

COMPORTAMENTO VISCOSO

PCC-5726

Antonio Figueiredo & Renata Monte

Objetivos da aula

- Introduzir o conceito de viscosidade para materiais “não sólidos” (serão melhor trabalhados na disciplina de reologia).
- Introduzir os conceitos de fluência e relaxação e entender como estes comportamentos são afetados por características dos materiais e condições ambientais.

DEFORMAÇÃO VISCOSA

- Os líquidos sempre apresentam mecanismo de deformação dependente do tempo (**deformação viscosa**)
- Os sólidos amorfos ou parcialmente amorfos apresentam deformação viscosa com mais intensidade que os materiais cristalinos
 - Dependem do nível de tensão.
- Um corpo não consegue suportar uma tensão de cisalhamento atuante

DEFORMAÇÃO VISCOSA

- Deformação viscosa ocorre com o passar do tempo com grande variação de velocidade.
- Viscosidade: propriedade que mede a resistência ao escoamento
(propriedade típica de um material viscoso)
- Resistência que um líquido apresenta durante o fluxo
(Atrito interno)

Fluído Newtoniano

$$\tau = F_s/A$$

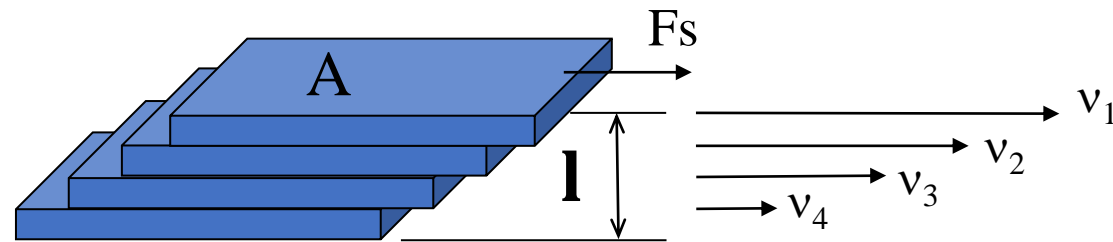
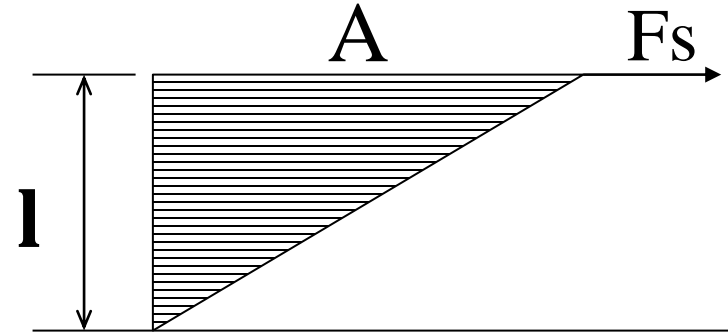
$$\tau = \eta \frac{dv}{dl}$$

$$\eta = \tau / \left(\frac{dv}{dl} \right)$$

τ = tensão de cisalhamento

v = velocidade

η = viscosidade (Pa.s) (N.s/m²)



Fluído Newtoniano

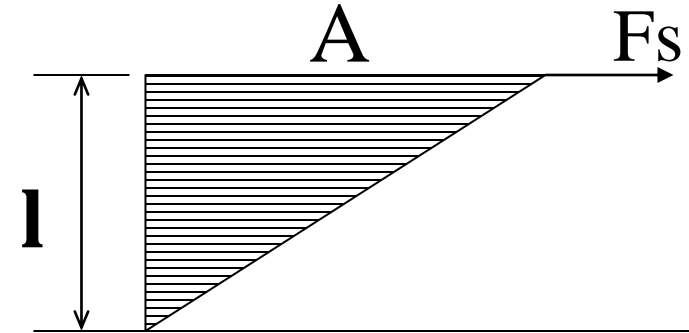
$$\tau = \eta \frac{dv}{dl}$$

$$dv = \frac{dx}{dt}$$

$$\frac{dv}{dl} = \frac{dx/dt}{dl} = \frac{d\gamma}{dt}$$

$$d\gamma = \frac{dx}{dl}$$

$$\tau = F_s \cdot A$$

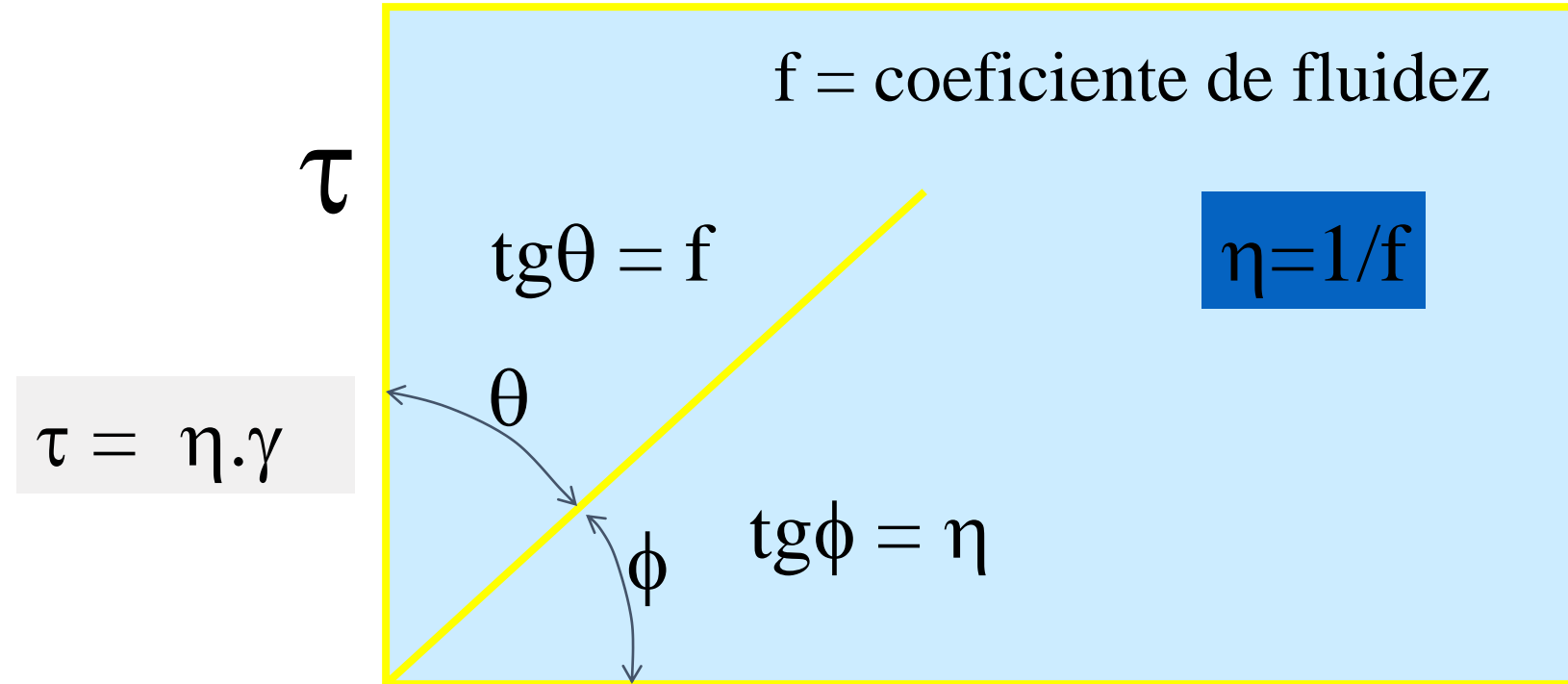


$$\tau = \eta \frac{d\gamma}{dt} = \eta \cdot \gamma$$

$$(\sigma = E \cdot \varepsilon)$$

γ = taxa de variação de deformação por cortante no tempo

Fluído Newtoniano



τ = tensão de cisalhamento

η = viscosidade (Pa.s) ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

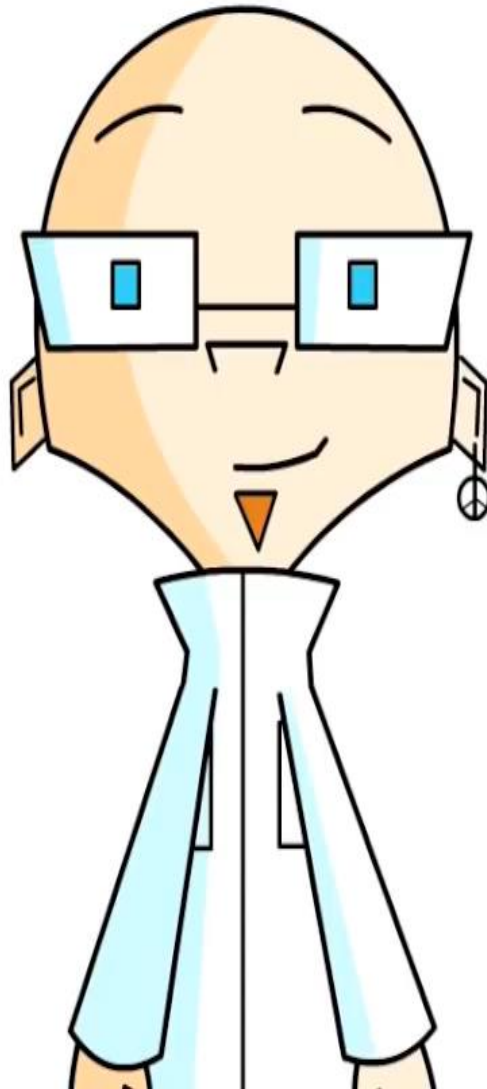
η Viscosidade é o “coeficiente de rigidez” do fluido ao movimento

