

## **SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1**

# **Modelagem Numérica do Processo de Fabricação de dutos revestidos (MLPs)**



**Aluno: Pedro Sena**

**Orientadores: Marcelo Caire e Murilo Vaz.**



## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

### ■ Índices:

1. Introdução
2. Single Pipe: Características dos modelos
3. Single Pipe: Formulação Teórica
4. Resultados Single Pipe: Tensão circunferencial e radial
5. Resultados Single Pipe: Deformação e deslocamento
6. MLP: Características do Modelo
7. MLP resultados: Tensão Circunferencial, radial e as residuais
8. MLP resultados: Pressão de contato e residual
9. Agradecimentos
10. Referências

## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

- Introdução:

- **O que é um Tight Fit Pipe e qual a sua importância ?**
- São dois dutos concêntricos, utilizados para o transporte de fluidos. O duto interno é chamado de *Liner* e tem a função de resistir a corrosão gerada pelo transporte desses fluidos. O duto externo é chamado de *Carrier pipe* e tem como principal função resistir aos carregamentos externos gerados pelo mar.
- **A importância do estudo do Single Pipe:**
- A importância de estudar o Single Pipe primeiro é para o melhor entendimento do estado de tensões-deformações num pipe com pressão interna.

- **Como é realizado o seu processo de fabricação?**

Os dutos possuem diferentes diâmetros, permitindo que sejam inseridos um dentro do outro, entretanto com um considerável *gap* entre eles. Após isso, é aplicado um carregamento de pressão interna que os une de maneira permanente.

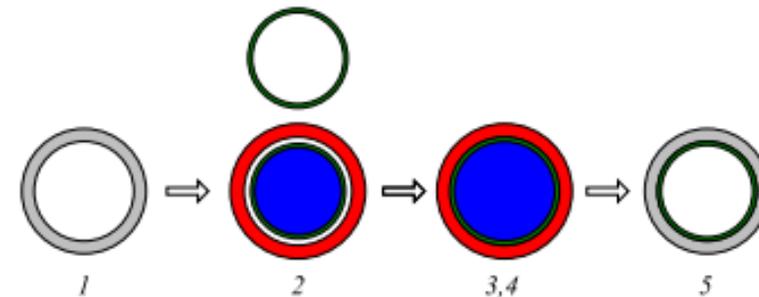


Figure 2.1 Schematic representation of the TFP manufacturing process [Focke, 2007]

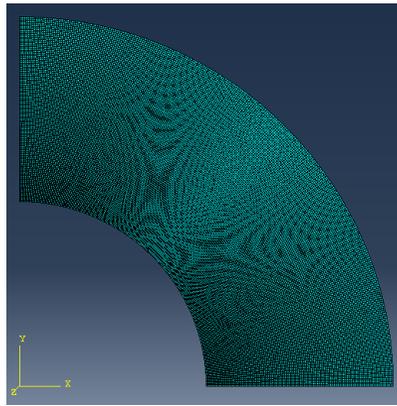
## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

- Single pipe: Características

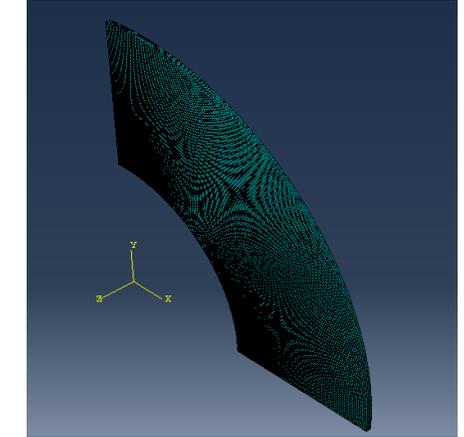
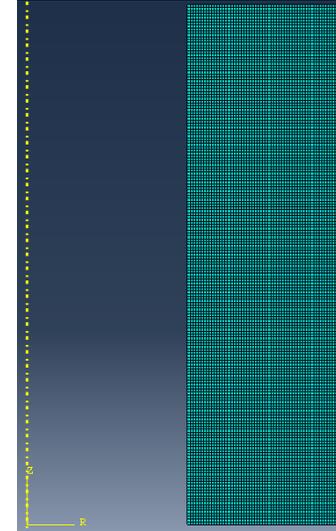
- Pipe com pressão interna:

- Análise do modelo analítico;
- Modelagem em elementos finitos;
- Modelo sólido, plano (1/4 e 1 de seção transversal) e aximétrico;
- Diferentes materiais  $n=1/3$  e  $n=8/9$ ;
- Condição de contorno de deslocamento. No plano vertical  $U1=0$  e plano horizontal  $U2=0$ .
- Coordenadas Cilíndricas;

- Modelo Plano com 1/4 da seção transversal.

