

# PNV3391 Projeto estrutural

## Desafio da estrutura de macarrão



Prof. Dr. Jordi Mas-Soler  
Prof. Dr. Renato Picelli

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica  
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

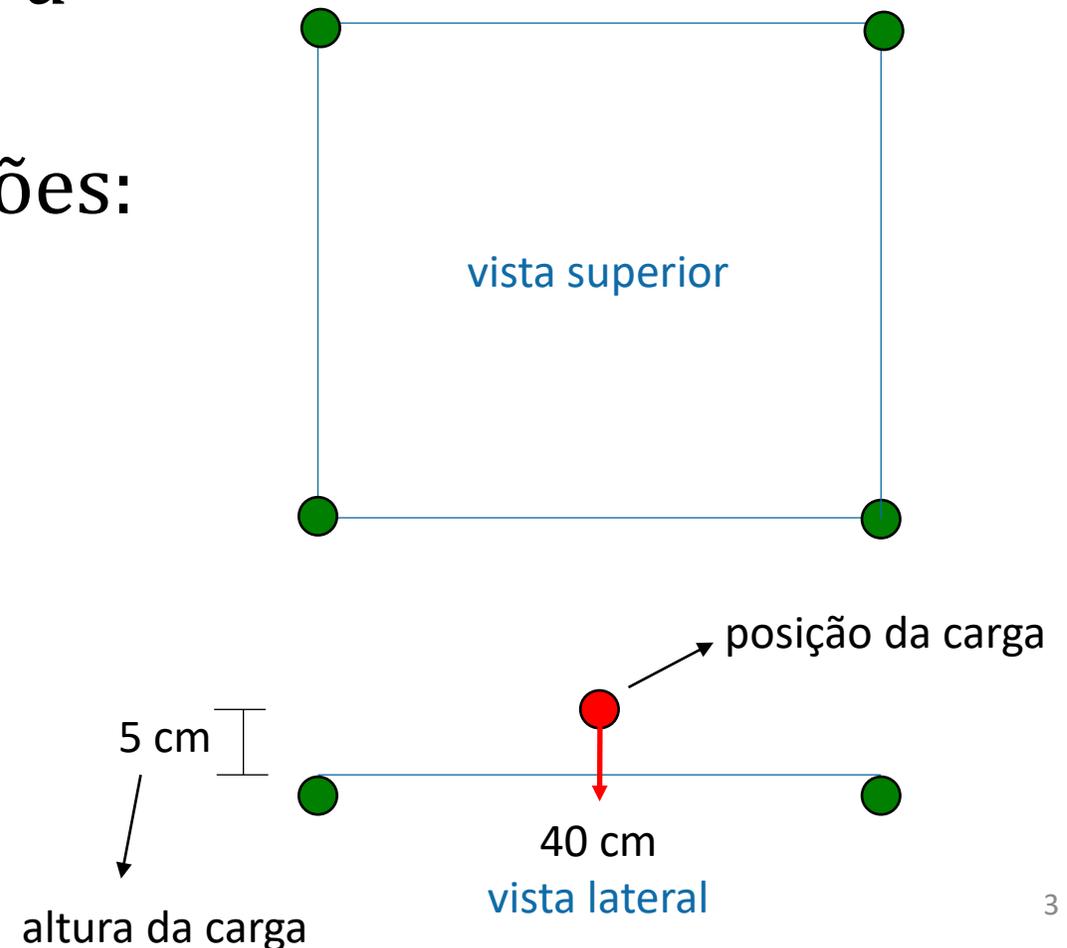
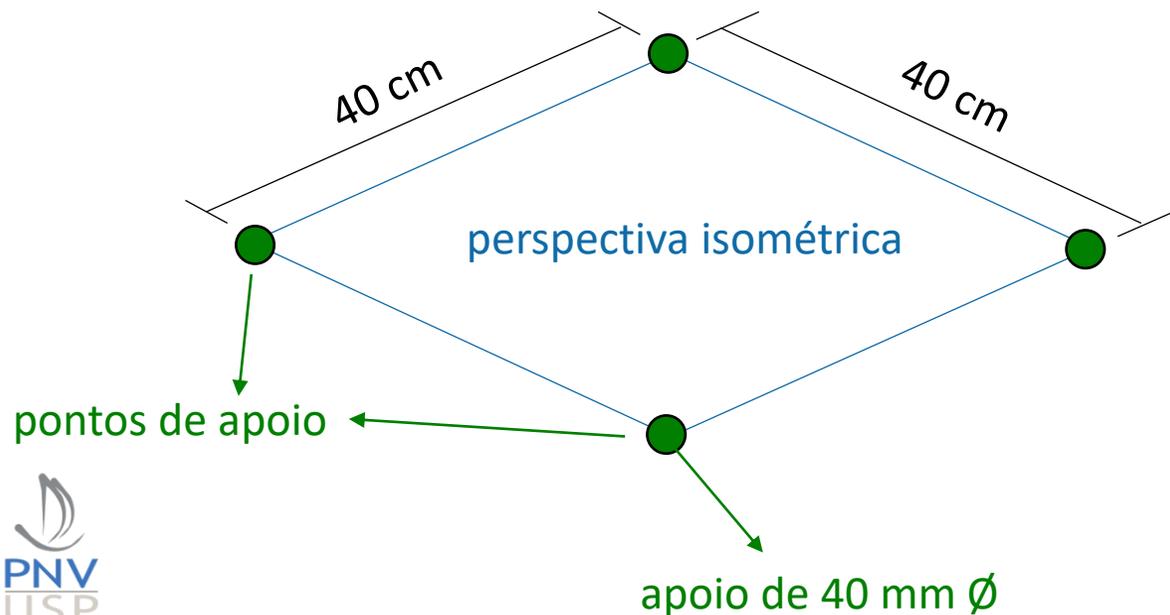
# O desafio

