

APS 1 Mecânica dos sólidos

Luca Farah, Gabriel Noal, Gustavo Molina

I. INTRODUÇÃO E POSSÍVEIS APLICAÇÕES

Este trabalho se baseia no desenvolvimento de um software para análise de treliças por métodos numéricos e a validação dele pela construção de uma configuração otimizada de um protótipo de ponte.

No mundo da engenharia existem diversas possíveis aplicações para um software assim. Um claro exemplo disso é no mundo da engenharia civil principalmente em grandes obras, como pontes, edifícios e outras construções de maior porte tendo em vista que treliças são amplamente utilizadas para deixar a estrutura mais leve ou para percorrer grandes distâncias vão, incapazes de serem solucionadas por vigas ou outras estruturas mais tradicionais.

Assim um engenheiro civil poderia utilizar do software desenvolvido para simular o sistema desenvolvido por ele antes da construção assim prevenindo problemas de deslocamento, tensões internas, forças internas e deformações no sistema.

II. CONCEITOS MECÂNICOS UTILIZADOS

A. Tensão

Tensão é uma medida da intensidade das forças internas agindo entre as partículas de uma seção transversal imaginária de um corpo.

Essas forças internas são forças de reação contra as forças externas aplicadas no corpo. Ou seja quando aplicamos forças externas em um corpo há forças internas de reação chamadas de tensões para cada unidade de área.

A unidade em SI (Sistema Internacional de Unidades) para tensão é o pascal (símbolo Pa) que é uma medida de força por unidade de área $[N/m^2]$. Assim como a pressão, já que as duas são medidas relacionadas à força por unidade de área.[1]

Classificam-se como:

1. Tração: Força aplicada sobre um corpo numa direção perpendicular à sua superfície e em sentido contrário ao centro do material.[1.1]
2. Compressão: Tensão que, quando aplicada, atua com direção ao centro do material.
3. Cisalhamento ou tensão de corte: É um tipo de tensão gerado por forças aplicadas em sentidos iguais ou opostos, em direções semelhantes, mas com intensidades diferentes no material analisado. Um exemplo disso é a aplicação de forças paralelas

mas em sentidos opostos, ou a típica tensão que gera o corte em tesouras.[1.2]

B. Deformações [1.3]

A deformação de uma estrutura é qualquer mudança na configuração geométrica da estrutura que leve a uma variação de sua forma ou das suas dimensões após a aplicação de uma ação externa.

As deformações por tensão podem ser classificadas basicamente em três tipos:

1. Deformação transitória ou elástica:

Na deformação elástica, o corpo retorna ao seu estado original após cessar o efeito da tensão. Isso acontece quando o corpo é submetido a uma força que não supere a sua tensão de elasticidade

2. Deformação permanente ou plástica

Na deformação plástica, o corpo não retorna ao seu estado original, permanece deformado permanentemente. Isso acontece quando o corpo é submetido à tensão de plasticidade, que é maior daquela que produz a *deformação elástica*.

3. Ruptura.

Na deformação por ruptura o corpo rompe-se em duas ou mais partes.

C. Deslocamentos

Em Física, o deslocamento é uma grandeza vetorial definida como a variação de posição de um corpo em um dado intervalo de tempo. Dessa forma, o vetor deslocamento pode ser obtido pela diferença entre as posições final e inicial.[1.4]

D. Reações de apoio

As reações de apoio são responsáveis pelo vínculo da estrutura ao solo ou a outras partes da mesma, de modo que sua imobilidade seja assegurada, pelo menos de pequenos deslocamentos devidos à deformação.[9]

E. Esforços internos

São utilizados no cálculo de pilares, vigas e são definidas como grandezas físicas com unidade de força sobre área.[6]

F. Tensão e Carga Axial

Na física, tensão mecânica é denominada como o valor da distribuição de esforços resistentes a cargas solicitantes por unidade de área em um corpo material ou meio contínuo.

Ja carga axial é a quantidade total de carga que irá atuar ao longo do eixo central do corpo em questão . O eixo

centróide é definido a partir de uma “linha” que passa através do centro gravitacional na direção longitudinal do objeto [5]

III. DETALHES DE CONSTRUÇÃO DO SOFTWARE

O software desenvolvido pelo grupo está separado em 3 arquivos principais, estes que são: aps.py, elemento.py e funcoesTermosol.py.

Aps.py:

O arquivo aps.py é o arquivo executavel, nele é feito do detalhamento das forças mecânicas exercidas na estrutura em questão, como também a chamada de todas as funções para cada elemento.