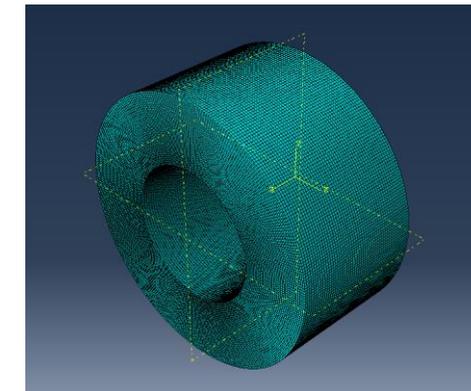


- Modelo Axissimétrico



- Modelo Sólido com 1/4 da seção transversal e comprimento longitudinal curto.

- Modelo Sólido com seção transversal completa e comprimento longitudinal relevante.



## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

### • Single pipe: Formulação Teórica

#### ▪ Single Pipe: Análise analítica

- Tensão circunferencial e radial;
- Curva de Encruamento do material;
- Critério de Von Mises

#### ▪ Tensões na região elástica:

$$\sigma_{\theta} = \frac{p_c r_c^2}{b^2 - r_c^2} \left( 1 + \frac{b^2}{r^2} \right), \quad \sigma_r = \frac{p_c r_c^2}{b^2 - r_c^2} \left( 1 - \frac{b^2}{r^2} \right)$$

#### ▪ Tensões na região plástica:

$$\sigma_{\theta} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_i \sin \left( \phi - \frac{\pi}{6} \right), \quad \sigma_r = -\frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_i \cos \phi$$

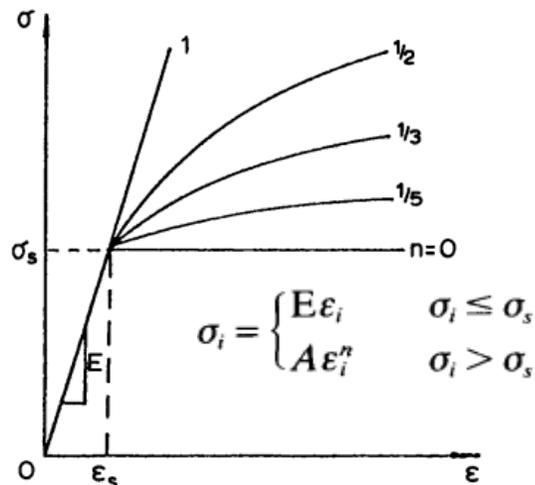
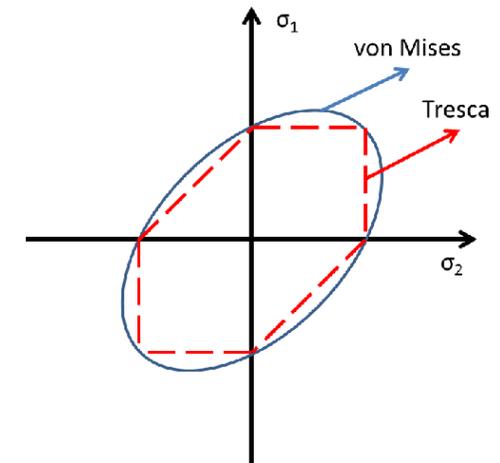
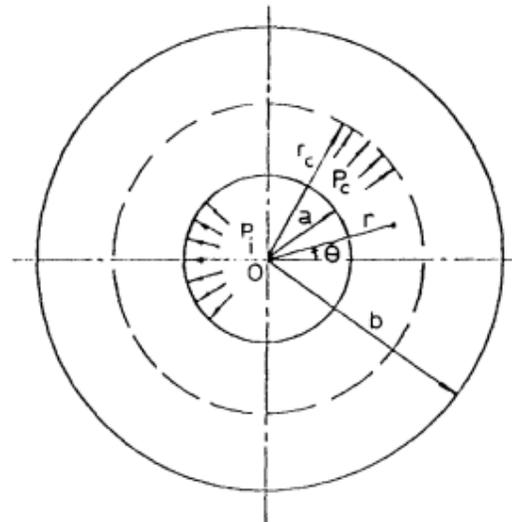