- Conceber (projeto conceitual) e construir uma estrutura de macarrão e cola quente.
  - “Ponte de espaguete”



# 0 desafio

- A estrutura deverá suportar a maior carga possível
- Base quadrada com dimensões:

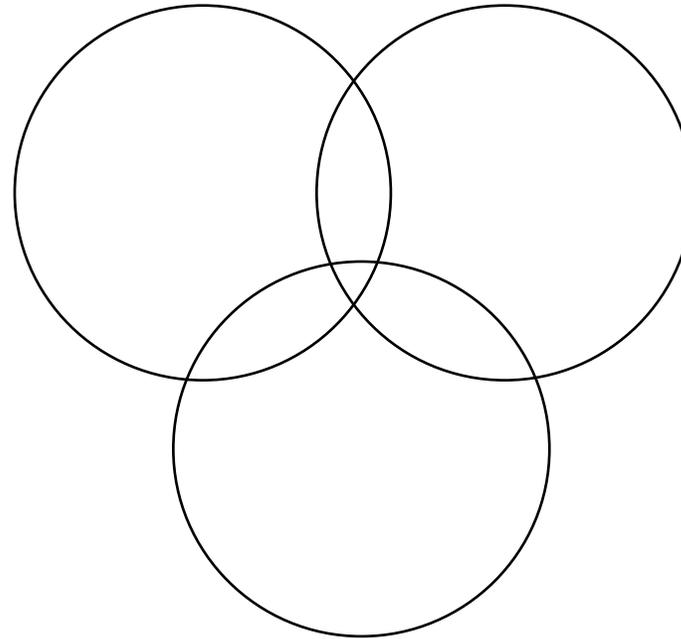


# Projeto conceitual - ????

- Em Lab Naval I, alguns conceitos ainda não terão sido passados a vocês em outras disciplinas
- O engenheiro deve aprender a estudar e propor novas soluções para problemas de engenharia
  - Buscar a informação, desenvolver e executar um projeto
- “Mão na massa” – literalmente