γ = taxa de variação de deformação cortante no tempo

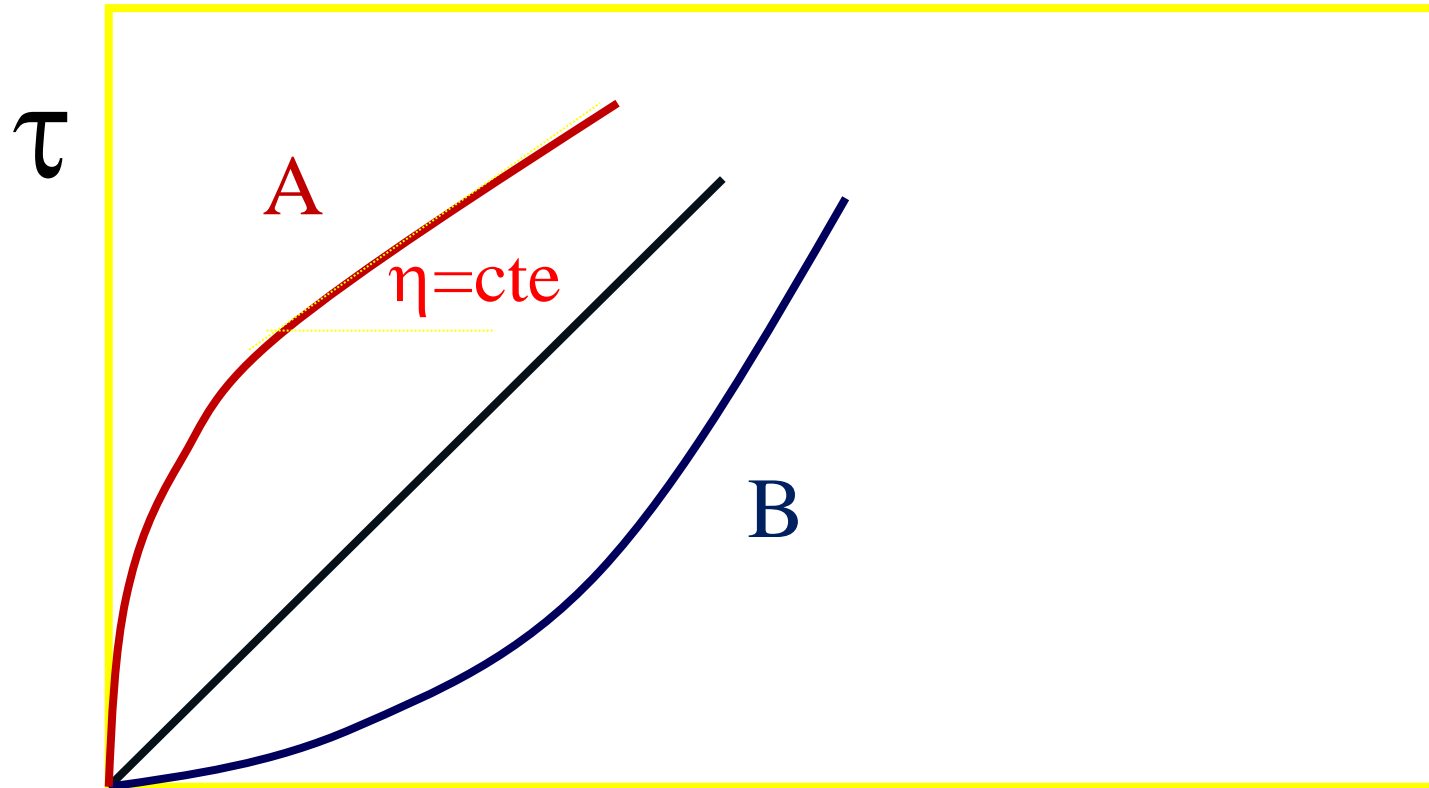
Materiais não Newtonianos

- Suspensões concentradas, polímeros e materiais moleculares complexos apresentam comportamento Não-Newtoniano.
- Variações da viscosidade podem ocorrer com a taxa de variação de deformação no tempo ($\dot{\gamma}$) ou com a intensidade da tensão de cisalhamento (τ) e com o tempo (t) além da temperatura (T).

Fluidos Newtonianos e Não-Newtonianos



Materiais não Newtonianos

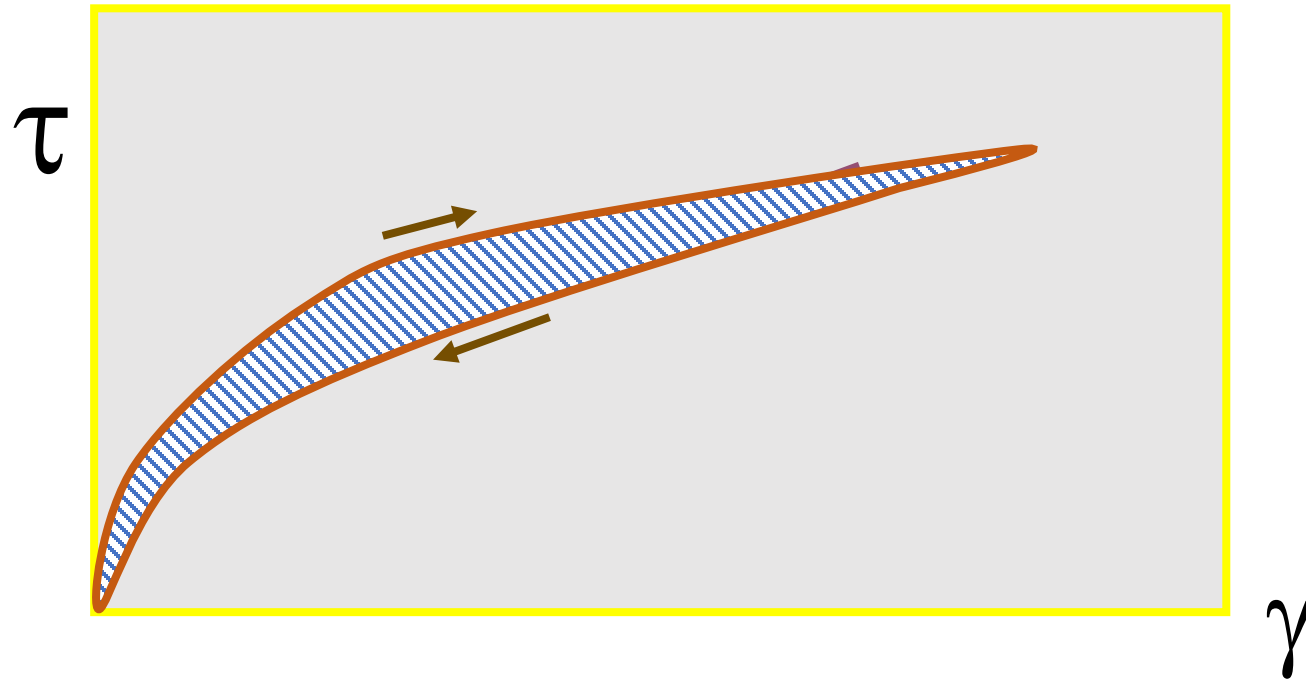


A = pseudo-plástico – ketchup, tintas

B = dilatante – maisena, algumas argilas e areias

Materiais não Newtonianos

Fenômenos dependentes do tempo



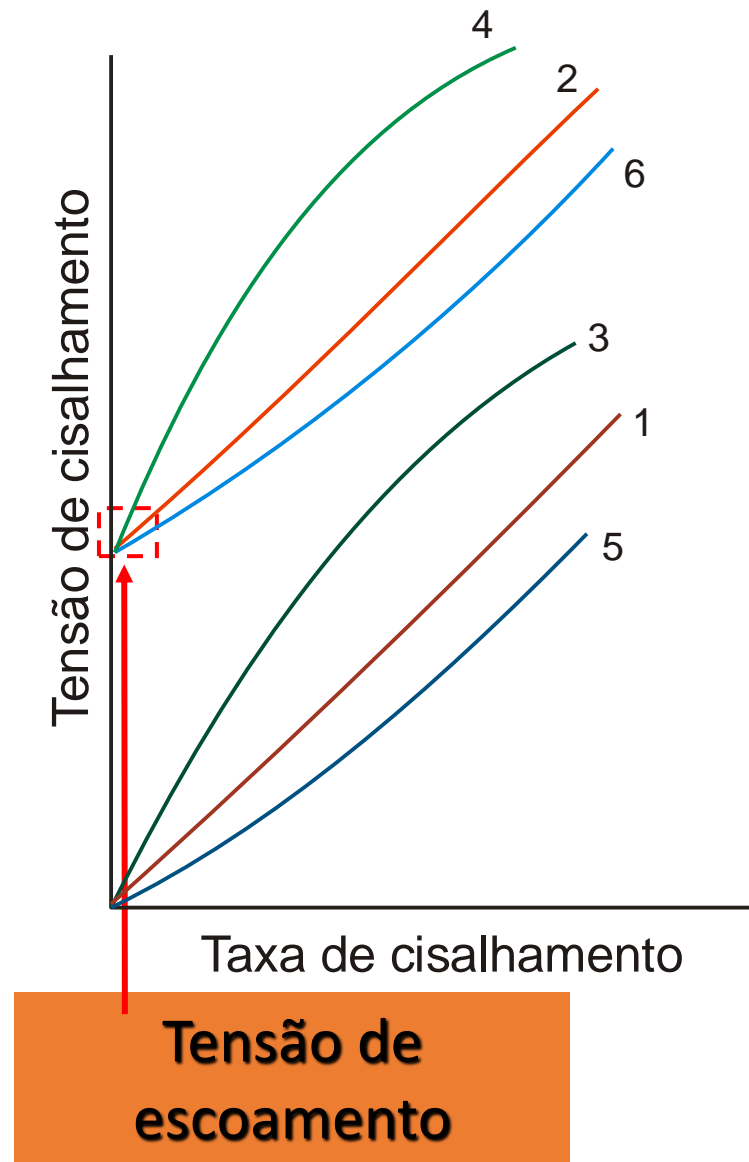
A = quebra rápida de floculações na mistura de uma suspensão

B = reconstrução lenta de floculações na mistura de uma suspensão

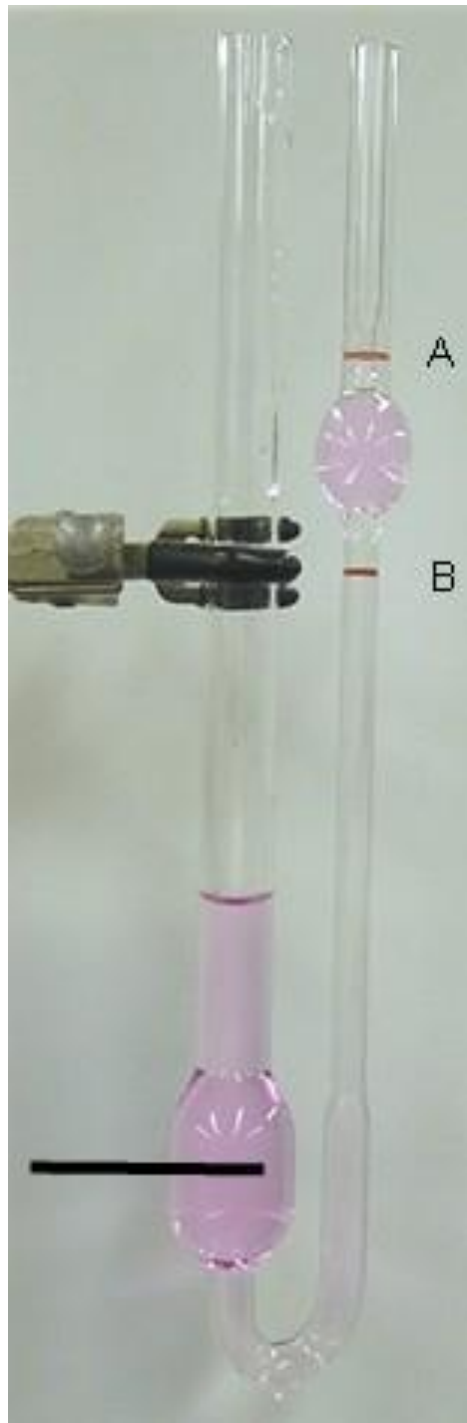
Comportamentos reológicos básicos

Possibilidades reológicas são ilimitadas

- (1) newtoniano
- (2) de Bingham
- (3) pseudoplástico
- (4) pseudoplástico com tensão de escoamento
- (5) dilatante
- (6) dilatante com tensão de escoamento