Neste arquivo é feito o pré processamento de dados e também o pós processamento:

1. Pré-processamento > Entrada de dados (planilha)
5. Montagem do vetor de carga global da estrutura.
9. Pós_Processamento > Saída de dados (arquivo de texto)

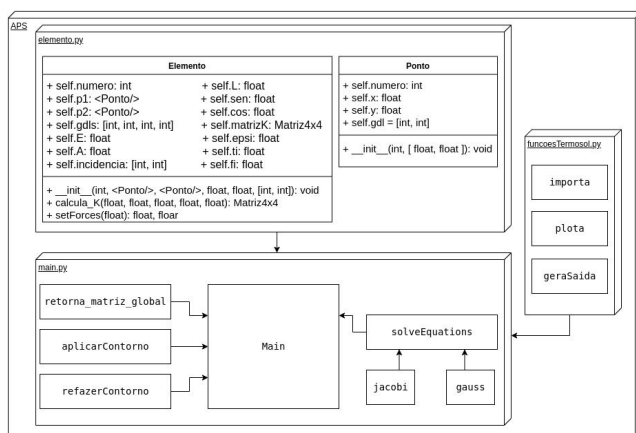
Elemento.py:

O arquivo elemento.py contem todas as funções que seguem um passo respectivo:

2. Numeração dos GDL/ Determinação das propriedades de cada elemento.
3. Montagem das matrizes dos elementos.
4. Superposição das matrizes – Rigidez global da estrutura.
6. Aplicação das condições de contorno.
7. Solver > Solução do sistema de equações.
8. Determinação das reações de apoio estrutural/Deformação e Tensão em cada elemento.

FuncoesTermosol.py:

Exporta funções já existentes para funções diversas.



Adentrando um pouco os tópicos tratados para a solução do problema em questão temos que:

1. Pré-processamento > Entrada de dados:

-Feito no aps.py, entre as linhas 6 e 17 do código, é necessário para que haja toda a análise estrutural do nosso objeto em questão.

A primeira coisa a se fazer é utilizar a função “importa” para pegar os dados da planilha.

2. Numeração dos GDL/ Determinação das propriedades de cada elemento.

-Feito no elemento.py dentro da função retorna_matriz_global e da no construtor classe Elemento, é necessário para que cada elemento tenha seu respectivo GDL definido.

3. Montagem das matrizes dos elementos.

-Feito no elemento.py dentro da função calcula_K é necessário para descobrir as tensões aplicadas no respectivo elemento e para criar a matriz de forças globais.

A matriz dos elementos, chamada de matriz K é feita a partir da multiplicação de propriedades do material pela matriz de senos e cossenos.

A mesma é necessária para a execução do próximo passo que consiste em uma matriz de forças globais.

4. Superposição das matrizes – Rigidez global da estrutura.

-Feito no elemento.py dentro da função retorna_matriz_global, utiliza a matriz de cada um dos elementos para criar uma matriz única e global.

A matriz é feita por um método de sobreposição das matrizes de cada um dos elementos calculados no passo anterior e servirá a construção do vetor de carga global da estrutura.

5. Montagem do vetor de carga global da estrutura.

-Feito no aps.py, dentro da função main, utiliza a matriz de elementos global para a construção do mesmo. Feito entre as linhas 118 e 122.

6. Aplicação das condições de contorno.

-Feito dentro da função aplicarRetorno dentro de elemento.py

-Primeiramente pegamos o vetor de carga global e analisamos os pontos de apoio para assim saber aonde fazer o corte.

-Depois fomos deletando da matriz as respectivas linhas e colunas assim como as linhas do vetor de carga global.

7. Solver > Solução do sistema de equações.

-Feito no elemento.py, dentro da função solveEquations, nela é utilizado o metodo numpy.linalg.solve da biblioteca numpy.

Método do numpy para resolver a matriz e achar os valores desejados.

8. Determinação das reações de apoio estrutural/Deformação e Tensão em cada elemento.

IV. RESULTADOS E TESTES PARA VALIDAR O USO DO SOFTWARE

Os primeiros testes foram executados por meio da análise de um sistema extremamente simples com apenas três elementos e comparamos com a saída já estabelecida a seguir:

```
Reacoes de apoio [N]
[[ 75.]
 [-225.]
 [ 100.]]

Deslocamentos [m]
[[ 0.00000000e+00]
 [-9.52380952e-07]
 [ 0.00000000e+00]
 [ 0.00000000e+00]
 [ 1.60714286e-06]
 [-4.01785714e-06]]

Deformacoes []
[[ 2.38095238e-06]
 [ 5.35723254e-06]
 [-2.97617094e-06]]

Forcas internas [N]
[[ 100. ]
 [ 225.00376672]
 [-124.99917969]]

Tensoes internas [Pa]
[[ 499999.99999911]
 [ 1125018.83359206]
 [-624995.89843168]]
```

Imagem: saída dada para comparação.