# Métodos de projeto em engenharia

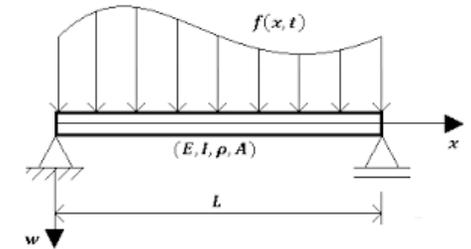
Experimental



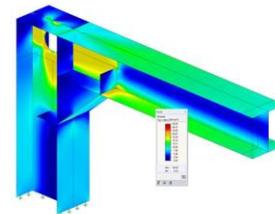
Analítico



Leonhard Euler



Computacional



Análise Matricial de Estruturas  
Método dos Elementos Finitos

# Projeto estrutural - sugestões

- Capítulo 4 do Beer & Johnston, equilíbrio dos corpos rígidos
  - Aproximação do nosso caso elástico

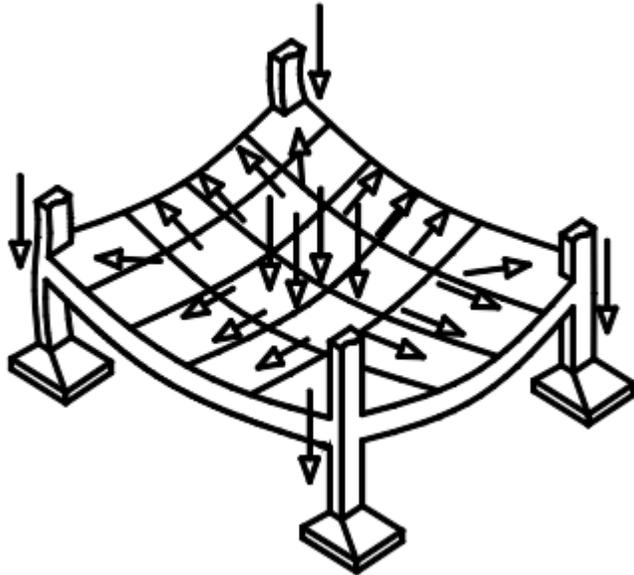
Equilíbrio de forças e momentos

$$\Sigma \mathbf{F} = 0 \quad \Sigma \mathbf{M}_O = \Sigma (\mathbf{r} \times \mathbf{F}) = 0$$

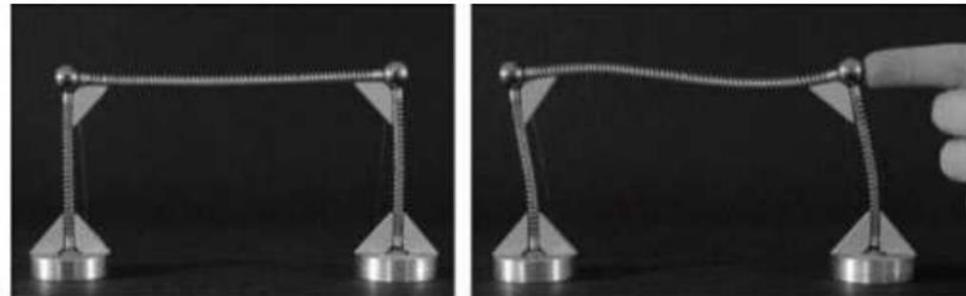
$$\begin{array}{lll} \Sigma F_x = 0 & \Sigma F_y = 0 & \Sigma F_z = 0 \\ \Sigma M_x = 0 & \Sigma M_y = 0 & \Sigma M_z = 0 \end{array}$$

# Projeto estrutural - sugestões

- Visualizar a deformação da estrutura para o carregamento
  - O peso da estrutura nesse caso é relevante?