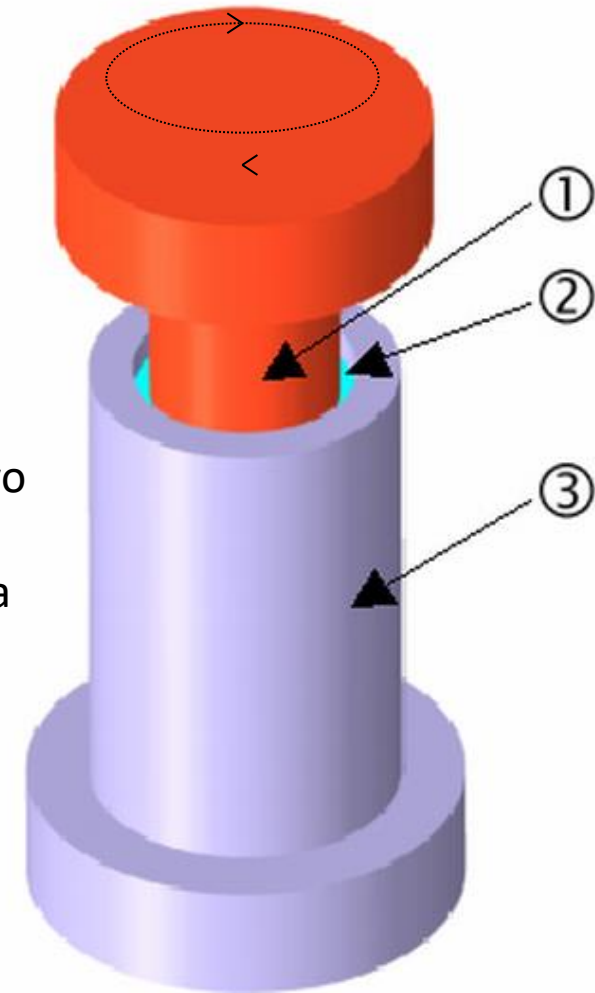
Formas de medida: viscosímetros



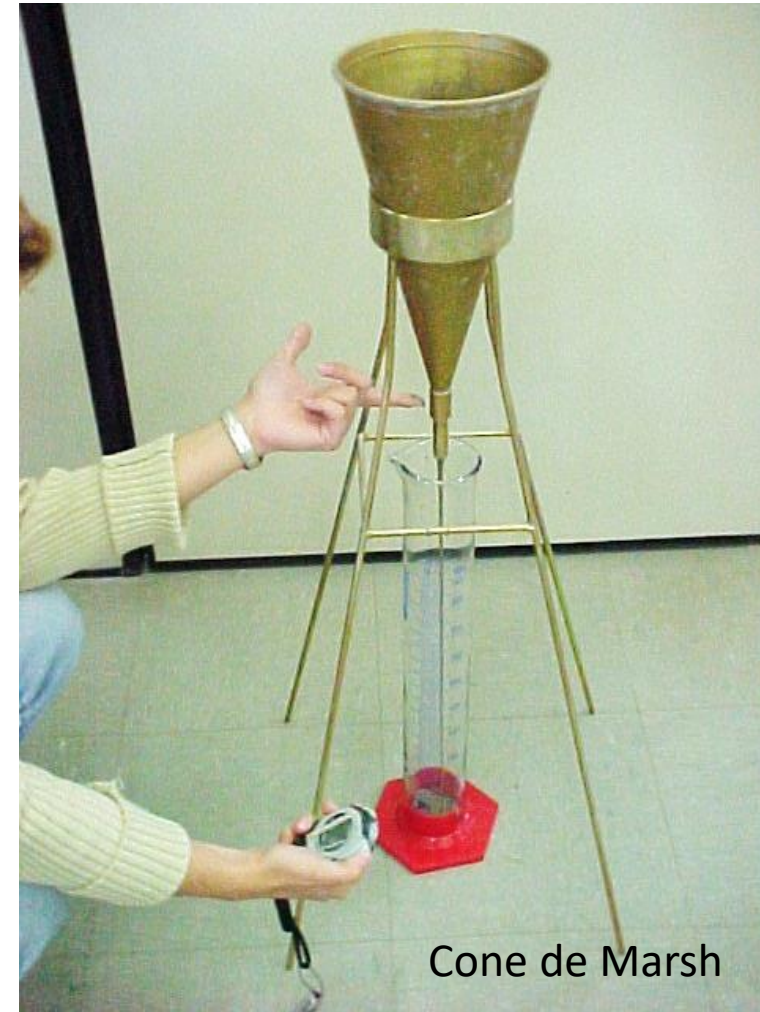
Viscosímetros
em tubo U

Viscosímetro de Couette

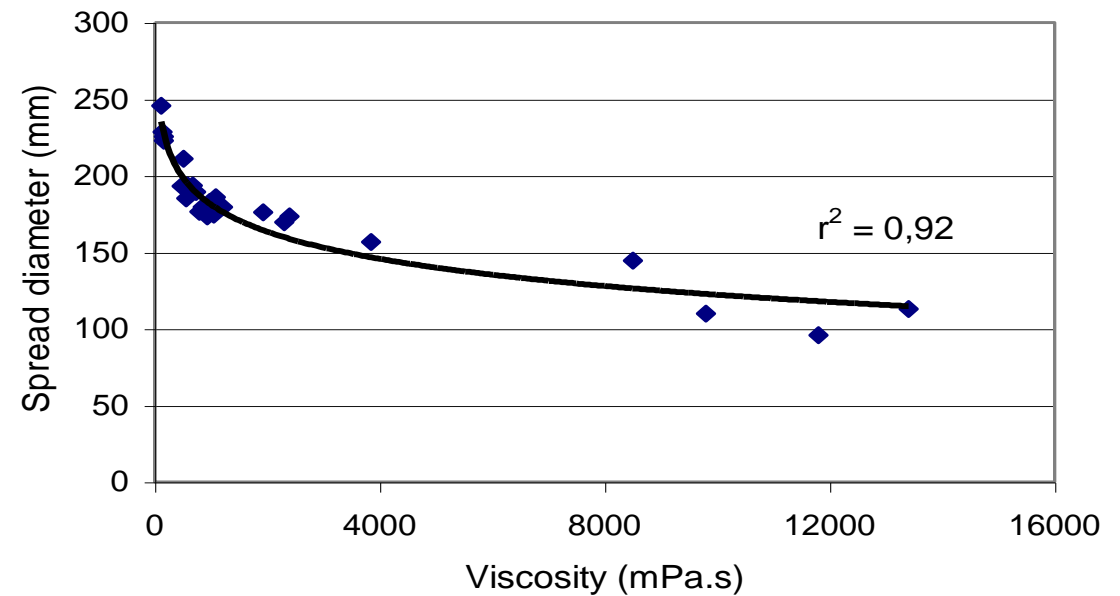
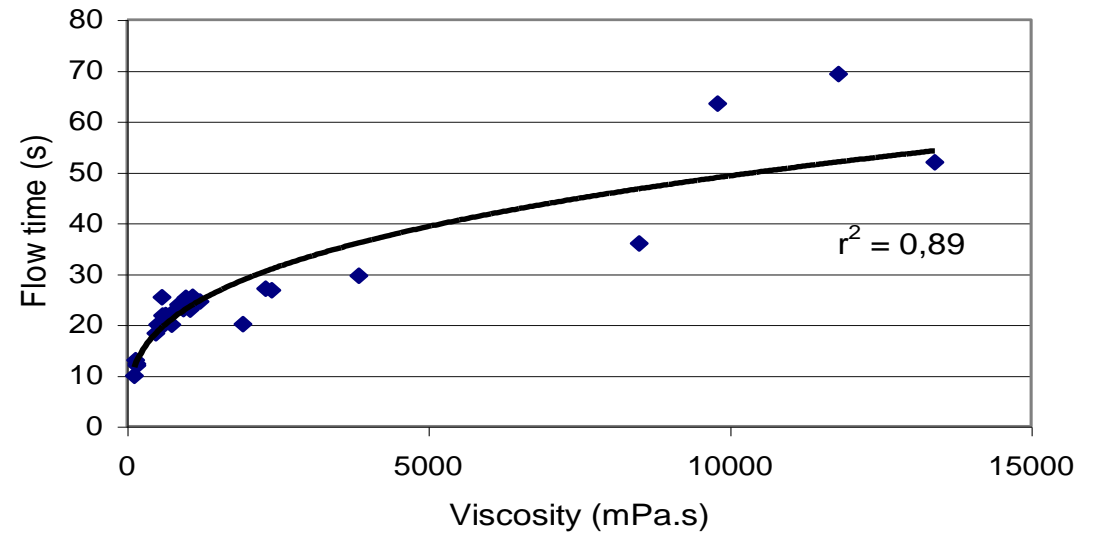
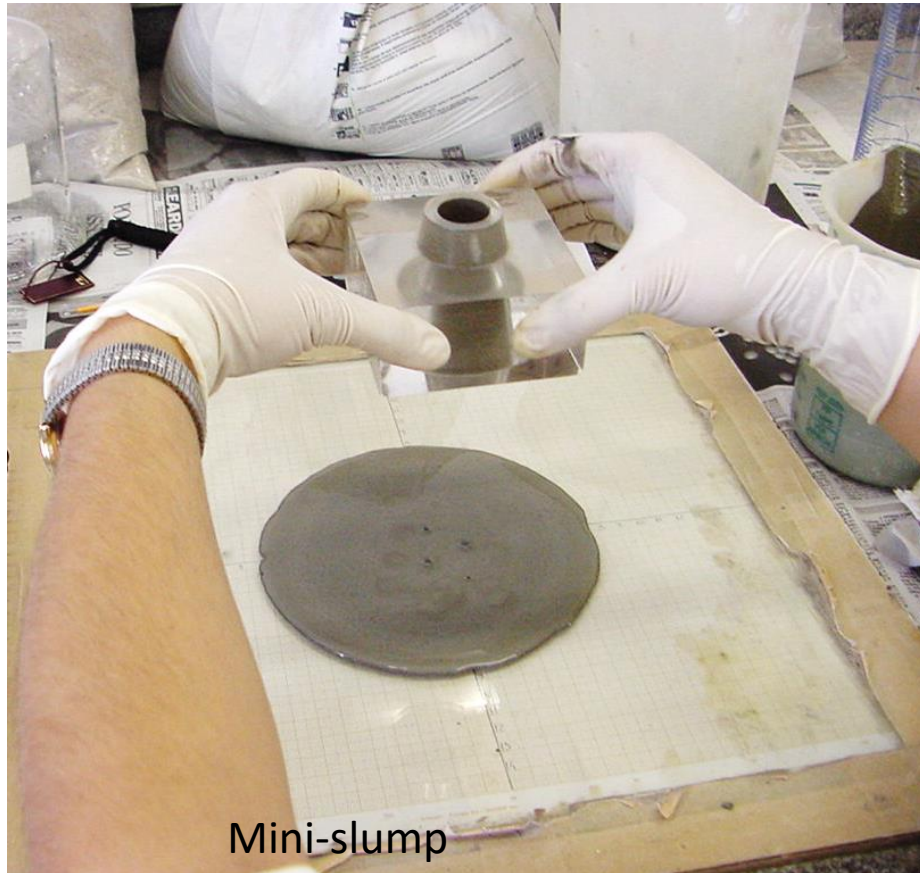
1. Cilindro rotativo
2. Fluido
3. Camisa externa



