

PROPOSTA DE ENSINO SUBSIDIADA POR FERRAMENTA EDUCACIONAL PARA RESOLUÇÃO DE ESTRUTURAS ISOSTÁTICAS DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Fabíola Luana Maia Rocha ¹
Larissa Kelly Freire Maia ²
José Henrique Maciel de Queiroz ³

RESUMO

A educação perpassa atualmente por várias mudanças, vindo desde dificuldades impostas em sala de aula, assim como as inovações desenvolvidas na educação básica e na educação superior. No tocante à educação superior, mais especificamente ao curso de engenharia civil, denota-se obstáculos no desenvolvimento dos processos de ensino-aprendizagem, justificados pela gama de disciplinas complexas, principalmente as relacionadas à análise estrutural. Nessa perspectiva, o presente trabalho tem o intuito de sugerir o uso do FTOOL como ferramenta educacional facilitadora, utilizando-a desde o lançamento da estrutura e carregamentos, assim como na determinação das reações de apoio, momento fletor, esforço cortante e esforço normal. A partir de tal proposta didática o professor pode desenvolver uma abordagem teórica em paralelo com análises práticas, que além de facilitarem a resolução dos exercícios, surge como atividade diferenciada da metodologia abordada comumente em sala de aula. Mediante a tais concepções a essencialidade das ferramentas educacionais fica evidente e a presente proposta se mostra eficiente, tendo em vista a possibilidade de ser aplicada nas mais variadas faculdades de engenharia civil que trabalhem com a abordagem das estruturas isostáticas.

Palavras-chave: Mecânica das estruturas, proposta didática, ferramentas de ensino, FTOOL.

INTRODUÇÃO

É sabido que atualmente a escola é grande influenciadora no desenvolvimento dos discentes, pois a mesma propicia que o ser humano seja capaz de compreender os processos que acontecem no seu entorno, resolva problemas que surgem no dia a dia, assim como possibilita que o mesmo haja de forma ativa nos processos de ensino aprendizagem e no seus grupos sociais.

No tocante ao ensino, destaca-se que recentemente o mesmo vem sendo dificultado, devido as metodologias abordadas. Comumente utiliza-se os procedimentos tradicionais, baseados na apresentação de definições, leis, normas, fórmulas e exercícios mecanizados, que

¹ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Ensino (PPGE) da Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN), fabiolamaiar@outlook.com;

² Pós-graduanda da especialização em Engenharia de estruturas de concreto armado, PROMINAS, larissafreiremaia@hotmail.com

³ Pós-graduando da especialização em Engenharia de estruturas de concreto armado, PROMINAS, henrique.jhmq@hotmail.com

apenas fazem com que o aluno decore o que é visto em sala de aula. O respectivo cenário é exposto nos mais variados âmbitos, sendo nítido na educação básica e no ensino superior. No que se refere as universidades, denota-se que as várias aplicações matemáticas são frequentes, principalmente nos cursos de matemática, física, química e engenharias. No tocante as engenharias, mais especificamente à engenharia civil, problemas com resoluções de exercícios são comuns, especialmente na análise estrutural de estruturas isostáticas.

Segundo Branchier (2017) o cálculo estrutural engloba os âmbitos da mecânica aplicada, ciência dos materiais e matemática aplicada, a fim de estimar as deformações de estruturas, bem como as forças internas, tensões, reações de apoio, acelerações e estabilidade. Tais conceitos e abordagens são essenciais para o desenvolvimento de projetos estruturais que são desenvolvidos ao longo do curso de engenharia civil.

A determinação dos itens básicos, como diagrama de momento fletor, esforço cortante e esforço normal são tarefas complexas, justificadas pelas inúmeras fórmulas e cálculos, feitos na maioria das vezes a mão, o que dificulta tanto o ensino como a aprendizagem. Nesse sentido, o presente trabalho busca trazer uma proposta pedagógica, para o âmbito da engenharia estrutural, utilizando o FTOOL, que facilite a determinação das reações de apoio das estruturas, assim como os diagramas de esforços solicitantes, possibilitando maior facilidade no processo de ensino-aprendizagem.

