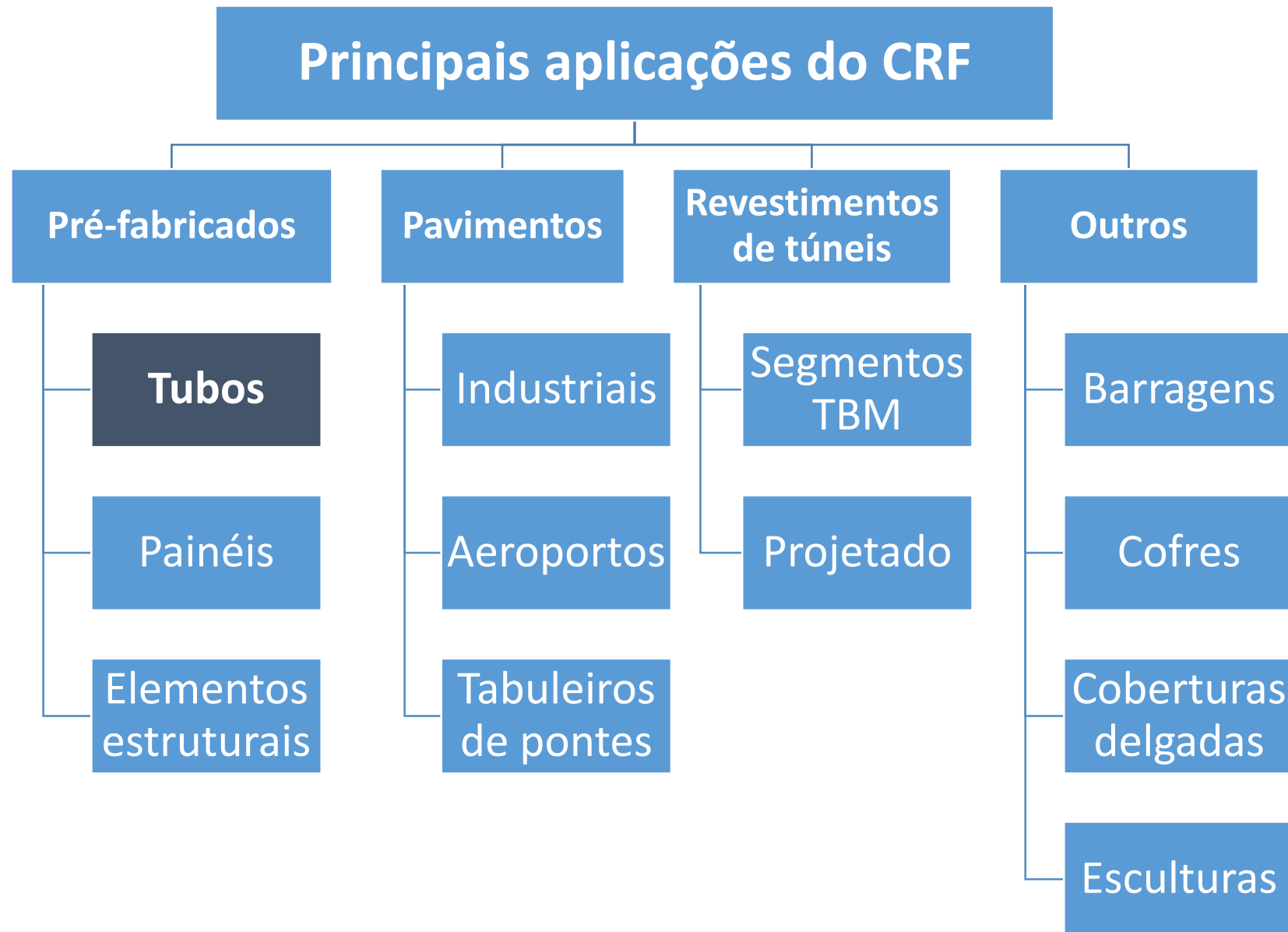




# Tubos de concreto reforçados com fibras para obras de saneamento básico

PCC 3528 – TECNOLOGIA DO CONCRETO PARA OBRAS DE  
INFRAESTRUTURA

# Contextualização

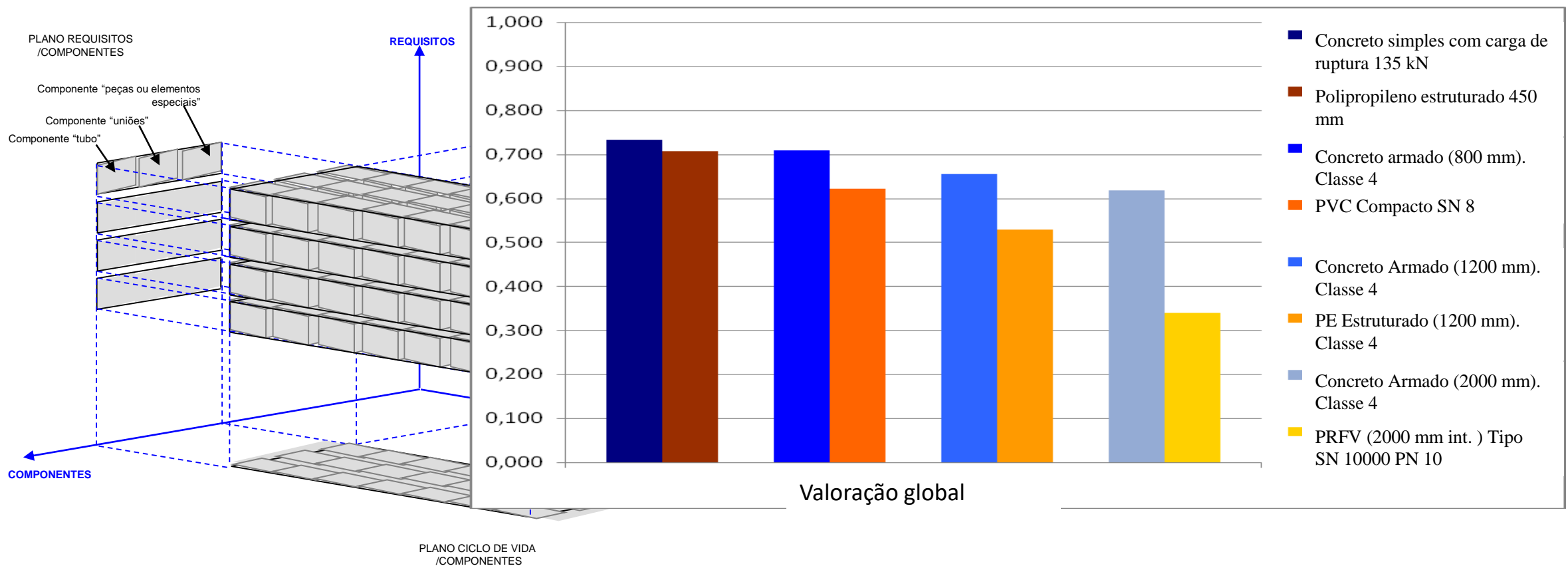


# Principais Aplicações dos Tubos de Concreto



# Tubos de concreto: Aplicação sustentável em obras de saneamento

**Tubos de concreto são mais sustentáveis (VIÑOLAS; AGUADO; ROSÁ, 2009)**



# Produção dos tubos

- Tubos são componentes pré-moldados de concreto, controlados como produto acabado.
- Pode possuir marca de conformidade ou certificado de conformidade de terceira parte.
- **Preocupação dos produtores:** dosagem e controle de produção.
- **Preocupação dos consumidores:** controle de recebimento (ACEITAÇÃO OU REJEIÇÃO).

# Produção de tubos: concreto



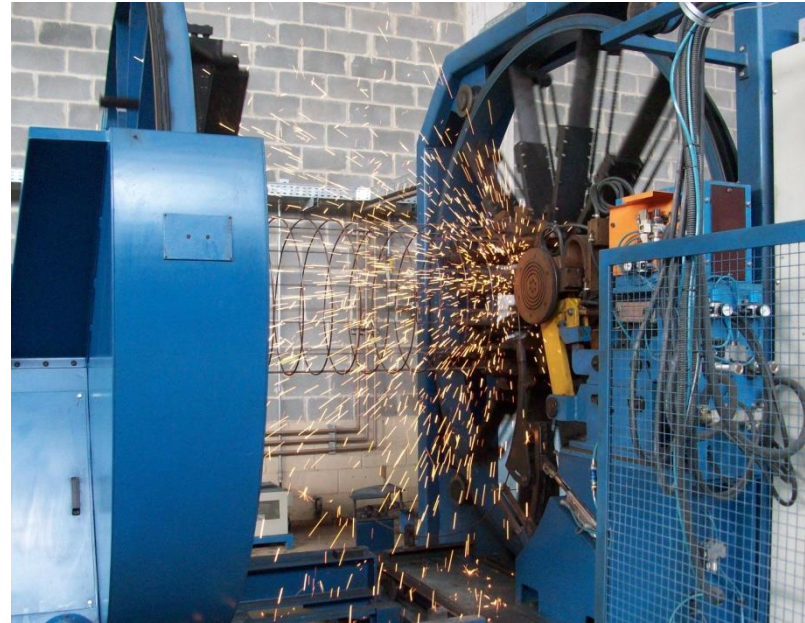
Silos fechados de agregados para controle rigoroso da umidade



Silo de cimento

Misturador central

# Produção de tubos: concreto



# Produção de tubos: concreto



Vibro-  
prensado



Radial



# Produção de tubos de concreto: forma removível



Anel de base permanece após desfôrma

# Produção de tubos: moldagem



Alimentação  
com vibração  
simultânea

Acabamento  
de topo com  
prensagem



# Produção de tubos: remoção e desfôrma



# Produção de tubos: cura e estoque



# Produção dos tubos

**Dramix®**

**BEKAERT**

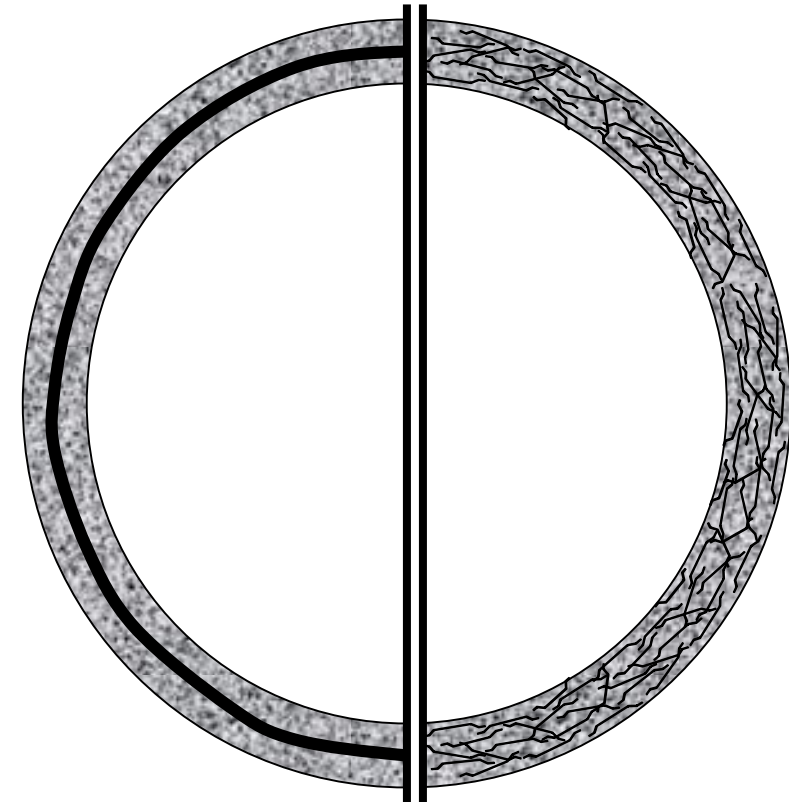
better together

Steel fibre reinforced concrete pipes



# Por que do CRF?

- Reforça todo o volume do concreto.



# Vantagens dos TCRF

- ✓ Facilidade de produção -> elimina-se a preparação da armadura, pois as fibras são adicionadas diretamente
- ✓ Aceleração do processo produtivo
  - Maior produtividade
  - Menor gasto de energia
  - Menor desgaste do equipamento
- ✓ Distribuição aleatória das fibras por todo o volume do componente -> **reforço nas bordas e menor risco de quebra**
- ✓ Maior capacidade de **reforço para baixos níveis de deformação e fissuração** -> fibra reforça toda a espessura do tubo
- ✓ Norma brasileira de TCRF -> **primeira norma nacional** que parametriza o uso de fibras de aço

# Avaliação do uso de fibras para redução de perdas

- Feita com a simples adição de fibras num lote de tubos de concreto para águas pluviais, classe PS1
- Utilizou-se fibras de aço RC 80/60
- Foram moldados 150 tubos de  $\phi$  600 mm, classe PS1, com 5 kg/m<sup>3</sup> de fibra RC 80/60 e 50 tubos com 10 kg/m<sup>3</sup>.



FIGUEIREDO, A. D., CHAMA NETO, P. J. Estudo da utilização de tubos de concreto com baixos teores de fibras In: IV Simpósio EPUSP sobre Estruturas de Concreto. São Paulo. 2006.



# Desvantagens aplicativas do uso das fibras em tubos de concreto

- Aumento das atividades de acabamento



- Maior dificuldade para “reciclar” o concreto dos tubos.
- Necessidade de ajustes nos equipamentos e na mistura (demanda de **trabalhabilidade**).
- Menor capacidade de reforço para altos níveis de deformação e fissuração -> teores abaixo volume crítico

# NBR 8890 - Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários – Evolução de 2007 a 2020

- Tubos são componentes pré-moldados de concreto, controlados como produto acabado.
- O uso de fibras como reforço para tubos de esgoto e águas pluviais começou em 2007.
- Possibilidade de incorporação dessa nova forma de reforço baseada em estudos prévios.

**CHAMA NETO, P. J. Avaliação de desempenho de tubos de concreto reforçados com fibras de aço.** São Paulo: USP, 2002. Dissertação (Mestrado em engenharia civil). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 2002.

**RAMOS, M.F. Análise experimental de tubos de concreto reforçado com fibras de aço.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas UNICAMP. Faculdade de Engenharia Civil. Campinas, SP. 2004.