Formas de medida: viscosímetros para pastas

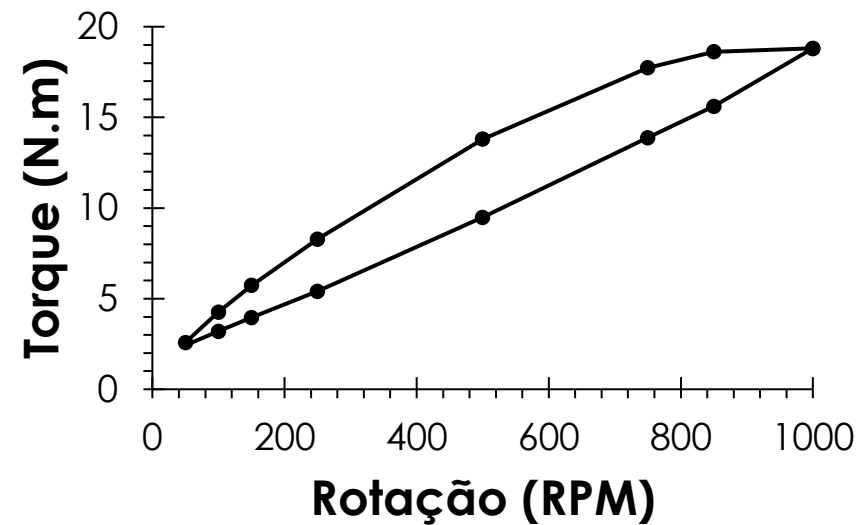
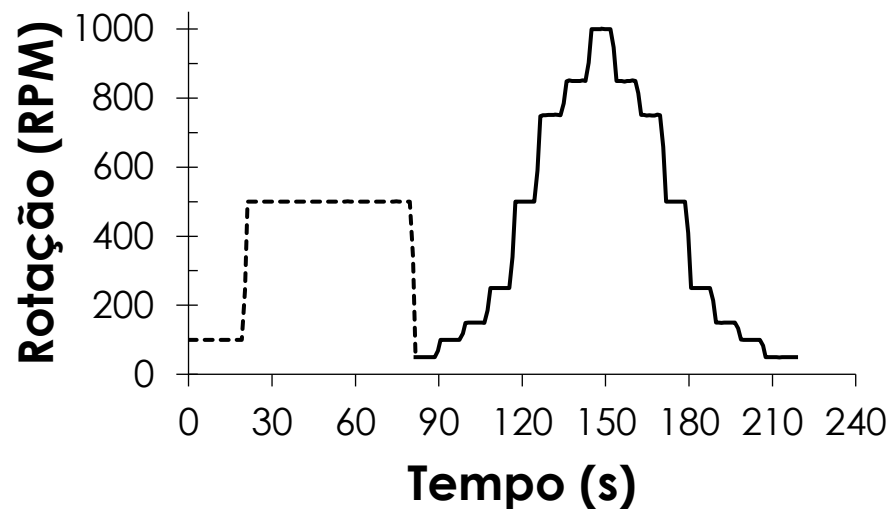


Formas de medida: viscosímetros para pastas



Concreto complica: Reometria rotacional

- Estudo utiliza cerca de 18L de concreto
- Impõe-se ciclos rotacionais (cisalhamento)
- Etapa de pré-homogeneização
- Variação de velocidade 50 – 1000 – 50 RPM
- Patamares de velocidade (9s)
- Obtenção do Torque (N.m) em função da rotação (RPM)



Problema fundamental:

- Medida de grandezas fundamentais permitem modelagem.
- Concreto avaliado por reômetro rotacional fornece parâmetros empíricos como o abatimento.
- Grande vantagem: não é um ensaio monoponto.

Comportamento viscoso dos materiais estruturais

- Fluência
- Relaxação
 - Podem gerar riscos para a segurança/estabilidade e condições de serviço da obra.





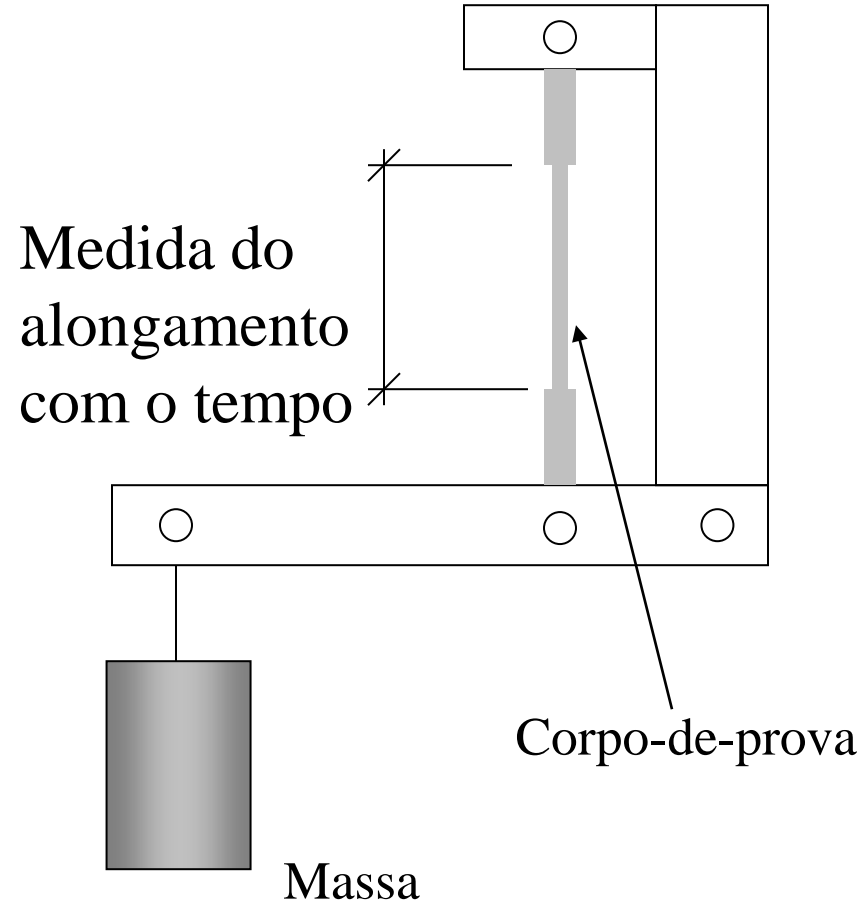


Deformação lenta

- Deformação em função do tempo para uma carga (ou tensão) constante: **FLUÊNCIA**
- OCORRÊNCIA:
 - Observada em metais e materiais amorfos como vidros e polímeros.
 - Materiais porosos com preenchimento de água a deformação é mais intensa (concretos e argamassas).
 - Cristais iônicos e covalentes apresentam menor nível de deformação viscosa
 - quase tudo.

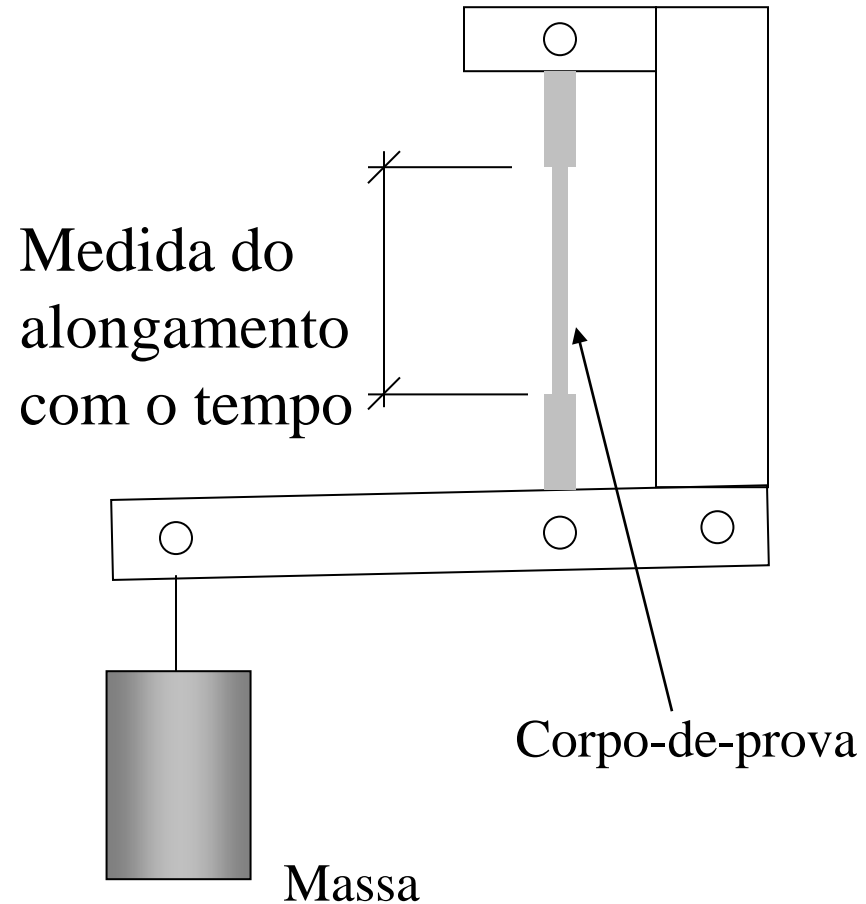
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



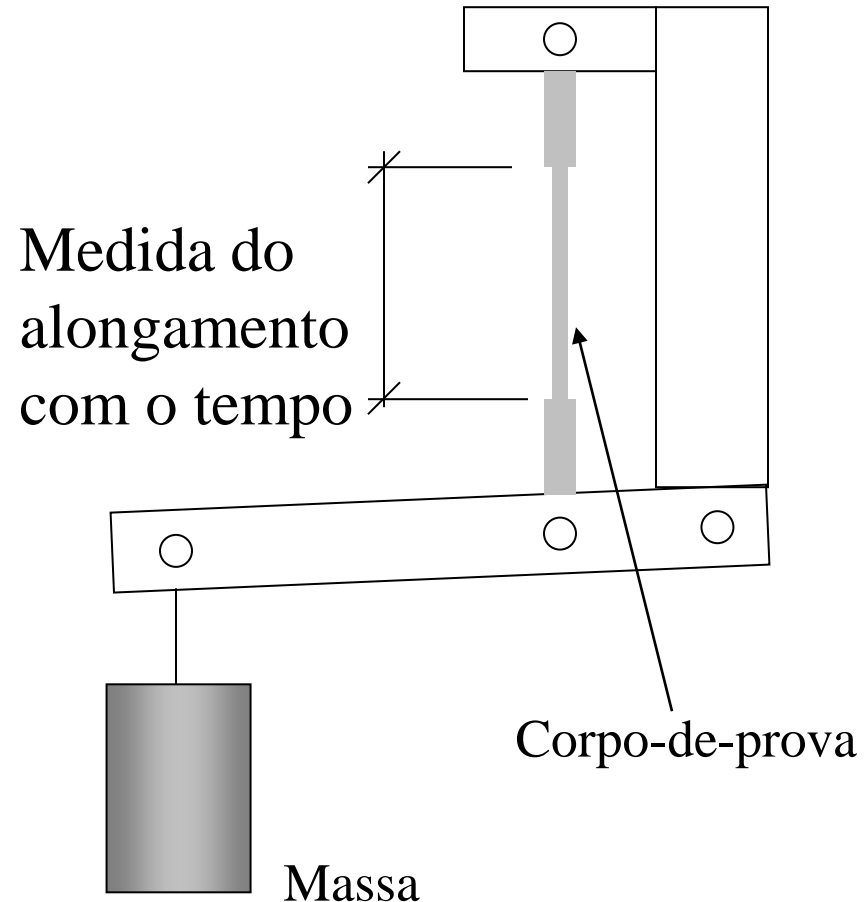
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



