

ATIVIDADE BASEADA EM PROBLEMA: ANÁLISE DE MÓDULO DE ELASTICIDADE E DIMENSIONAMENTO DE VIGA

DOI: 10.37702/2175-957X.COBENGE.2023.4582

Ives Quandt Luz Costa Silva - ivesquandt@hotmail.com
IFAL

Maria Antonia Gomes de Vasconcelos - antoniagvasconcelos@gmail.com
IFAL

Resumo: *O objetivo deste artigo é apresentar os resultados alcançados em uma atividade realizada na disciplina de Mecânica dos Sólidos III, do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Alagoas - IFAL. Para a realização dessa atividade, utilizou-se a abordagem da Aprendizagem Baseada em Projeto - ABP como metodologia alternativa. Baseando-se nessa metodologia, aos alunos foram apresentadas propostas de simulações de situações reais, nas qual era exigido que houvesse a elaboração da situação problema a ser analisada, a confecção em modelo reduzido de uma viga composta de material que apresentasse boa ductilidade, o projeto da viga em tamanho real com base no material e no modelo anteriores e o cálculo e análise das tensões relativas à viga. O material escolhido para confecção do modelo reduzido foi uma placa de EPS, em virtude de sua grande capacidade de deformação quando sujeita a tensões, precedente ao rompimento. Utilizando o deslocamento vertical máximo da placa e o peso máximo ao qual a placa resistiu antes do rompimento, fez-se possível utilizar os fundamentos teóricos trabalhados em sala de aula para elaborar o modelo real de uma viga baseada nas dimensões propostas na situação problema. Em síntese, a finalidade para a qual a atividade foi desenvolvida foi satisfeita com êxito, já que foi possível analisar uma situação real e desenvolver um projeto que atende aos requisitos adotados na situação problema, de forma a relacionar o conhecimento teórico com a execução prática.*

Palavras-chave: *Aprendizagem baseada em projeto. Mecânica dos sólidos. Viga. EPS. Deformação. Rompimento. Simulação. Tensões.*

ATIVIDADE BASEADA EM PROBLEMA: ANÁLISE DE MÓDULO DE ELASTICIDADE E DIMENSIONAMENTO DE VIGA

1 INTRODUÇÃO

Em 2013, em Teresina (Piauí), parte da estrutura de um shopping desabou. O laudo do Conselho Regional de Engenharia e Agronomia do Piauí (CREA/PI) constatou que o acidente foi provocado pela retirada precipitada das escoras que sustentavam as vigas de um setor do prédio. O fato é que essa realidade persiste, e as causas são as mais diversas. (G1,2013).

Em primeira análise, é válido salientar que um projeto estrutural bem elaborado é fundamental para evitar problemas como esse. No caso supracitado, a retirada antecipada das escoras acarretou em um valor de deflexão até cinco vezes maior que o inicial, provocando o desabamento da estrutura. Nesse contexto, é necessário compreender como as peças estruturais se comportam quando solicitadas por forças externas quaisquer, sendo imprescindível uma análise da resistência dos materiais à deformação elástica, ou seja, o estudo do módulo de elasticidade.

Além disso, vale destacar que as propriedades do material que compõe o elemento estrutural são encontradas a partir das tensões e deformações totais, embasando-se em equações que preveem o comportamento mecânico do sólido. Entretanto, as determinações experimentais são indispensáveis, sendo a premissa da presente atividade.

A Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), ou Project Based Learning (PBL), é uma abordagem pedagógica que envolve os alunos em projetos que simulam situações reais. Na engenharia civil, por exemplo, os estudantes podem trabalhar em projetos de construção de pontes, dimensionamento de estruturas ou planejamento urbano. Isso os ajuda a desenvolver habilidades práticas, criativas e críticas, além de aprofundar seus conhecimentos na área. A ABP incentiva a autonomia e prepara os alunos para enfrentar desafios do mundo real (ZANETTI, 2019).