# NBR 8890 - Tubo de concreto, de seção circular, para águas pluviais e esgotos sanitários – Evolução de 2007 a 2020

- Postura conservadora
  - diâmetro máximo de 1 m e
  - maior nível de exigência para o CRF durante o ensaio de compressão diametral
- Em 2020
  - Igualaram-se as exigências para o CRF e convencional durante o **ensaio de compressão diametral**

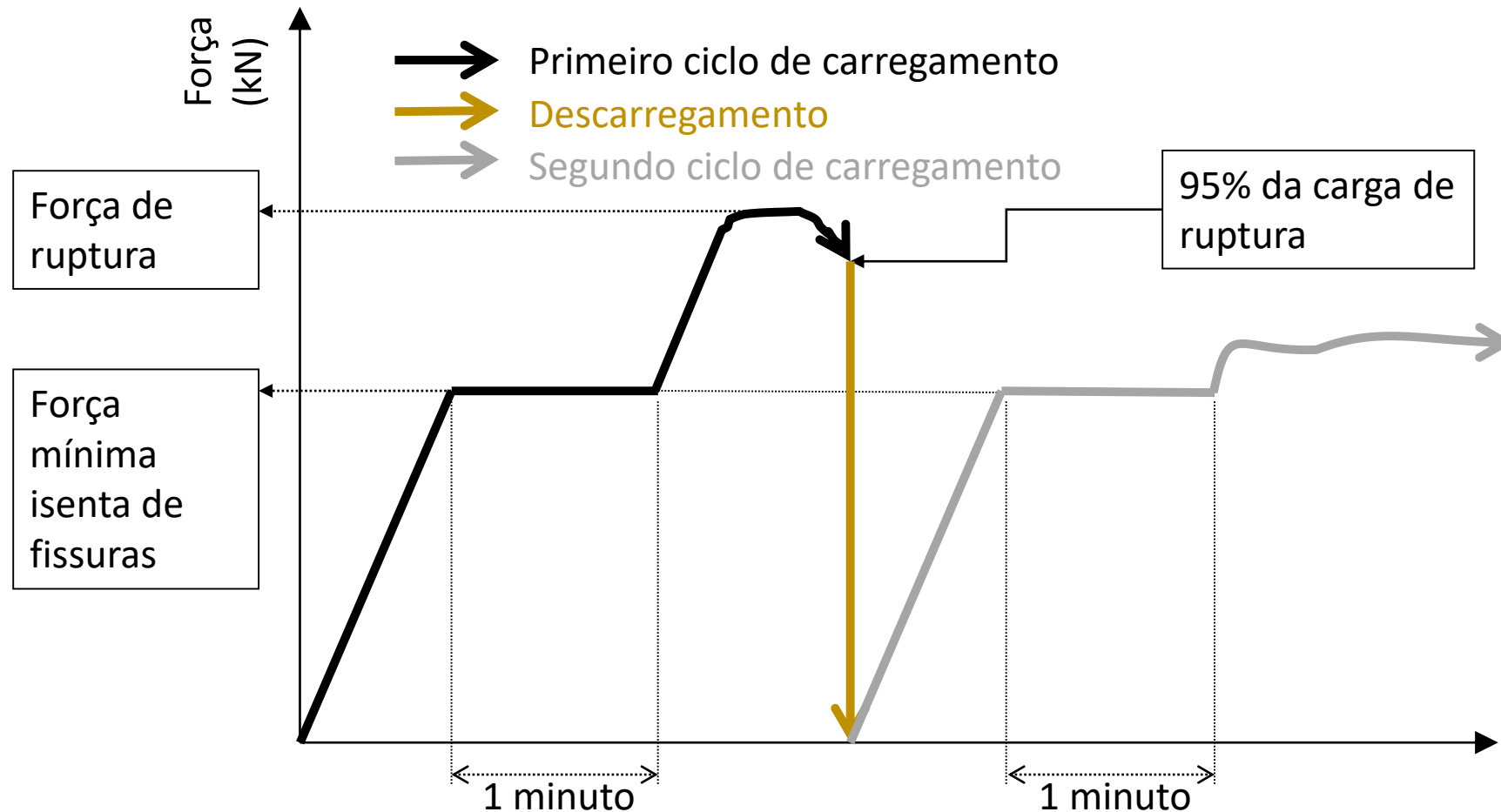


# Ensaio de compressão diametral (2007)

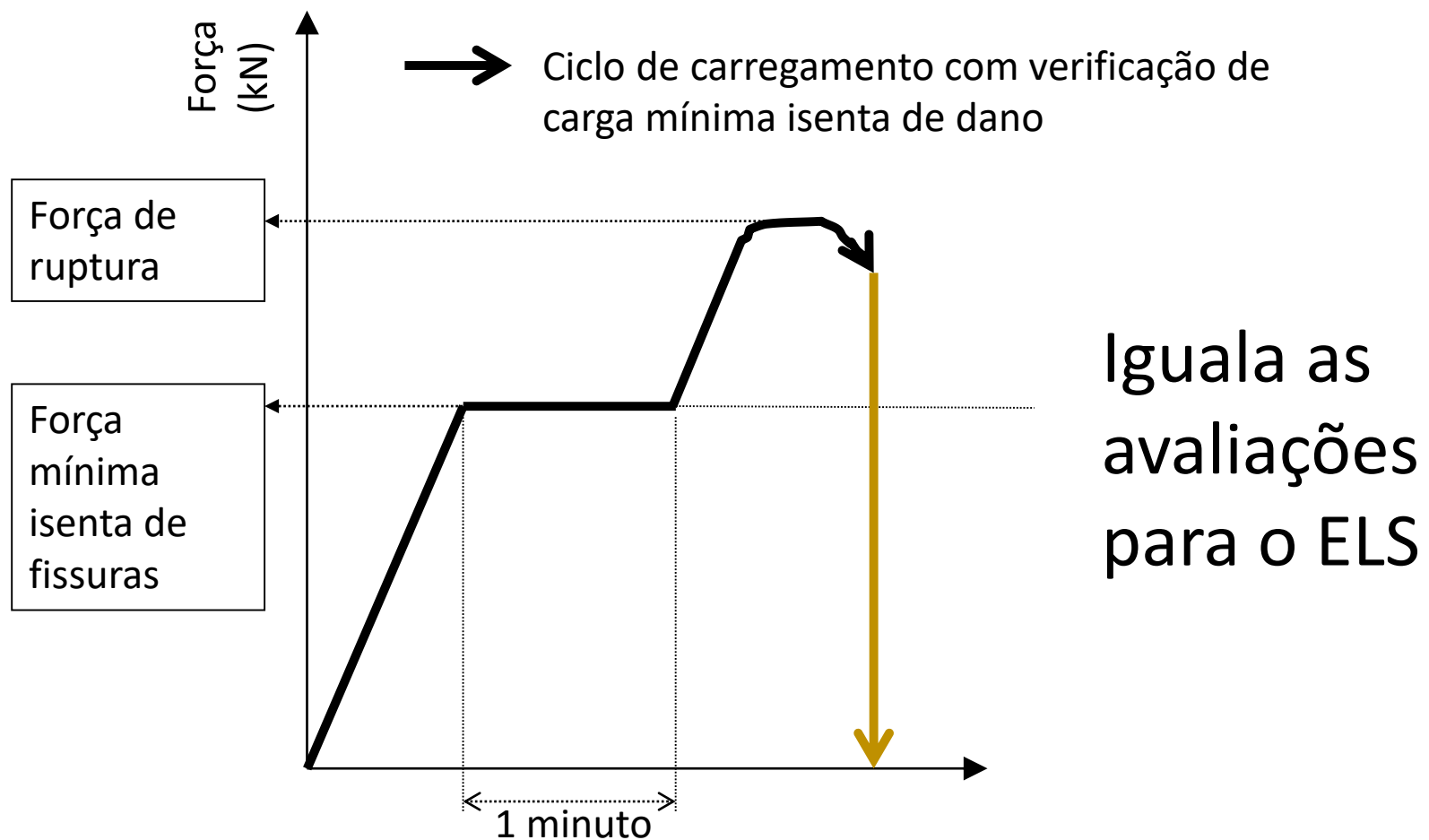
- No ensaio do tubo convencional submetia-se o mesmo a um carregamento contínuo até a sua ruptura e determina-se:
  - carga de fissura (0,25 mm)
  - carga de ruptura (máxima).
- Não se admitia fissura quando do uso de fibras (força mínima isenta de fissura)



# Avaliação principal: comportamento mecânico



# Alternativa para o CA na versão 2020



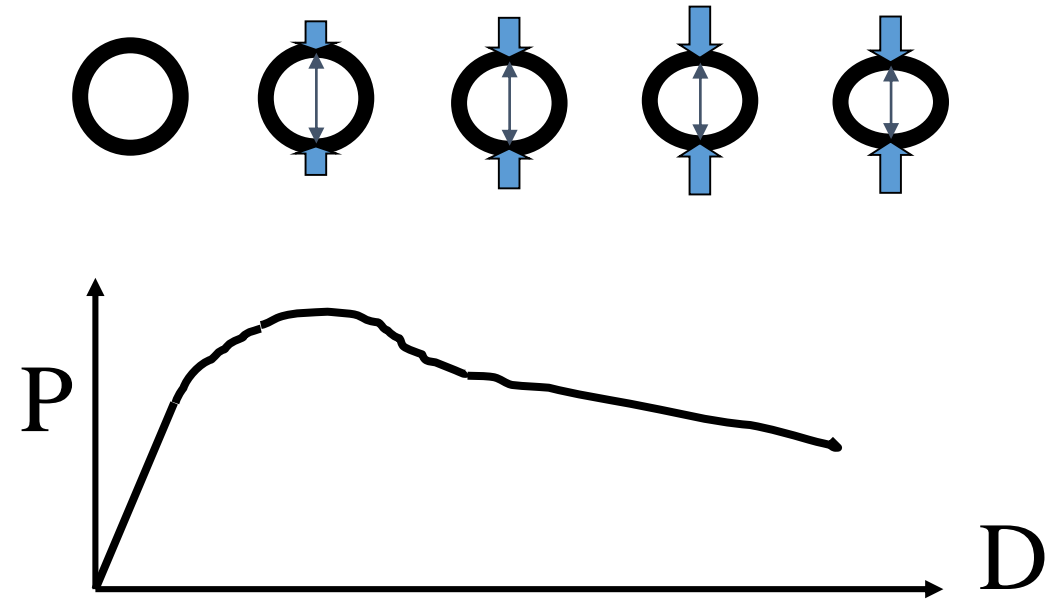
# Classes de Tubo - ABNT NBR 8890/2020

**Tabela A.5 – Compressão diametral de tubos de concreto armado, reforçados com fibras ou armados com reforço secundário de fibras (continua)**

DN	Água pluvial								Esgoto sanitário					
	Força mínima isenta de fissura kN/m				Força mínima de ruptura <sup>b</sup> kN/m				Força mínima isenta de fissura kN/m			Força mínima de ruptura <sup>b</sup> kN/m		
Classe <sup>a</sup>	PA1	PA2	PA3	PA4	PA1	PA2	PA3	PA4	EA2	EA3	EA4	EA2	EA3	EA4
300	12	18	27	36	18	27	41	54	18	27	36	27	41	54
400	16	24	36	48	24	36	54	72	24	36	48	36	54	72
500	20	30	45	60	30	45	68	90	30	45	60	45	68	90
600	24	36	54	72	36	54	81	108	36	54	72	54	81	108
700	28	42	63	84	42	63	95	126	42	63	84	63	95	126
800	32	48	72	96	48	72	108	144	48	72	96	72	108	144
900	36	54	81	108	54	81	122	162	54	81	108	81	122	162
1 000 <sup>c</sup>	40	60	90	120	60	90	135	180	60	90	120	90	135	180
1 100	44	66	99	132	66	99	149	198	66	99	132	99	149	198
1 200	48	72	108	144	72	108	162	216	72	108	144	108	162	216

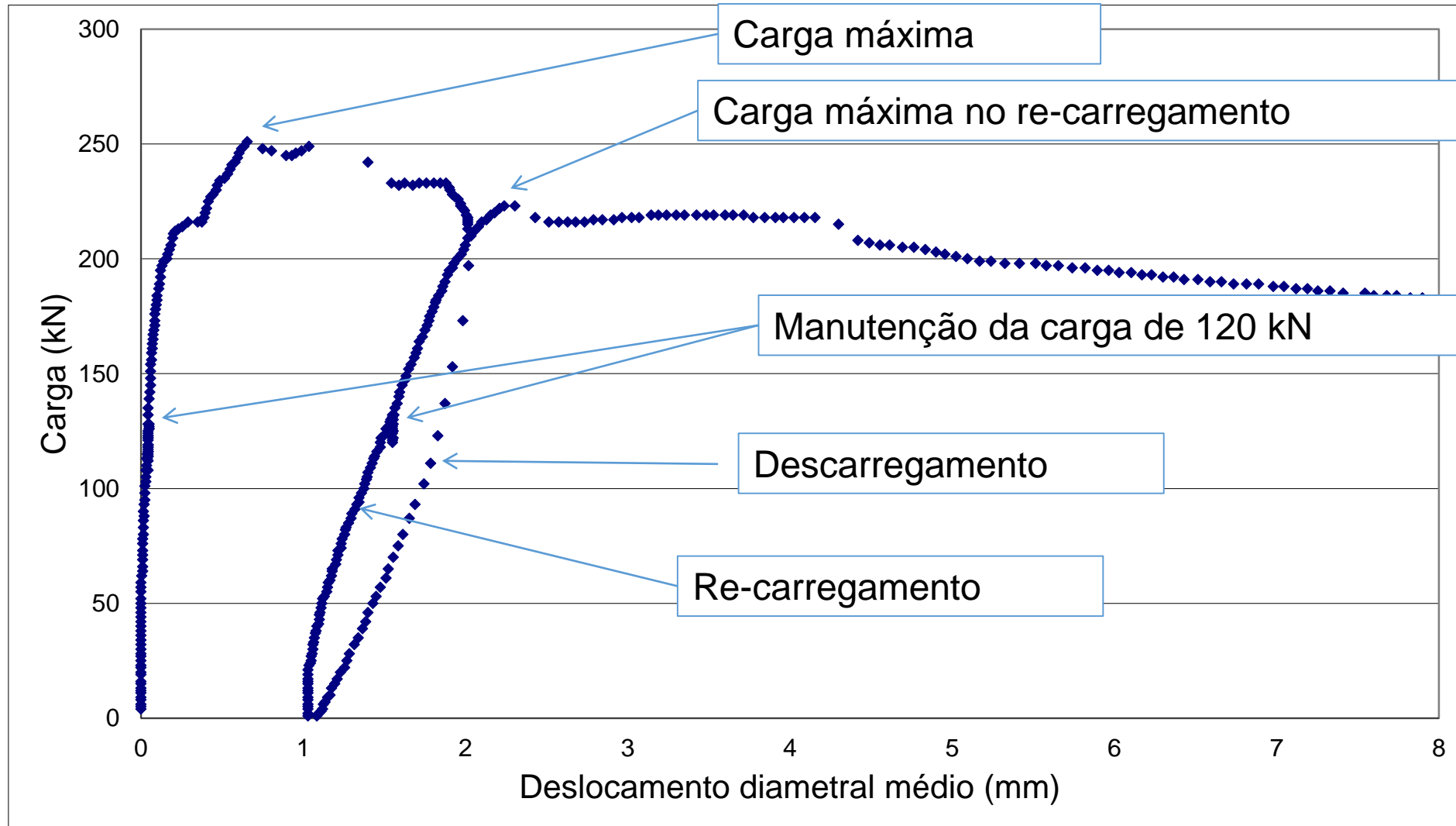
# Proposta de novo sistema de avaliação: Aprimoramento do ensaio de compressão diametral

- Controle simultâneo de cargas e deslocamentos diametraes
- Parametrização mais precisa do comportamento dos tubos