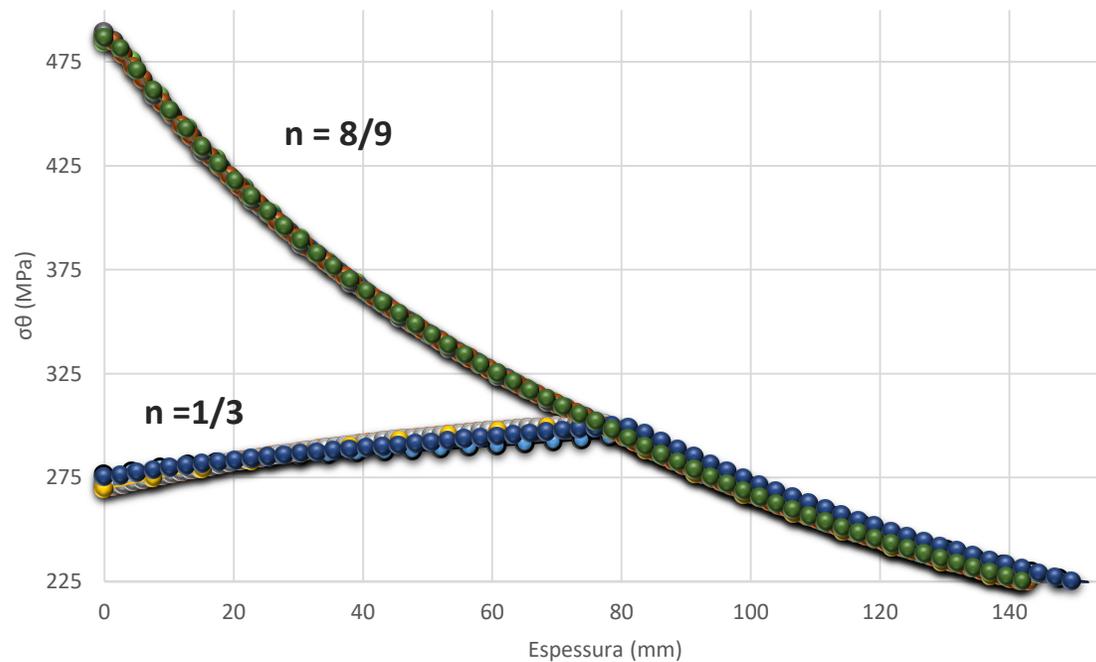
Fig. 2. The material stress-strain relation.



## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

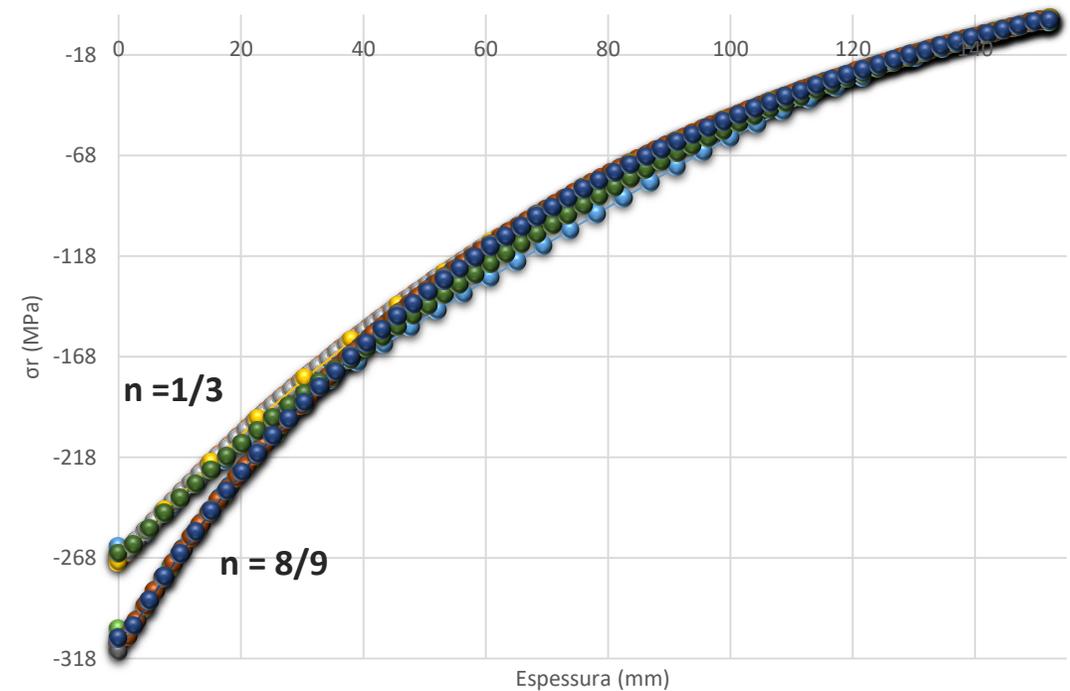
- Single Pipe: Resultados

Tensão Circunferencial vs Espessura



- Modelo Sólido com seção transversal completa e comprimento.
- Modelo Sólido com  $\frac{1}{4}$  da seção transversal e “sem comprimento”.