Este artigo tem como objetivo relatar os resultados de uma atividade baseada em problema aplicada na disciplina de Mecânica dos Sólidos III, que utilizou conceitos da Aprendizagem Baseada em Projetos como abordagem metodológica alternativa.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Apresentando os resultados da atividade realizada na disciplina de Mecânica dos Sólidos III no Instituto Federal de Alagoas - IFAL - Campus Palmeira dos Índios, utilizando a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), este estudo adota uma abordagem metodológica quantitativa e descritiva, utilizando a realização de experimentos como instrumento de aprendizagem, objetivando a elaboração de um projeto de viga através da análise experimental do módulo de elasticidade de um material: o poliestireno expandido, escolhido pelos estudantes. O objetivo da viga era ser utilizado como suporte para placa da Figura 1, apresentada na proposta da atividade.

Os procedimentos metodológicos desta atividade foram divididos nas seguintes etapas: determinação experimental do módulo de elasticidade, determinação experimental das tensões máximas, elaboração do modelo teórico, dimensionamento da viga dentro do padrão de flecha máxima e determinação das tensões máximas normais (tração e compressão) e de cisalhamento.

Figura 1 – Exemplo da placa (meramente ilustrativo).



Fonte: Proposta de ABP (2022).

2.1 Procedimento experimental

O experimento foi realizado pelos discentes no canteiro de obras do IFAL - Palmeira dos Índios e os materiais utilizados foram: balança, brita, recipiente plástico, fita adesiva, EPS (material a ser analisado), tijolos, régua, paquímetro e câmera do telefone celular para registro.

Simulando um engaste, uma placa de isopor foi presa da seguinte forma: os tijolos foram colocados de forma a criar um apoio embaixo da placa de EPS, impedindo o movimento vertical; os tijolos também foram posicionados acima da placa, impedindo a rotação no sentido anti-horário da placa; para impedir o movimento horizontal o atrito entre a placa de EPS e os tijolos, além do próprio peso dos tijolos para sustentá-la, é suficiente.

Nessa estrutura, imitando uma viga em balanço com uma carga na extremidade livre, foi preso um recipiente de massa conhecida que permite a adição de mais carga, como mostra a Figura 2.

Figura 2 – Modelo confeccionado pelos estudantes.



Fonte: Autores (2022).

A placa de EPS possui 0,015m de espessura, 0,23m de largura e 0,19m de comprimento. Após montagem e conferência de medidas, as pedras foram adicionadas aos poucos no recipiente, realizando a pesagem a cada adição. Enquanto isso, era realizada a

filmagem a fim de registrar o deslocamento vertical, expresso na Tabela 1, em virtude de cada adição de carga. O vídeo desse momento pode ser acessado por meio deste [link](#).

Tabela 1 - Valores das massas e deslocamento.

Pedra	Massa (g)	Massa acumulada (g)	Deslocamento vertical (mm)
0 (balde)	18	18	2
1	15,8	33,8	4,5
2	7,1	40,9	5,5
3	11,5	52,4	8
4	10,3	62,7	10,1
5	10,5	73,2	10,3
6	10,8	84	10,5
7	9,3	93,3	10,7
8	9,8	103,1	10,9
9	8,5	111,6	20,1
10	10,4	122	20,3
Rompimento	635,8		215

Fonte: Autores (2022).

2.2 Determinação experimental do módulo de elasticidade

Com os dados obtidos em experimento, é possível determinar, para o caso em análise, o módulo de elasticidade a partir da Equação (1), equação de deflexão máxima, onde E é o módulo de elasticidade (Pa), P é o peso (N), L é o comprimento da extremidade livre até o engaste (m), δ é o deslocamento vertical (m) e I é o momento de inércia (m⁴).