A seguir temos a saída do nosso software com as mesmas condições iniciais:

```
Reacoes de apoio [N]
[74.9999999999997, -224.9999999999997, 100.0]

Deslocamentos [m]
[0.0, -9.523809523809523e-07, 0.0, 0.0, 1.607142857142857e-06, -4.017857142857142e-06]

Deformacoes []
[2.3809523809523808e-06, 5.357142857142857e-06, -2.9761904761904763e-06]

Forcas internas [N]
[100.0, 225.0, -125.0]

Tensoes internas [Pa]
[499999.99999999994, 1125000.0, -625000.0]
```

Imagem: saída do código da equipe.

Como é possível notar as saídas são idênticas. Após essa validação era necessário analisar o algoritmo com um exemplo mais complexo, ou seja, com mais elementos. Para isso utilizamos a estrutura a seguir:

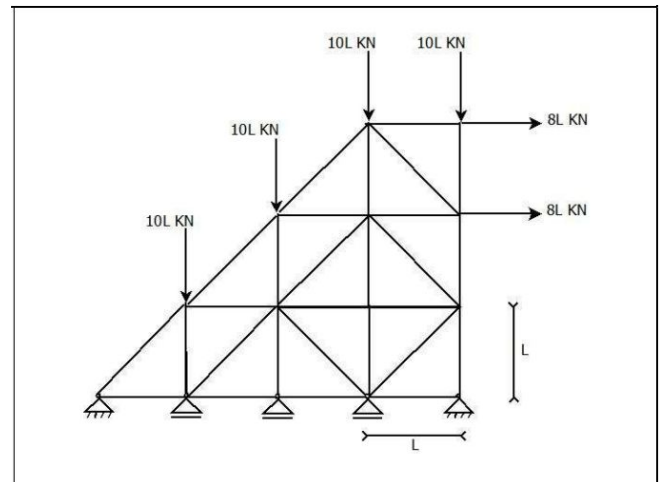


Imagem: Modelo da estrutura teste.



Imagem: Seção transversal de cada elemento.

Após a implementação dessa estrutura em nosso código obtemos a seguinte estrutura como saída:

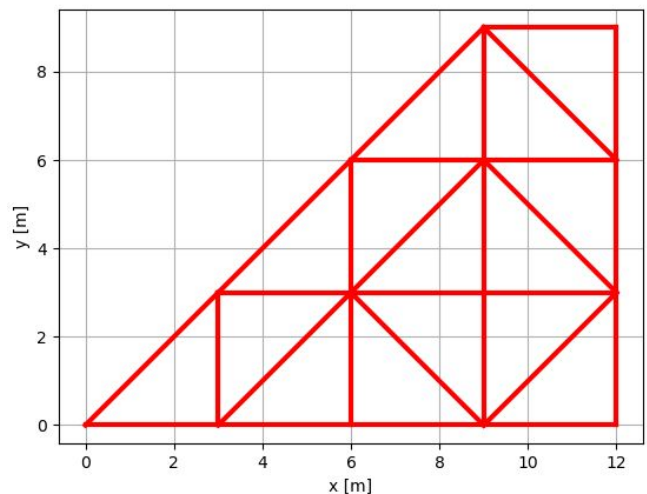


Imagem: Saída da estrutura teste.

Como isso foi possível notar que o algoritmo conseguiu desenvolver a mesma estrutura. Posteriormente os valores de saída foram validados pelo professor.

V. MÉTODO USADO PARA OBTER A CONFIGURAÇÃO OTIMIZADA

Para começar o processo tomamos em conta uma estrutura básica, que desenhamos partindo da ideia de uma ponte convencional dentro das regras exigidas pela competição e testamos ela no nosso código.

Assim começamos a analisar os valores de tensão interna, forças internas e deslocamento para que assim adicionamos mais elementos aliviando os da estrutura que estavam sobre muita força.