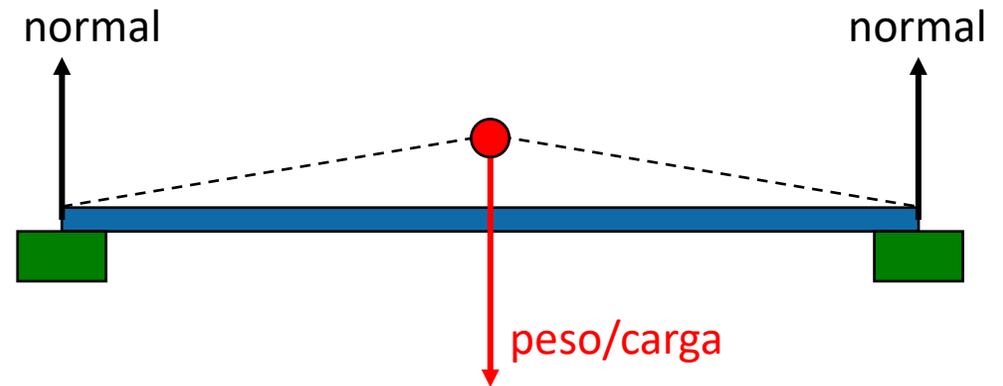
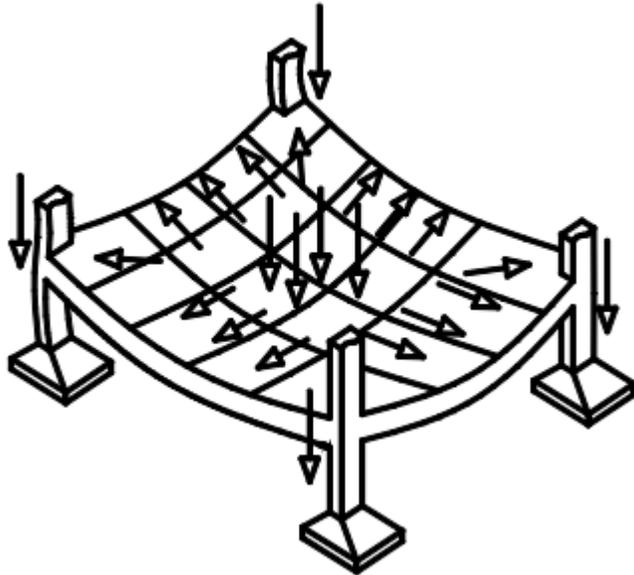
Costa e Carmo (2023)



Oliveira (2008)

# Projeto estrutural - sugestões

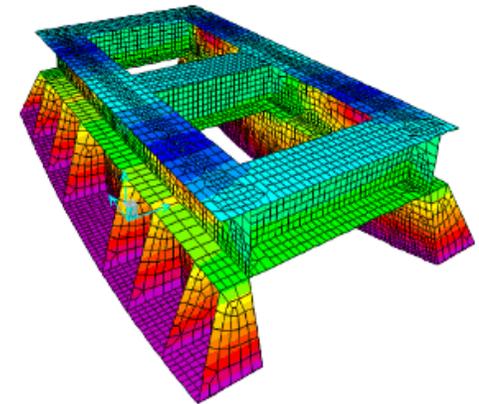
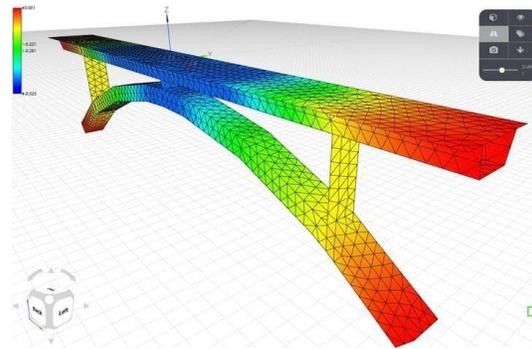
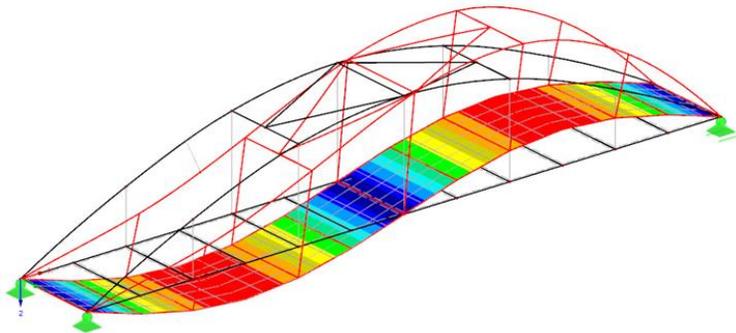
- Visualizar a deformação da estrutura para o carregamento
  - O peso da estrutura nesse caso é relevante?
  - Forças e reações



Costa e Carmo (2023)

# Projeto estrutural - sugestões

- Métodos avançados CAD/CAE
- Método dos Elementos Finitos (MEF)



- Software: ANSYS Mechanical, Altair AEC, PTC Creo, etc.