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot E \cdot I} \quad (1)$$

2.3 Determinação experimental das tensões máximas

Para o cálculo das tensões, é necessário dividir a força de ruptura (máxima) pela área da seção da placa de EPS. Para tensão normal (Equação (2)), a área utilizada é a perpendicular à força aplicada, enquanto que para a de cisalhamento (Equação (3)) é a área que está no mesmo plano da força. Sendo σ a tensão normal (N/m²), τ a tensão de cisalhamento (N/m²), F a força de ruptura máxima (N), B a base (m), H a altura (m) e h a espessura (m). (BEER, 1991).

$$\sigma = \frac{F}{(B \cdot H)} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{F}{(B \cdot h)} \quad (3)$$

2.4 Elaboração do modelo teórico

A princípio, para o modelo teórico, seguindo os critérios estabelecidos no DER/PR ES-OC 10/18 definiu-se o comprimento, as dimensões da seção da viga e as cargas

atuantes. Deste modo, considerou-se uma viga de 9 m, biapoiada, de seção transversal retangular com base de 0,3 m e altura de 0,4 m, feita com material genérico. Complementar à estrutura, adotou-se uma placa retangular de chapa de alumínio com 1 m de base, 0,5 m de altura e 0,004 m, apoiada no centro da viga.

Posto isto, é necessário calcular o carregamento distribuído (kN/m²) da placa que atua na viga. Esse carregamento, se dá em função da área da seção, que nesse caso é retangular, e pode ser calculado pela Equação (4), onde P é o carregamento distribuído (kN/m²), ρ é a massa específica do material da placa (kg/m³), A é a área da seção (m²) e g é a aceleração da gravidade (9,82m/s²). (BEER, 1991).

$$P = A \cdot \rho \cdot g \quad (4)$$

2.5 Dimensionamento da viga dentro do padrão de flecha máxima

Após o apuramento dos dados, tornou-se possível calcular as reações referentes à estrutura, levando em consideração a carga provocada pela placa retangular. Dessa forma, a flecha máxima que é permitida na estrutura é dada pela Equação (5), onde $\delta_{m\acute{a}x}$ é a flecha máxima e L é comprimento da viga (m), possibilitando o dimensionamento para viga em questão.

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{250} \quad (5)$$

Em seguida, o momento de inércia foi calculado a partir da deformação por meio da Equação (6), onde E é o módulo de elasticidade (Pa), P é o peso (N), L é o comprimento da extremidade livre até o engaste (m), δ é o deslocamento vertical (m) e I é o momento de inércia (m⁴). (BEER, 1991).

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48EI} \quad (6)$$

A nível de cálculo, o carregamento distribuído P foi transformado em um pontual multiplicando a carga P pelo comprimento do vão em que está aplicada.

2.6 Determinação das tensões máximas normais (tração e compressão) e de cisalhamento

Após os aspectos da estrutura serem definidos, a viga foi inserida no software Ftool, para que as reações de apoio fossem encontradas, tornando possível calcular a tensão máxima de tração pela Equação (7), a tensão máxima de compressão pela Equação (8) e a tensão máxima de cisalhamento pela Equação (9). Onde $\sigma_{m\acute{a}xt}$ é a tensão máxima de tração (kN/m²), $\sigma_{m\acute{a}xc}$ é a tensão máxima de compressão (kN/m²), $\tau_{m\acute{a}xc}$ é a tensão máxima de cisalhamento (kN/m²), $M_{m\acute{a}x}$ é o momento máximo obtido (kN.m), c é a distância da linha neutra para os elementos externos (m), I é o momento de inércia (m⁴), $V_{m\acute{a}x}$ é a cortante máxima em módulo (kN) e A área da seção da viga (m²). (BEER, 1991).

$$\sigma_{m\acute{a}xt} = \frac{M_{m\acute{a}x} \cdot c}{I} \quad (7)$$

$$\sigma_{máxc} = -\frac{M_{máx} \cdot c}{I} \quad (8)$$

$$\tau_{máx} = \frac{4 \cdot V_{máx}}{3 \cdot A} \quad (9)$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 DETERMINAÇÃO POR MEIO DE “EXPERIMENTO DIDÁTICO” DO MÓDULO DE ELASTICIDADE