METODOLOGIA

O presente trabalho foi desenvolvido na perspectiva de uma proposta didática, elaborada para alunos do curso de engenharia civil, matriculados nas componentes curriculares de mecânica das estruturas. A respectiva disciplina geralmente aborda em sua ementa os conceitos fundamentais da estática (cálculo de reações de apoio, representação de diagramas de momento fletor, esforço cortante e esforço normal) e análise estrutural, os sistemas isostáticos planos: vigas, pórticos, treliças, entre outros.

Para o desenvolvimento da proposta pedagógica realizou-se inicialmente uma pesquisa bibliográfica, a qual segundo Marconi e Lakatos (2003) abrange toda bibliografia publicada em relação ao tema de estudo, desde publicações, boletins, jornais, revistas, livros, monografias, teses, filmes, televisão, entre outros. Destaca-se ainda que a partir da pesquisa bibliográfica foi possível conhecer as dificuldades no âmbito do ensino da engenharia civil, mais especificamente nas disciplinas de estruturas, assim como as características e funcionalidades do FTOOL.

Nesse tocante, destaca-se ainda que a pesquisa pode ser definida como exploratória, tendo em vista que busca proporcionar maior familiaridade com o tema, tornando-o mais

explícito, elaborando hipóteses acerca do mesmo. Além disso, esse tipo de pesquisa objetiva o aprimoramento de ideias ou a descoberta de intuições, possuindo planejamento bastante flexível, de modo que possibilite a consideração de variados aspectos relativos ao fato estudado (GIL, 2002).

Partindo desse princípio, é importante destacar que a pesquisa apresenta-se então como qualitativa, tendo em vista o enfoque dado as concepções, assim como suas características e ao caráter subjetivo. Nesse contexto, segundo Minayo (2009) a pesquisa qualitativa responde a questões muito particulares, se ocupando, nas ciências sociais, com um nível de realidade que não pode ou não deveria ser quantificado, trabalhando com o universo dos significados, dos motivos, das aspirações, das crenças, dos valores e das atitudes.

No tocante ao desenvolvimento dos objetivos pretendidos, destacou-se que inicialmente foi analisado os conceitos essenciais de análise estrutural, esforços internos e reações de apoio, para que posteriormente fosse determinado os tópicos básicos a serem abordados na aplicação do FTOOL, como por exemplo as vigas com carregamentos pontuais e distribuídos. A partir de tais inferências foi proposto a abordagem em sala de aula de duas questões, de forma teórica, com resolução manual, para posteriormente fazer o tratamento das mesmas utilizando o FTOOL, evidenciando de forma detalhada o procedimento a ser seguido, determinando assim uma sequência didática a ser realizada em sala de aula.

DESENVOLVIMENTO

Atualmente a universidade tem um papel acentuado no ensino, de forma geral, devendo oferecer aos alunos ferramentas e técnicas para solucionar problemas, assim como também despertar neles a tarefa de ser investigador, pensando em novos métodos de desenvolvimento para a formação de uma nova base de conhecimento, este, ligado a área profissional escolhida por cada estudante (BRANCHIER, 2017).

Na área da engenharia civil, mais especificamente no tocante a análise de estruturas isostáticas, verifica-se uma grande necessidade de ênfase. Segundo Sussekind (1981) a análise estrutural é definida como a parte da mecânica que estuda as estruturas, consistindo este estudo na determinação dos esforços e das deformações a que elas ficam submetidas ao serem solicitadas por agentes externos.

Nesse contexto, segundo Almeida (2009) a análise estrutural objetiva a determinação das reações de apoio e dos esforços solicitantes internos, considerando que com o conhecimento

das reações de apoio, no caso de estruturas isostáticas, é possível a determinação do comportamento interno da estrutura.

E no que se refere a definição de estrutura, pode-se dizer, segundo Almeida (2009), que uma estrutura é a composição de uma ou mais peças, ligadas entre si e ao meio exterior de modo a formar um sistema em equilíbrio, que pode ser estático ou dinâmico. Nesse sentido, pode-se dizer que uma estrutura é um conjunto capaz de receber solicitações, absorvê-las internamente e transmiti-las até seus apoios ou vínculos, onde elas encontram as forças reativas (ALMEIDA, 2009).

No tocante a concepção de projetos, Soriano (2014) afirma que em projeto de uma estrutura, a partir do pré-dimensionamento de seus componentes e da especificação dos materiais, condições de apoio, assim como das ações externas, é possível determinar os esforços reativos e internos à estrutura, analisando um modelo matemático que exprime o comportamento físico estrutural.

