além dos dados apresentados como resultado nas Tabelas e Gráficos, observou-se também que a partir dos dados experimentais, foi possível chegar no valor de 2,893 GPa para o módulo de elasticidade (E) do cano PVC (Cloreto de Polivinila). De acordo com a literatura, o site da empresa Sonelastic apresenta uma tabela de referência na qual o módulo de elasticidade do PVC é catalogado com variação entre 2,41 e 4,14 GPa, devido aos diferentes processos de fabricação, que influenciam nesse valor. Dessa forma, pode-se dizer que o valor encontrado para o E do material utilizado no experimento foi satisfatório levando em conta o valor disposto na literatura.

Ademais, não se pode deixar de avaliar que, apesar das Tabelas 2 e 3 considerarem o primeiro ponto como (0,0), neste experimento não foi levado em consideração a deflexão ocasionada pelo próprio peso da viga.

Com o objetivo de verificar a percepção dos alunos, foi utilizado um formulário *online* (*Forms office*) para avaliar a metodologia do trabalho. Todos os 10 alunos da turma responderam ao questionário cujo tempo médio para concluir foi de quatro minutos. A seguir, as respostas ao questionário indicam o sucesso da atividade obtida por meio da implementação da estratégia de ensino.

Primeiramente, perguntou se o trabalho ajudou o aluno desenvolver outras habilidades como: prática laboratorial, modelagem, análise de dados, elaboração de relatório, cumprimento de prazos, trabalho em equipe, comunicação, etc. Todos os alunos afirmaram que a atividade contribuiu pelo menos de forma satisfatória no desenvolvimento de outras habilidades, conforme mostra o Gráfico 4. Vale ressaltar que a turma se reuniu presencialmente na oficina mecânica para planejamento e execução do trabalho. A ferramenta *Teams* também permitiu que os alunos fizessem vídeo chamada para reuniões de acompanhamento, utilizassem o *chat* em grupo para discussão por mensagens e compartilhassem documentos/planilhas para elaboração e edição de forma simultânea por todos.

Gráfico 4 – Gráfico das respostas à pergunta: O trabalho ajudou a desenvolver outras habilidades?



Fonte: Própria dos autores

Verificou-se que 83% dos estudantes afirmam que a metodologia utilizando conceitos da Aprendizagem Baseada em Projeto ajudou a motivá-los a estudar e facilitou o aprendizado do conteúdo, conforme mostra o Gráfico 5. Já o Gráfico 6 mostra que a turma inteira concorda que o trabalho facilitou de forma satisfatória o aprendizado do conteúdo sobre deflexão de vigas. Esta percepção mostra o quão importante a metodologia empregada se mostrou atrativa e eficiente no processo de ensino aprendizagem.

Gráfico 5 – Gráfico das respostas à pergunta: O projeto te motivou a estudar o conteúdo?



Fonte: Própria dos autores

Gráfico 6 – O projeto facilitou o aprendizado do conteúdo/teoria?



Fonte: Própria dos autores

Todos os alunos apontam que o uso de *softwares* facilita e otimiza a análise do problema, porém o entendimento dos resultados da simulação ocorre somente quando se conhece previamente a teoria que descreve o fenômeno. Vale destacar que os alunos puderam tirar dúvidas presencialmente com o professor ou por meio de “chat” na plataforma *Teams* ou *e-mail* institucional. Há horários específicos para atendimento aos alunos fora do horário de aula. Além disso, os estudantes podem enviar perguntas a qualquer momento via *chat* e, então, o professor responde-as quando acessa o sistema.

Por fim, os alunos também puderam opinar sobre os desafios e contribuições do trabalho para melhoria do processo de ensino-aprendizagem. A seguir serão destacados alguns relatos dos alunos:

“O maior desafio foi realizar todo experimento e trabalho escrito no tempo proposto inicialmente. Os benefícios foram: ver de forma prática o que foi abordado teoricamente e desenvolver habilidades relacionadas à prática laboratorial e ferramentas utilizadas para a realização do artigo” (Aluno A).

“Acredito que o trabalho ajudou e contribuiu para o ensinamento da parte teórica da matéria. Acredito que a dificuldade que encontramos tenha sido a falta de alguns recursos do próprio campus” (Aluno B).

“Por mais que tenham tido algumas complicações durante a aplicação do método experimental, foi possível obter um resultado dentro do esperado e aceitável. Os meios necessários para se chegar ao objetivo levaram ao entendimento da teoria por meio da prática” (Aluno C).

Vale ressaltar que mesmo sendo uma amostra com dez alunos, é possível ter esses e outros resultados que indicam os benefícios e desafios da atividade de ensino aprendizagem sob o ponto de vista dos alunos, conforme demonstrado pelas respostas ao questionário de avaliação. No caso de uma turma numerosa, sugere-se dividi-la em grupos

menores para a realização do trabalho experimental e, assim, garantir a efetiva participação e aprendizado de todos os alunos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que, apesar da pequena variação observada na deflexão em relação ao método experimental e por simulação, os resultados obtidos foram satisfatórios para o objetivo do trabalho; tanto para os valores de deflexão de ambos os métodos que foram muito próximos, quanto para o módulo de elasticidade calculado a partir do experimento que estava dentro da variação esperada, de acordo com a literatura.