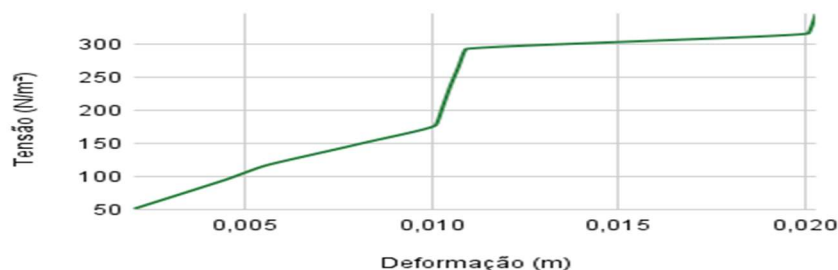
Utilizando os dados obtidos no experimento, foi possível calcular o módulo de elasticidade do EPS e traçar o gráfico de tensão por deformação.

Tabela 2 – Cálculo do módulo de elasticidade médio

Força Peso (N)	Momento de Inércia (m ⁴)	Módulo de elasticidade (Pa)	Módulo de elasticidade médio (Pa)
0,1764	6,46875E-08	3117365,797	2567973,355
0,33124		2601653,431	
0,40082		2575762,851	
0,51352		2268749,552	
0,61446		2150262,216	
0,71736		2461609,238	
0,8232		2770991,82	
0,91434		3020251,598	
1,01038		3276252,943	
1,09368		1923151,039	
1,1956		2081656,416	

Fonte: Autores (2022).

Gráfico 1 – Tensão x Deformação



Fonte: Autores (2022).

Diante do exposto, pôde-se constatar que o EPS possui módulo de elasticidade pequeno, portanto sofre deformação com facilidade. Além disso, o material possui comportamento elástico até ser submetido a uma tensão de aproximadamente 178N/m².

Ou seja, caso as cargas fossem retiradas até esse ponto, o material retornaria ao seu estado inicial.

3.2 DETERMINAÇÃO POR “EXPERIMENTO DIDÁTICO” DAS TENSÕES MÁXIMAS

Considerando a força de rompimento de 1,1956N, as tensões máximas obtidas em cálculo foram:

Tabela 3 – Tensões máximas do experimento

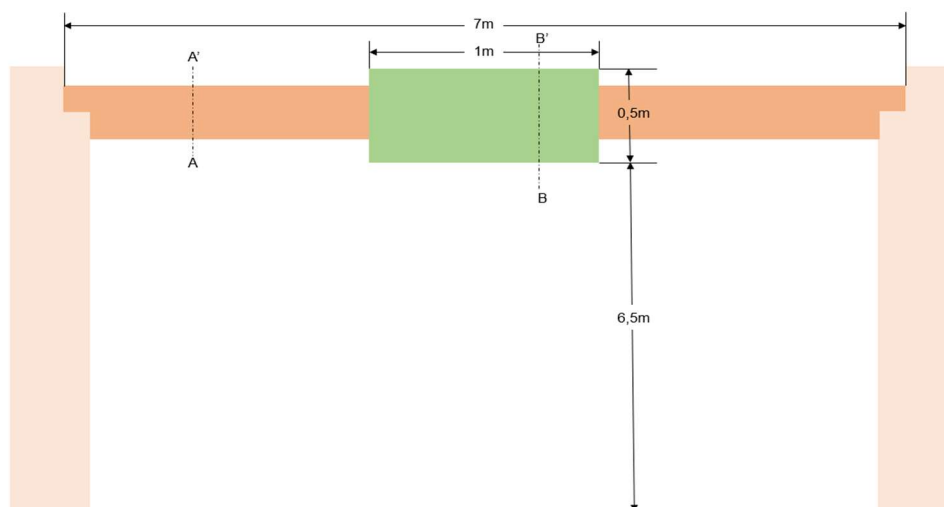
Tensão Normal (N/m ²)	Tensão de Cisalhamento (N/m ²)
27,36	346,55

Fonte: Autores (2022).