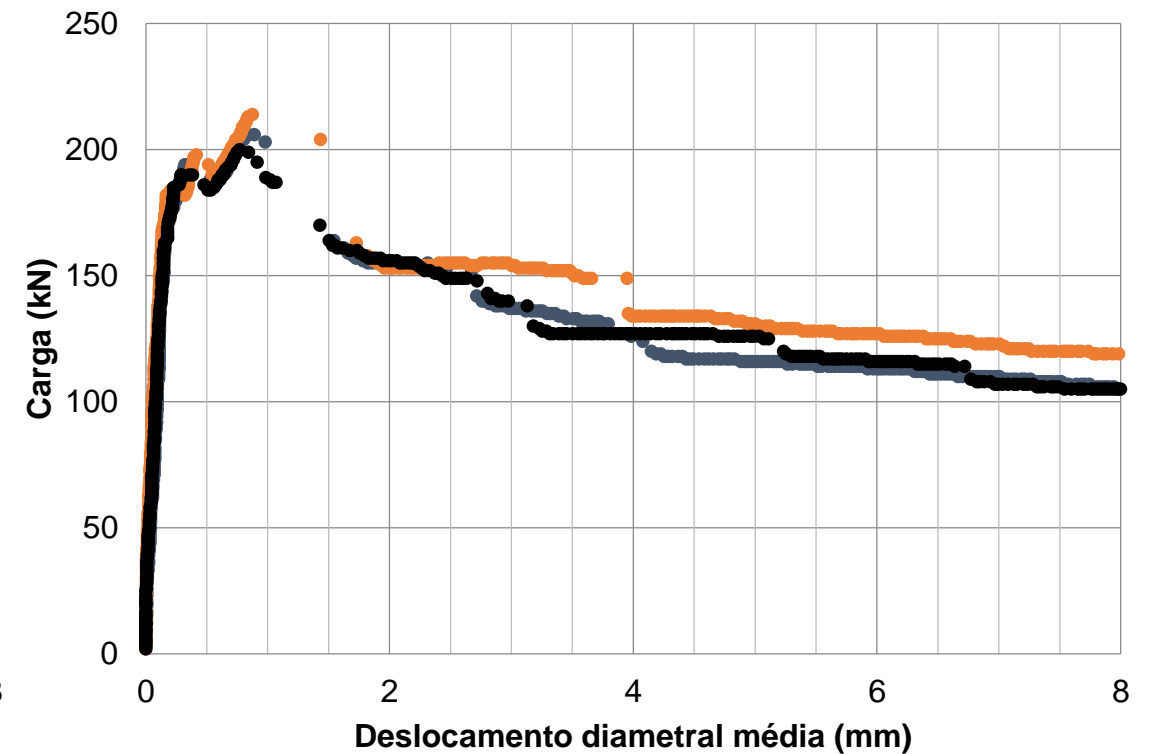
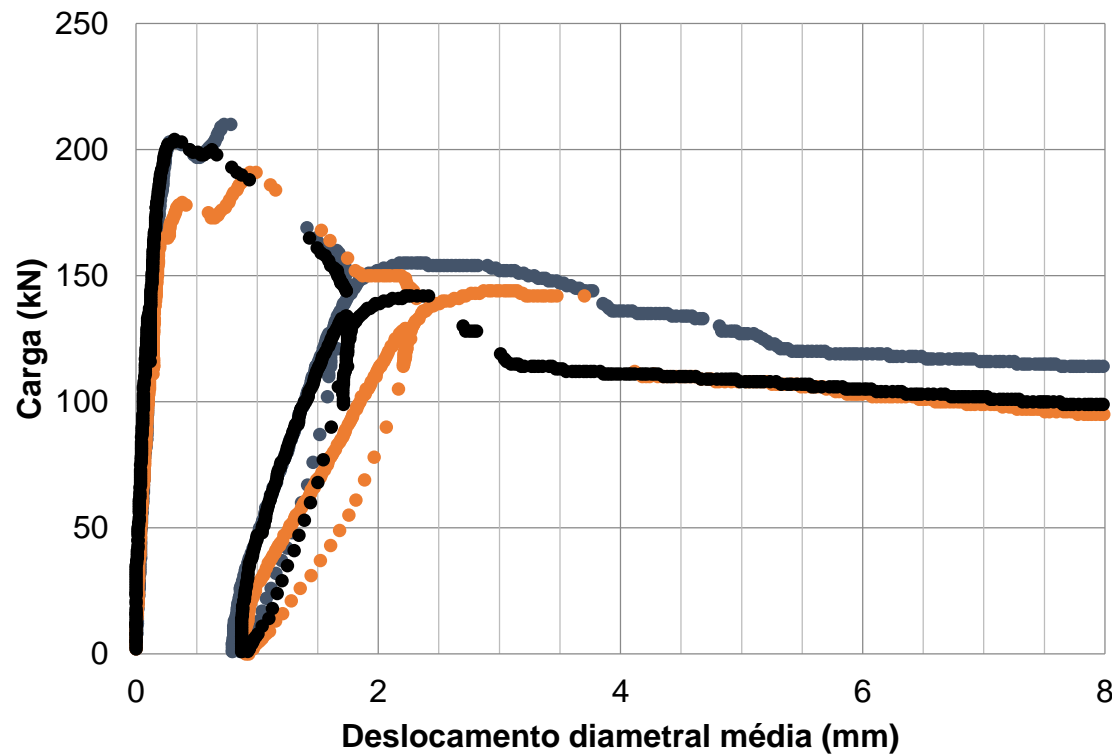


# Forma dos resultados obtidos



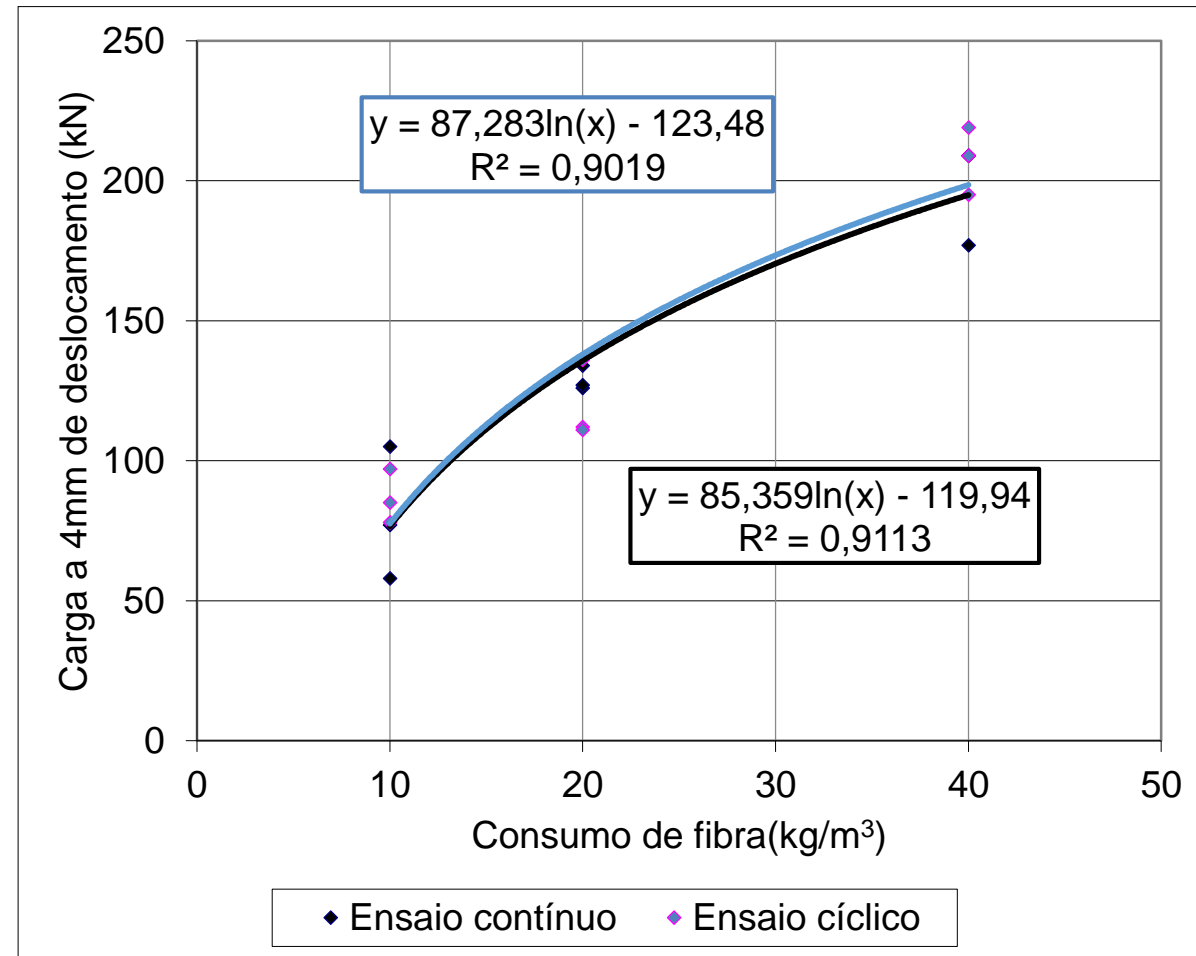
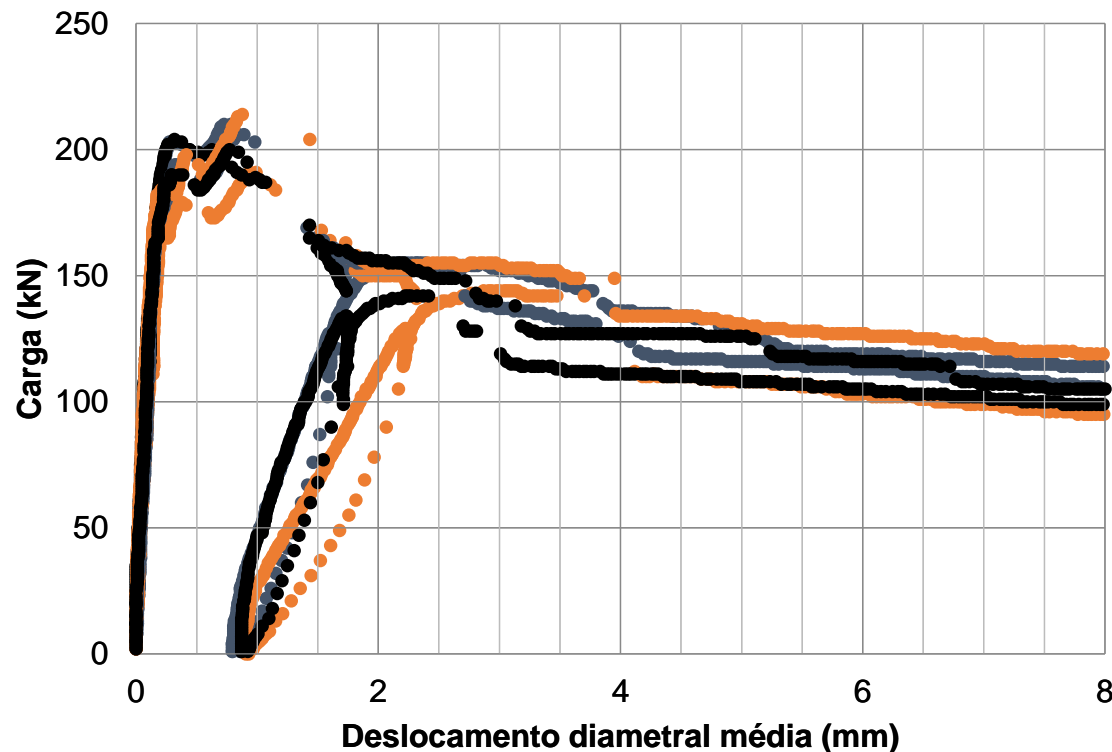
# Exemplo de benefícios obtidos com o ensaio feito com controle do deslocamento

- Melhor entendimento do comportamento do elemento
  - Processo de normalização
  - Modelagem do comportamento

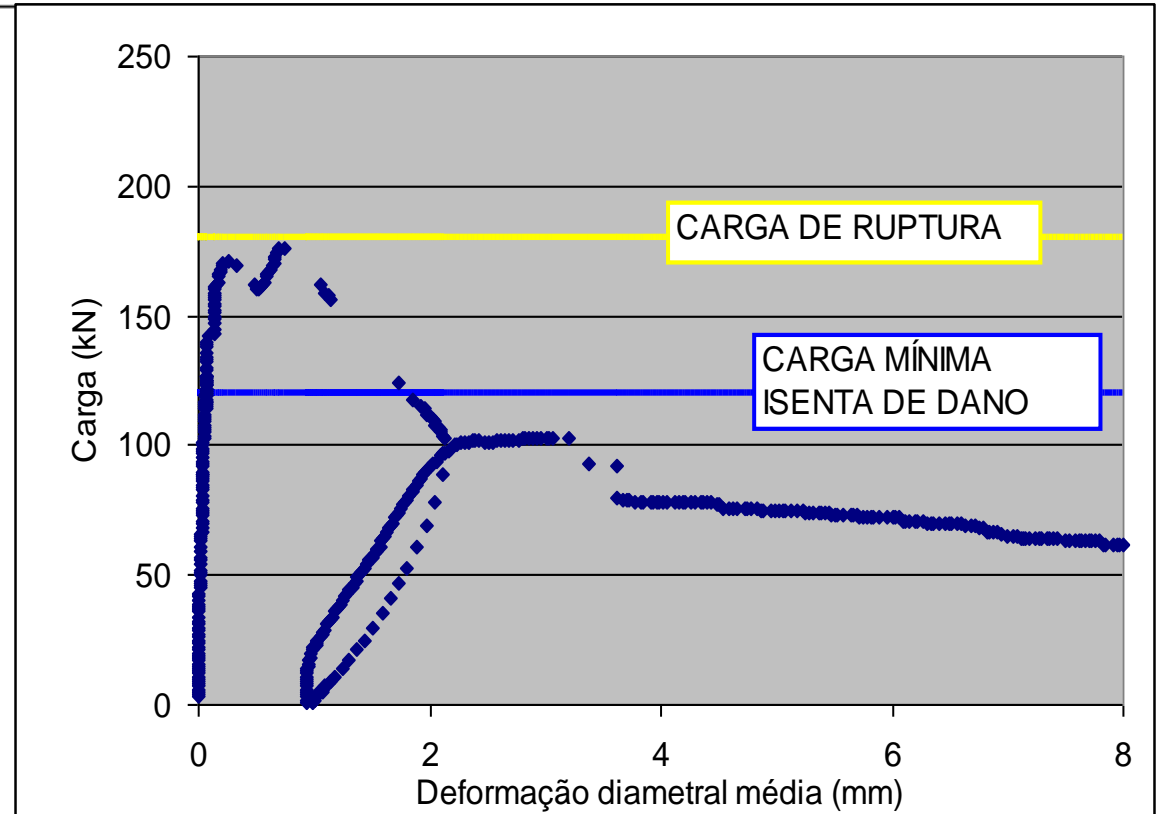
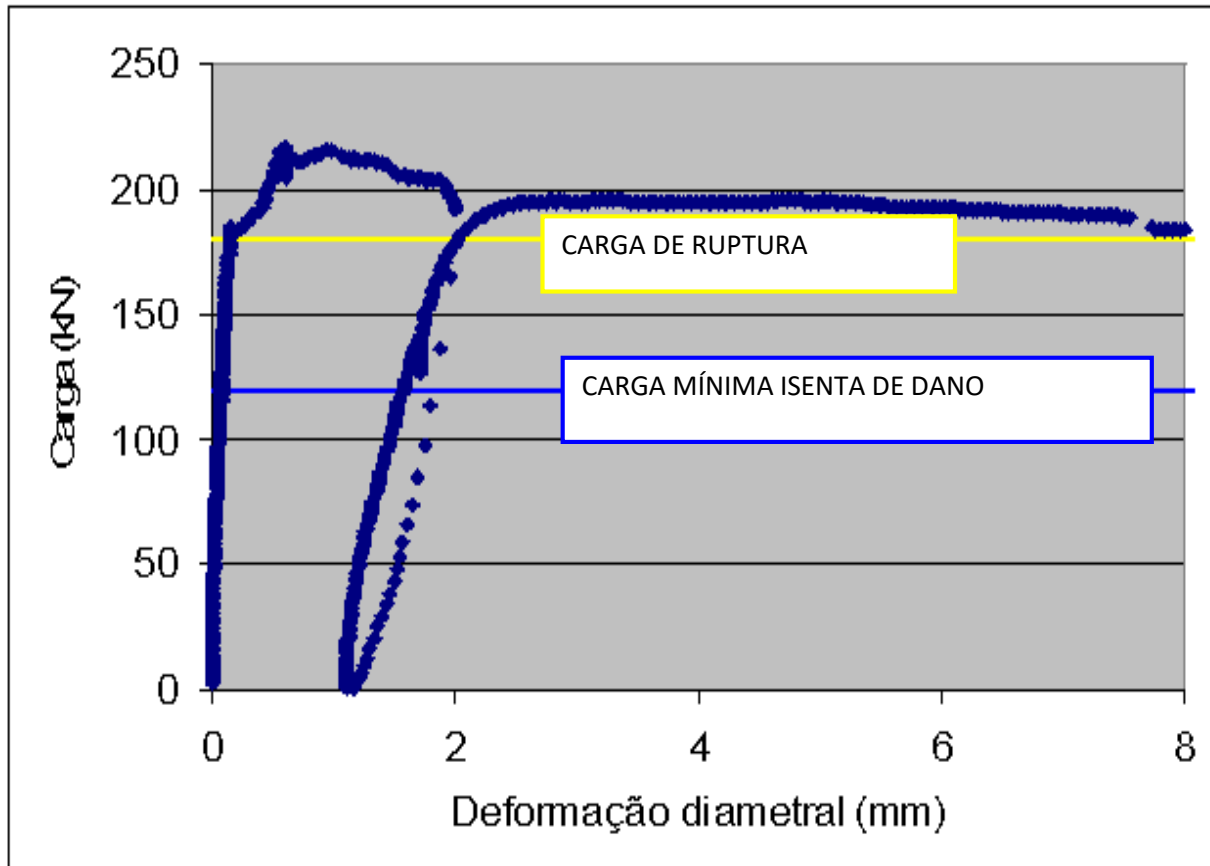


