



Proposta de testes de carregamento virtuais em postes para linhas de transmissão

Palestrante: Angelo Fabri, Gerente de Engenharia do Produto - Brametal

Introdução

Os **testes de carregamento** nos protótipos de estruturas para linhas de transmissão têm a função de **avaliar a resistência e os deslocamentos** da estrutura frente às cargas que simulam as diversas hipóteses de carregamento.

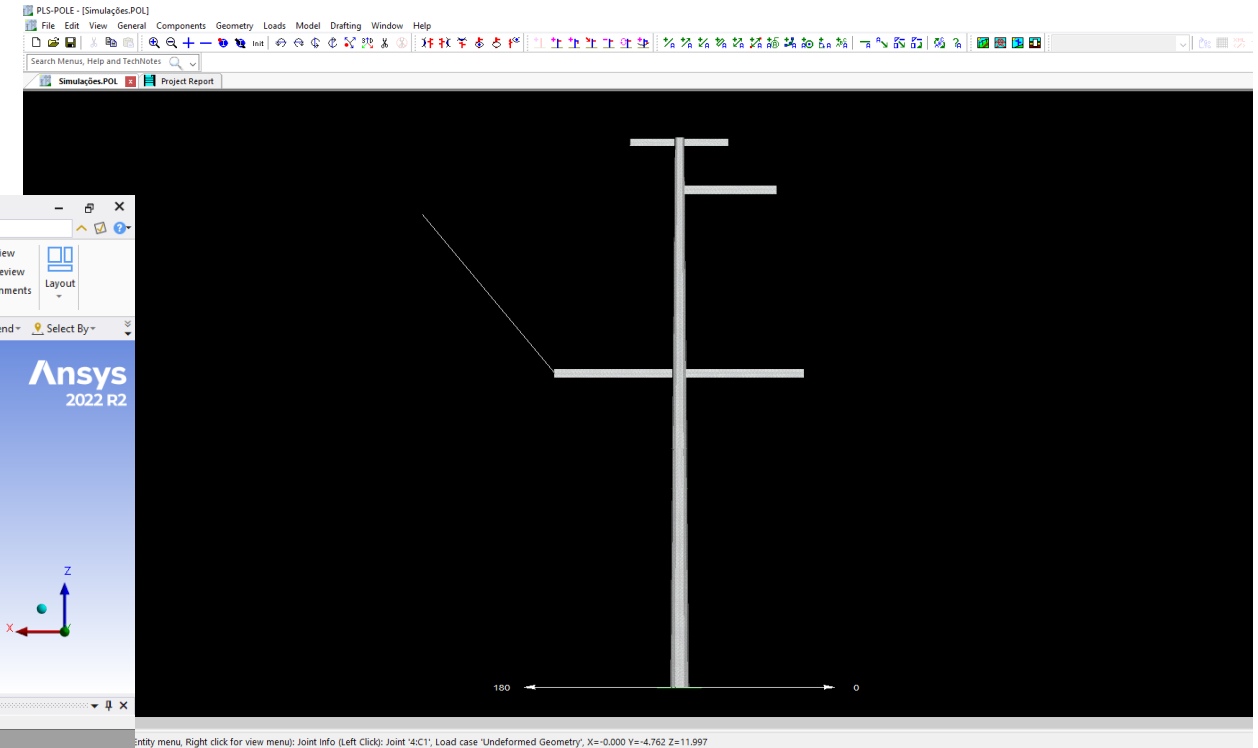
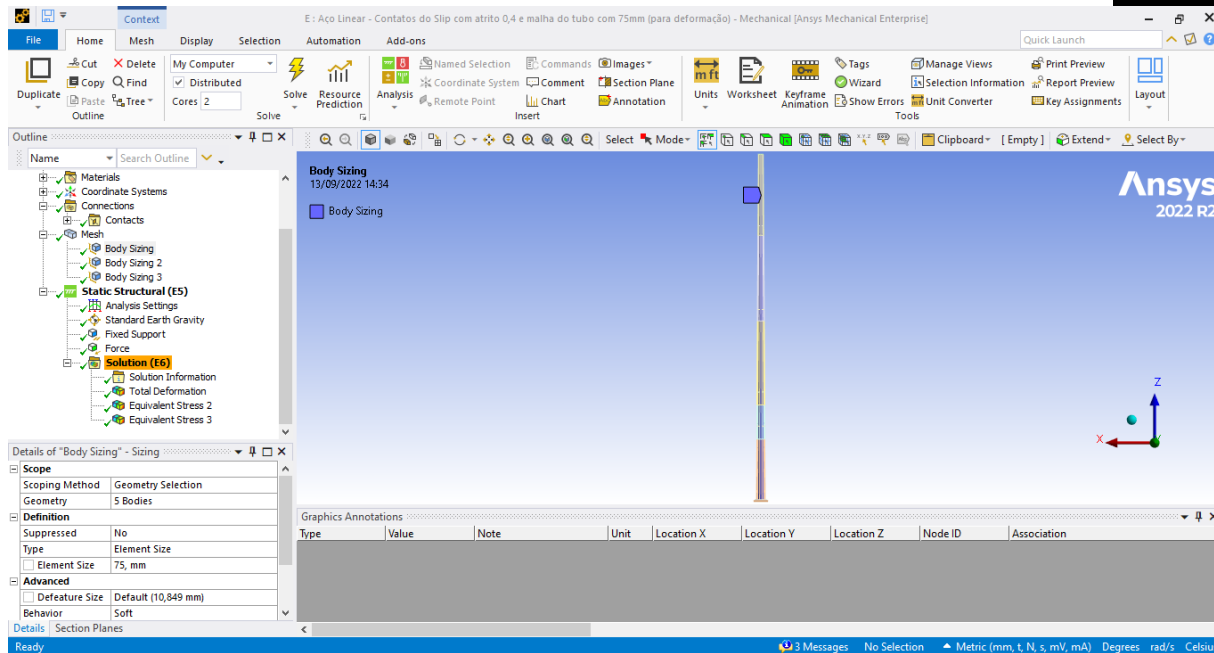
O objetivo da apresentação é **comparar as tensões e deslocamentos** medidos durante **um teste** e os valores obtidos via **software** para um poste de linha de transmissão, de forma a verificar a **compatibilidade entre os resultados reais e teóricos**.