3.3 ELABORAÇÃO DO MODELO TEÓRICO

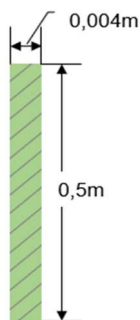
A seguir seguem as ilustrações do modelo teórico: a vista frontal, as seções transversais da placa e da viga, posição da placa em relação à viga e as forças presentes nos elementos (reações de apoio e carregamento externo).

Figura 3 – Dimensões da viga bi apoiada

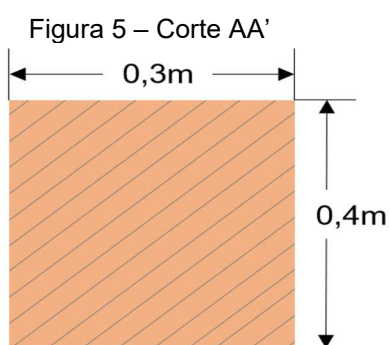


Fonte: Autores (2022).

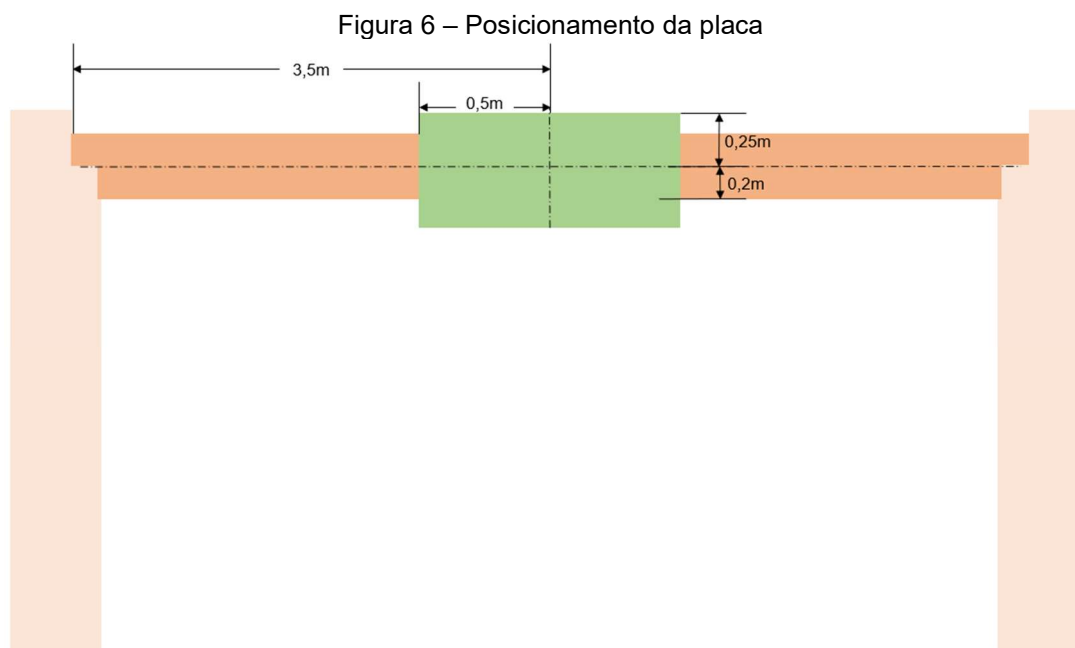
Figura 4 –
Corte BB'



Fonte: Autores (2022).



Fonte: Autores (2022).



Fonte: Autores (2022).