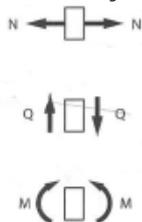
Partindo desse princípio de análise estrutural, verifica-se a necessidade de determinar como serão representados os modelos estruturais realísticos, que passarão de um elemento estrutural para um modelo matemático. Para isso é necessário analisar detalhadamente a geometria da peça, assim como as cargas que estarão atuando e propiciando os esforços internos e deformações.

Considerando então uma estrutura em equilíbrio, contida no plano X-Y, as direções de deslocamento de interesse nas análises são D_x , D_y e Θ_z . Logo, são três os esforços solicitantes internos existentes em uma seção S da estrutura (ALMEIDA, 2009):

- Normal (ou axial): N_x ou simplesmente N
- Cortante: Q_y ou simplesmente Q
- Momento fletor M_z ou simplesmente M

Tais esforços, apresentam convenções de sentido e tipo de solicitação particulares, sendo comumente definidos como positivos da forma abaixo, segundo Almeida (2009):

Figura 01: Convenção de esforços solicitantes em seção S



Fonte: Almeida (2009)

Partindo dessas concepções de esforços internos, faz-se necessário entender o significado dos mesmos, para posterior análise de suas grandezas. Nesse sentido, no que se

refere ao esforço normal, Soriano (2014) afirma que está associado ao afastamento ou aproximação de duas seções transversais adjacentes, conforme o correspondente vetor representativo esteja, respectivamente, “saindo” (em tração) ou “entrando” (em compressão) na seção transversal.

Quanto ao esforço cortante, Soriano (2014) afirma que está associado à concepção de deslocamento de uma estrutura transversal, em seu próprio plano e em relação à seção que lhe é adjacete.

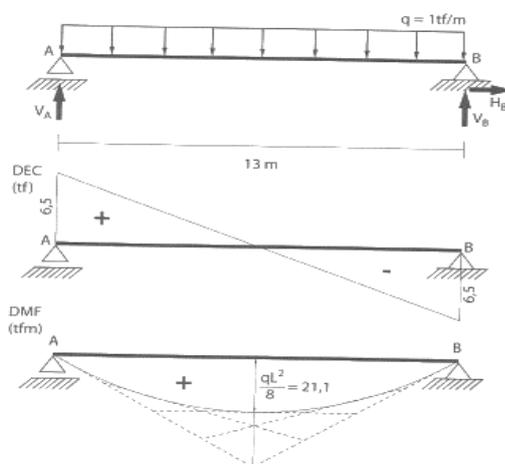
O momento fletor é outro esforço interno a ser analisado. Segundo Sussekind (1981) caso desejamos criar uma grandeza física, através da qual queiramos representar a tendência de rotação em torno de um ponto, provocada por uma força, esta grandeza deverá ser função da força, assim como da distância ao ponto. Nesse contexto, Soriano (2014) declara que o momento fletor causa flexão da barra, com giro de seções transversais em torno de eixos perpendiculares ao plano de flexão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1) ANÁLISE DE CÁLCULOS

A definição dos respectivos esforços internos geralmente é feita por procedimentos matemáticos e equacionamentos do equilíbrio estático. No tocante a estruturas de simples geometria e carregamento, verifica-se cálculos simples, como evidenciado abaixo (Figura 02), segundo Almeida (2009):

Figura 02: Viga biapoada e diagramas de esforços internos



Fonte: Almeida (2009)

Para a construção dos diagramas de esforços internos, nesse caso, é necessária uma concepção de cálculo simplificada. De início são determinadas as reações de apoio e

posteriormente analisados os trechos de seção-chave, como evidenciado abaixo, segundo Almeida (2009):

1º Passo: Reações de apoio

$$\sum F_H = 0 \therefore H_B = 0$$

$$\sum F_y = 0 \therefore V_A - 1 \cdot 13 + V_B = 0 \therefore V_A + V_B = 13$$

$$\sum M_A = 0 \therefore -1 \cdot 13 \cdot \frac{13}{2} + 13 \cdot V_B = 0 \therefore V_B = 6,5 \text{tf}$$

$$\therefore V_A = 6,5 \text{tf}$$

2º Passo: Análises dos trechos

Trecho I: $0 \leq x \leq 13$

$$M(x) = -\frac{q}{2}x^2 + \frac{qL}{2}x \therefore M(x) = -0,5x^2 + 6,5x \quad \text{Valores extremos} \begin{cases} x=0: & M=0 \\ x=13: & M=0 \end{cases}$$