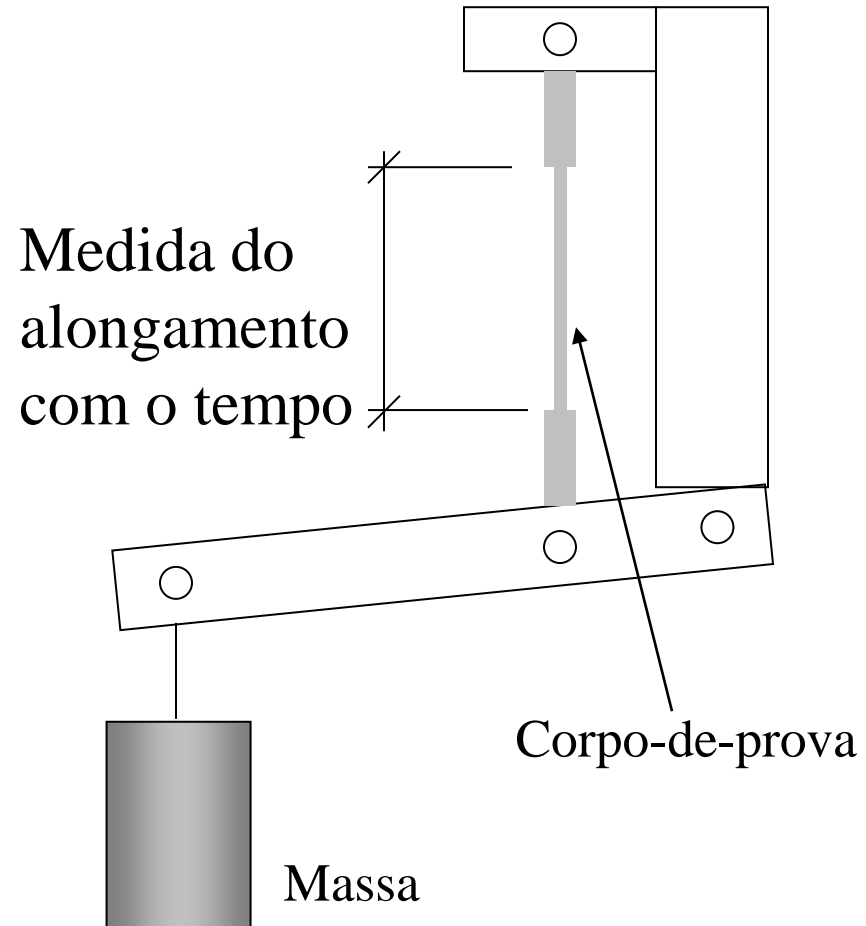
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



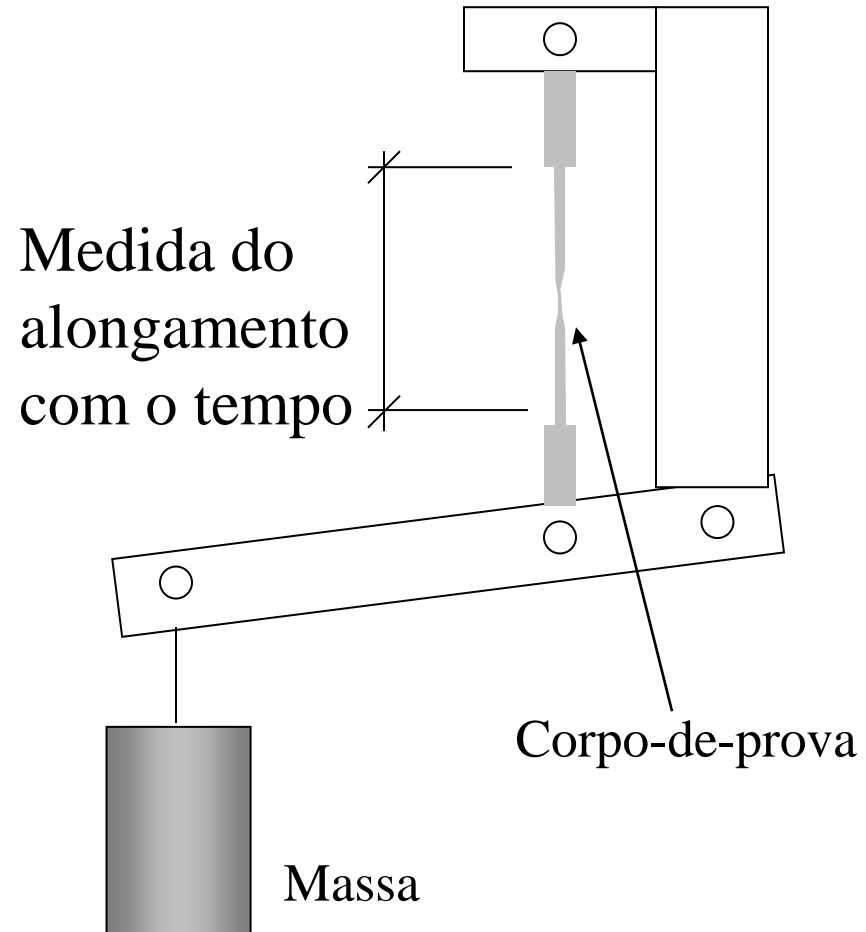
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



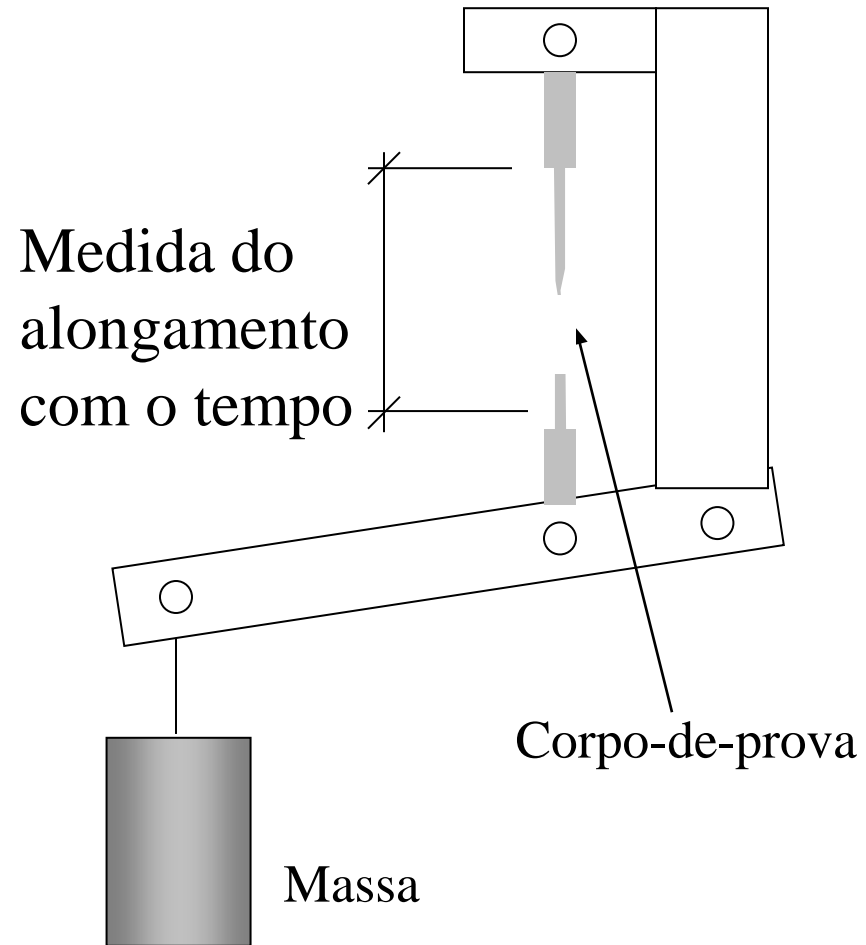
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



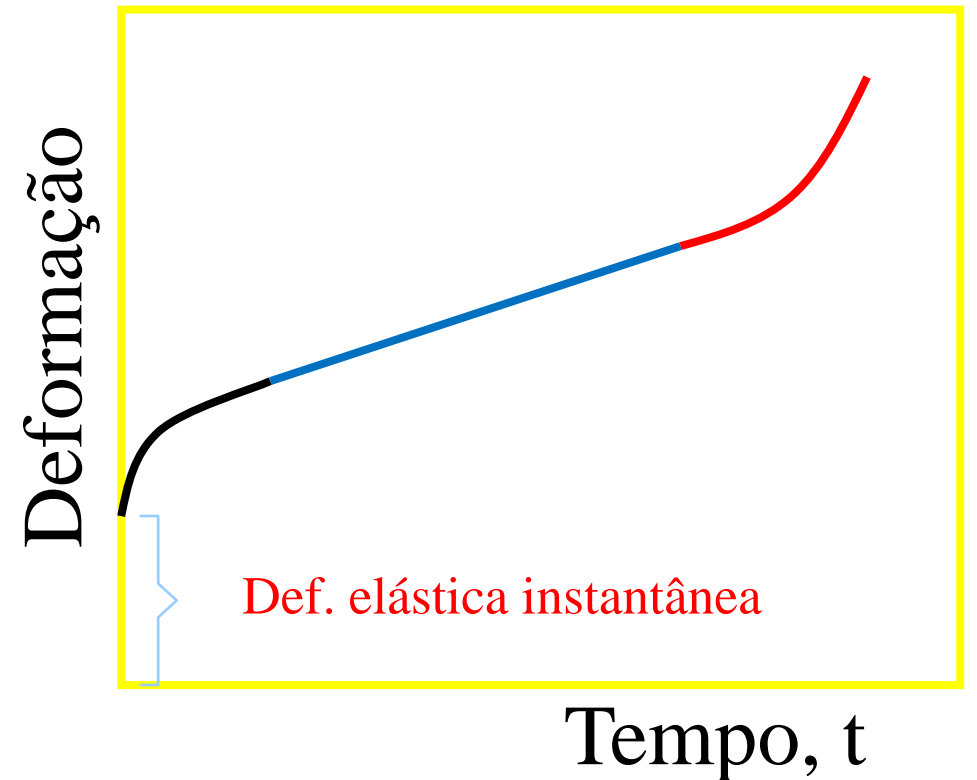
Fluência

- Tensão constante a temperatura constante.
- Deformação crescente
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.