Por último diminuimos a área de todos os elementos para diminuirmos o peso máximo da estrutura aos requisitos da competição (300g). E revisamos as tensões internas para chegar se estavam todas inferior a 18Mpa

Ao final do processo chegamos a essa estrutura:

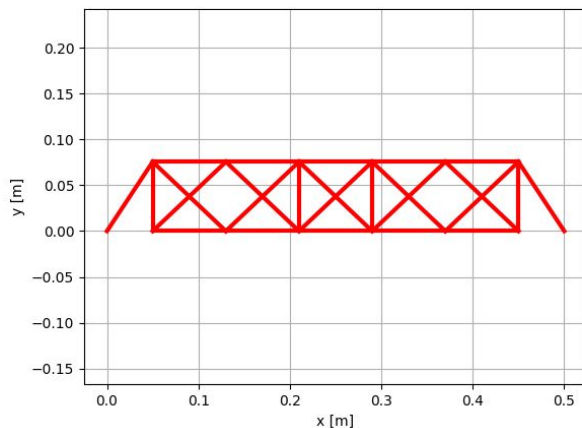


Imagem: Ponte final.

VI. PRINCIPAIS LIMITAÇÕES DO MÉTODO E DO SOFTWARE DESENVOLVIDO

Uma grande limitação do software desenvolvido é o fato de que só podemos analisar sistemas de duas dimensões deixando extremamente difícil de aplicar ele no mundo real, sendo necessário, em alguns casos, colocar duas estruturas em paralelo como a da figura a seguir:

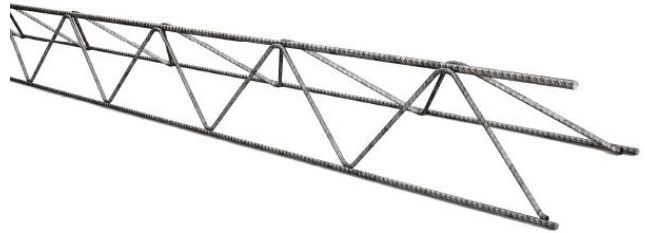


Imagem: Exemplo de treliça.

Outra limitação é o fato do software não levar em conta elementos externos para a simulação assim não sendo extremamente útil no mundo real, isso porque no universo da engenharia civil condições adversas como vento, chuva, corrosão, entre outros são muito importantes para o desenvolvimento e simulação de estruturas para garantir a duração da construção.

REFERENCES

- [1] [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_\(mec%C3%A2nica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_(mec%C3%A2nica))
- [1.1] [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tra%C3%A7%C3%A3o_\(f%C3%ADsica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tra%C3%A7%C3%A3o_(f%C3%ADsica))
- [1.2] https://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_de_cisalhamento
- [1.3] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Deforma%C3%A7%C3%A3o>
- [1.4] <https://pt.wikipedia.org/wiki/Deslocamento>
- [2] <http://comoprojetar.com.br/como-utilizar-trelicas-em-seus-projetos/>
- [3] <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-11102003-164954/publico/AlexSander.pdf>
- [4] [https://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_\(mec%C3%A2nica\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Tens%C3%A3o_(mec%C3%A2nica))
- [5] <https://www.portalsaofrancisco.com.br/fisica/carga-axial>
- [6] https://pt.wikipedia.org/wiki/Esfor%C3%A7o_interno
- [7] <https://learn-us-east-1-prod-fleet01-xythos.s3.us-east-1.amazonaws.com/5e08d75562378/1417350?response-content-disposition=inline%3B%20filename%2A%3DUTF-8%27%27Aula%25209.pdf&response-content-type=application%2Fpdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Date=20200410T210429Z&X-Amz-SignedHeaders=host>

https://learn-us-east-1-prod-fleet01-xythos.s3.us-east-1.amazonaws.com/5e08d75562378/1417565?response-content-disposition=inline%3B%20filename%2A%3DUTF-8%27%27Teste%2520do%2520software%25281%2529.pdf&response-content-type=application%2Fpdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Date=20200410T205400Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=21599&X-Amz-Credential=AKIAZH6WM4PLTYPZRQMY%2F20200410%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Signature=d1e4e7e73cf8ffac19cf994546f0066cf7103e808b88a53209beb699d0f8c920

[9]http://www.fec.unicamp.br/~fam/novaes/public_html/iniciacao/teoria/reacoes/t4.htm

[10]https://learn-us-east-1-prod-fleet01-xythos.s3.us-east-1.amazonaws.com/5e08d75562378/1360970?response-content-disposition=inline%3B%20filename%2A%3DUTF-8%27%27Aula%25205_6.pdf&response-content-type=application%2Fpdf&X-Amz-Algorithm=AWS4-HMAC-SHA256&X-Amz-Date=20200413T204022Z&X-Amz-SignedHeaders=host&X-Amz-Expires=21599&X-Amz-Credential=AKIAZH6WM4PLTYPZRQMY%2F20200413%2Fus-east-1%2Fs3%2Faws4_request&X-Amz-Signature=ee34eb472b16d150c1a2c8ae4a829f500ef18be4d836205cc4662d30eb97ec39