Tensão Radial vs Espessura

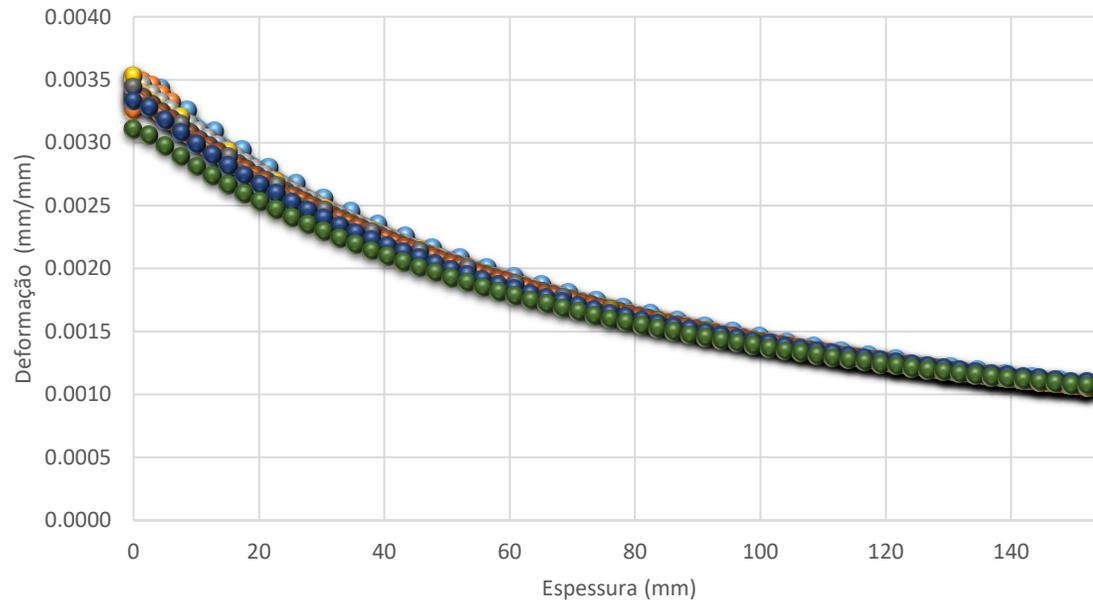


- Modelo Plano.
- Modelo Axissimétrico

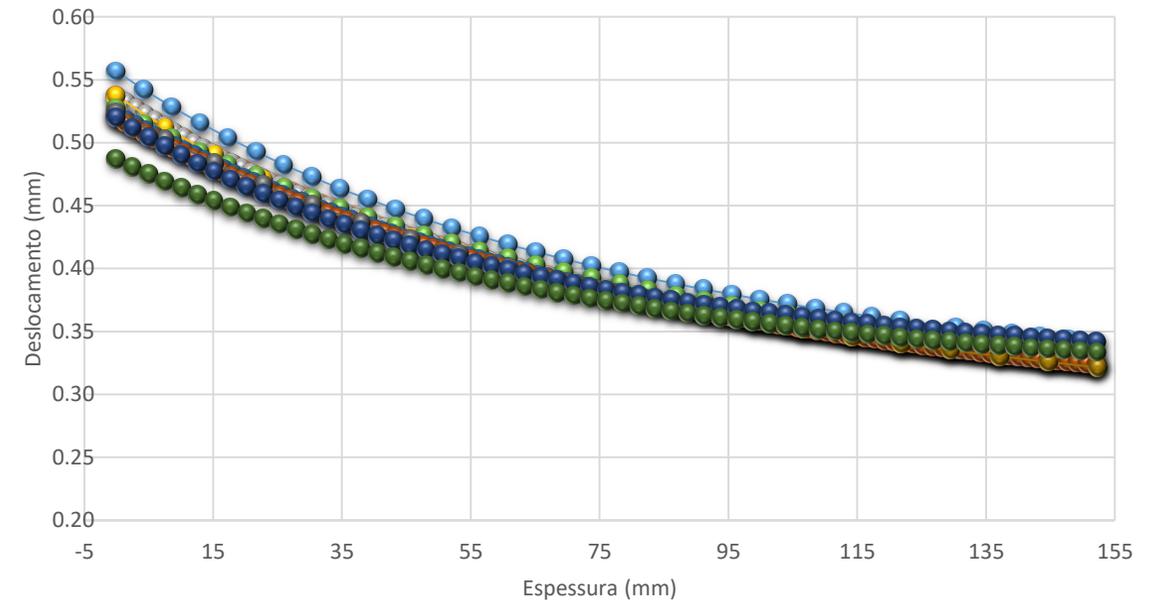
## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