Considerando a proximidade de resultados entre os métodos experimental e o MEF, conclui-se que o método de simulação pode ser uma ótima ferramenta para consulta, desde que os conceitos teóricos sejam entendidos pelo operador do *software* em questão, para embasar seus argumentos.

Além disso, os resultados da pesquisa feita para os alunos participantes do trabalho indicam o sucesso da atividade obtida por meio da implementação da estratégia de ensino.

REFERÊNCIAS

GAWANDE, Ganesh S.; GUPTA, Laxmikant M. **A parametric study on shear deflection performance of open web steel joist**. Materials today: proceedings, Department of Applied Mechanics, VNIT, Nagpur 440001, India, 31 mar. 2023. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez108.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214785323015237>.

Acesso em: 29 maio 2023.

DATTA, Diptojit *et al.* **Non-contact Ultrasonic Sonar-based Ranging Technique for In-motion 3D Railroad Tie Deflection Measurements**. Transportation Geotechnics, Experimental Mechanics, NDE & SHM Laboratory, Department of Structural Engineering, University of California San Diego, La Jolla, CA, USA, v. 41, 15 maio 2023. Disponível em: <https://www-sciencedirect.ez108.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S2214391223000934>.

Acesso em: 29 maio 2023.

HIBBELER, R.C. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. [S. l.]: Pearson Universidades, 2010. 768 p.

HIBBELER, R.C. **Estática: mecânica para engenharia**. 10. ed. [S. l.]: Pearson Universidades, 2010. 768 p.

HO, Minghsiung *et al.* **Experiment and finite element analysis study on the deflection of aluminum extruded 6063-T5 hollow structural beam**. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Department of Mechanical Engineering, Nanya Institute of Technology, Jhongli, Taiwan, R.O.C., 2020. Disponível em: <https://iopscience-iop.ez108.periodicos.capes.gov.br/article/10.1088/1757-899X/711/1/012075/pdf>. Acesso em: 29 maio 2023.

XLIC CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DA ABENGE, 2021, Evento online. **Deflexão de vigas e eixos por estudo analítico, numérico e empírico pautado na interdisciplinaridade da resolução de problemas de engenharia [...]**. COBENGE: [s. n.],

2021. 13 p. Tema: Formação em engenharia: Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade
XLIC CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA E IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DO EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA DA ABENGE, 2021, Evento online. **Atividade de aprendizagem baseada em projeto em engenharia civil: Proposta de análise experimental do módulo de elasticidade e dimensional de viga [...].** COBENGE: [s. n.], 2021. 13 p. Tema: Formação em engenharia: Tecnologia, Inovação e Sustentabilidade.

SONELASTIC. **Módulo de elasticidade e coeficiente de Poisson de materiais poliméricos.** Disponível em: <<https://www.sonelastic.com/pt/fundamentos/tabelas-propriedades-materiais/polimeros.html>>. Acesso em: 30 de maio de 2023.

HARRIS, Charles R *et al.* **Array programming with Numpy.** [S. l.], 2020. Disponível em: DOI: 10.1038/s41586-020-2649-2. Acesso em: 26 maio 2023.

MEURER, Aaron *et al.* **SymPy. symbolic computing in Python.** [S. l.], 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.103>. Acesso em: 26 maio 2023.

GUARÍN-ZAPATA, Nicolás *et al.* **Nicoguaro/continuum_mechanics.** [S. l.], 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.5281/zenodo.4029448>. Acesso em: 26 maio 2023.

EVALUATION OF DEFLECTION OF CANTILEVERED BEAM AND YOUNG'S MODULUS

Abstract: *This work aims to apply a teaching strategy for the study of deflection of beams and shafts, on the subject of Resistance of Materials II, which is part of the Mechanical Engineering undergraduate program, at CEFET/RJ Campus Angra dos Reis. This type of methodology uses concepts of Project-Based Learning (PBL) that provides to students motivation, interest, autonomy and interaction with each of the stages carried out in the work. The purpose of the experiment was to provide to students with the practical application of the concepts of Strength of Materials seen during the classes. Therefore, the present work sought to develop a beam prototype, with a low-cost apparatus, subject it to progressive weights and observe its deflection. From the data obtained, the angular coefficient of the straight line was calculated and, from it, it was found that the Young's Modulus (E) was 2.893 GPa - which, in comparison with that given by manufacturer, was within the limit set out in the literature (between 2.41 and 4.14 GPa). Next, a beam simulation was carried out using the Fusion 360 software for a material that also had 2.893 GPa as its modulus of elasticity. In this step, the beam designed by simulation was submitted to the same weights that the beam prototype was submitted in the experiment. The comparison between the results of the deflections obtained experimentally and by simulation was satisfactory, demonstrating a lot of similarity in the results obtained between the two methods. In addition, from the answers collected in Microsoft form, the importance of the teaching strategy used was verified, in which the students were able to assimilate the subject and understand the phenomena in an easier and more motivating way.*

Keywords: *Project-based learning, Beam deflection, Strength of materials, Young's Modulus*