# Exemplo de benefícios obtidos com o ensaio feito com controle do deslocamento

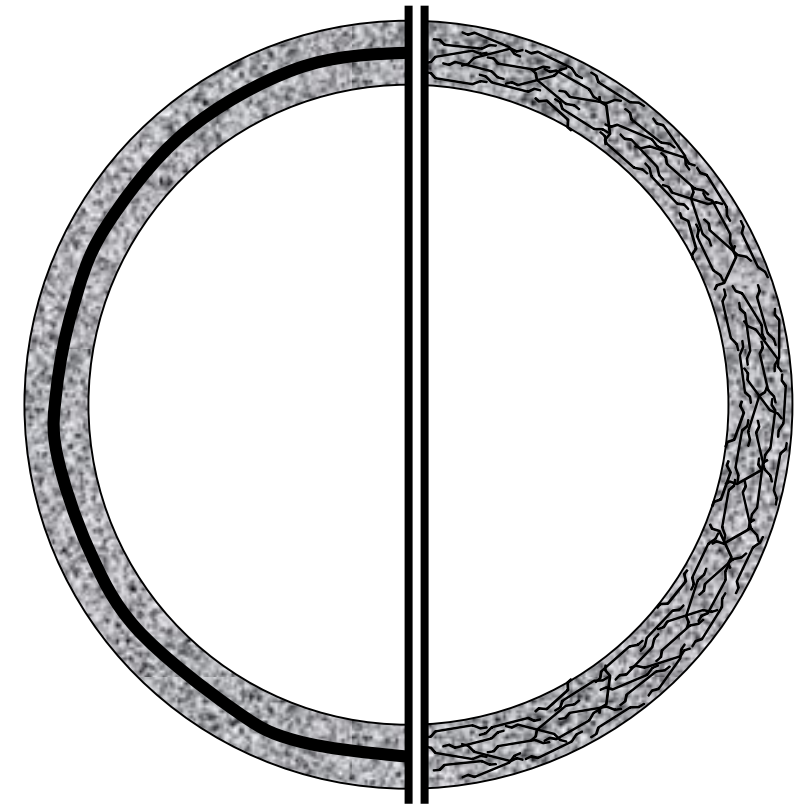
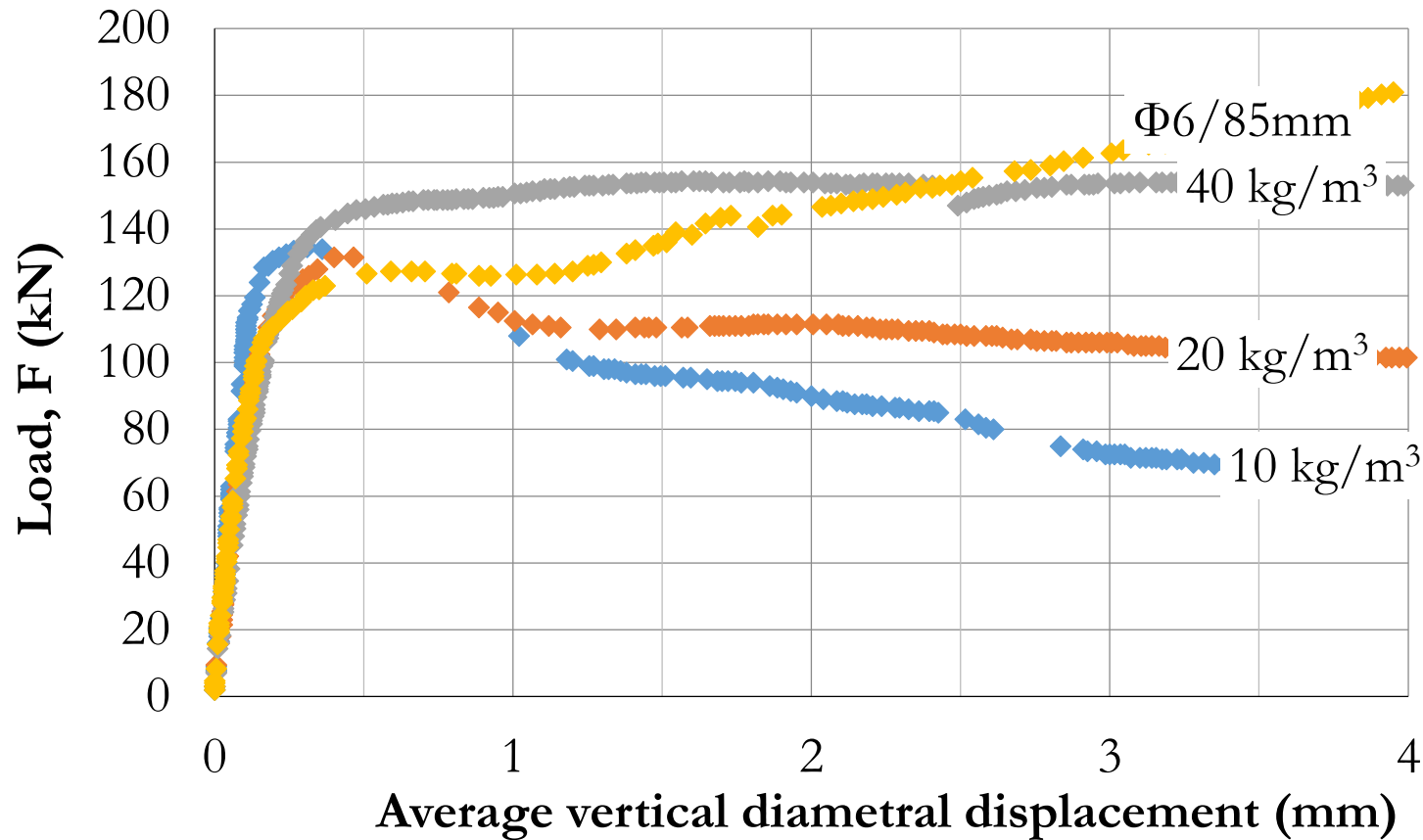
- Melhor entendimento do comportamento do elemento
  - Processo de normalização
  - Modelagem do comportamento



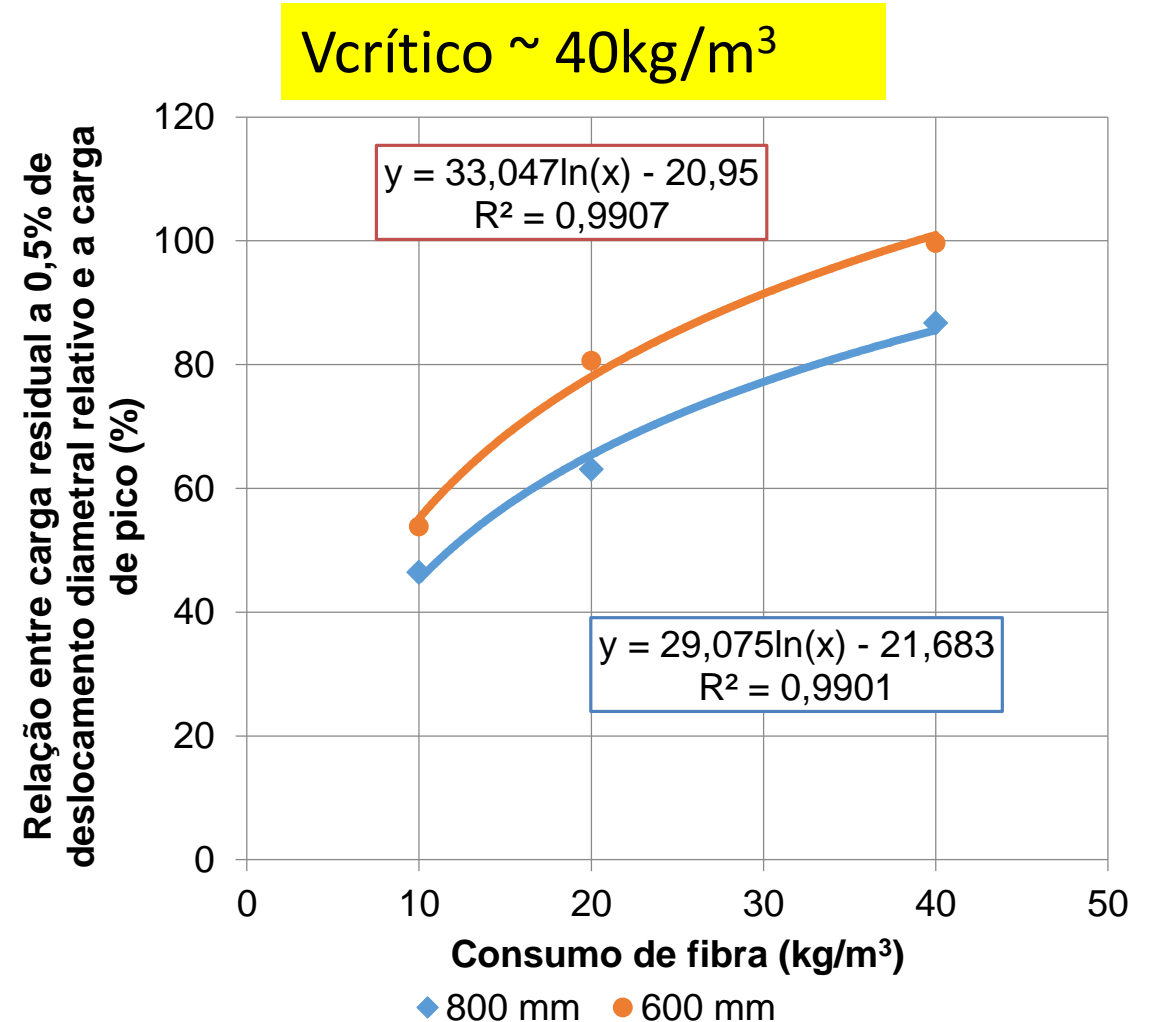
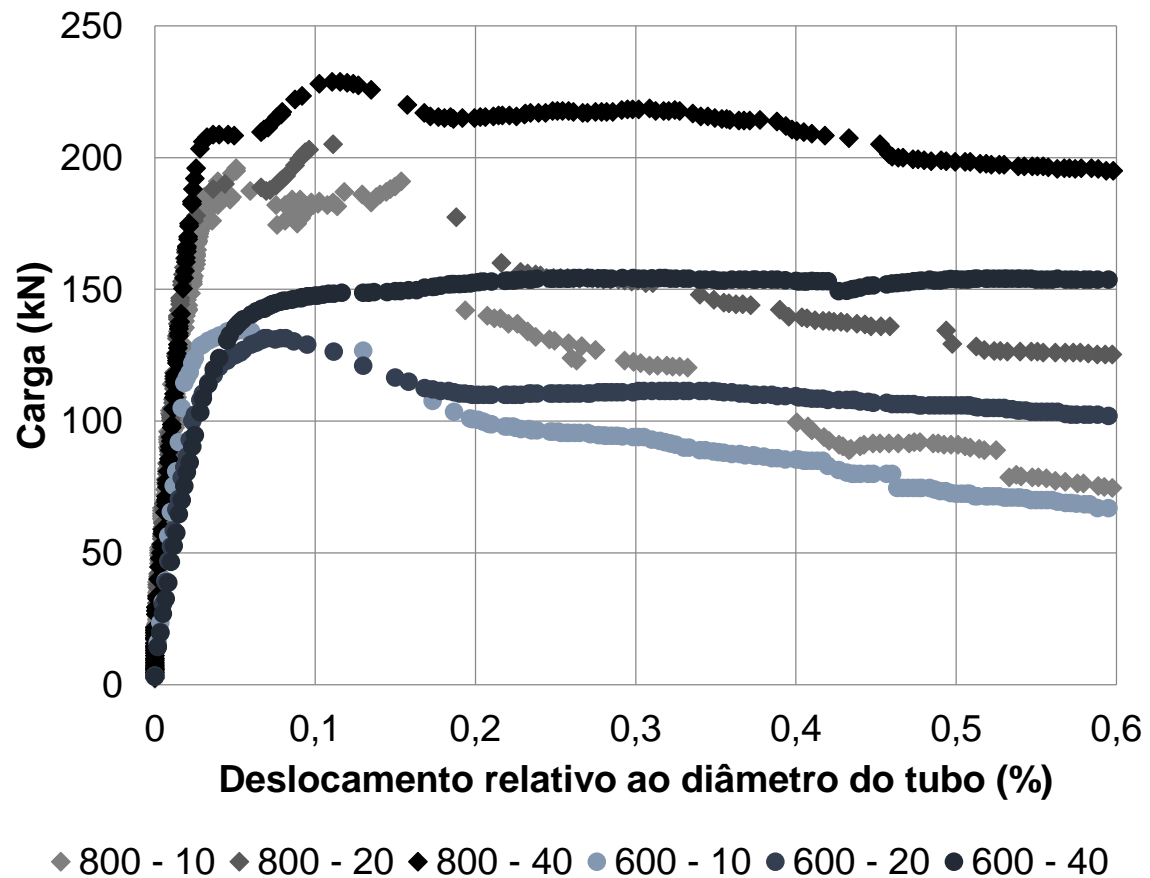
# Melhor controle no principal ensaio de avaliação dos tubos



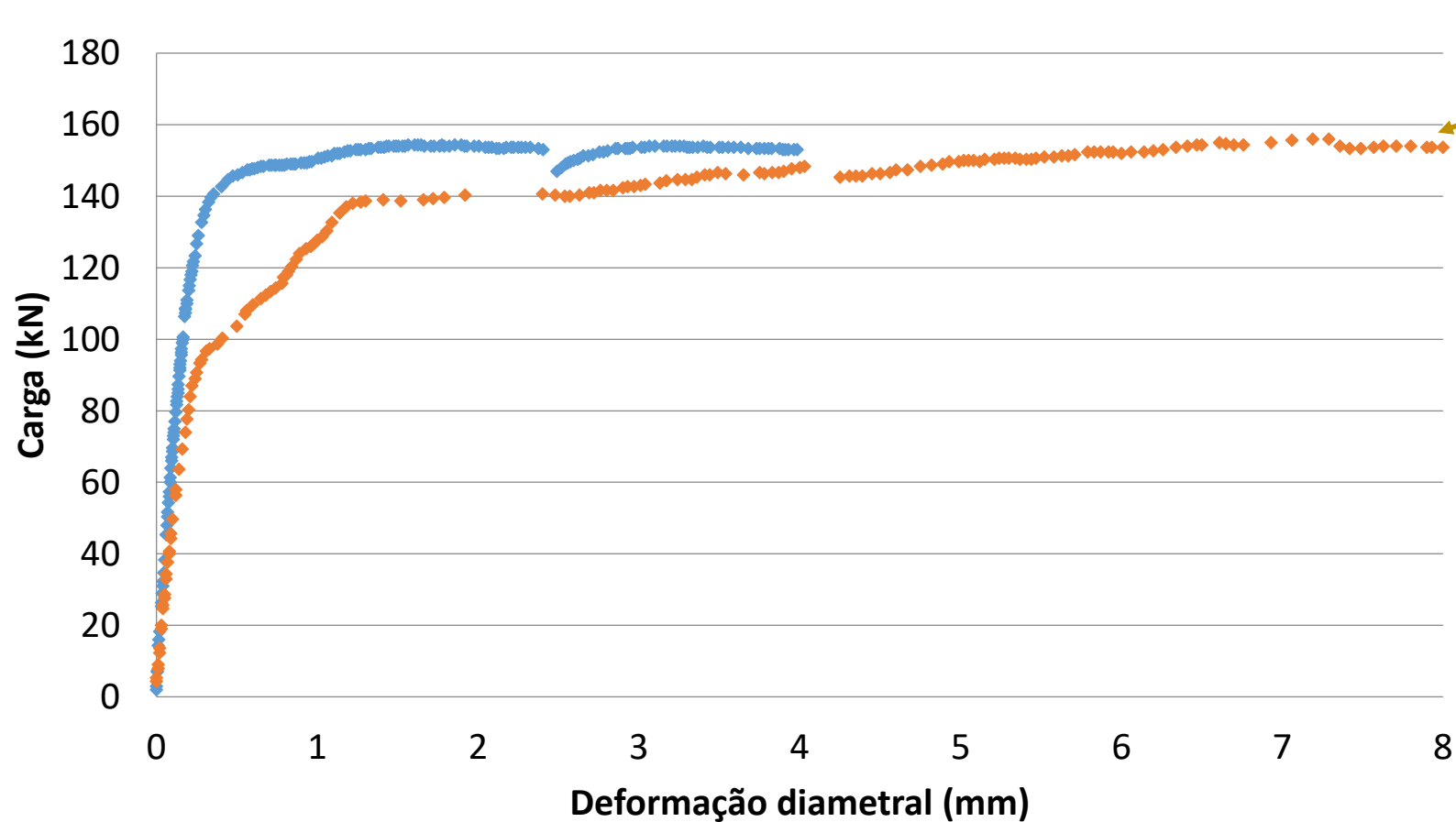
# Comparação de desempenho do reforço de fibras e convencional