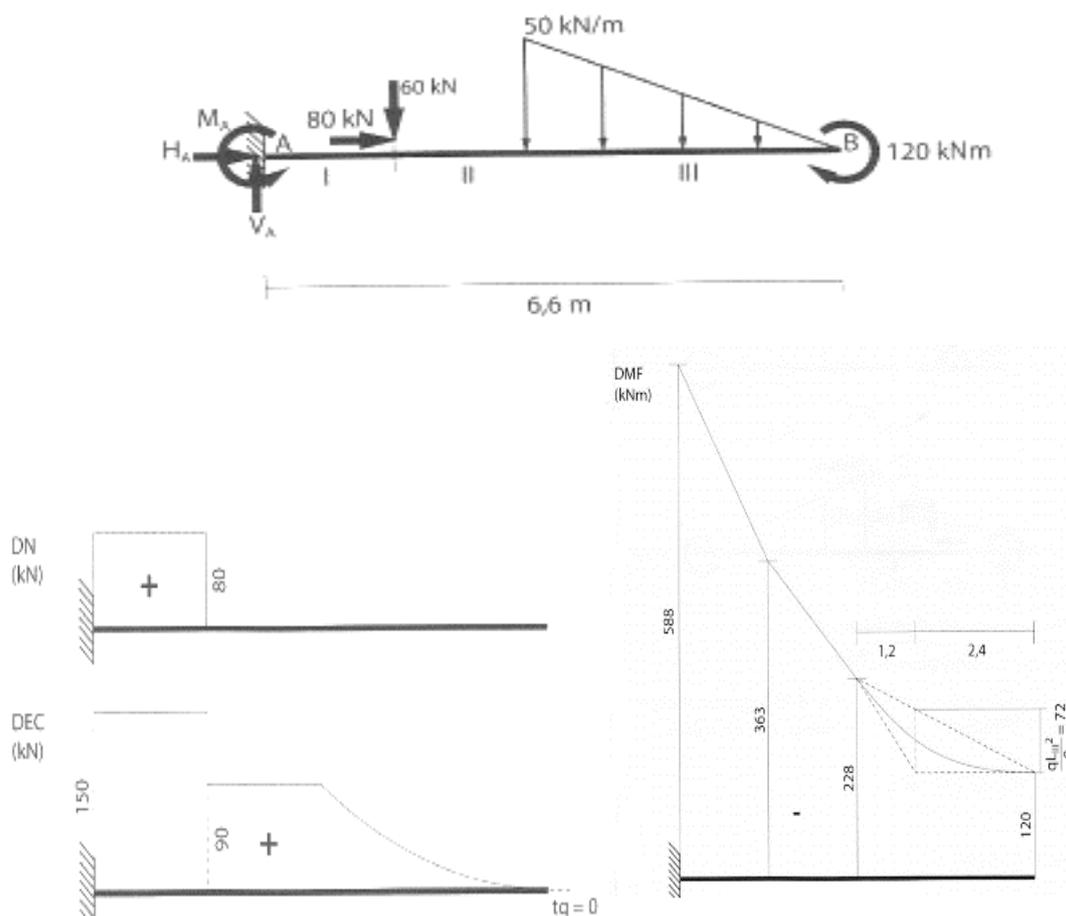
(função do segundo grau)

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} = -x + 6,5 \quad \text{Valores extremos} \begin{cases} x=0: & Q = +6,5 \text{tf} \\ x=13: & Q = -6,5 \text{tf} \end{cases}$$

(função linear)

No tocante a estruturas mais complexas, os procedimentos de cálculos são mais extensos, como evidenciado por Almeida (2019) a seguir:

Figura 03: Viga engastada e diagramas de esforços internos



Fonte: Almeida (2009)

Para a construção dos diagramas de esforços internos, diante da referida estrutura, julga-se necessária uma análise mais detalhada, conseqüentemente mais cálculos. Assim como na questão anterior, inicialmente determina-se as reações de apoio e logo após os esforços internos, segundo Almeida (2009).