Metodologia / Simulações computacionais

Softwares utilizados:

- PLS-Pole;
- Ansys Mechanical R22.



REALIZAÇÃO:

Metodologia / Testes de Carregamento

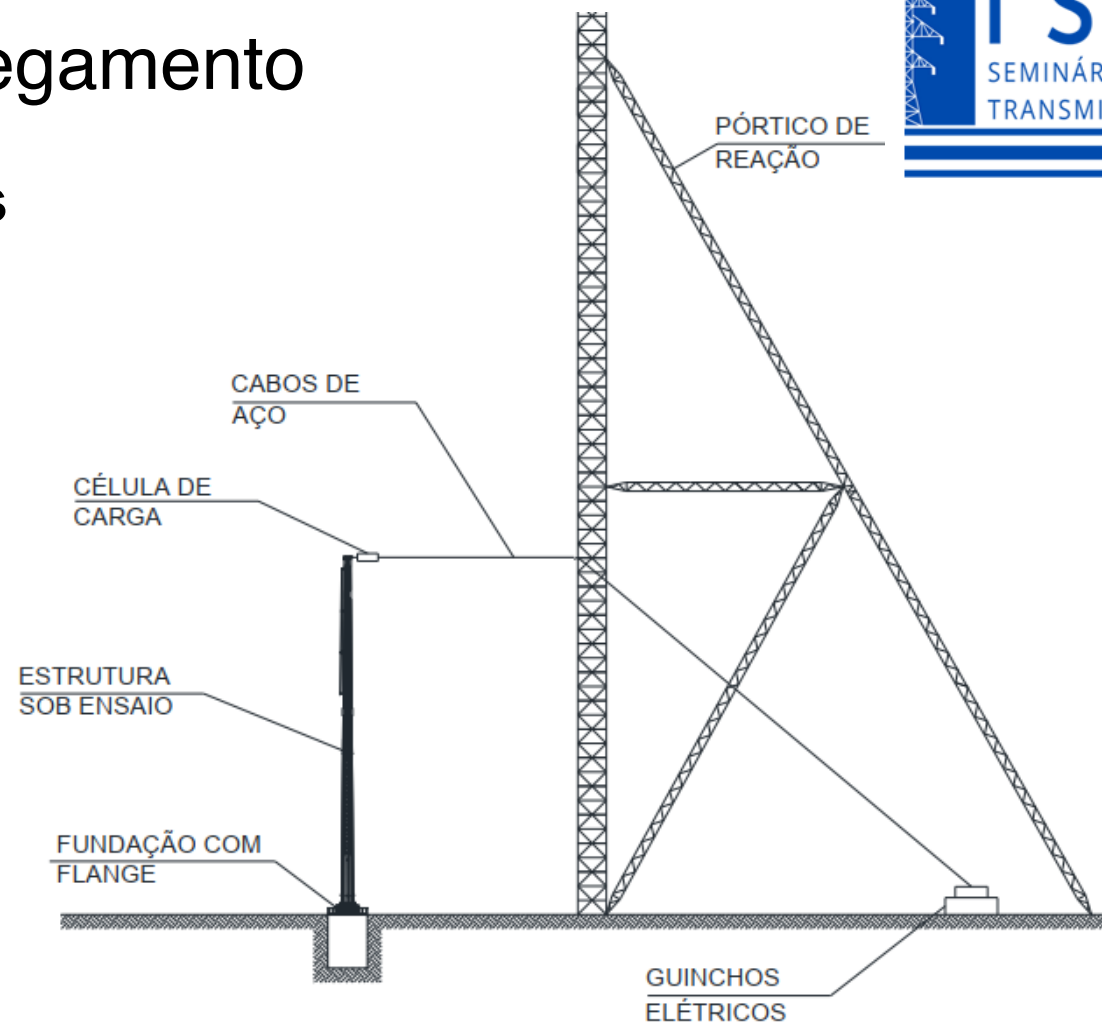
- Teste realizado na **Estação de Testes Estruturais** de propriedade da Brametal SA.
- Instrumentação do protótipo com **célula de carga e strain gages** lineares;
- Medição dos deslocamentos com **estação total**.