Fluência

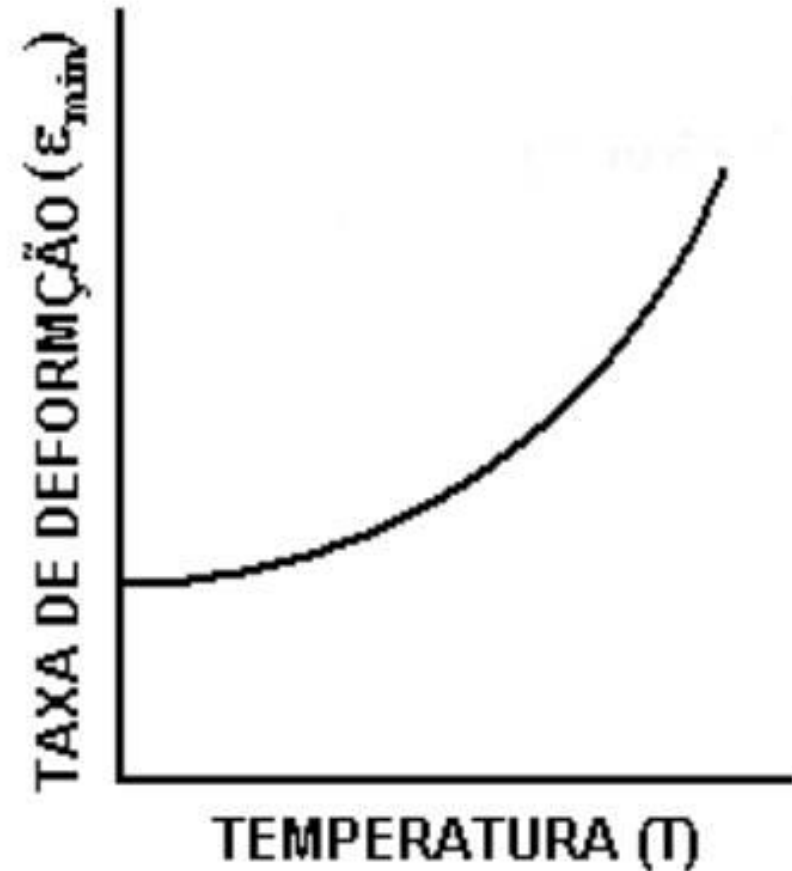
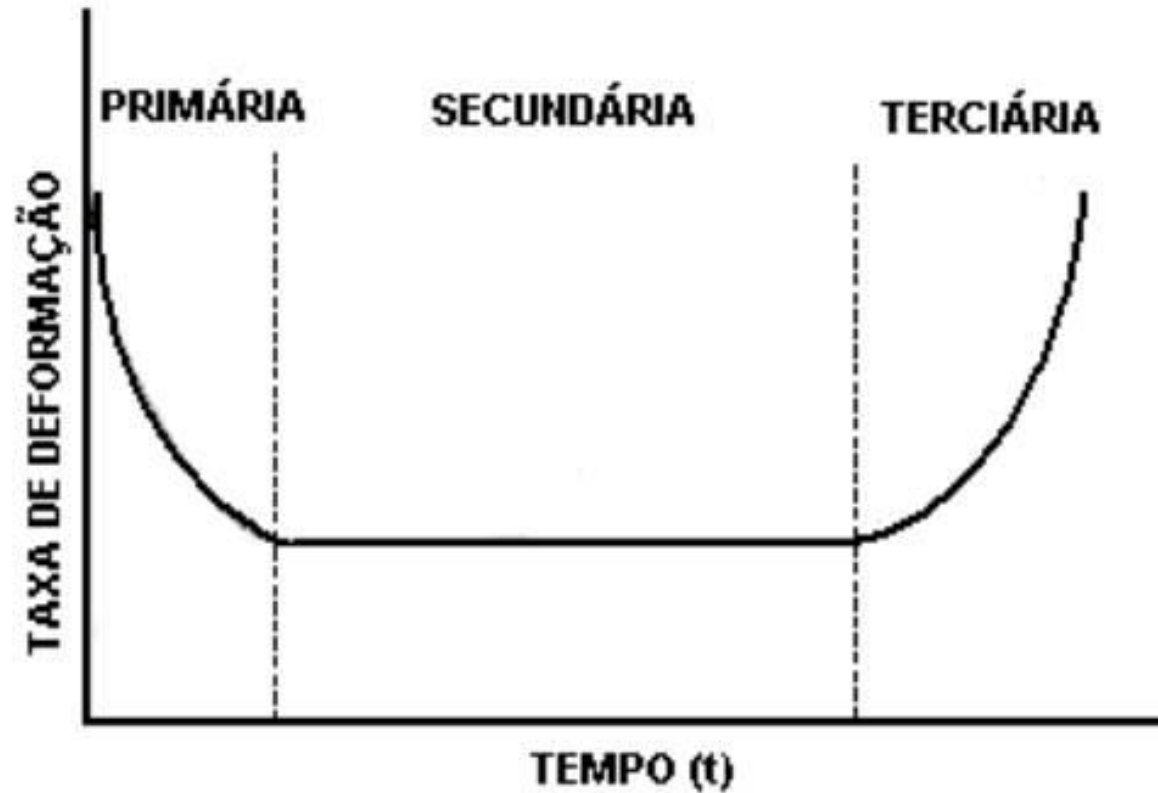
- ☀ Primário ou transiente
 - ☀ diminui devido ao endurecimento
 - ☀ similar à elasticidade retardada e recuperável
- Secundário ou constante
 - equilíbrio entre o endurecimento e a relaxação
 - viscosa ou plástica
- Terciário
 - após a estrição



Taxa de
deformação

X

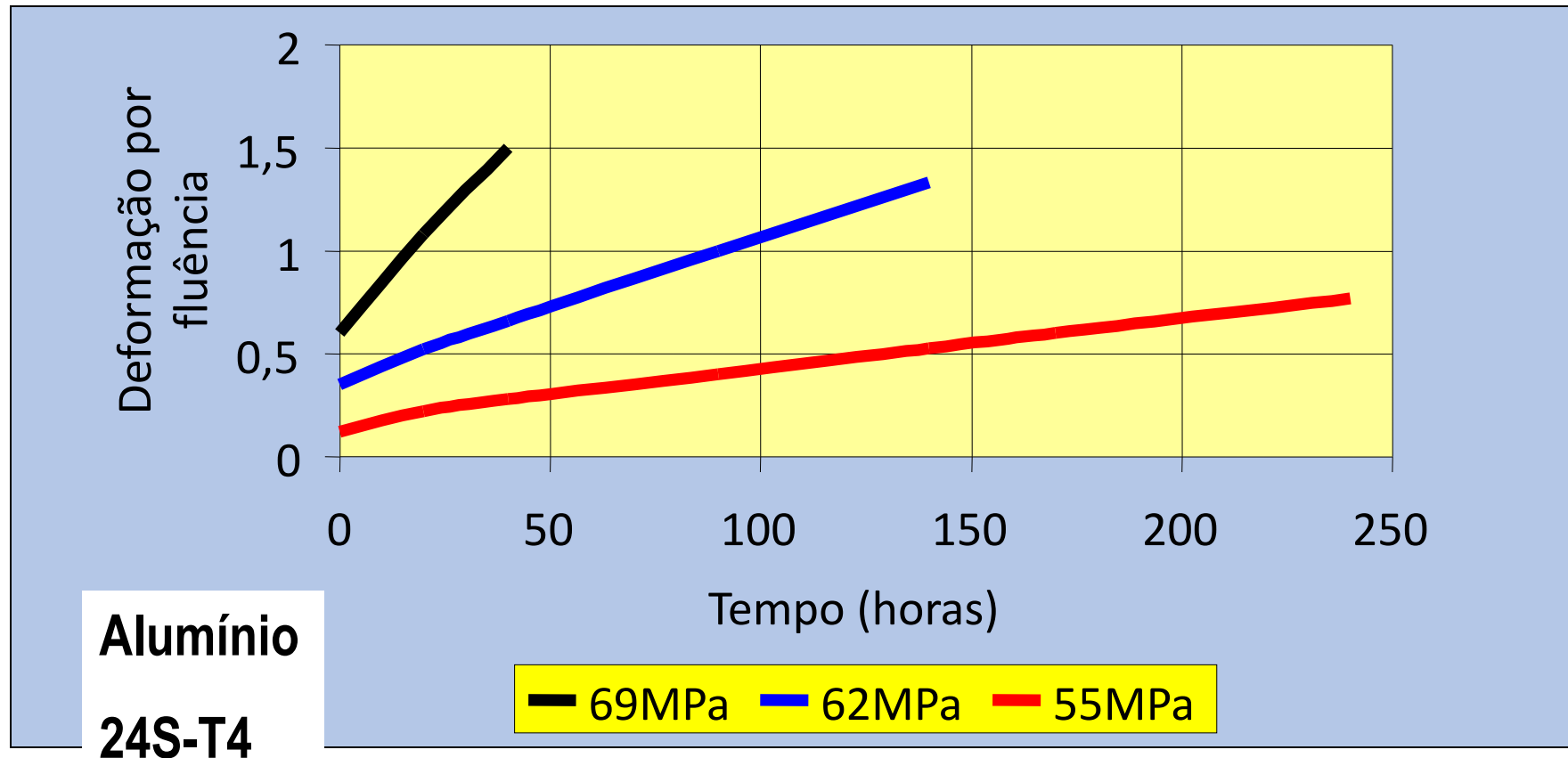
Tempo e
temperatura



Fluência

☀ Efeito de σ/σ_0 (similar à T)