É importante ressaltar que as figuras são meramente ilustrativas, pois estão com medidas desproporcionais. Após as características da placa serem determinadas, foi

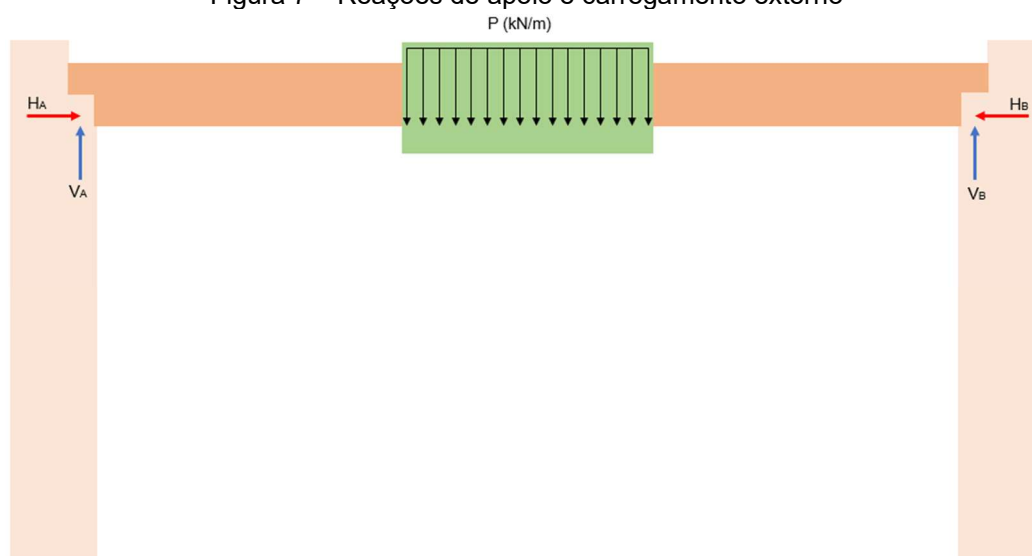
possível obter o carregamento distribuído (P) por meio da Equação (4), considerando a massa específica do aço de 2.700kg/m^3 .

Tabela 4 – Carregamento distribuído da placa de aço

Área da seção (m ²)	Massa específica do aço (Kg/m ³)	Peso (kN/m)
0,1	2.700	0,106812

Fonte: Autores (2022).

Figura 7 – Reações de apoio e carregamento externo



Fonte: Autores (2022).

3.4 DIMENSIONAMENTO DA VIGA DENTRO DO PADRÃO DE FLEXA MÁXIMA (L/250)

Após o cálculo da flexa máxima admitida, o resultado foi aplicado na Equação (6). Posto isto, as dimensões da viga foram calculadas com base nas pré-estabelecidas.

Tabela 5 – Dimensionamento a partir da flexa máxima

$\delta_{\text{máx}}$ (m)	Momento de Inércia (m ⁴)	Módulo de elasticidade (Pa)	Peso (N)
0,028	0,011	256793,355	106,812

Fonte: Autores (2022).

Tabela 6 – Dimensões da seção transversal fixando a base

Base (m)	Altura (m)
0,3	0,752

Fonte: Autores (2022).