REALIZAÇÃO:

Metodologia / Testes de Carregamento

Esquema de aplicação das cargas



REALIZAÇÃO:

Cálculo Teórico / Geometria

O poste a ser analisado é uma **estrutura de ancoragem** com altura total de **21 metros** para linha de **230 kV com circuito simples**.

- Diâmetro do topo inscrito de 350mm;
- Diâmetro da base inscrito de 700mm;
- Seções poligonais com 12 lados;
- Comprimento de transpasse é de 890mm;
- Módulo Superior 11,89 m – Espessura da chapa #8mm;
- Módulo Inferior 10,00 m – Espessura da chapa #16mm;
- Fundação do tipo flange e chumbadores;
- Espessura do flange 76mm;
- Material: ASTM A572 - Grau 50.

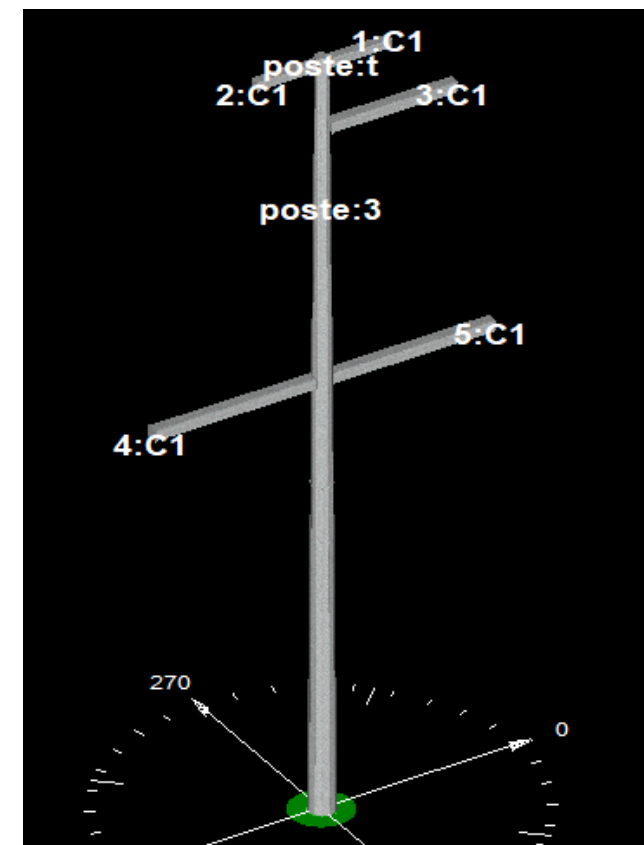


REALIZAÇÃO:

Cálculo Teórico / PLS Tower

Considerações:

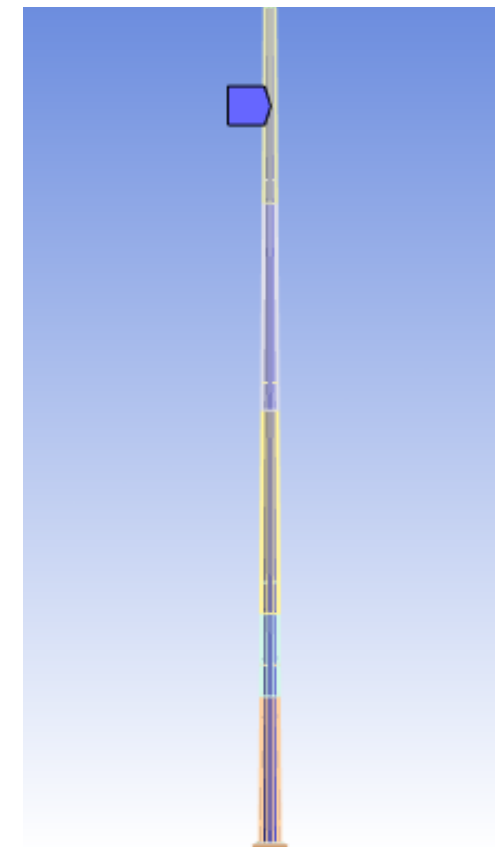
- Modelo de **elementos finitos de nós e barras** com a discretização e vinculação automática;
- O modelo é do tipo **pórtico espacial** com translações e rotações livres;
- A análise inclui **não linearidade geométrica**.
- Carga horizontal aplicada no **topo de 5500daN**.



Cálculo Teórico / Ansys

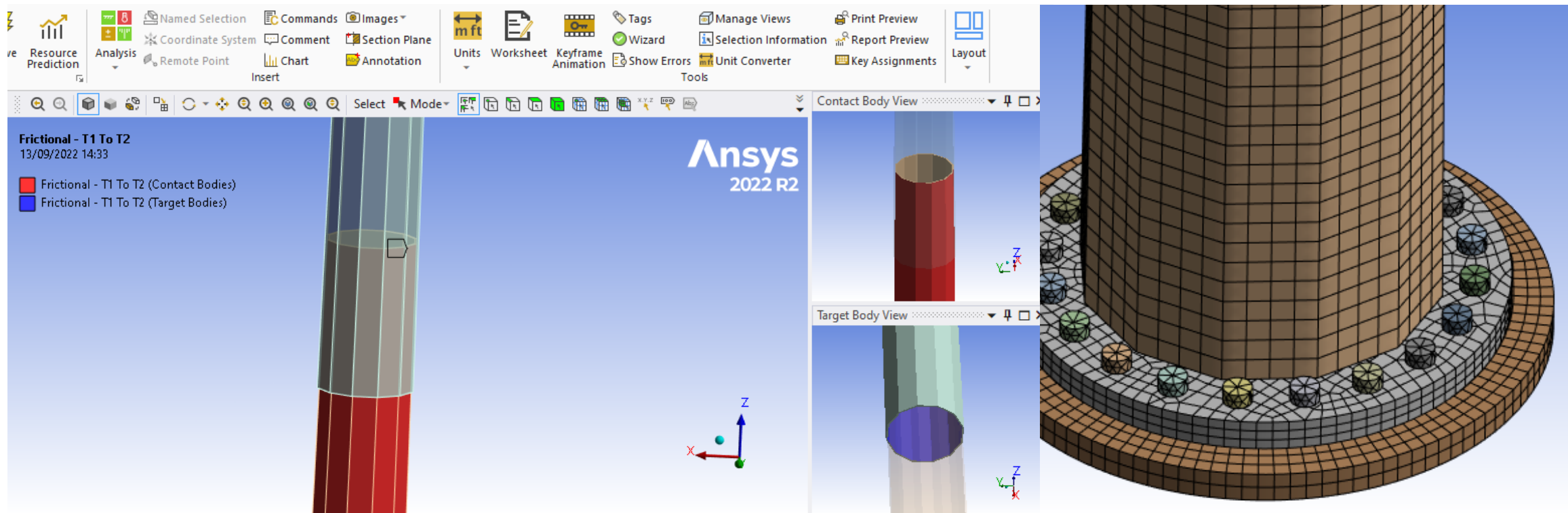
Considerações:

- Modelo com **elementos sólidos**;
- Criação das conexões entre os elementos: **Bonded e Frictional** (0,2 Aço/Aço e 0,5 Aço/Concreto);
- Geração da malha, visando usar elementos de **tamanhos adequados** ao tipo da análise;
- Configuração do solver para **Large Deflections**, permitindo ao software considerar a resposta não linear dos deslocamentos vs carregamentos;
- Carga horizontal aplicada no **topo de 5500daN**.