1º Passo: Reações de apoio

$$\alpha = \arctg\left(\frac{3}{4}\right) = 36,9^\circ \begin{cases} \text{sen } \alpha = 0,6 \\ \text{cos } \alpha = 0,8 \end{cases}$$

$$P_x = P \cos \alpha = 80 \text{ kN}$$

$$P_y = P \text{sen } \alpha = 60 \text{ kN}$$

2. Reações de apoio

$$\sum F_x = 0 \therefore H_A + 80 = 0 \therefore H_A = -80 \text{ kN}$$

$$\sum F_y = 0 \therefore V_A - 60 - \frac{50 \times 3,6}{2} = 0 \therefore V_A = 150 \text{ kN}$$

$$\sum M_A = 0 \therefore M_A - 60 \times 1,5 - 90 \times 4,2 - 120 = 0 \therefore M_A = 588 \text{ kNm}$$

2º Passo: Análises dos trechos

Trecho I: $0 \leq x \leq 1,5$

$$N(x) = +80 \text{ kN (função constante)}$$

$$M(x) = -588 + 150x \text{ (função linear)} \begin{cases} x=0: M = -588 \text{ kNm} \\ x=1,5: M = -363 \text{ kNm} \end{cases}$$

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} = 150 \text{ (função constante)} \begin{cases} x=0: Q = 150 \text{ kN} \\ x=1,5: Q = 150 \text{ kN} \end{cases}$$

Trecho II: $1,5 \leq x \leq 3,0$

$$N(x) = 0$$

$$M(x) = -588 + 150x - 60(x - 1,5) = -498 + 90x \begin{cases} x=1,5: M = -363 \text{ kNm} \\ x=3,0: M = -228 \text{ kNm} \end{cases}$$

(função linear)

$$Q(x) = \frac{dM(x)}{dx} = 90 \text{ (função constante)} \begin{cases} x=1,5: Q = 90 \text{ kN} \\ x=3,0: Q = 90 \text{ kN} \end{cases}$$

Trecho III: $3 \leq x \leq 6,6$

$$N(x) = 0$$

$$M(x) = -498 + 90x - \frac{25}{3,6} \left(4,6 - \frac{x}{3}\right) (x-3)^2 \text{ (função do terceiro grau)}$$

Embora seja recomendável o traçado da parábola do terceiro grau por procedimento gráfico, este pode ser feito obtendo-se os valores numéricos em pontos igualmente espaçados no intervalo:

$$\begin{cases} x=3: M = -228 \text{ kNm} \\ x=4,2: M = -152 \text{ kNm} \\ x=5,4: M = -124 \text{ kNm} \\ x=6,6: M = -120 \text{ kNm} \end{cases}$$

Derivando a equação de momento fletor e substituindo os valores, são encontrados os seguintes valores de esforço cortante:

$$\begin{cases} x=3: Q = 90 \text{ kN} \\ x=4,2: Q = 39,9 \text{ kN} \\ x=5,4: Q = 9,85 \text{ kN} \\ x=6,6: Q = 0 \end{cases}$$

2) ANÁLISE COMPUTACIONAL

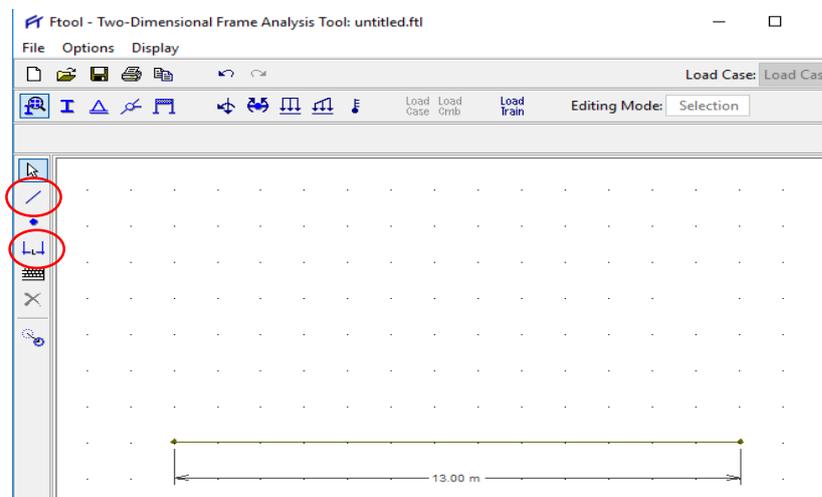
A análise computacional surge como alternativa eficiente, tendo em vista que os cálculos não se fazem necessários. Uma ferramenta essencial nesse âmbito é o FTOOL, caracterizado como um programa educacional de análise estrutural, que gera os diagramas de momento fletor, esforço cortante e esforço normal, assim como deformações e reações de apoio.