- Single Pipe: Resultados

Deformação vs Espessura



Deslocamento vs Espessura



- Modelo Sólido com seção transversal completa e comprimento.
- Modelo Sólido com  $\frac{1}{4}$  da seção transversal e “sem comprimento”.

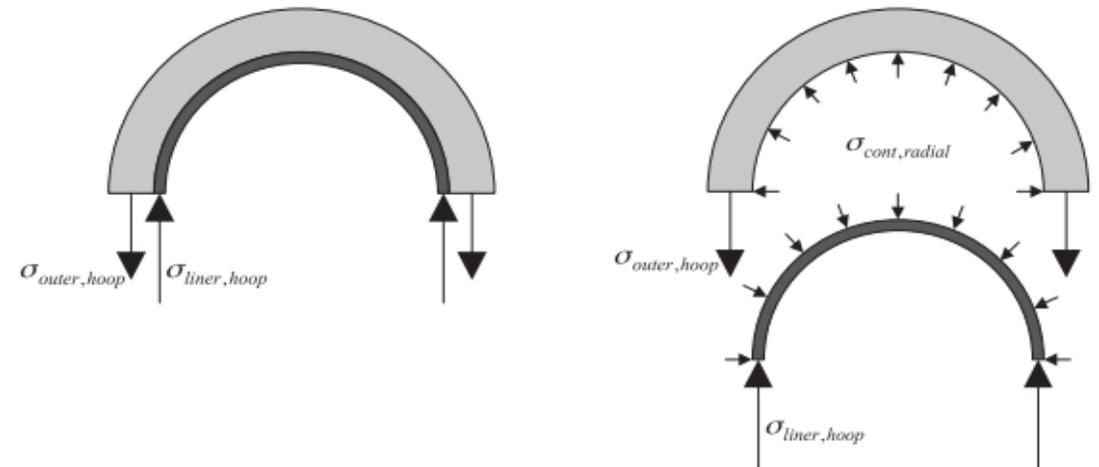
- Modelo Plano.
- Modelo Axissimétrico

## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

### • Mechanical Lined Pipes (MLPs)

#### • Fabricação do MLP

- Valores reais das características dos materiais do Pipe e do Liner;
- Análise Elástica-perfeitamente plástica;
- Modelo de Elementos Finitos (MEF);
- Tentativa de utilizar a estabilização automática (step), Amortecimento CEM (Constraint enforcement method) – Penalty/direct;
- Modelo Analítico com Tresca

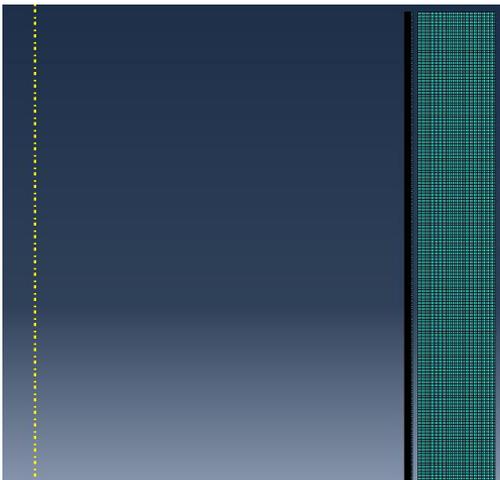


**TABLE 1: MLP GEOMETRICAL AND MATERIAL PROPERTIES**

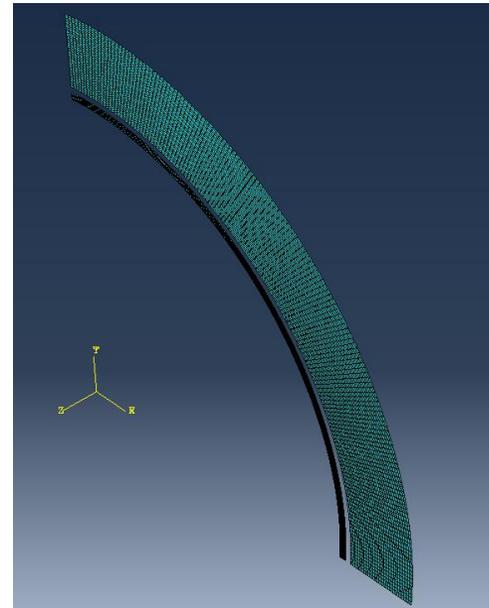
Properties	CRA Liner	Carrier Pipe
Young's Modulus (GPa)	195	192
Poisson's Ratio	0.30	0.28
Yielding Stress (MPa)	210	245
Outer Radius (mm)	79.5	97.0
Radius Ratio	1.02	1.2

## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

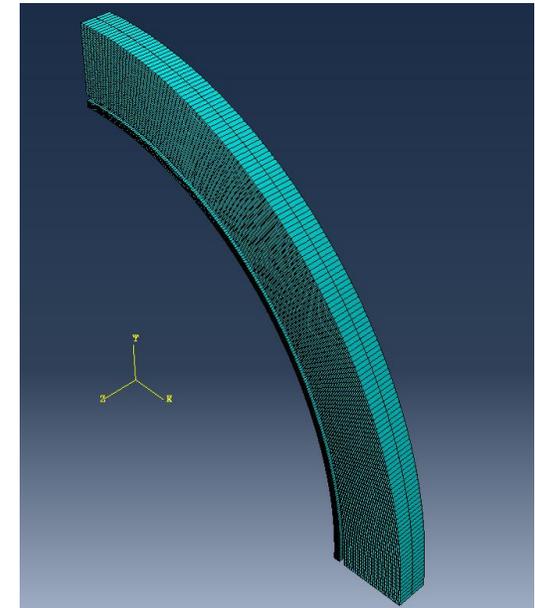
- MLP: Mesh
  - Modelos Elementos Finitos (MEF)
  - Modelo sólido com  $\frac{1}{4}$  da seção transversal
  - Modelo Plano com  $\frac{1}{4}$  da seção transversal
  - Modelo Aximétrico
  - Condição de contorno de simetria em todos os modelos. YSYMM, U2=UR1=UR3=0.



- Modelo Aximétrico



- Modelo Plano



- Modelo Sólido

## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

### • MLP: Formulação Teórica

- Fabricação do MLP
- Formulação teórica;
- Tresca vs Von Mises;

#### ▪ Tensões no Regime Elástico

$$\begin{cases} \sigma_{\theta} = p_i \frac{(r_o^2 + r^2)r_i^2}{(r_o^2 - r_i^2)r^2} \\ \sigma_r = -p_i \frac{(r_o^2 - r^2)r_i^2}{(r_o^2 - r_i^2)r^2} \end{cases}$$

#### ▪ Pressão Interna e de Contato

$$\begin{cases} (p_i^t)_{nh} = \sigma_{yi} \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right) + \sigma_{yo} \left[ \ln\left(\frac{R_c}{R_i}\right) + \frac{R_o^2 - R_c^2}{2R_o^2} \right] \\ (p_c^t)_{nh} = \sigma_{yo} \left[ \ln\left(\frac{R_c}{R_i}\right) + \frac{R_o^2 - R_c^2}{2R_o^2} \right] \end{cases}$$

#### ▪ Tensões no Regime Plástico no *Carrier pipe* e no *Liner*

- Vale ressaltar que deve ser acrescentado à tensão radial a pressão de contato, no caso do *liner*.

$$\begin{cases} (\sigma_{\theta})_{oi}^t = \sigma_{yo} \left[ \frac{R_o^2 + R_c^2}{2R_o^2} - \ln\left(\frac{R_c}{R_i}\right) \right] \\ (\sigma_r)_{oi}^t = -\sigma_{yo} \left[ \frac{R_o^2 - R_c^2}{2R_o^2} + \ln\left(\frac{R_c}{R_i}\right) \right] \end{cases}$$