# Avaliação de parâmetros básicos: Influência do diâmetro do tubo (mesmo material com respostas diferentes)



# Avaliação de comportamento básico: Influência da bolsa



Medida de deslocamento na bolsa



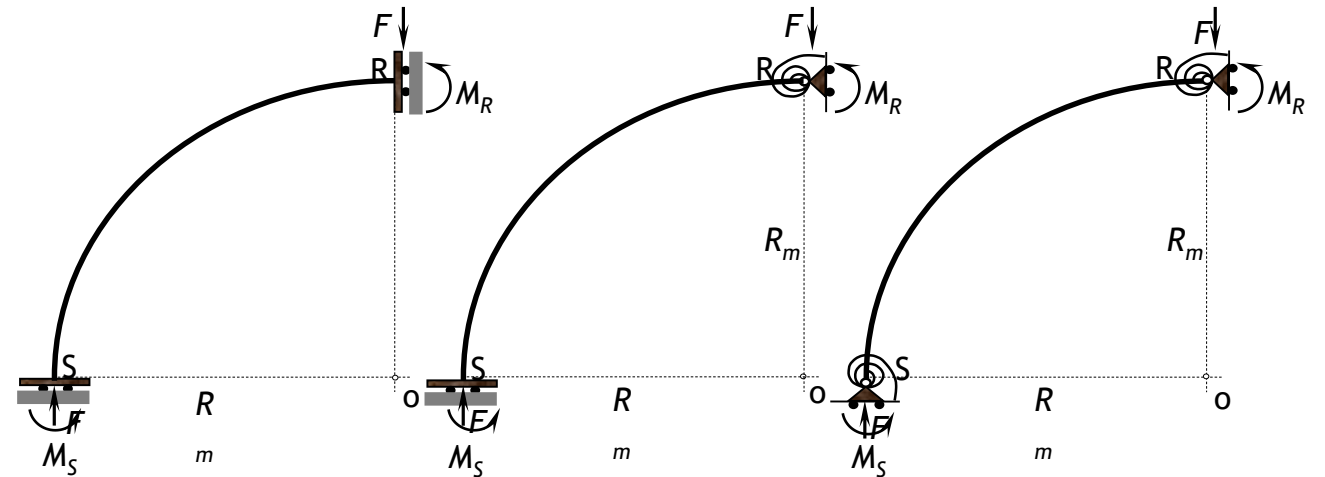
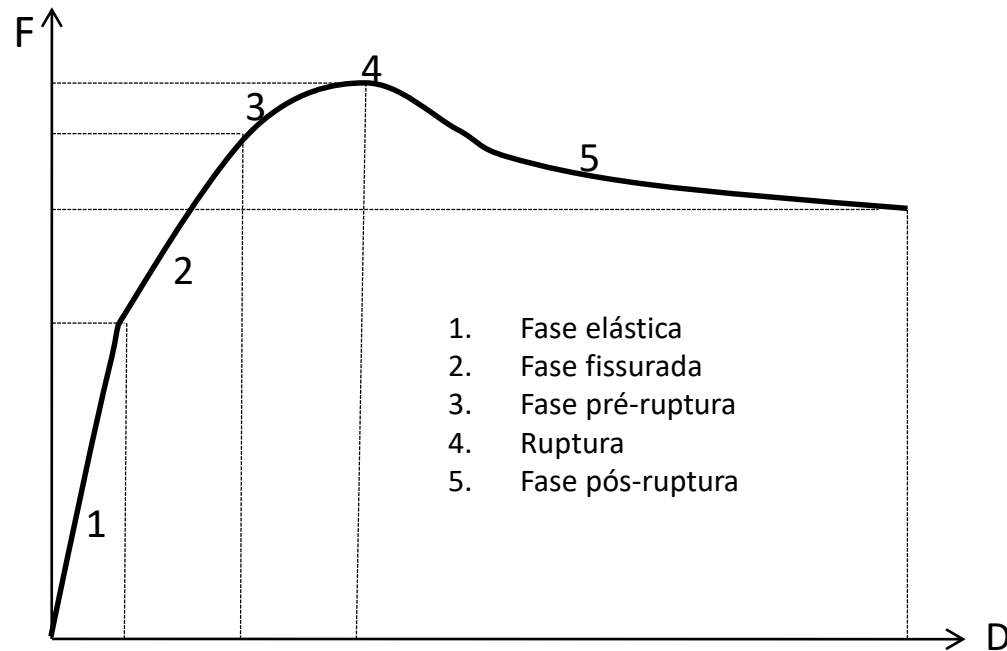
# Calibração de modelos numéricos: MAP (de la Fuente et al. 2011)

- ✓ Modelo MAP (*Model for the Analysis of Pipes*)
- ✓ Simulação numérica do ensaio de compressão diametral, possibilita estudar:
  - **Diferentes geometrias de tubo** e parâmetros do comportamento mecânico dos **materiais**;
  - Configurações de **armadura e classes resistentes** não abordadas nas normas técnicas disponíveis;
  - Inclusão de **fibras estruturais como reforço** e quantificar seu desempenho;
  - **Reforços híbridos** de armadura convencional e fibras.



# Melhor condição de avaliação e dimensionamento: modelagem computacional

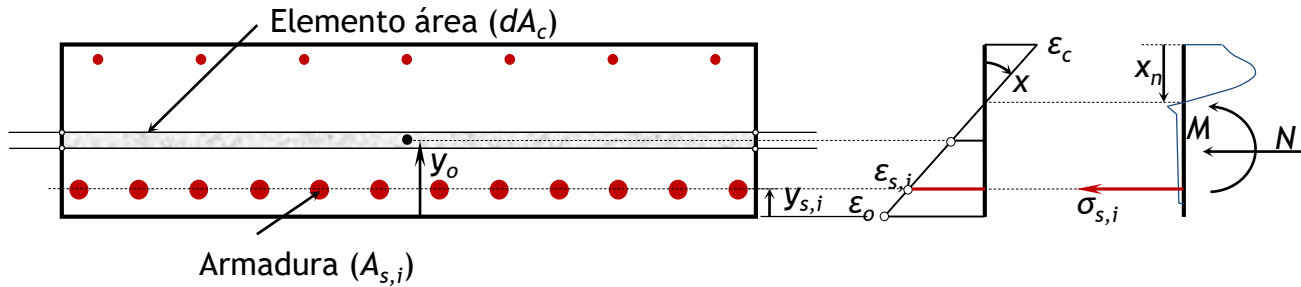
✓ Modelo MAP (*Model for the Analysis of Pipes*)



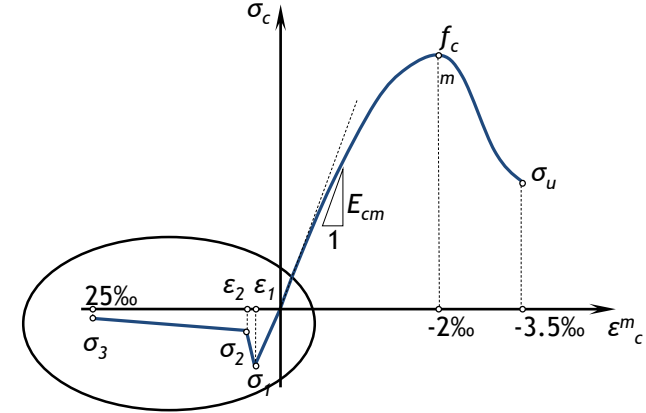
# Sub-rotina AES - simulação de seções

MAP (Model for the Analysis of Pipes)

Discretização da seção transversal do tubo

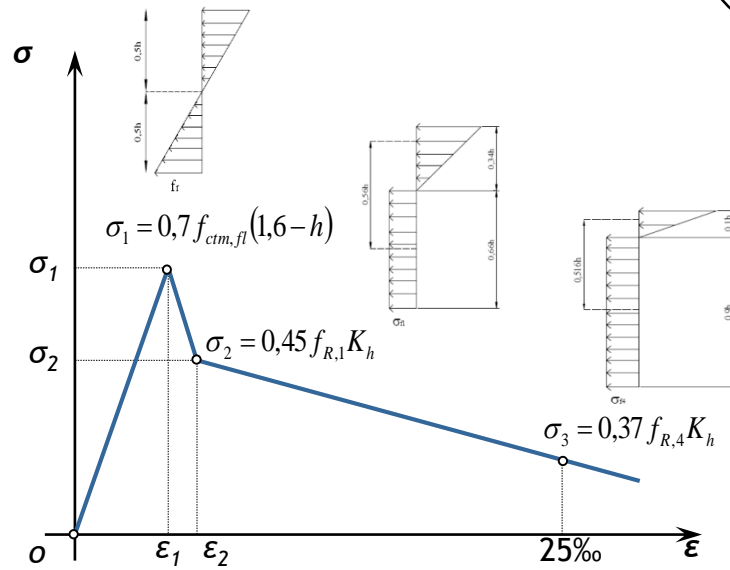


Comportamento mecânico do CRF



Ensaio flexão EN 14651

Problema prático de moldagem



Modelo Trilinear RILEM TC-156

Barros *et al.* (2005)