Tabela 7 – Dimensões da seção transversal fixando a altura

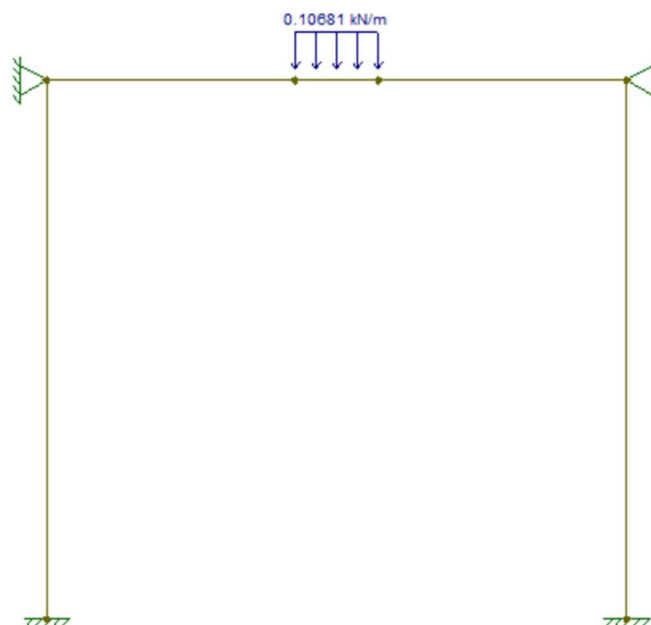
Altura (m)	Base (m)
0,4	1,99

Fonte: Autores (2022).

Diante do exposto, fica claro salientar que as dimensões tornam inviável a utilização de EPS para um modelo real de viga.

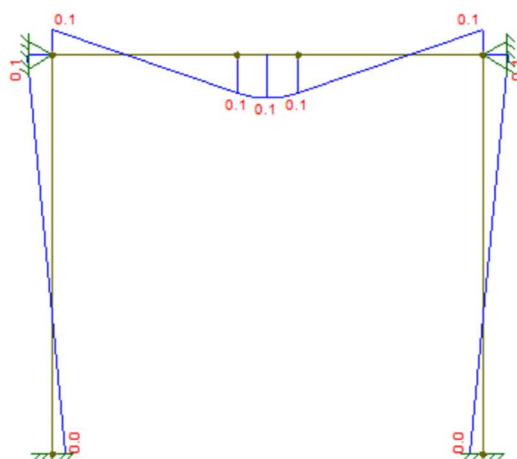
3.5 DIMENSIONAMENTO DAS TENSÕES MÁXIMAS NORMAIS (TRAÇÃO E COMPRESSÃO)

Figura 8 – Estrutura no FTOOL



Fonte: Autores (2022).

Figura 9 – Diagrama de momento fletor



Fonte: Autores (2022).

Utilizando-se a ferramenta Ftool, é possível adotar o Momento máximo = 0,1 kN*m e em seguida calcular os valores máximos das tensões de tração e compressão:

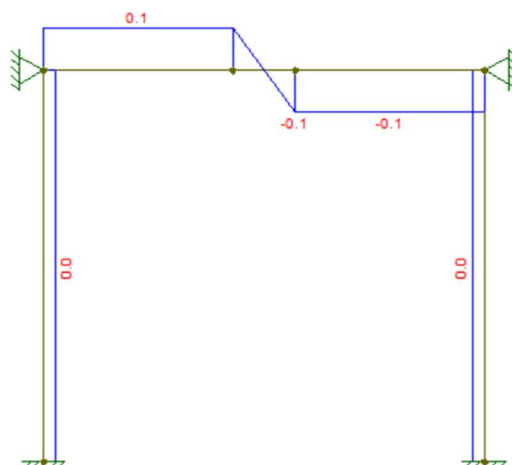
Figura 10 – Cálculo das tensões máximas de tração e compressão

$$\sigma_{max_t} := \frac{M_{max} \cdot c}{I} = 18.75 \text{ kPa} \quad \text{tração}$$
$$\sigma_{max_c} := -\frac{M_{max} \cdot c}{I} = -18.75 \text{ kPa} \quad \text{compressão}$$

Fonte: Autores (2022).

3.6 DIMENSIONAMENTO DA TENSÃO MÁXIMA DE CISALHAMENTO

Figura 10 – Cálculo das tensões máximas de tração e compressão



Fonte: Autores (2022).