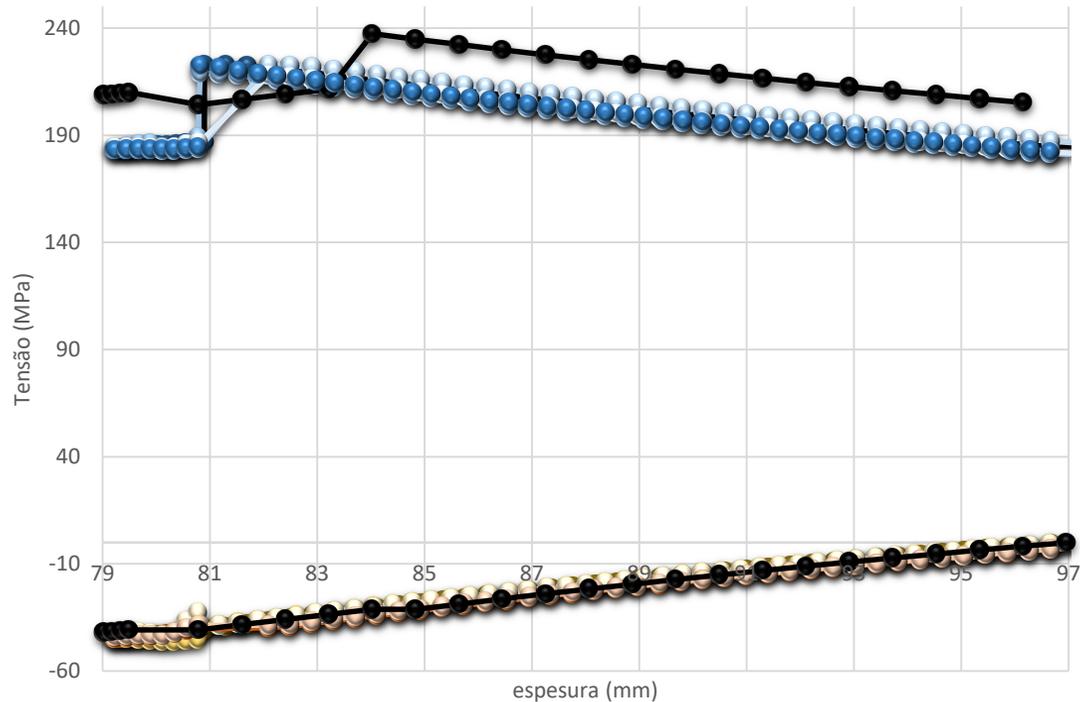
#### ▪ Tensões Residuais

$$\begin{cases} (\sigma_{\theta})_{oi}^* = p^* \frac{(R_o^2 + R_i^2)}{(R_o^2 - R_i^2)} \\ (\sigma_r)_{oi}^* = -p^* \end{cases}$$

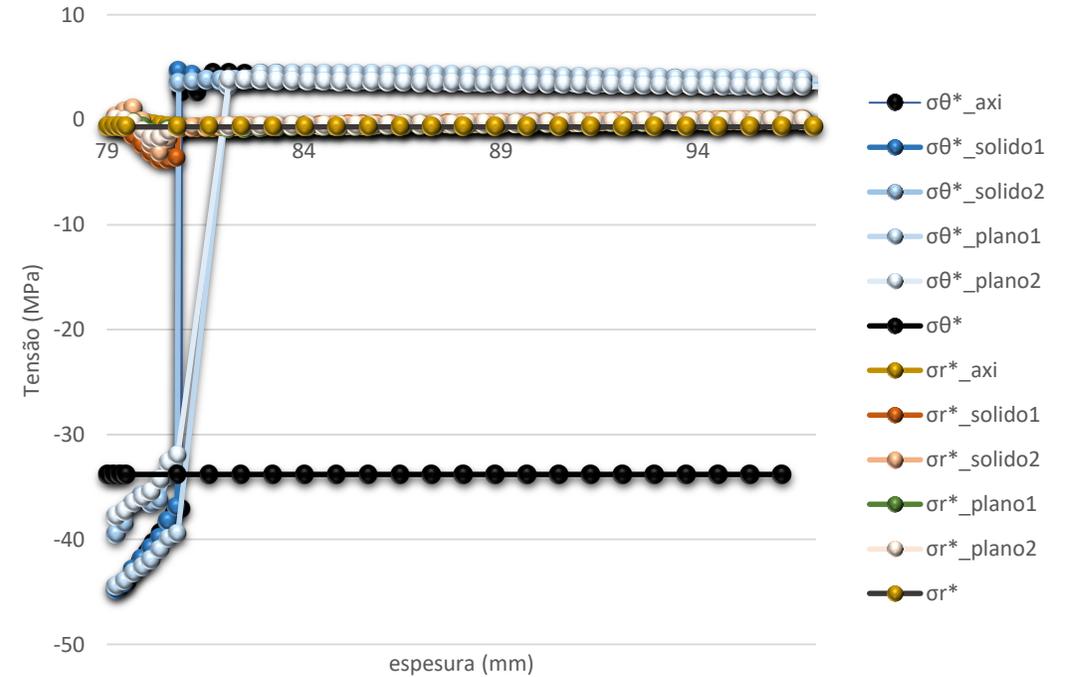
## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