$$f_{R,1} = 0,0871C_f + 0,702$$

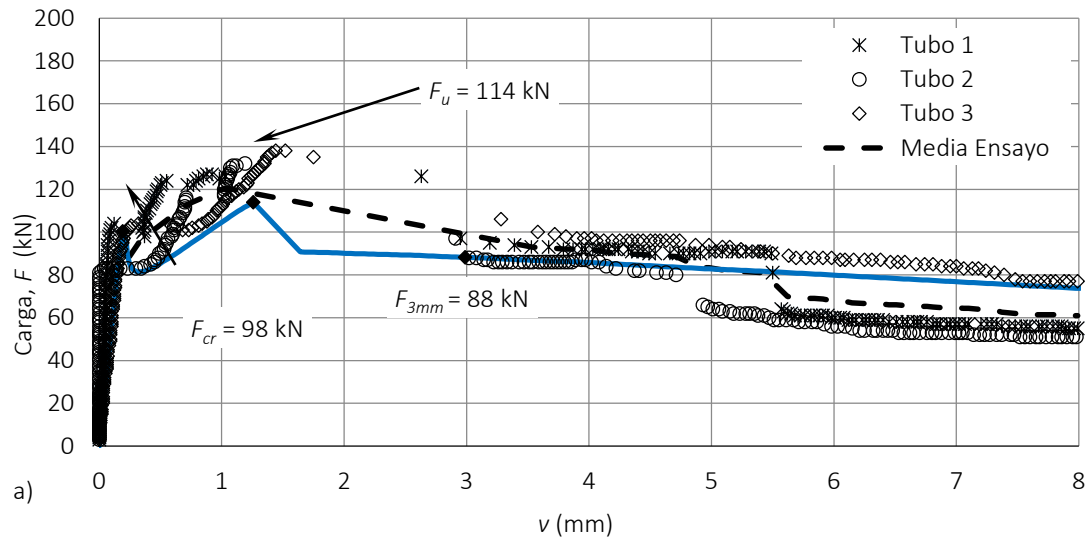
$$f_{R,4} = 0,926f_{R,1}$$



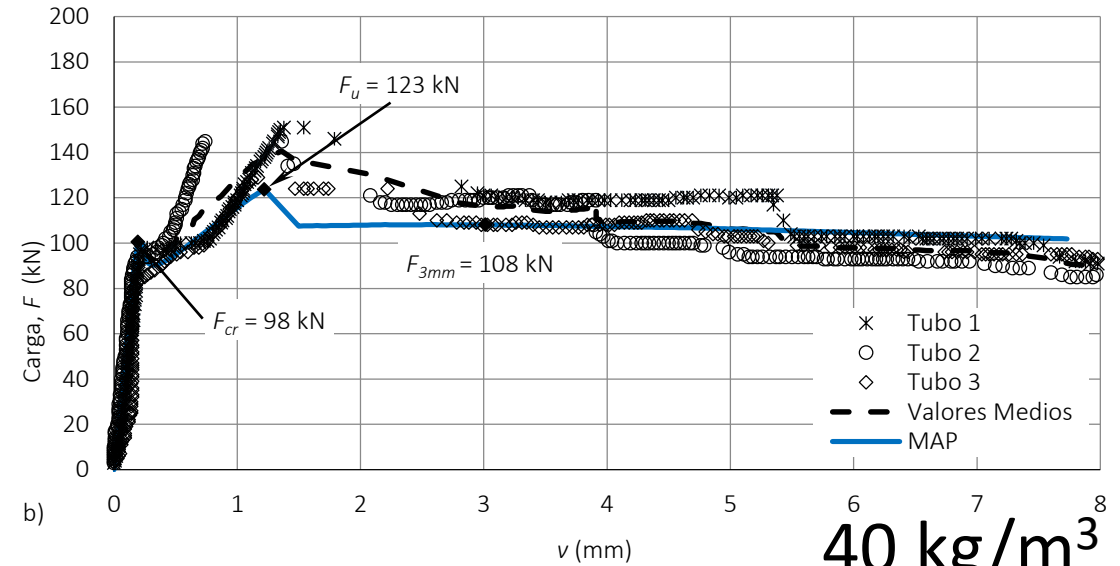
MESMAS FIBRAS

# Resposta positiva do modelo

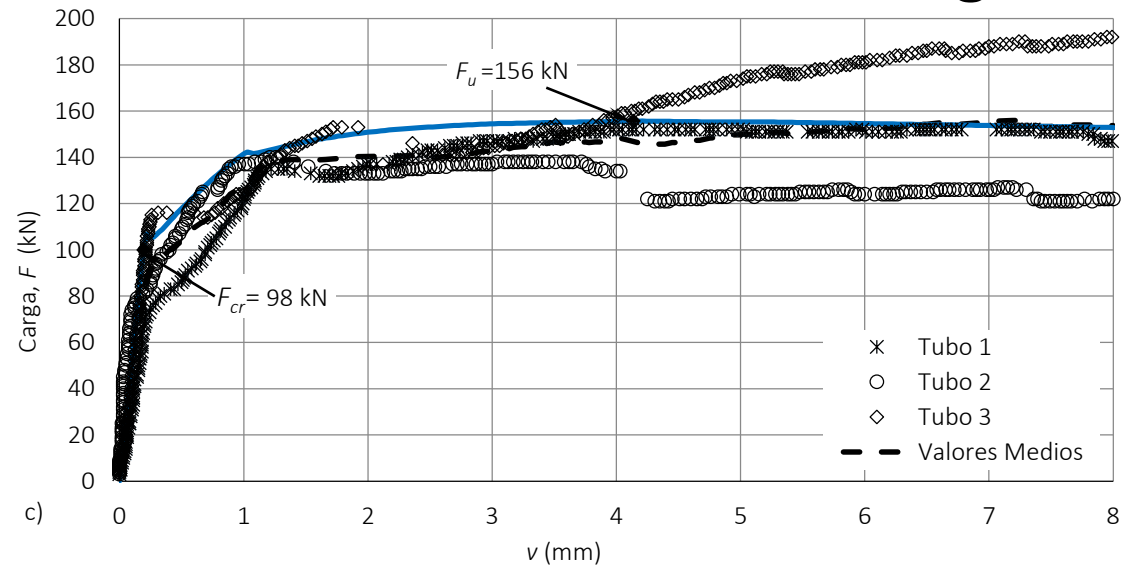
10 kg/m<sup>3</sup>



20 kg/m<sup>3</sup>

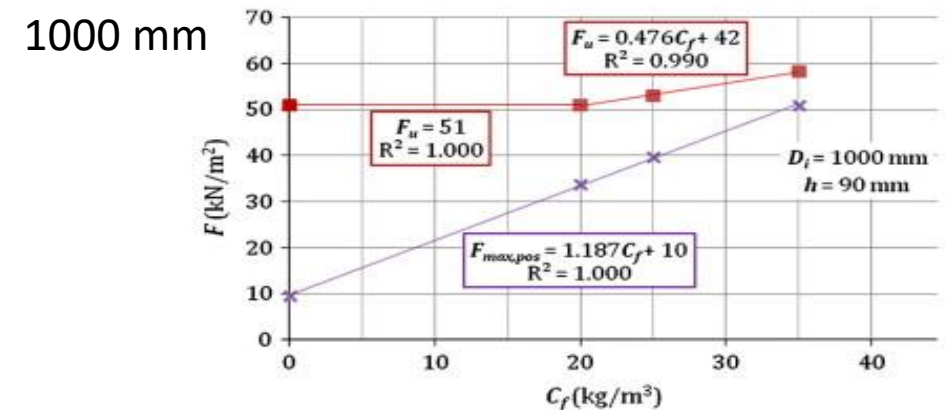
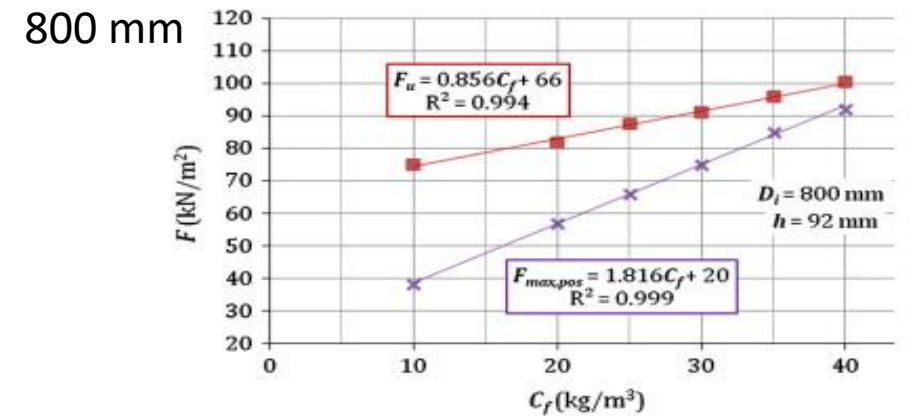
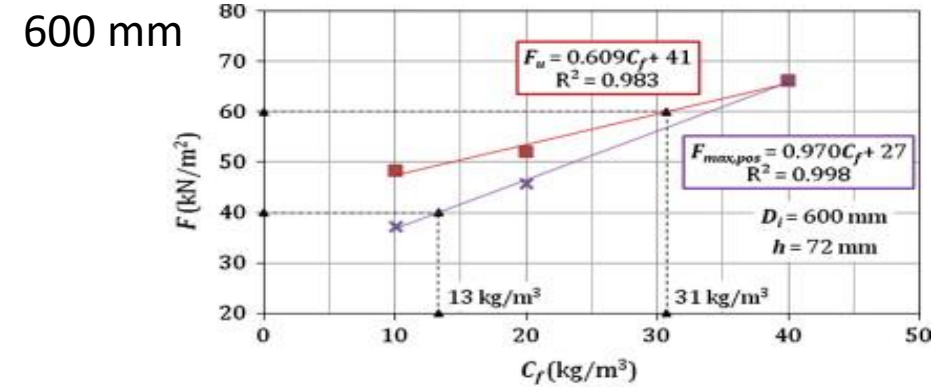


40 kg/m<sup>3</sup>



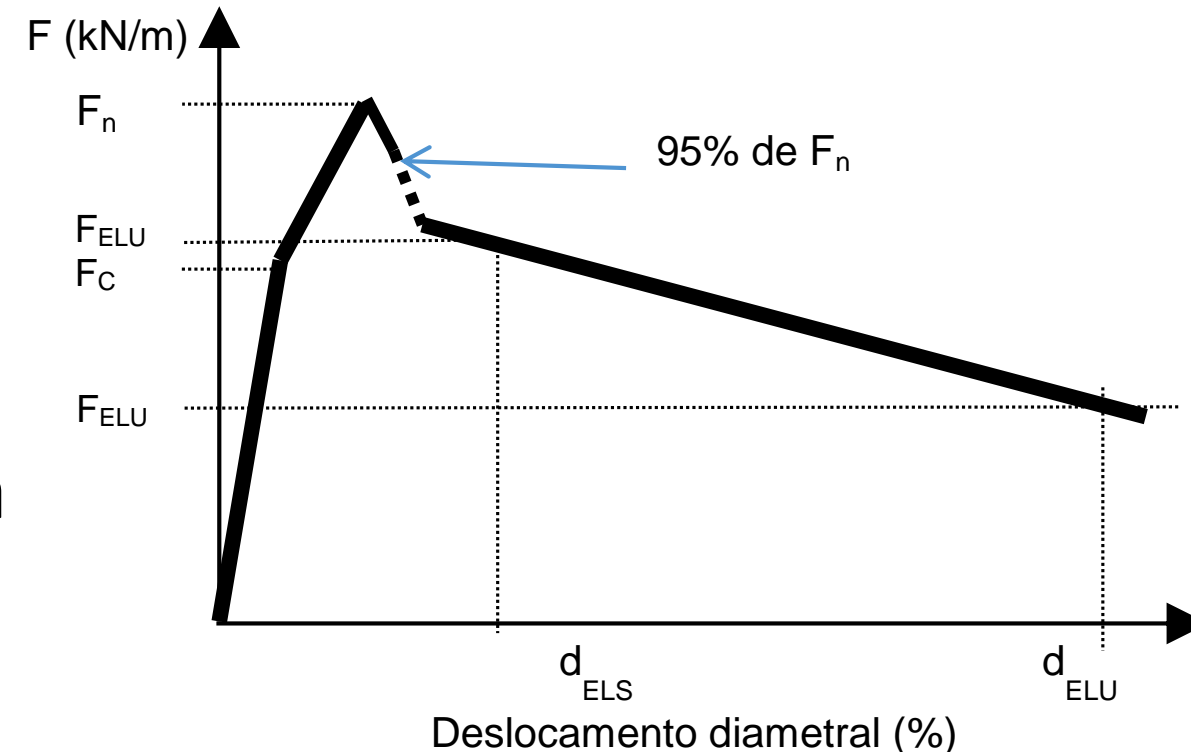
# Produção de ábacos de dimensionamento

Di (mm)	fRm,4/fRm,1 ≥ 0.9			
	fRm,1 = 1.5 N/mm <sup>2</sup>	fRm,1 = 2.0 N/mm <sup>2</sup>	fRm,1 = 2.5 N/mm <sup>2</sup>	fRm,1 = 3.0 N/mm <sup>2</sup>
300	C60	C135	C135	C180
400	C60	C90	C90	C135
500	—	C60	C90	C90
600	—	C60	C90	C90
700	—	C60	C60	C90
800	—	C60	C60	C60
900	—	—	C60	C60
1000	—	—	C60	C60



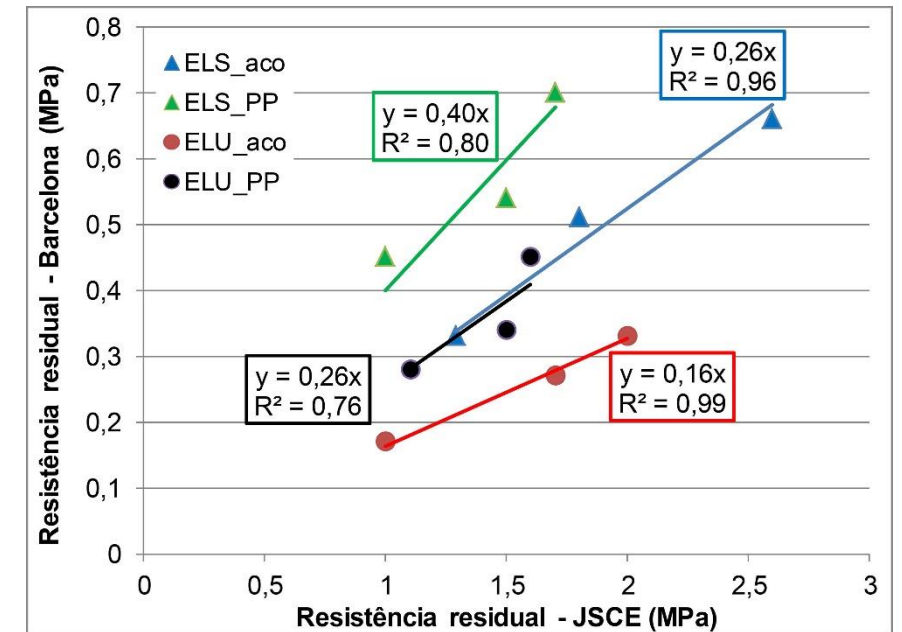
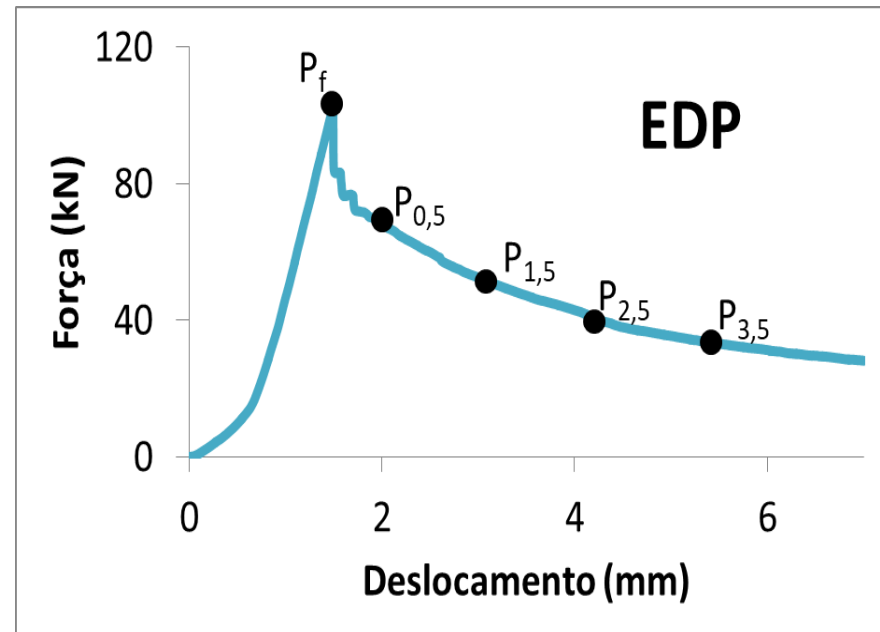
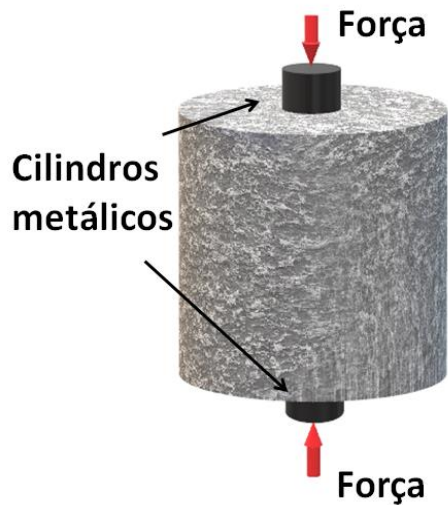
# Ensaio de compressão diametral TCRF

- ✓ Proposta de controle de tubos para aproximar a filosofia do *fib* Model Code
- ✓ Melhorar a confiabilidade do ensaio e solucionar o problema de não controlar resistência vinculada ao nível de fissuração/deslocamento (ELS e ELU)



# Ensaio de duplo puncionamento (Barcelona)

- Avaliação da resistência residual EDP



Monte, R.; Toaldo, G. S.; Figueiredo, A. D. Avaliação da tenacidade de concretos reforçados com fibras através de ensaios com sistema aberto. *Matéria (UFRJ)*, v. 19, p. 132-149, 2014.

Simão, L.C.R.; Nogueira, A.B.; Monte, R.; Salvador, R.P.; Figueiredo, A.D. Influence of the instability of the double punch test on the post-crack response of fiber-reinforced concrete. *CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS*, v. 217, p. 185-192, 2019.

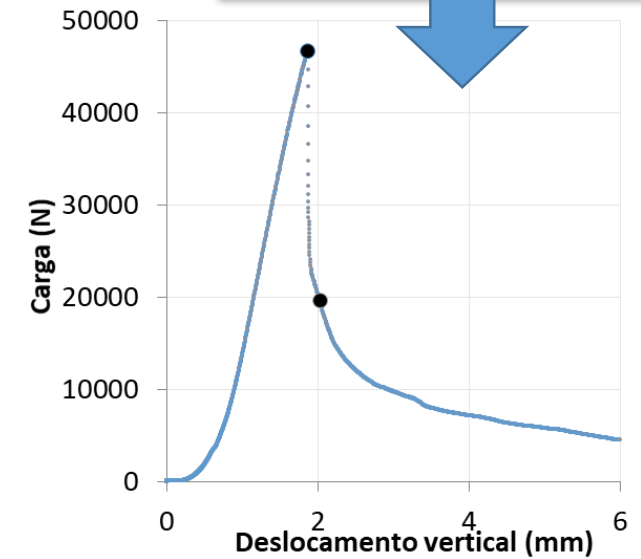
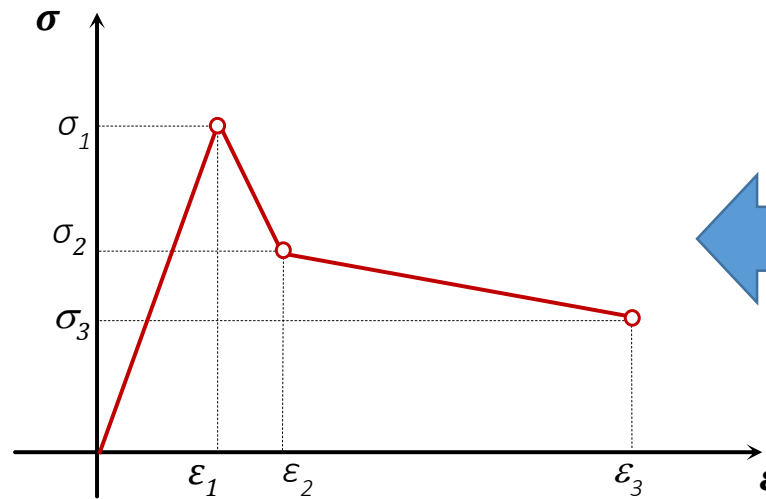
# Aperfeiçoando o sistema de controle dos TCRF