De forma semelhante, utilizando-se a ferramenta Ftool é possível adotar $V_{max} = |-0.1| \text{ kN} = 0.1 \text{ kN}$. Assim, calcula-se o valor da máxima tensão de cisalhamento:

Figura 10 – Cálculo das tensões máximas de tração e compressão

$$\tau_{max} := \frac{4 V_{max}}{3 A} = 1.111 \text{ kPa} \quad \text{cisalhamento}$$

Fonte: Autores (2022).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que foi exposto, a proposta da atividade baseada em problema aplicada na disciplina de Mecânica dos Sólidos III, que utilizou conceitos da Aprendizagem Baseada em Projetos como abordagem metodológica alternativa permitiu que os alunos aplicassem os conceitos teóricos adquiridos durante as aulas de Mecânica dos Sólidos através do experimento e do desenvolvimento de um projeto de viga, proporcionando uma simulação prática de maneira didática. Dessa forma foi possível determinar experimentalmente o módulo de elasticidade bem como dimensionar a viga e verificar as tensões normais e de cisalhamento máximas.

Com isso, o artigo contribui para construção de conhecimento a respeito das metodologias pedagógicas aplicadas ao ensino de engenharia civil como ferramenta que permite reforçar e fixar o entendimento do conteúdo teórico utilizando a prática.

REFERÊNCIAS

BEER, Ferdinand P.; JOHNSTON, Jr, E. Russell. **Resistência dos Materiais**. São Paulo: Editora Atlas. 1991.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO PARANÁ. **DER/PR ES-OC 10/18**: obras complementares: pórticos e semipórticos de sinalização vertical. Curitiba, 2018.

UFMG, Física. **Deformação Elástica de uma Haste**. Disponível em: https://www.fisica.ufmg.br/ciclo-basico/wp-content/uploads/sites/4/2020/05/Deforma%20cao_Elastica_de_um_a_Haste.pdf. Acesso em: 01 ago. 2022.

UFMG, Laboratório de Física Experimental Básica. **Deformação Elástica de uma Haste**. YouTube, 2021. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=BFY%20jh-MqKA8>. Acesso em: 01 ago. 2022.

G1, Piauí, 16 de set. de 2013. **CREA confirma erros em escoras em desabamento de shopping no Piauí**. Disponível em: <https://g1.globo.com/pi/piaui/noticia/2013/09/crea-confirma-erros-em-escoras-em-desabamento-de-shopping-no-piaui.html>. Acesso em: 07 ago. 2022.

ZANETTI NETO, G. **Práticas de ensino, estratégias de avaliação**. Apostila digital. Vitória: Ifes, 2019. Disponível em: epciencias.wordpress.com. Acesso em: 07 ago. 2022.

PROBLEM BASED ACTIVITY: ELASTICITY MODULE ANALYSIS AND BEAM SIZING

Abstract: *The purpose of this article is to present the results achieved in an activity carried out in the Solid Mechanics III college subject of the Civil Engineering course at the Federal Institute of Alagoas - IFAL. For this activity, the approach of Project-Based Learning (PBL) was used as an alternative methodology. Based on this methodology, students were presented with proposals for simulations of real-life situations, which required the development of the problem situation to be analyzed, the creation of a scaled-down model of a beam made of a material with good deformation capacity, the design of a full-scale beam based on the previous material and model, and the calculation and analysis of the stresses related to the beam. The chosen material for the scaled-down model was a polystyrene plate, due to its high deformation capacity under tension, before rupture. By using the maximum vertical displacement of the plate and the maximum weight it resisted before rupture, it was possible to apply the theoretical foundations learned in the classroom to develop a real model of a beam based on the proposed dimensions of the problem situation. In summary, the activity was successfully developed to fulfill its intended purpose, as it allowed for the analysis of a real-life situation and the development of a project that meets the requirements adopted in the problem situation, thereby linking theoretical knowledge with practical execution.*

Keywords: *Project-based learning. Solid mechanics. Beam. EPS. Deformation. Rupture. Simulation. Stresses.*