☀ Quanto maior σ/σ_0 maior é a fluência



FLUÊNCIA EM METAIS & POLÍMEROS

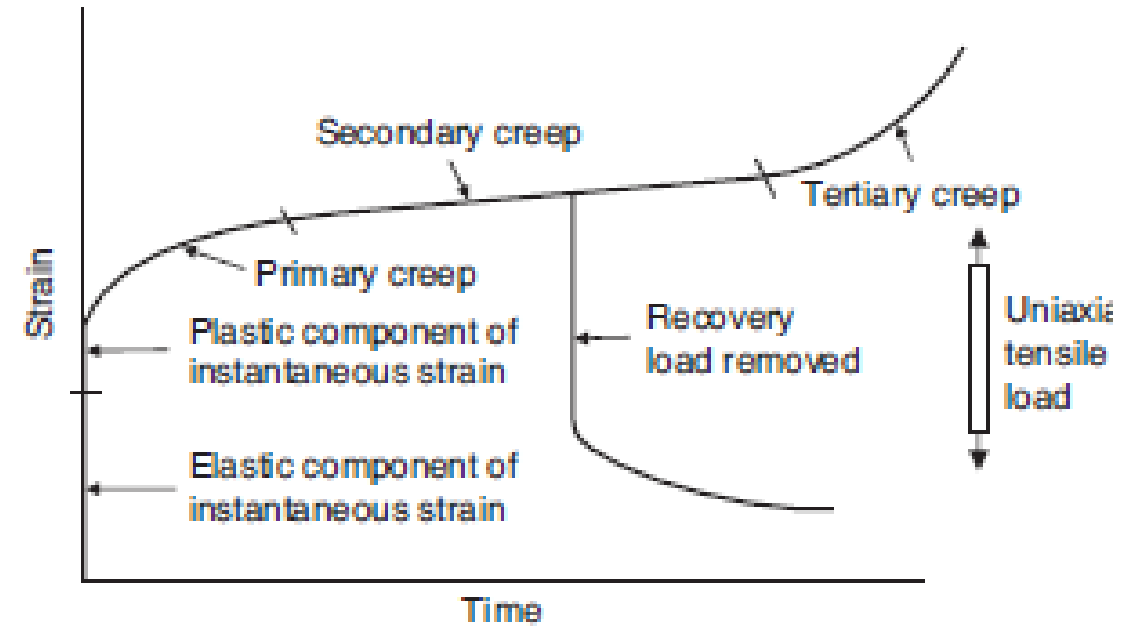
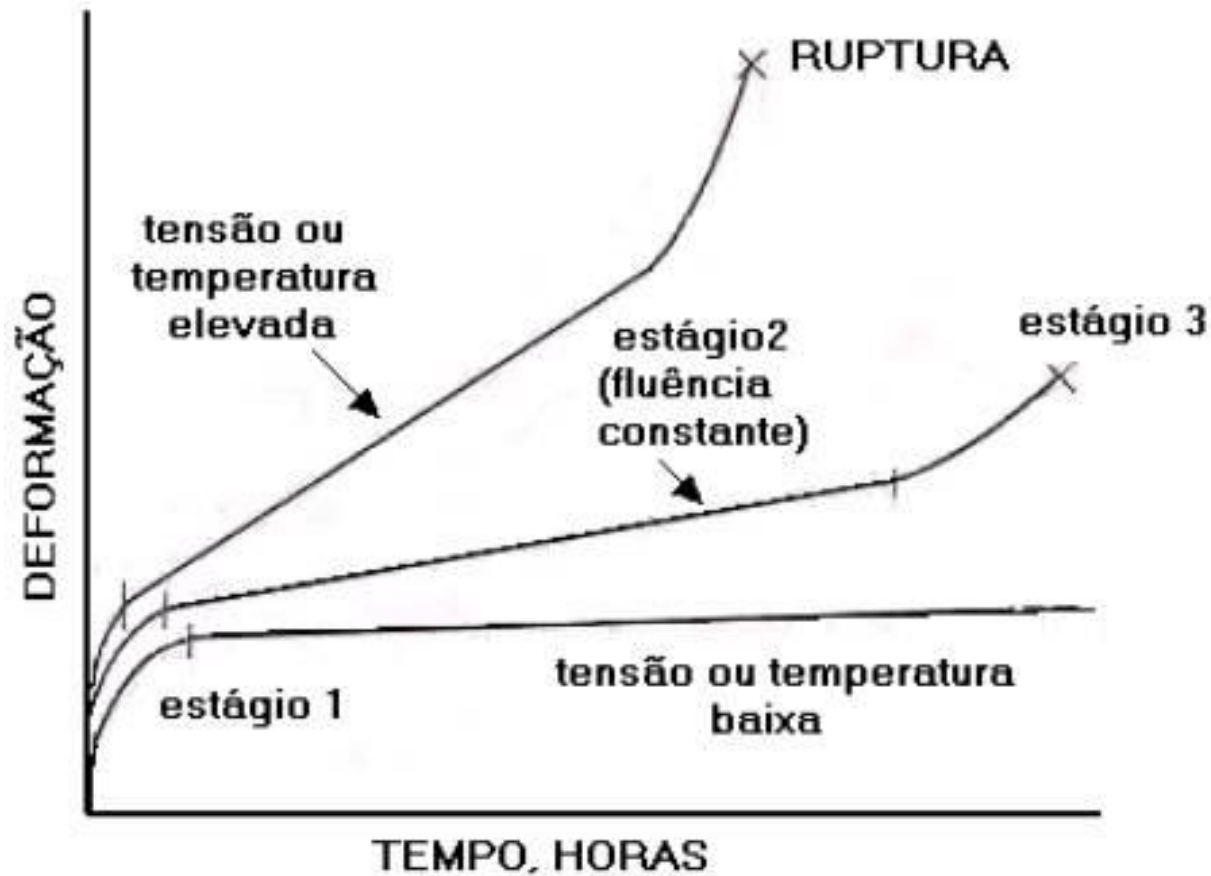
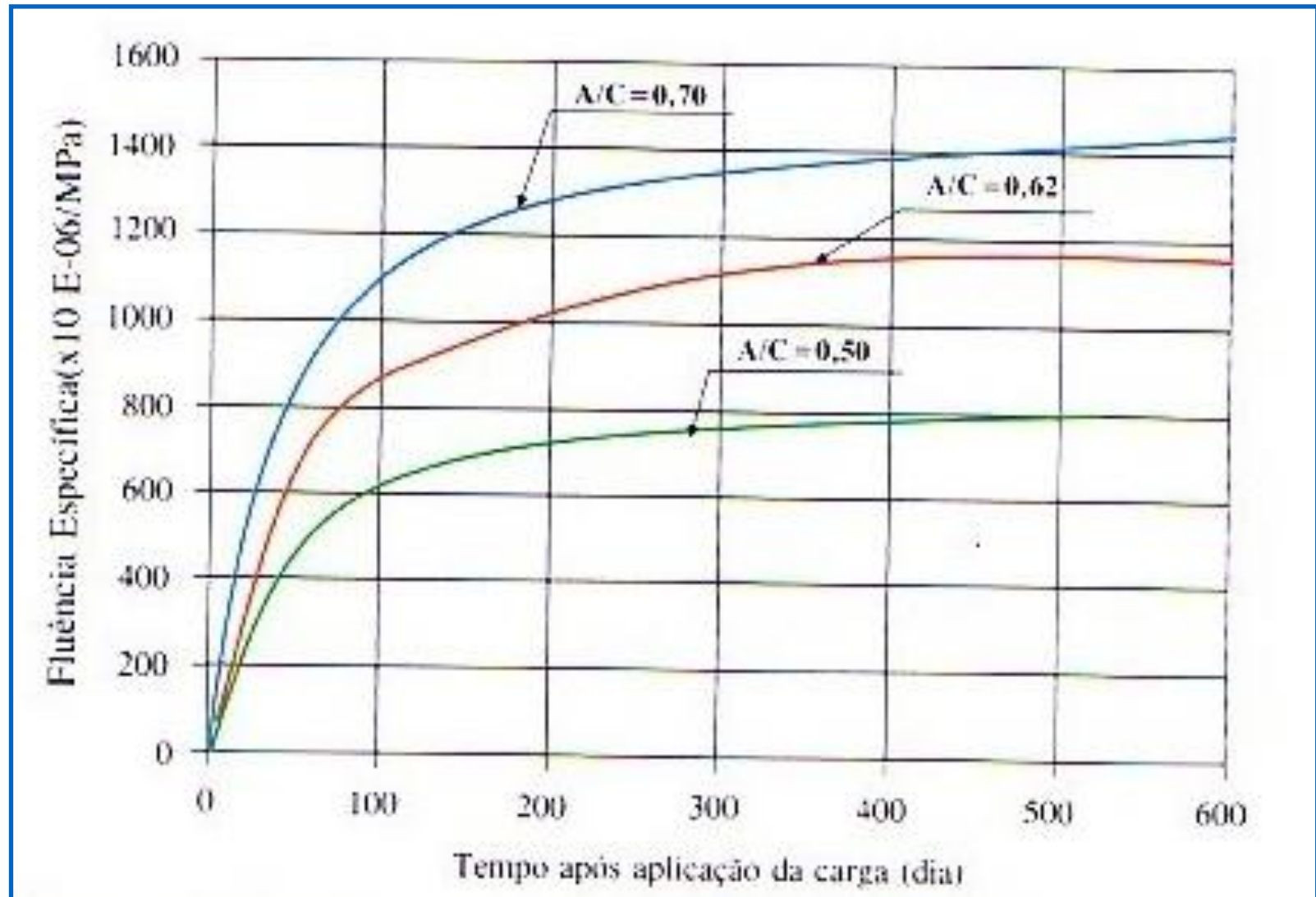


Fig. 38.2 Total creep curve for a polymer under a uniaxial tensile stress.

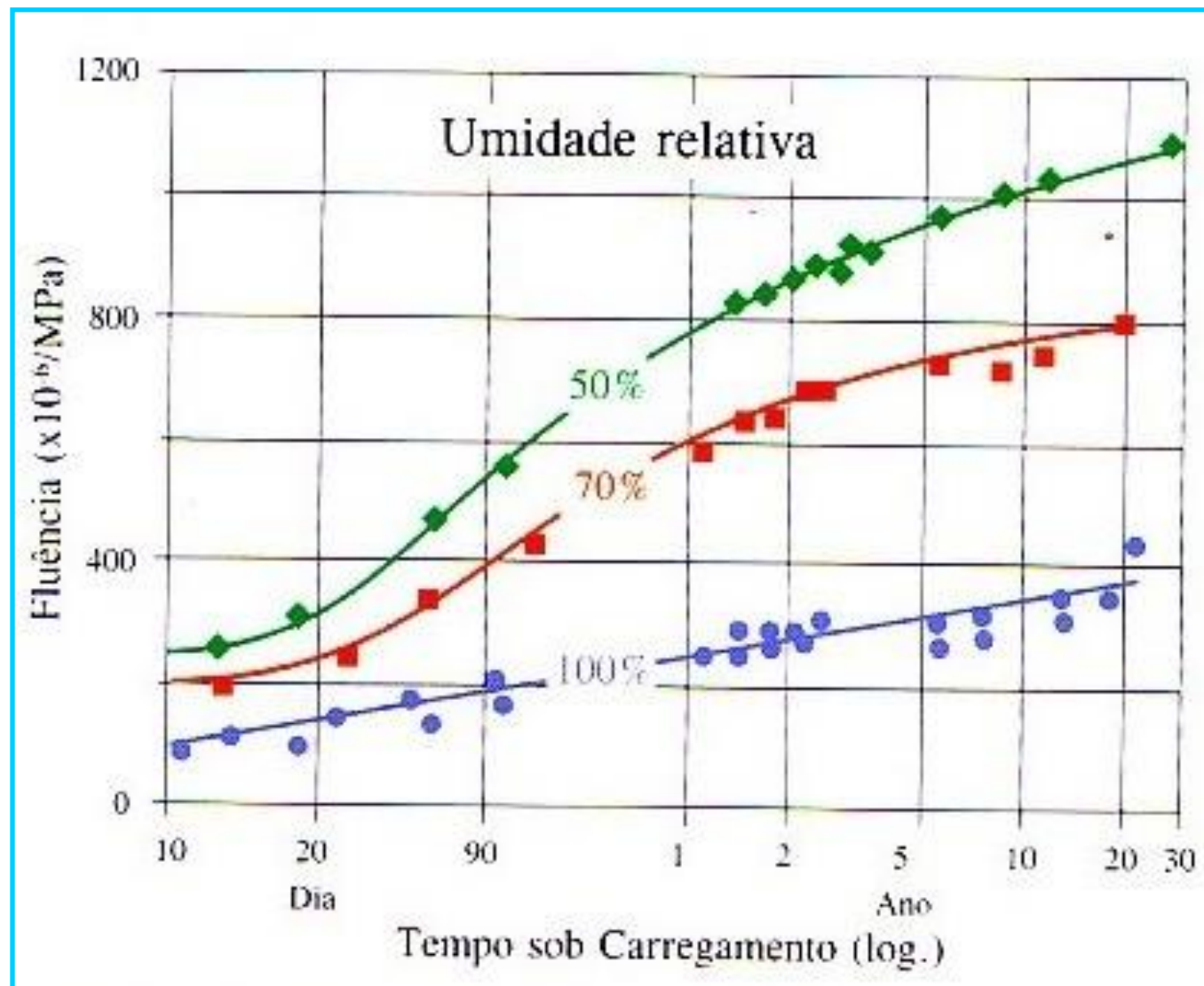
Deformação por fluência no concreto

- Como ocorre?
- Que fatores afetam?
- *Nível de tensão*
- *Umidade ambiente*
- *Quantidade de água*
- *Volume de pasta e a relação água/cimento*