# Aperfeiçoando o sistema de controle dos TCRF

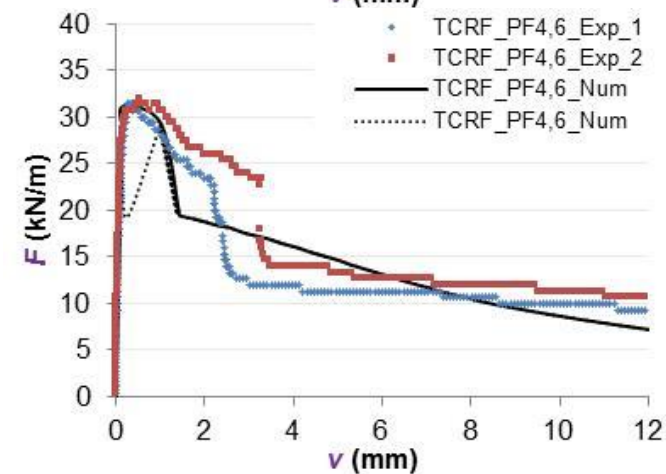
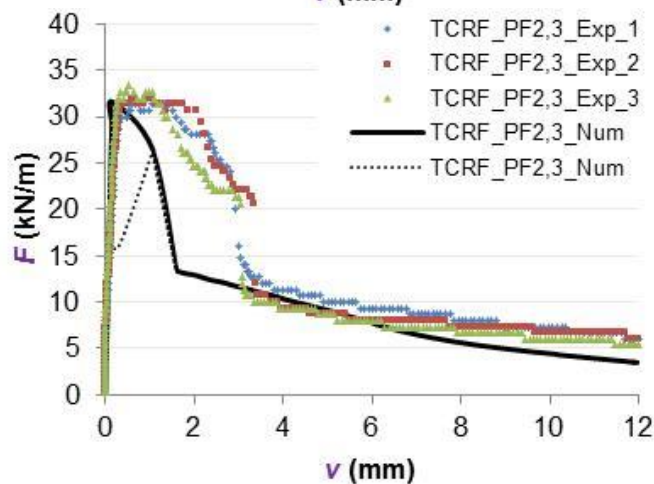
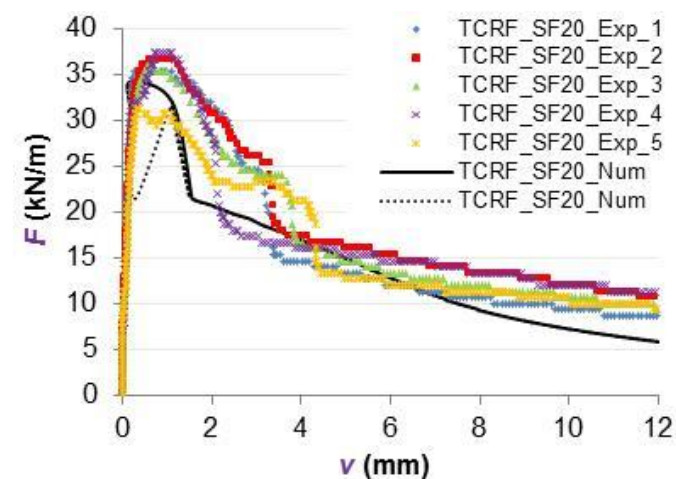
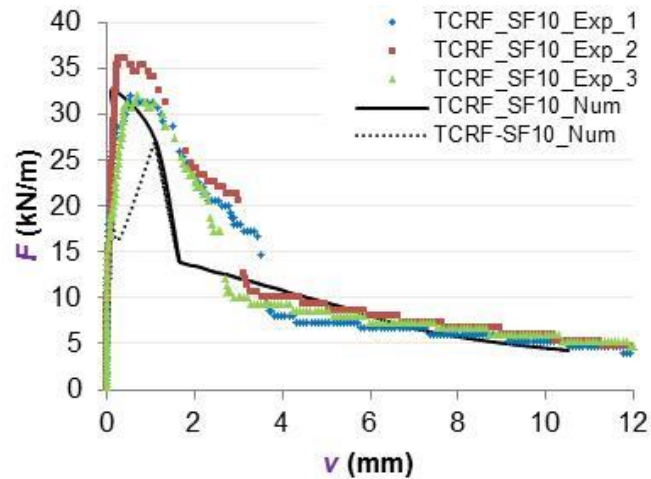


(Por meio de BLANCO, A. et al. Constitutive model for fiber reinforced concrete based on the Barcelona test. Cement and Concrete Composites, v. 54, p. 327-340. Oct. 2014.)





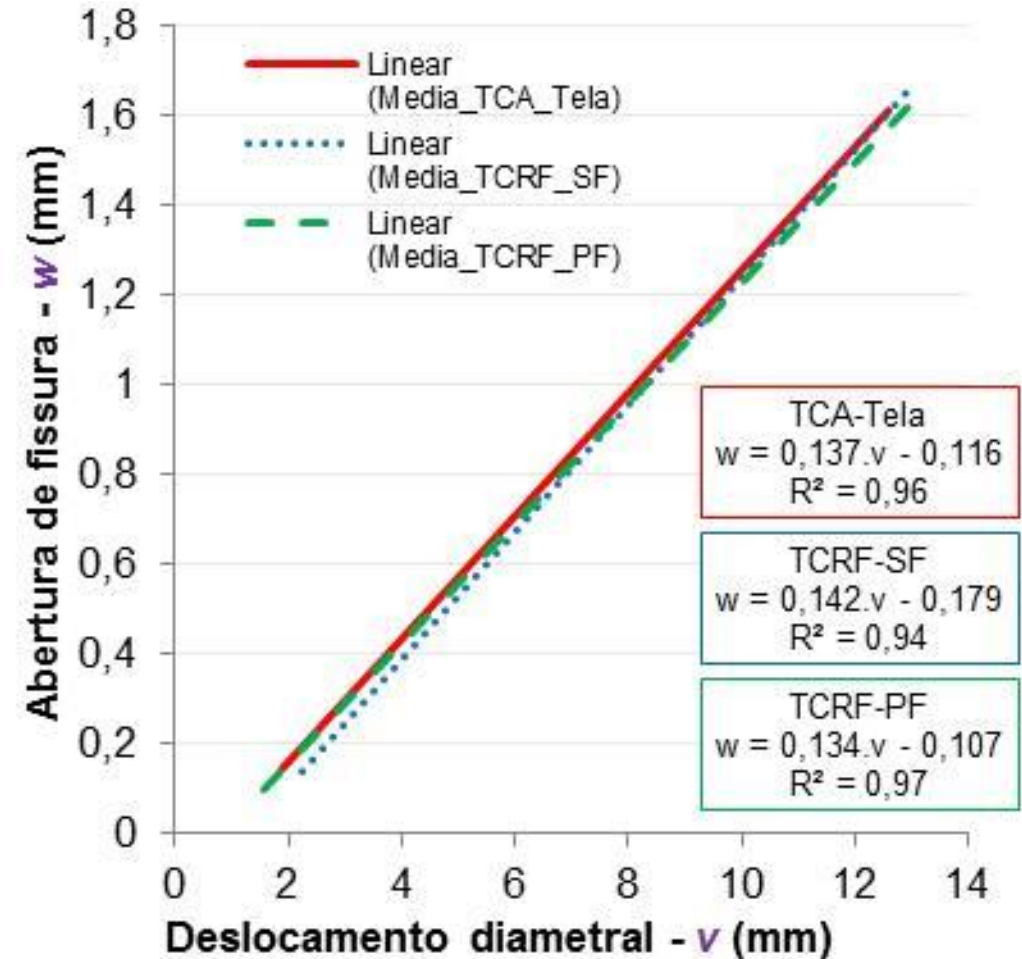
# Simulação numérica x experimental



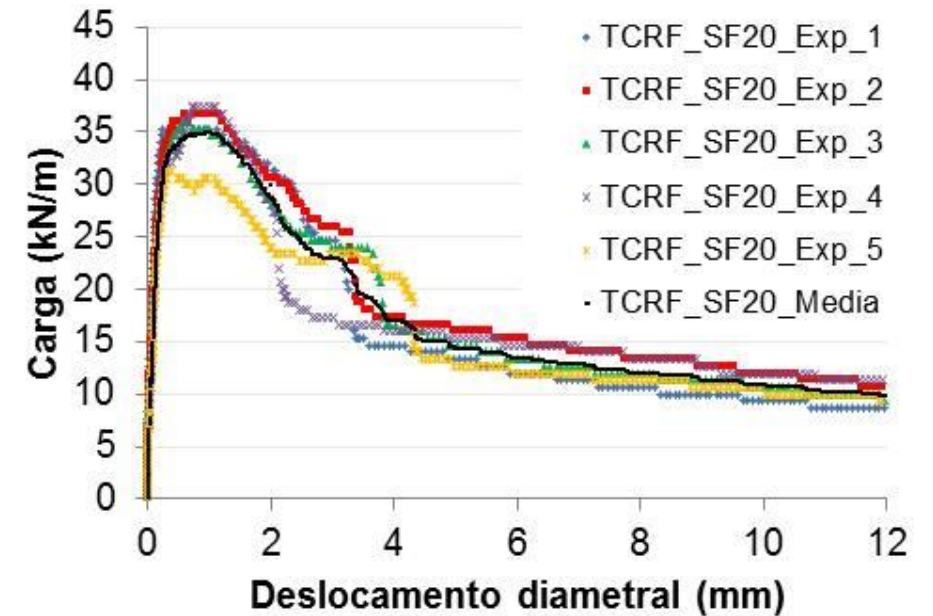
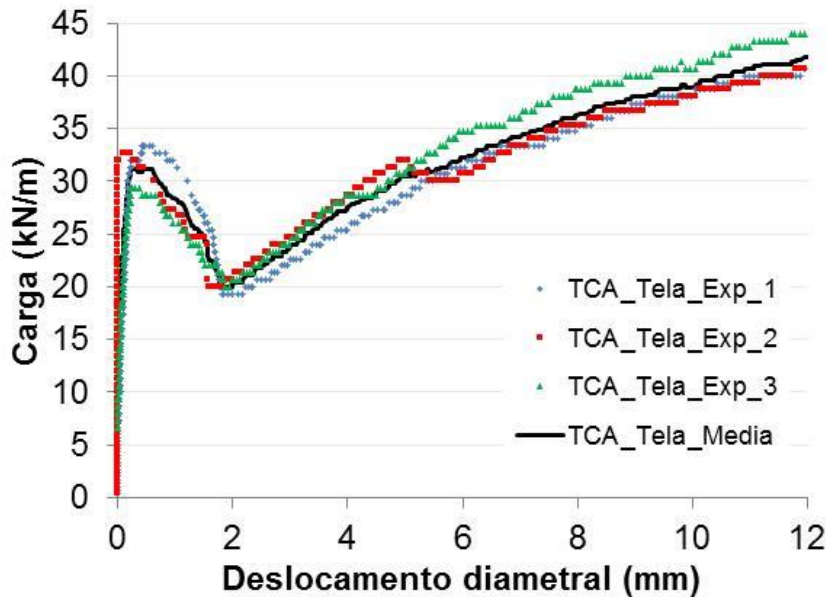
- ✓ Simulação com ensaio Barcelona ajustaram bem aos resultados experimentais
- ✓ Descompasso na região após a carga de pico, pode estar associada a instabilidade do ensaio

# Correlação entre o deslocamento diametral e a abertura de fissura

- ✓ Não foi influenciada pelo tipo de reforço
- ✓ Influencia é na **capacidade resistente de cada reforço** para determinada abertura de fissura



# Comparação/conjugação de CRF e tela metálica



- ✓ **Redução na capacidade resistente após a carga de pico** até aproximadamente 2 mm de deslocamento diametral.
- ✓ Posicionamento da **tela no centro da espessura do tubo**, necessitando de certa **abertura de fissura** até que a armadura seja solicitada

# Utilização de reforço híbrido

- O “volume crítico” de fibras é mais facilmente atingível para tubos de menores diâmetros (600 mm ou 800 mm)
- As fibras atuam bem em baixos níveis de deformação/fissuração enquanto a tela tem melhor desempenho para maiores deformações.
- Por que não juntar as duas coisas?

# Reforço híbrido



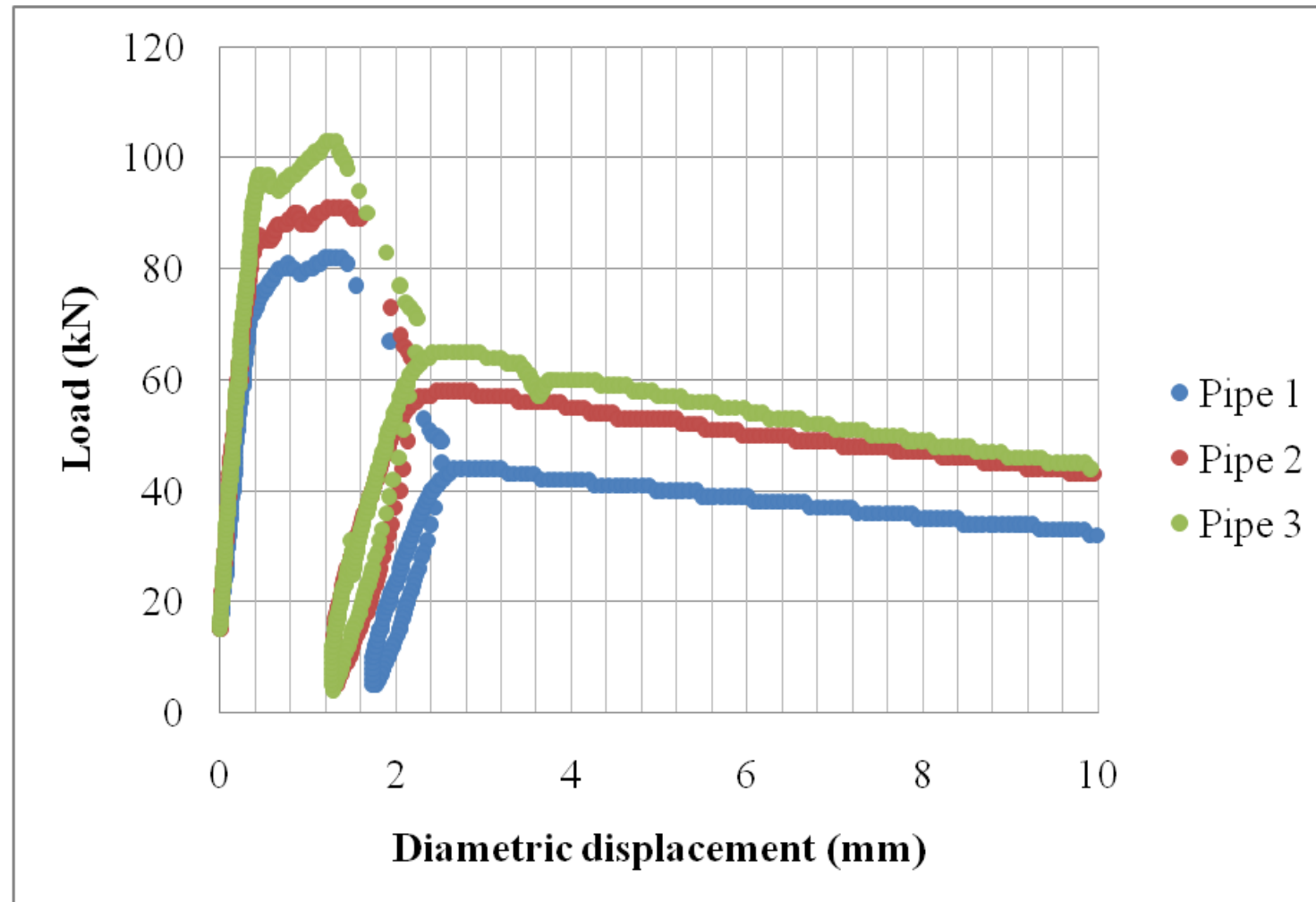
Não foi de todo fácil!