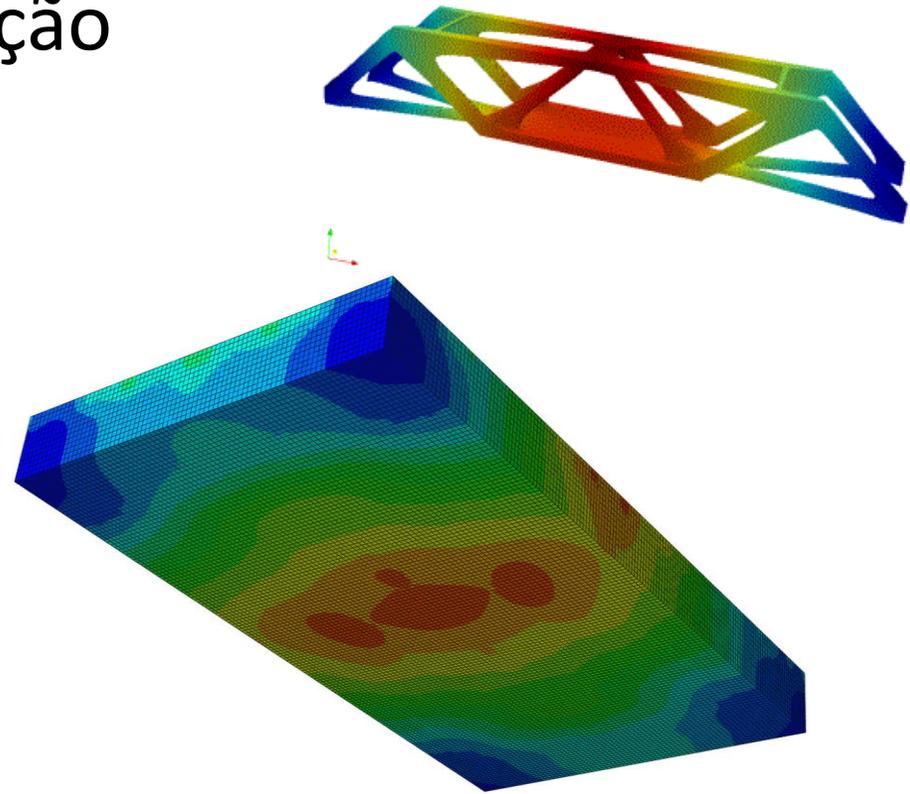
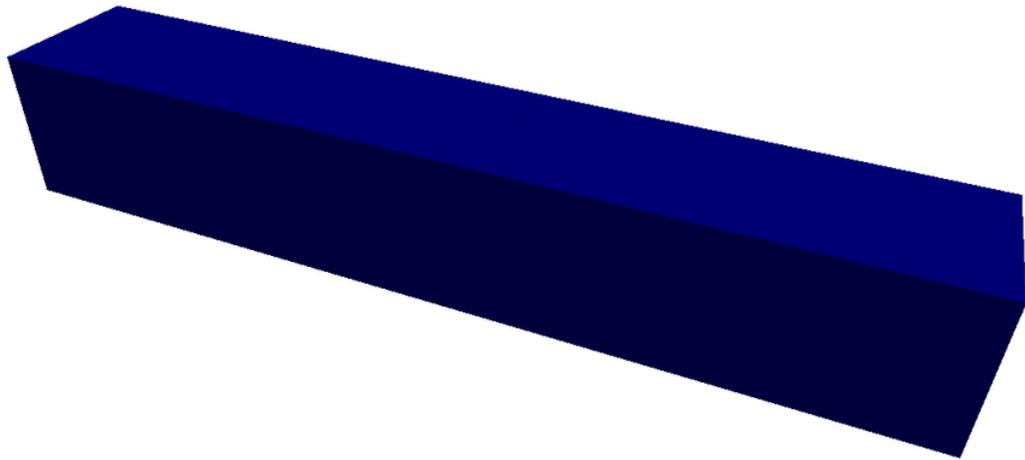
# Projeto estrutural - sugestões