Cálculo Teórico / Ansys

Conexão entre os módulos (**slip-joint**) e definição da malha



REALIZAÇÃO:

- **Espessuras dos módulos** do protótipo foram de 16.27 mm e 8.31 mm respectivamente;
- A montagem do protótipo foi feita na **horizontal** utilizando-se um macaco hidráulico para o **encaixe tipo macho/fêmea** (*slip joint*) dos módulos;
- **Slip joint teórico** é $893\text{mm} \pm 89\text{mm}$, foi encontrado na **montagem o valor** de 897 mm;
- Protótipo montado sobre **base extremamente rígida** para minimizar o efeito da sua deformação.



Teste de Carregamento / Aplicação da Carga

Procedimento:

- Foi realizada uma única hipótese de carregamento com a aplicação da **carga nominal equivalente de 5500 daN** no topo da estrutura.
- Foi aplicado **50% do valor da carga nominal** para acomodação dos deslocamentos. Ao atingir o valor, a estrutura **foi descarregada** e foi feita uma leitura inicial para referência dos deslocamentos.
- A seguir, a estrutura foi **novamente carregada**, sendo feito o **registro dos deslocamentos** ao atingir o **valor de 50%**.



REALIZAÇÃO:

Teste de Carregamento / Aplicação da Carga

Procedimento:

- Ao se atingir 100 % da carga nominal esperou-se um período de **cinco minutos** e registrou-se os **deslocamentos**.
- Não foi detectada **nenhuma falha** durante este processo.



Resultados

Os valores lidos pelos strain-gages são medidos em $\mu\text{m/m}$ e através da lei de Hooke, converteu-se os **valores lidos em tensões**, permitindo a comparação com os resultados teóricos.

| | Deformação Strain Gage ($\mu\text{m/m}$) | Tensão Strain Gage (Mpa) | Tensão Ansys (Mpa) | Diferença Ansys x Strain Gage | Tensão PLS Pole (Mpa) | Diferença Pole x Strain Gage |
|---|--|--------------------------|--------------------|-------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| 1 | 1022.4 | 204.5 | 198.75 | -2.8% | 202.9 | -0.8% |
| 2 | 1550.2 | 310.1 | 302.33 | -2.5% | 304.6 | -1.8% |

REALIZAÇÃO:

Resultados

Os **deslocamentos** foram medidos nos três pontos indicados e seus valores estão conforme a tabela abaixo:

| Ponto | Estação Total (m) | Ansys (m) | PLS Pole (m) | Teste x Ansys (m) | Teste x PLS Pole (m) |
|-------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|----------------------|
| A | 0.841 | 0.863 | 0.851 | 2.6% | 1.2% |
| B | 0.426 | 0.438 | 0.422 | 2.1% | -1.0% |
| C | 0.275 | 0.281 | 0.277 | 2.0% | 0.6% |

REALIZAÇÃO:

Considerações Finais

- Os resultados foram bastante **satisfatórios** e corroboram com a **validação dos métodos utilizados** para o cálculo teórico e para a execução dos testes de carregamento;
- Os valores para as tensões e deslocamentos encontrados com o **PLS Pole** tiveram **excelente proximidade** com as medições realizadas durante o teste;
- Para o **Ansys**, as diferenças foram **ligeiramente superiores** e podem ser creditadas pela **adoção de coeficientes de atrito empíricos** para considerar o escorregamento entre as faces das juntas tipo macho fêmea;



Considerações Finais

- O comportamento do protótipo tubular no teste pode ser **considerado previsível** frente à boa aderência das medições reais em comparação com os resultados teóricos.

Para reflexão: e o futuro?

- Testes de carga virtuais poderão **substituir** os físicos realizados em protótipos?
- Também para **torres treliçadas**?



Muito obrigado!

Angelo Braz Fadini Fabri
angelo@brametal.com.br
(27) 99835-7123