# Avaliação do desempenho mecânico:

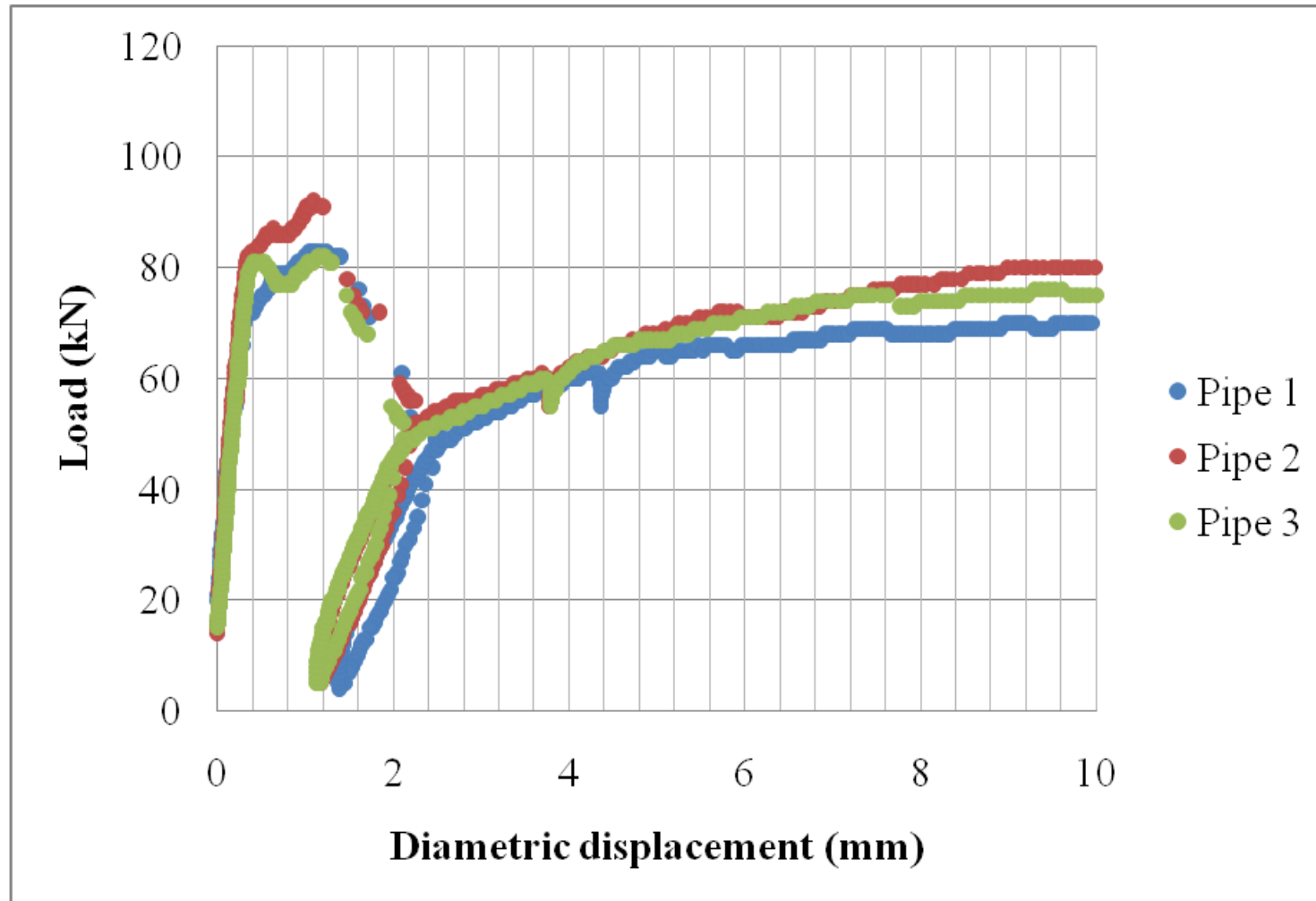
- Moldagem dos tubos em um único dia.
- Ensaio de compressão axial em dois ciclos (critério da fibra – mais rigoroso).
- Consumo de fibra de aço: 20 kg/m<sup>3</sup>.
- Comprimento da fibra: 35 mm.
- Diâmetro da fibra: 0,55 mm.
- Reforço com fios de aço CA 60: um fio de 6 mm a cada 85 mm.
- Reforço complementar 16 fios do mesmo aço posicionados no sentido longitudinal.

# Resultados e análise (fibra)

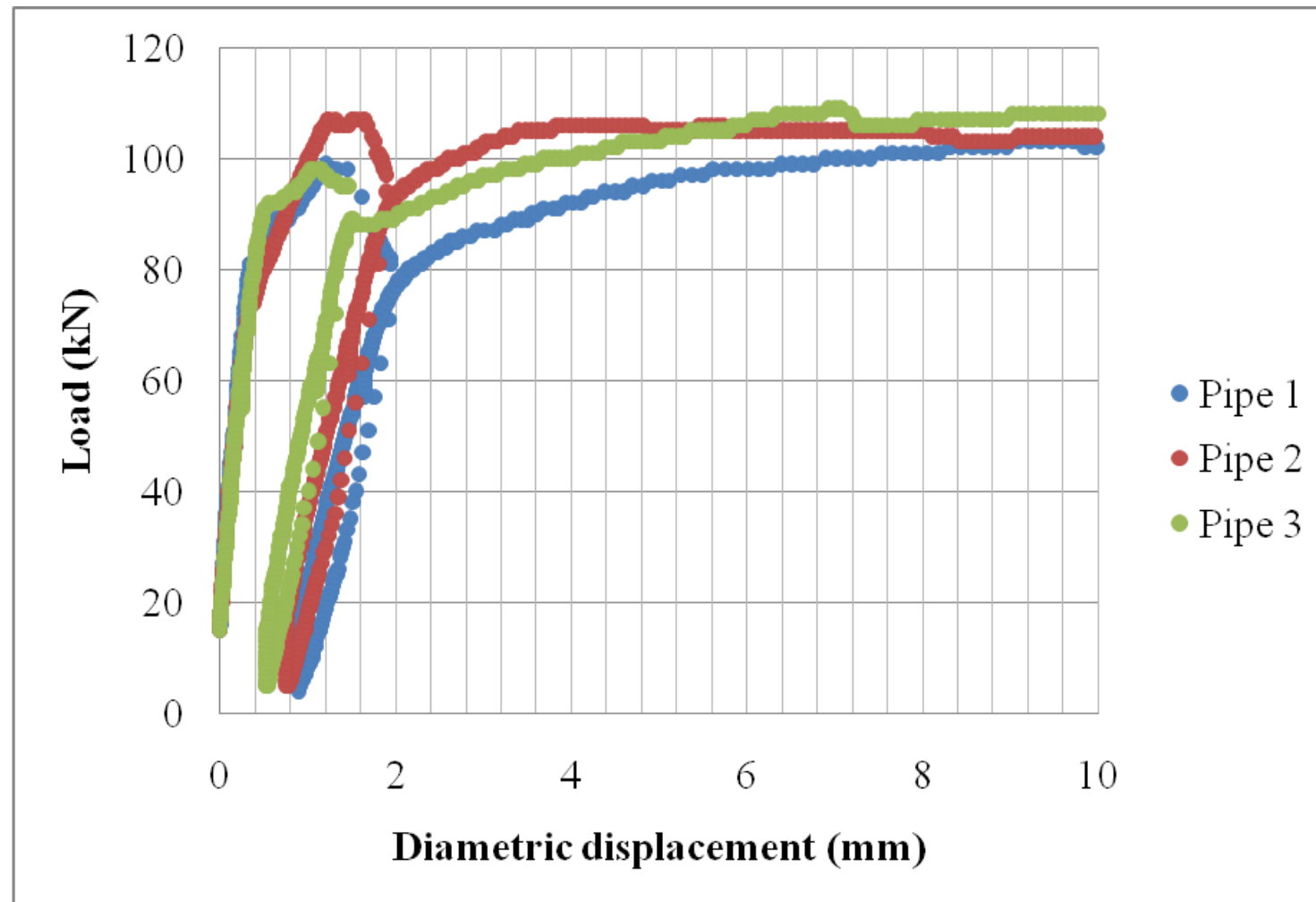




# Resultados e análise (vergalhão)

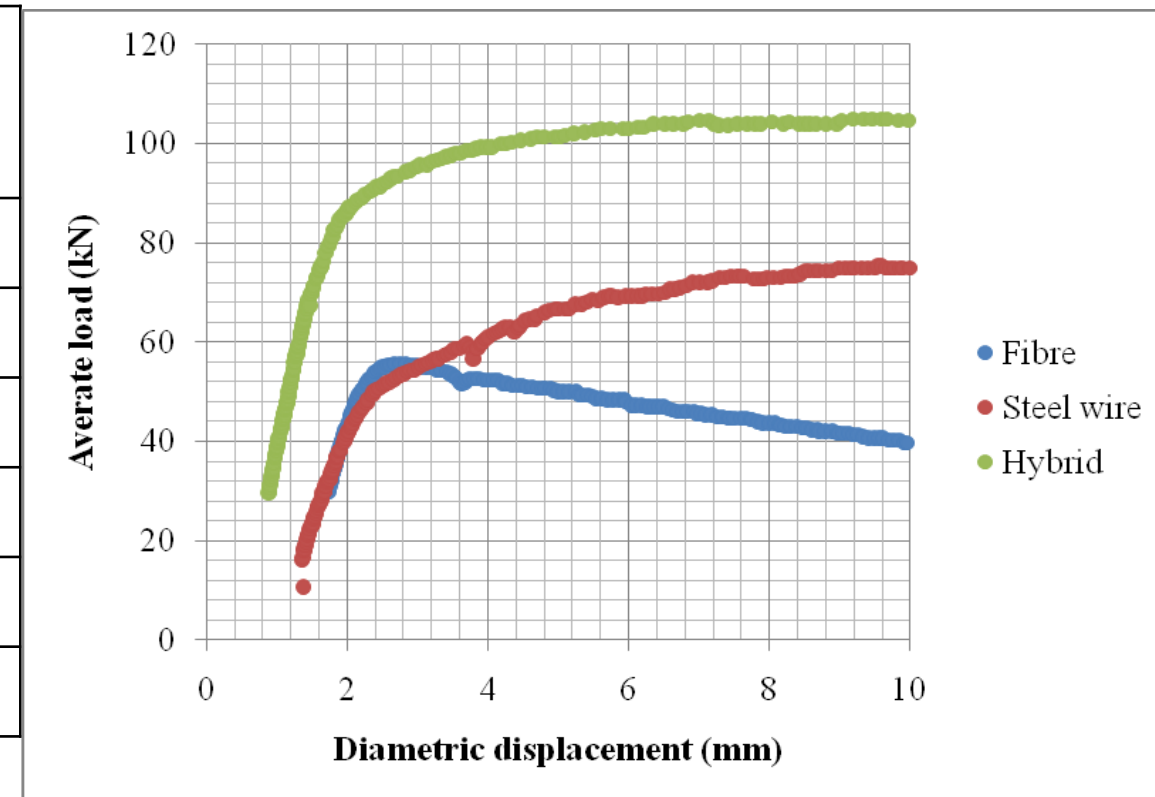


# Resultados e análise (híbrido)

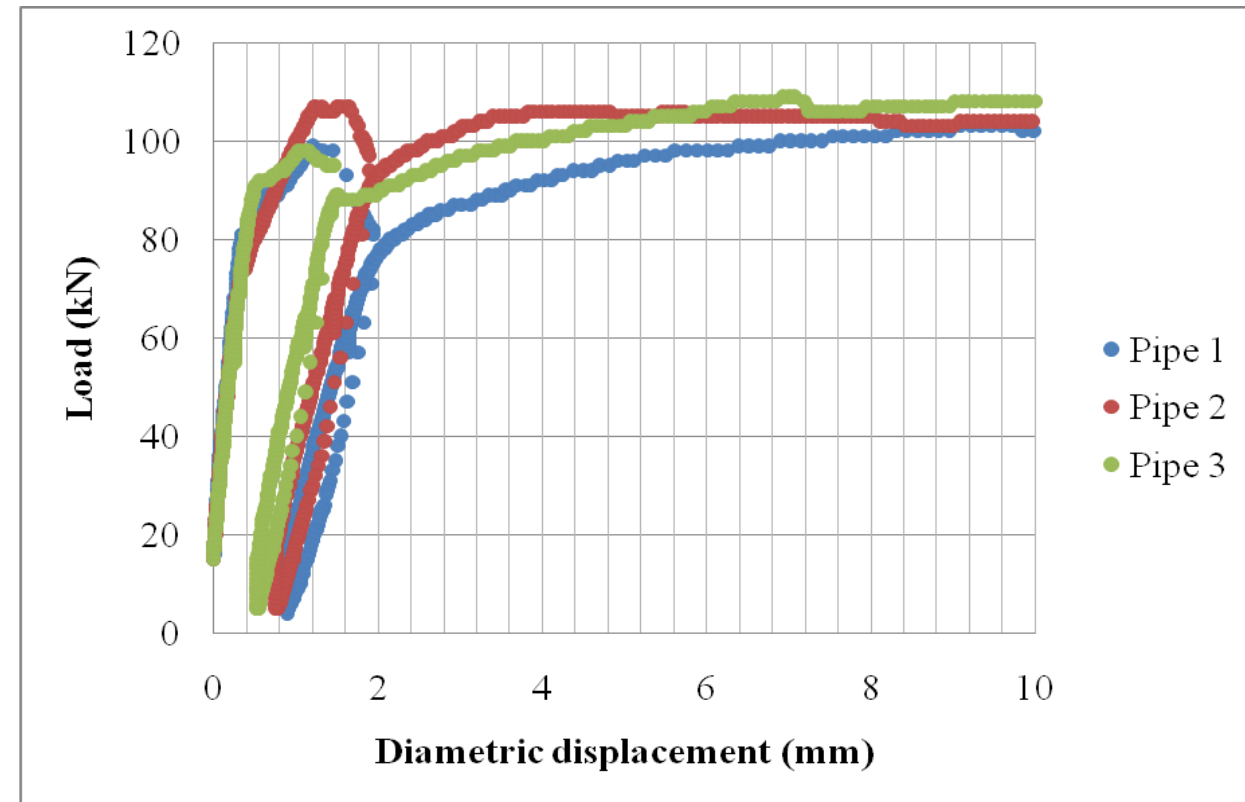
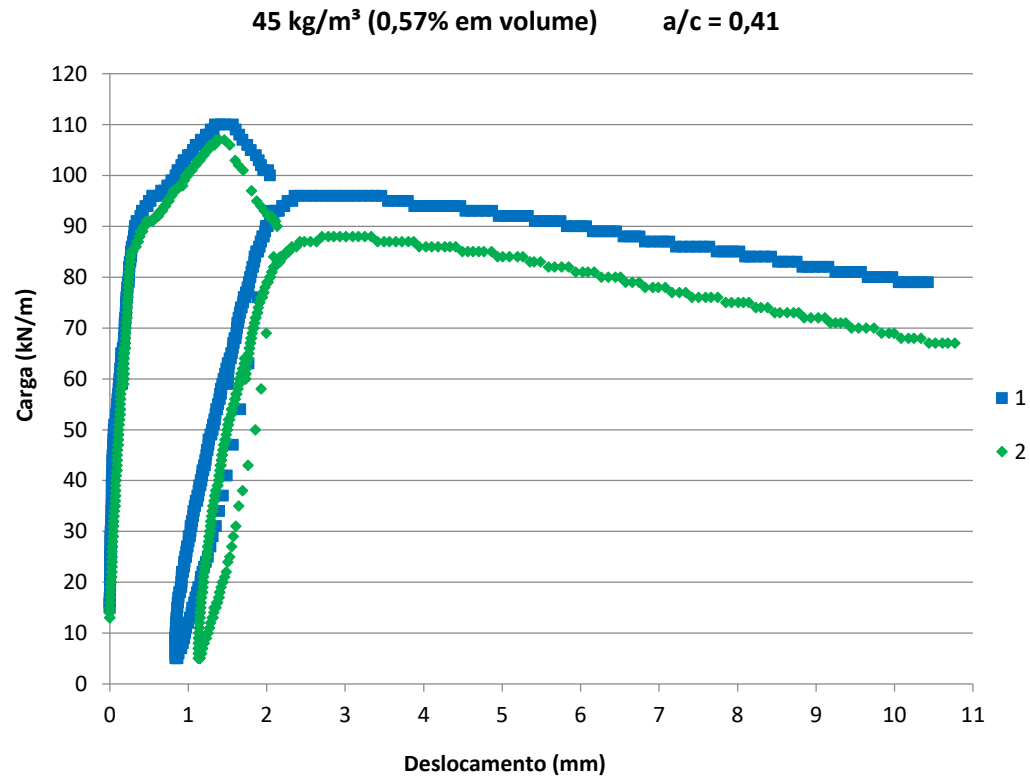


Carga máxima e respectivos deslocamentos diametrais para o primeiro ciclo de carregamento.

Type of reinforcement	Maximum load at the first cycle (kN)			Diametric displacement (mm)		
Fibre	82	91	103	1.20	1.23	1.21
Average value	92.0±10,5			1.21±0.02		
Steel Wire	83	92	82	1.04	1.09	1.15
Average value	85.7±5,5			1.09±0.06		
Hybrid	99	107	98	1.21	1.22	1.03
Average value	101.3±4.9			1.15±0.11		



# Comparação com reforço só com fibras e mesmo consumo de aço



46 kg/m<sup>3</sup>

# Comentários finais do reforço híbrido

- O reforço híbrido pode ser um caminho de otimização do trabalho mecânico para baixos e elevados níveis de deslocamento diametral dos tubos.
- Isto ocorre mesmo para tubos de maiores diâmetros (pior situação de trabalho para a fibra).
- O comportamento de hardening poderá ser útil em aplicações futuras.
- Potencial uso imediato: Só agora se prevê o uso de fibra como reforço secundário (ABNT NBR8890/2020).

Ainda vamos  
modelar através de  
modelos  
numéricos com  
representação  
discreta e explícita  
das fibras



Obrigado pela atenção!