- Jogo eletrônico
- Ex: *Bridge Builder*, *Build a bridge!*



# Projeto estrutural - sugestões

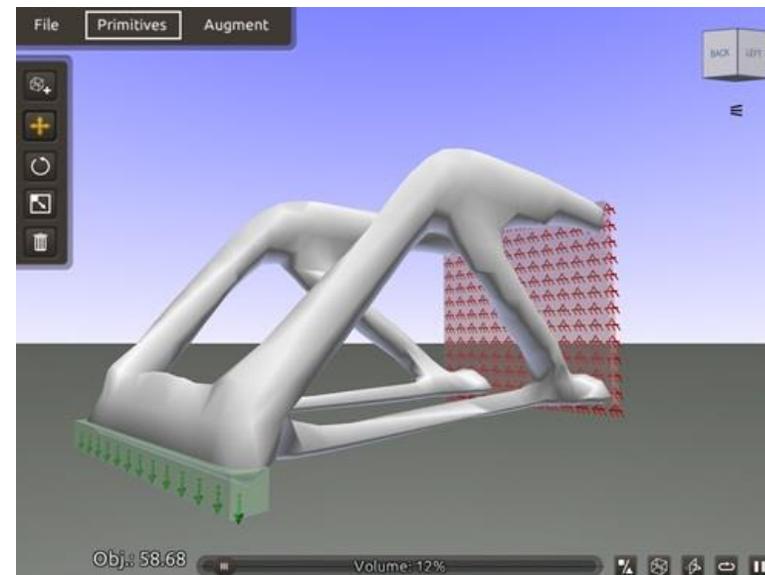
- Métodos avançados de Otimização
- Otimização Topológica



- Software: Altair Inspire, etc.

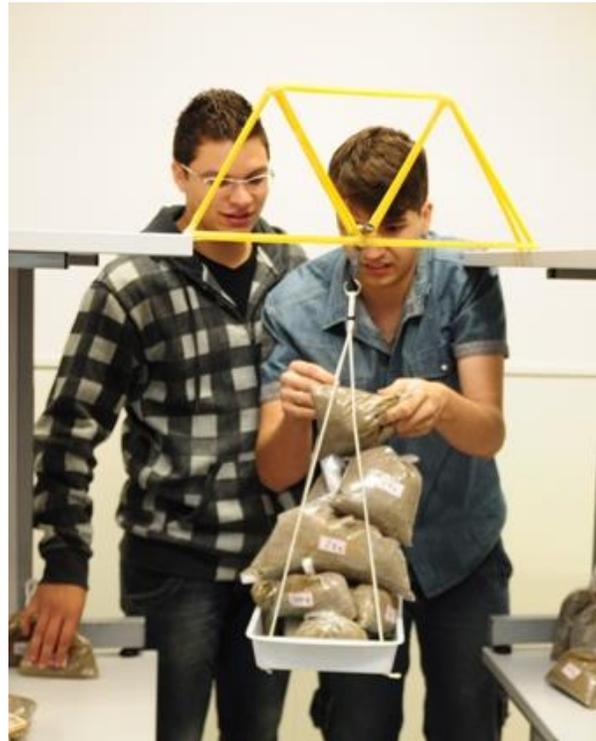
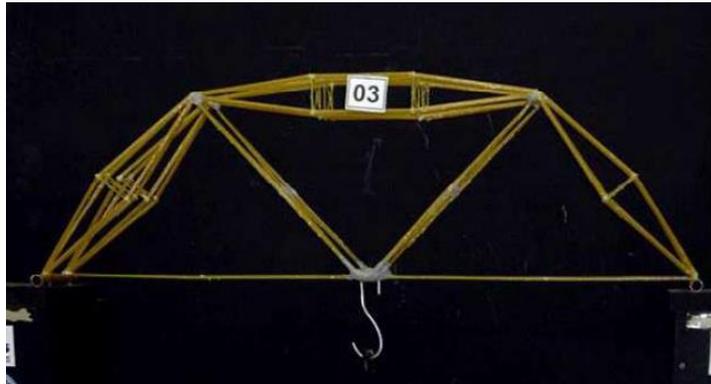
# Projeto estrutural - sugestões