Nesse contexto, Branchier (2017) afirma que o FTOOL é um programa destinado ao ensino de comportamento estrutural, através de ferramentas simples, unindo, em uma única interface recursos para uma eficiente criação e manipulação do modelo de pré-processamento, aliados à análise da estrutura rápida e à visualização eficaz de resultados.

Para ilustrar a eficiência do FTOOL, faz-se a análise das vigas citadas anteriormente pelo FTOOL, descrevendo o passo a passo a ser seguido, para que possa ser utilizado posteriormente por demais professores que desejem implementar a análise computacional.

Inicialmente desenha-se a linha que representa a estrutura, contendo o comprimento real da viga em análise. Tal procedimento é apresentado logo abaixo, na figura 04:

Figura 04: Desenho da base da viga a ser analisada



Fonte: Acervo da pesquisa

Para esse procedimento é necessária a utilização dos itens do programa em destaque:



- Utilizado para desenhar a linha que representa a viga, de acordo com o seu comprimento



- Utilizado para cotar a viga desenhada

Após o desenho da base da estrutura, adiciona-se os carregamentos que estão atuando, neste caso, uma carga distribuída, como evidencia a figura 06 abaixo:

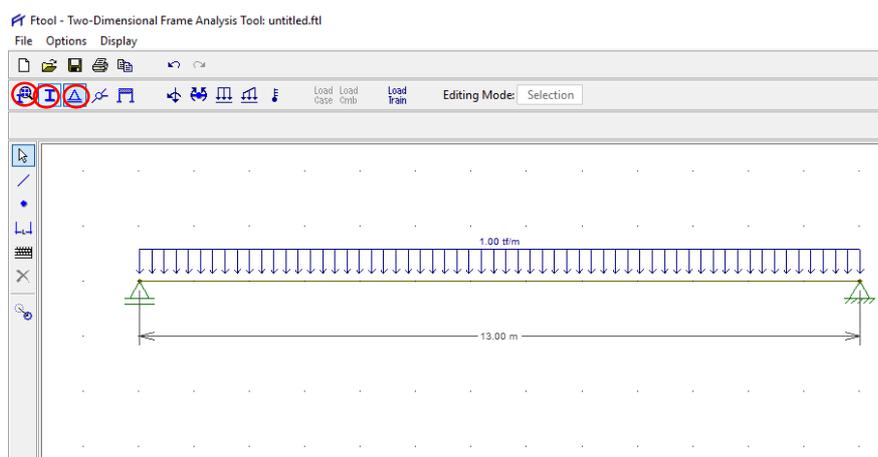
Figura 06: Carga distribuída aplicada a estrutura



Fonte: Acervo da pesquisa (2019)

Para adicionar a carga distribuída clica-se no ícone em destaque e insere-se o valor da carga a ser aplicada, neste caso 1tf/m. Após aplicar as cargas, adiciona-se os apoios, os parâmetros do material e a seção do elemento em estudo. Obtendo-se o resultado evidenciado a seguir:

Figura 07: Viga com carga, seção e material aplicado



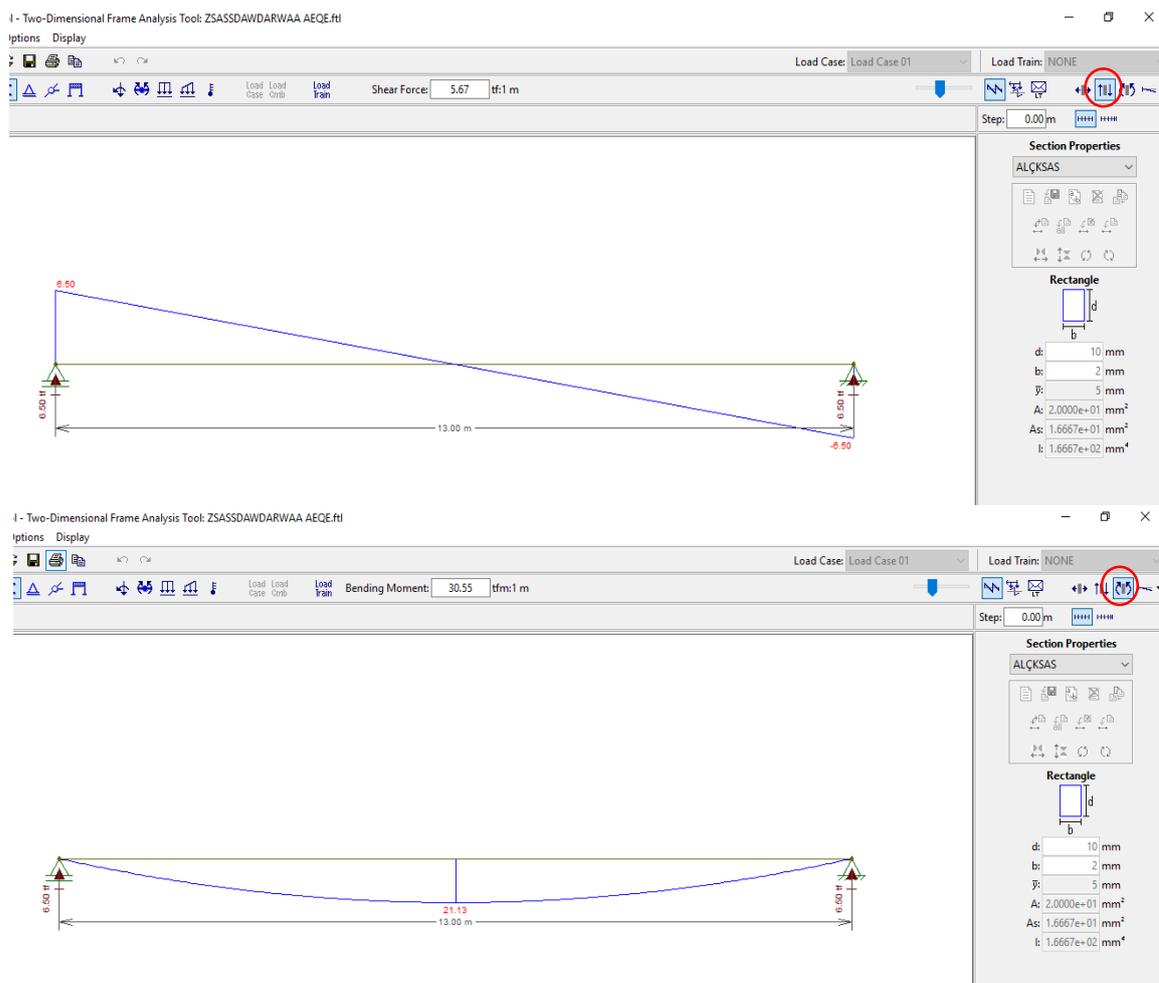
Fonte: Acervo da pesquisa



- Utilizado para definir os parâmetros do material
- Utilizado para definir as propriedades da seção
- Utilizado para adicionar os apoios, seja de primeiro, segundo ou terceiro gênero

A partir da viga elaborada é possível determinar os diagramas de momento fletor, esforço cortante e esforço normal, sendo nesta viga o esforço normal igual a zero. A figura 08 evidencia os respectivos diagramas.

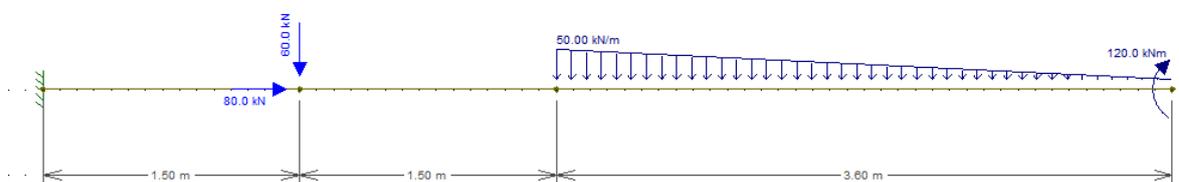
Figura 08: Diagrama de esforço cortante e momento fletor