- MLP Resultados: Tensões

Tensão x espessura



Tensão Residual x espessura

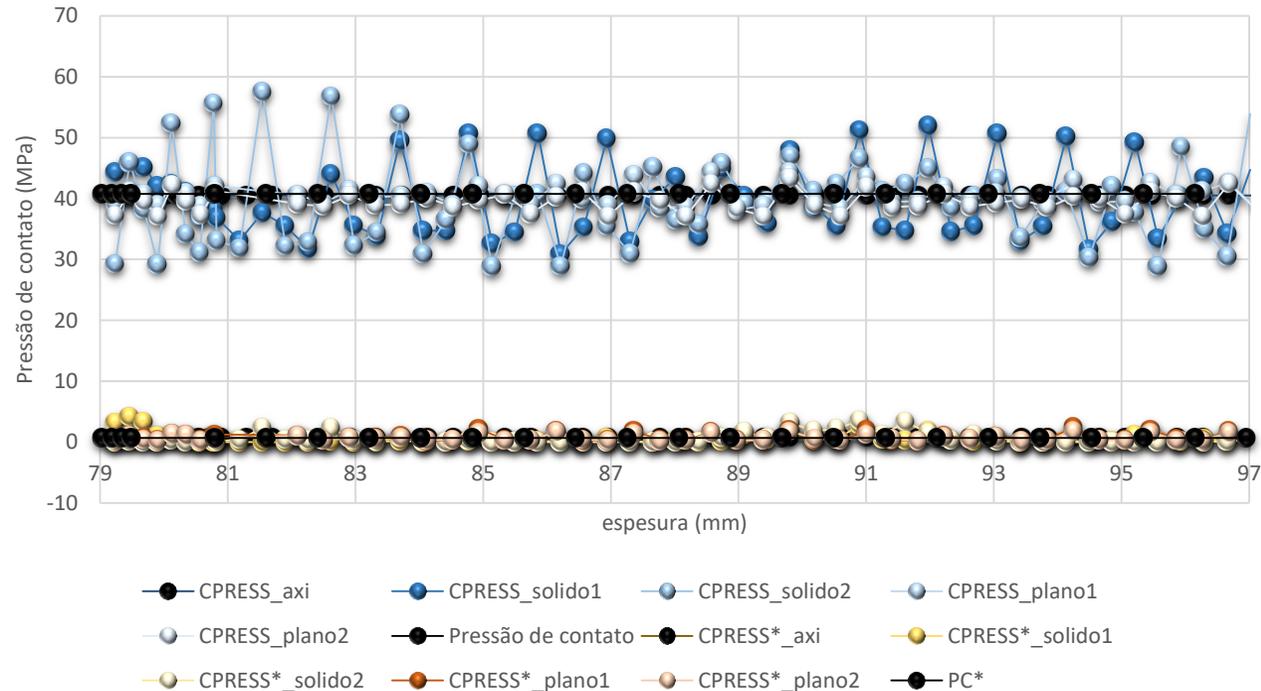


- Modelo Plano;
- Modelo Sólido;
- Modelo Axissimétrico;

## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

- MLP Resultados: Pressão de Contato

Pressão de Contato x espessura



- Modelo Plano;
- Modelo Sólido;
- Modelo Axissimétrio;

- PC – Pressão de contato
- \* - Residual



## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

- Referências
  - [1] Gao Xin-lin. An Exact Elasto-Plastic Solution for an Open-Ended Thick-Walled Cylinder of a Strain-Hardening Material. Lanzhou, China: p129-144, Novembro, 1991.
  - [2] Hilberink, Annemiek. Mechanical Behaviour of Lined Pipe. Delft, The Netherlands: Sieca Repro, 2011.
  - [3] Wei Rongzhi, Vaz Murilo, Hu Xuefeng, Guo Jianing. Investigation on Residual Contact Pressure of Mechanically Lined Pipe with partially plastified Carrier Pipe based on Tresca Criterion. Rio de Janeiro, Brazil: June, 2023.



## SEMINÁRIO INTERNO DO PRH18.1

- Agradecimentos

- Os autores gostariam de agradecer ao Programa de Recursos Humanos PRH-18 e da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) pelo apoio financeiro que auxiliou a execução desse trabalho.
- OBRIGADO!
- E-mail: [pedrolucassena0@poli.ufrj.br](mailto:pedrolucassena0@poli.ufrj.br)