- Topology Optimization app
- <https://www.topopt.mek.dtu.dk/apps-and-software>



# Teste - competição

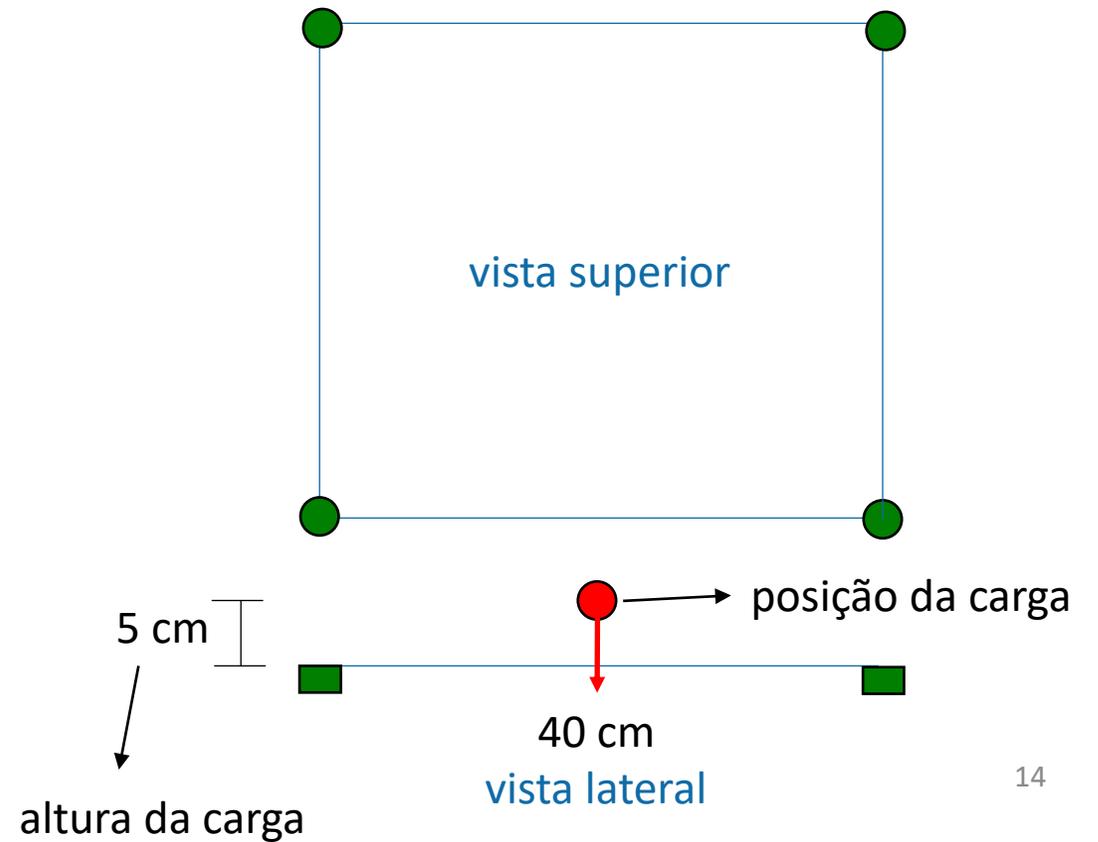
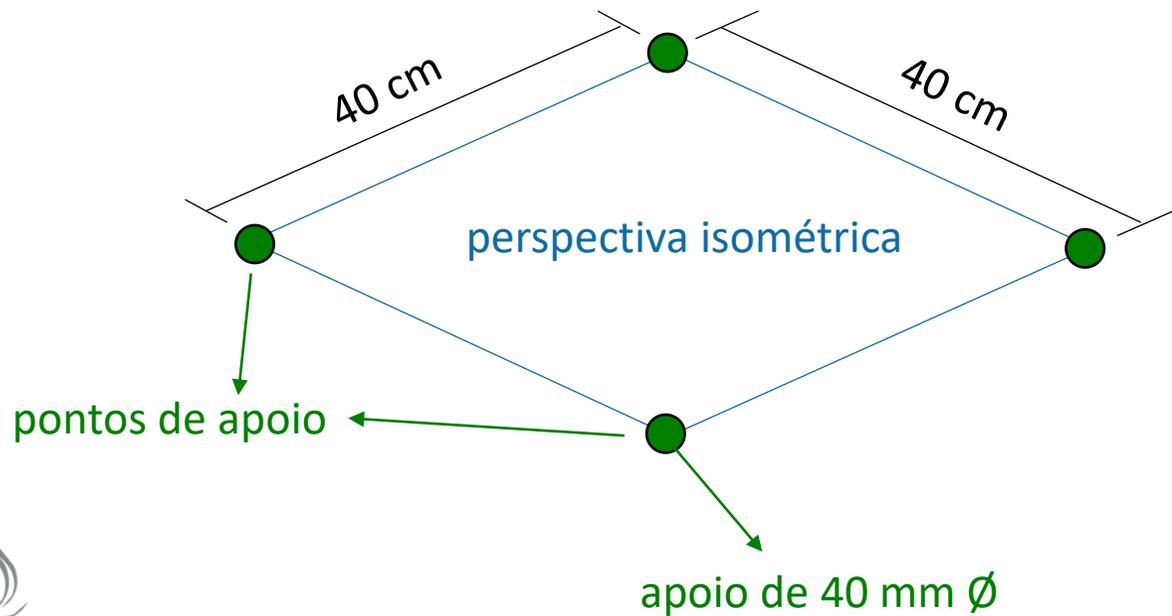
- Nota pelo **relatório** e pela **carga máxima** suportada