Fonte: Acervo da pesquisa

A mesma analogia pode ser aplicada à vigas mais complexas, como por exemplo, a viga da figura 03. Utilizando o FTOOL para sua confecção, a mesma se apresentará da seguinte forma:

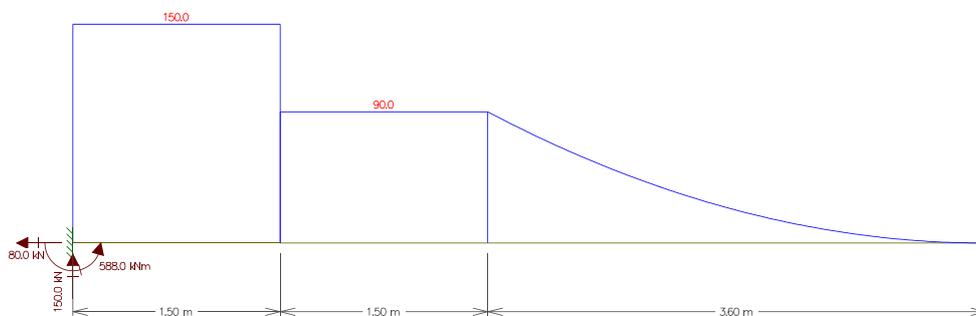
Figura 09: Viga engastada para análise no FTOOL



Fonte: Acervo da pesquisa

Com o FTOOL é possível, de forma simplificada, determinar os diagramas de esforços internos, seguindo o mesmo procedimento da viga anterior, obtendo os resultados que constam na figura 10, abaixo.

Figura 10: Diagrama de esforço cortante



Fonte: Acervo da pesquisa

Figura 11: Diagrama de momento fletor



Fonte: Acervo da pesquisa

Partindo das análises feitas pode-se perceber que a utilização do FTOOL como ferramenta para análise traz como resultados diagramas de forma detalhada, que não demandam nenhum tipo de cálculo, assim como podem ser utilizados como parâmetros de comparação, para eventuais dúvidas quanto à resolução de estruturas mais complexas, desde as reações de apoio aos diagramas gerais.

Além disso, destaca-se que para projetos de grande porte, a análise estrutural depende de grandes estruturas, complexas e com carregamentos variados, os quais demandariam muito tempo para serem resolvidas a mão. Nesse sentido, o FTOOL surge como uma alternativa mais prática e fácil de ser utilizada, agilizando assim os processos das análises estruturais de engenharia civil. Tal concepção é ratificada por Soriano (2014) o qual afirma que com os recursos computacionais atuais é possível analisar os sistemas estruturais em comportamento integrado de todos os seus componentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O ambiente educacional perpassa por dificuldades no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem, nas mais variadas esferas, em especial nesse trabalho, evidenciou-se a educação do ensino superior. No tocante ao curso de engenharia civil, as disciplinas de análise estrutural se destacam como alvos de problemas, tendo em vista a repulsa pelas exaustivas análises e cálculos detalhados.

Nesse sentido, é necessário a inserção de metodologias que facilitem o desenvolvimento das respectivas disciplinas, surgindo como alternativa a utilização do FTOOL. O respectivo software auxilia essencialmente a determinação das reações de apoio das estruturas, assim como os diagramas de momentos fletores, esforço cortante e esforço norma. Partindo desse princípio, a proposta didática emerge como opção eficiente, tendo em vista que torna as aulas mais dinâmicas, mais fáceis para compreensão, assim como para ensinar.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. C. **Estruturas isostáticas**, 2009.

BRANCHIER, H. S. **Contribuições dos softwares na aprendizagem de análise e cálculo de elementos estruturais**, Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari – UNIVATES, Lajedo, 2017.

MOREIRA, M. A; Axt, R. **O papel da Experimentação no Ensino de Ciências**, Tópicos em Ensino de Ciência, São Paulo Distribuidora, São Paulo, (1992).

SALES, D.M.R.; SILVA, F.P. **Uso de atividades experimentais como estratégia de ensino de ciências**, Recife – PE, 2010

SORIANO, H. L. **Estática das estruturas**. 4ª Edição. Editora: Ciência moderna. 2014

SUSSEKIND, J. C. **Curso de análise estrutural**- v.1-3 6. ed. - Porto Alegre -Rio de Janeiro: Globo, 1981.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2007.