Data do teste: 12/04/23

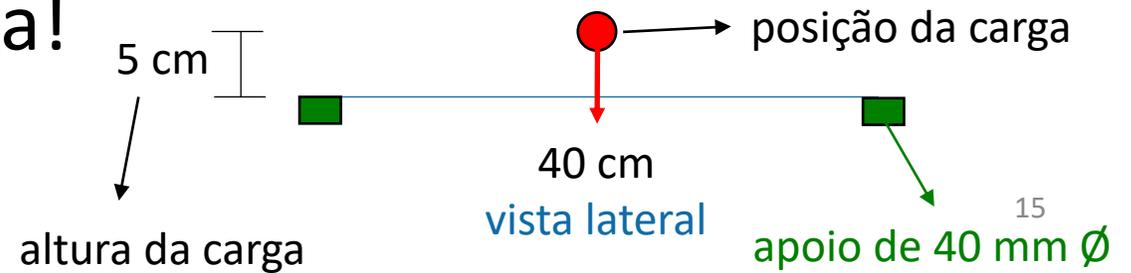
# Teste - competição

- Nota pelo **relatório** e pela **carga máxima** suportada
- Máximo de **3 kg** de peso total



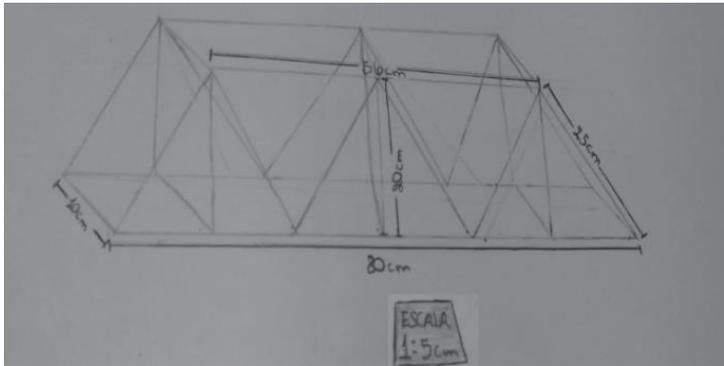
# Teste - competição

- Nota pelo **relatório** e pela **carga máxima** suportada
- Máximo de **3 kg** de peso total
- Estrutura construída **somente** com macarrão (espaguete nº 7) e cola quente
- **Não pode “temperar” a cola quente!**
- Pode encapar o feixe de espaguete com filme plástico de cozinha para construir uma viga.
- **Atenção** para a posição da carga!



# Projeto estrutural - sugestões

- Hoje: pelo menos um croqui preliminar



- Avaliar as possibilidades
- “Esquenta” para a estrutura do pedalinho
- Formem as equipes!!! **Obs: Elas poderão ser alteradas para o pedalinho e deverão se manter a mesma até a competição**