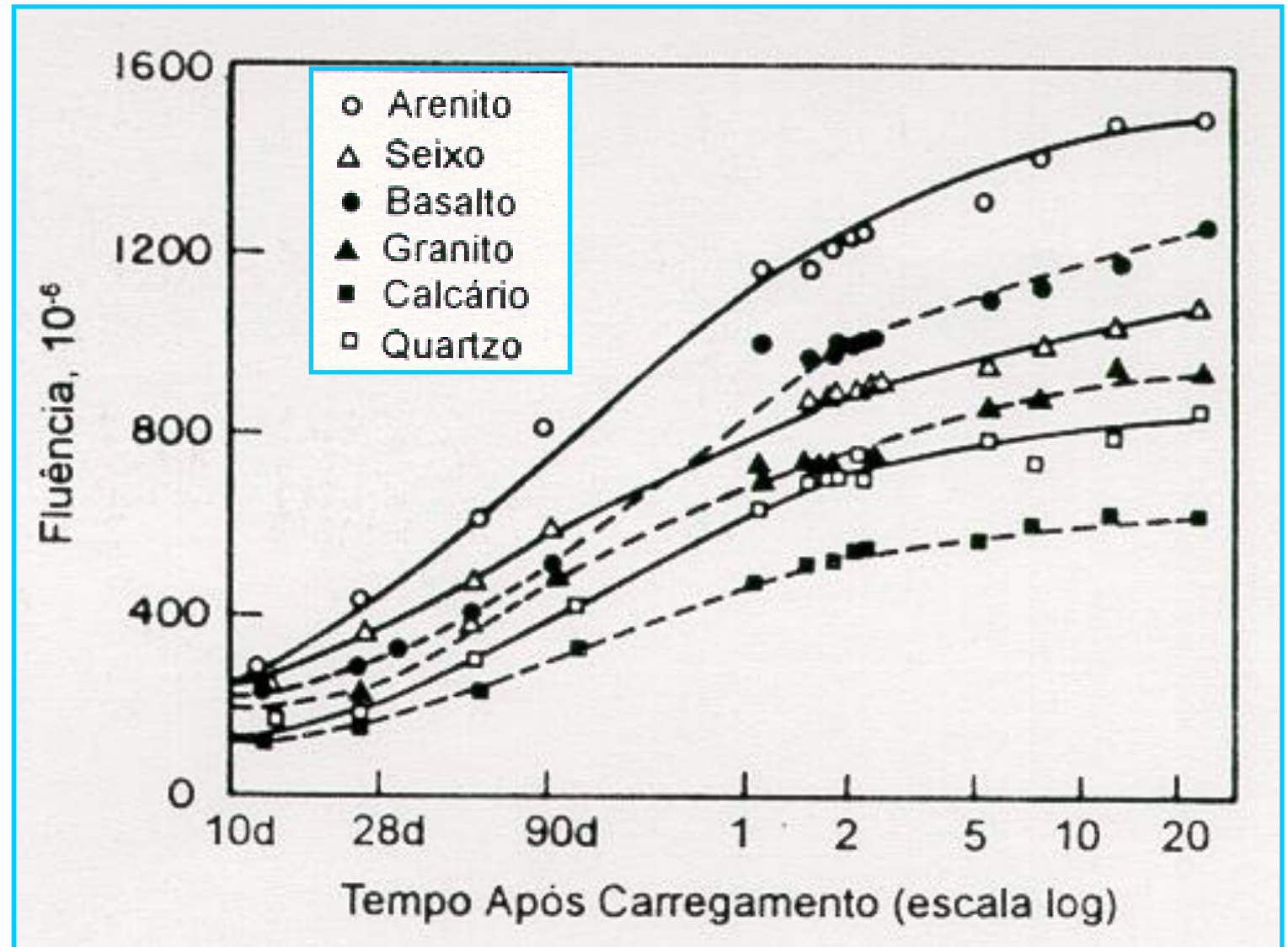
Deformação por fluência no concreto

- Considerar adequadamente as condições ambientais locais



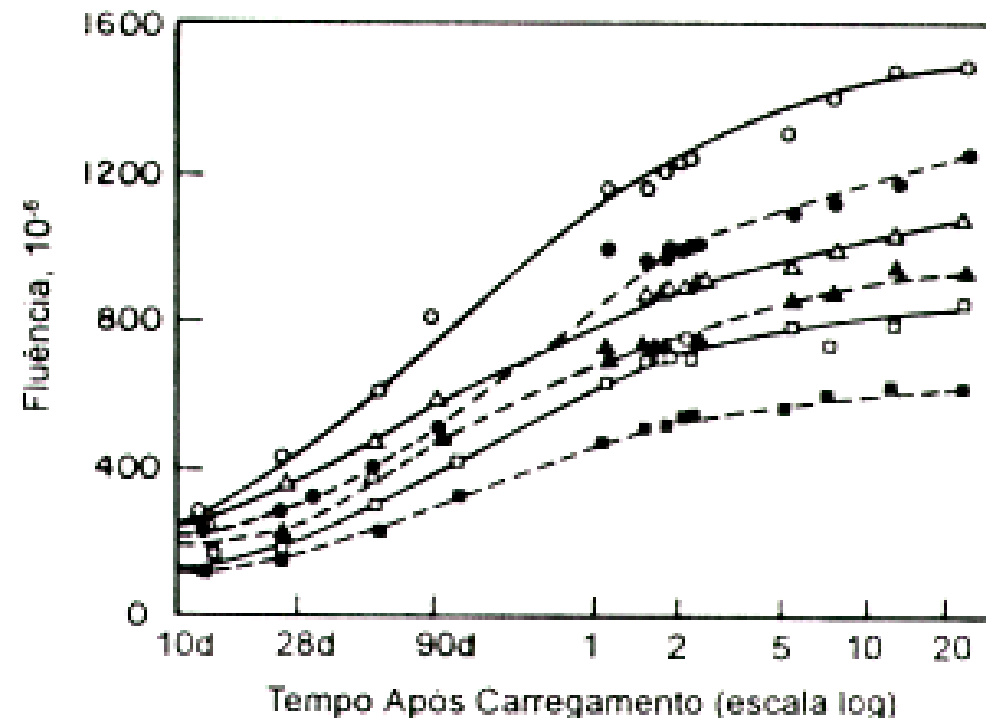
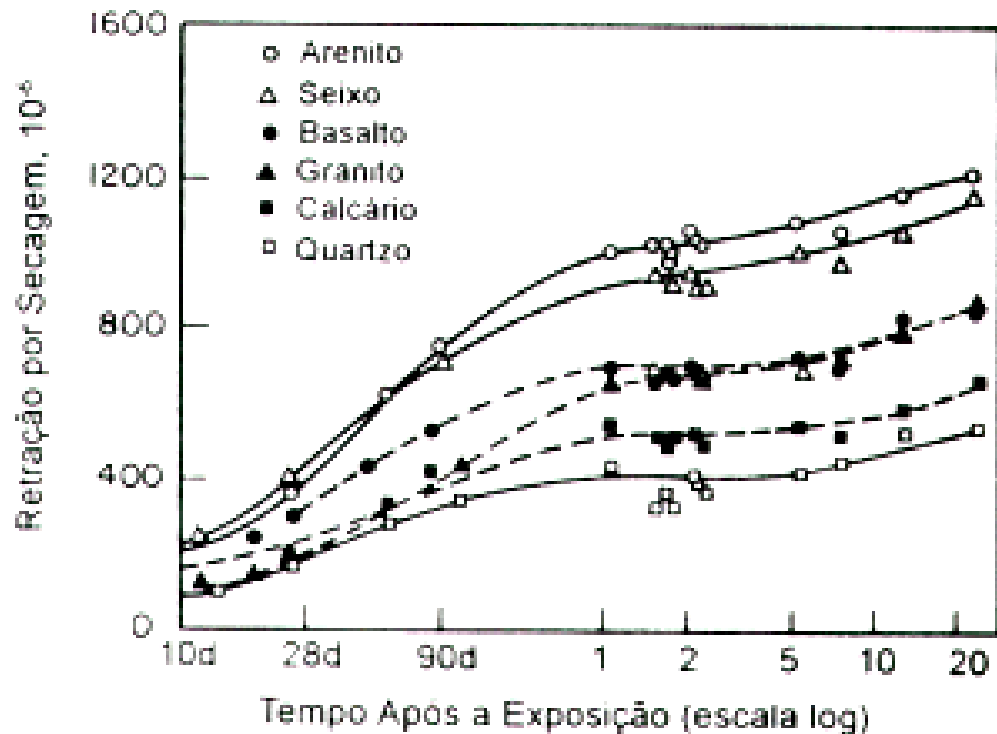
Deformação por fluência no concreto

- Aumentar o volume de agregado e selecionando o mais rígido



Retração e fluência no concreto

- Dependem da movimentação de água no material
- As tensões e deformações dependem do módulo de elasticidade



Modelo de previsão (NBR 6118)

- Considerar a relação Área/Volume da peça

Umidade ambiente (%)		40%		55%		75%		90%	
Espessura Equivalente $2A_e/u$ (cm)		20	60	20	60	20	60	20	60
$\varphi(t, t_0)$	t_0 (dias)	5	30	60	5	30	60	5	30
	5	4,4	3,9	3,8	3,3	3,0	2,6	2,3	2,1
	30	3,0	2,9	2,6	2,5	2,0	2,0	1,6	1,6
	60	3,0	2,6	2,2	2,2	1,7	1,8	1,4	1,4

Deformação por fluência no concreto

- Pode comprometer:
 - Elementos estruturais
 - Outros subsistemas (ex. vedações)
 - Durabilidade e desempenho global da obra.



Fluência na madeira

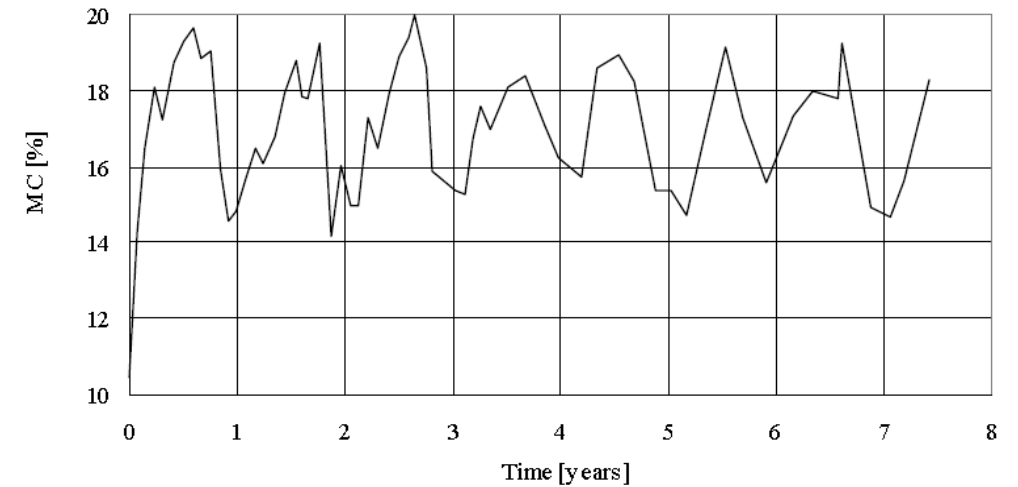
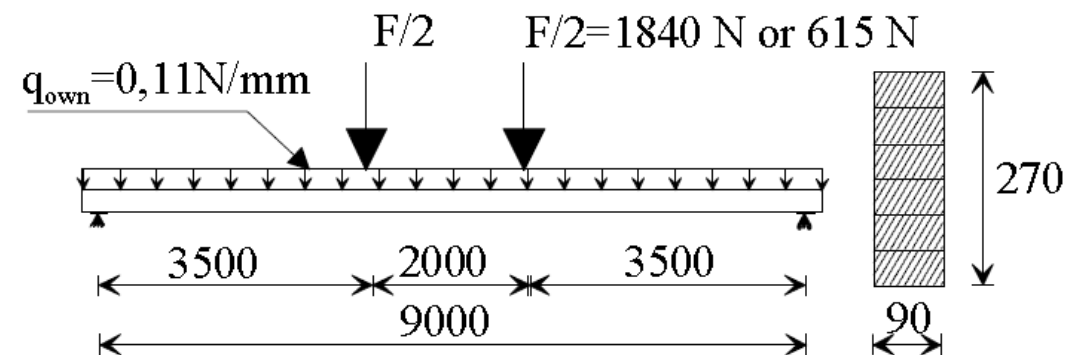
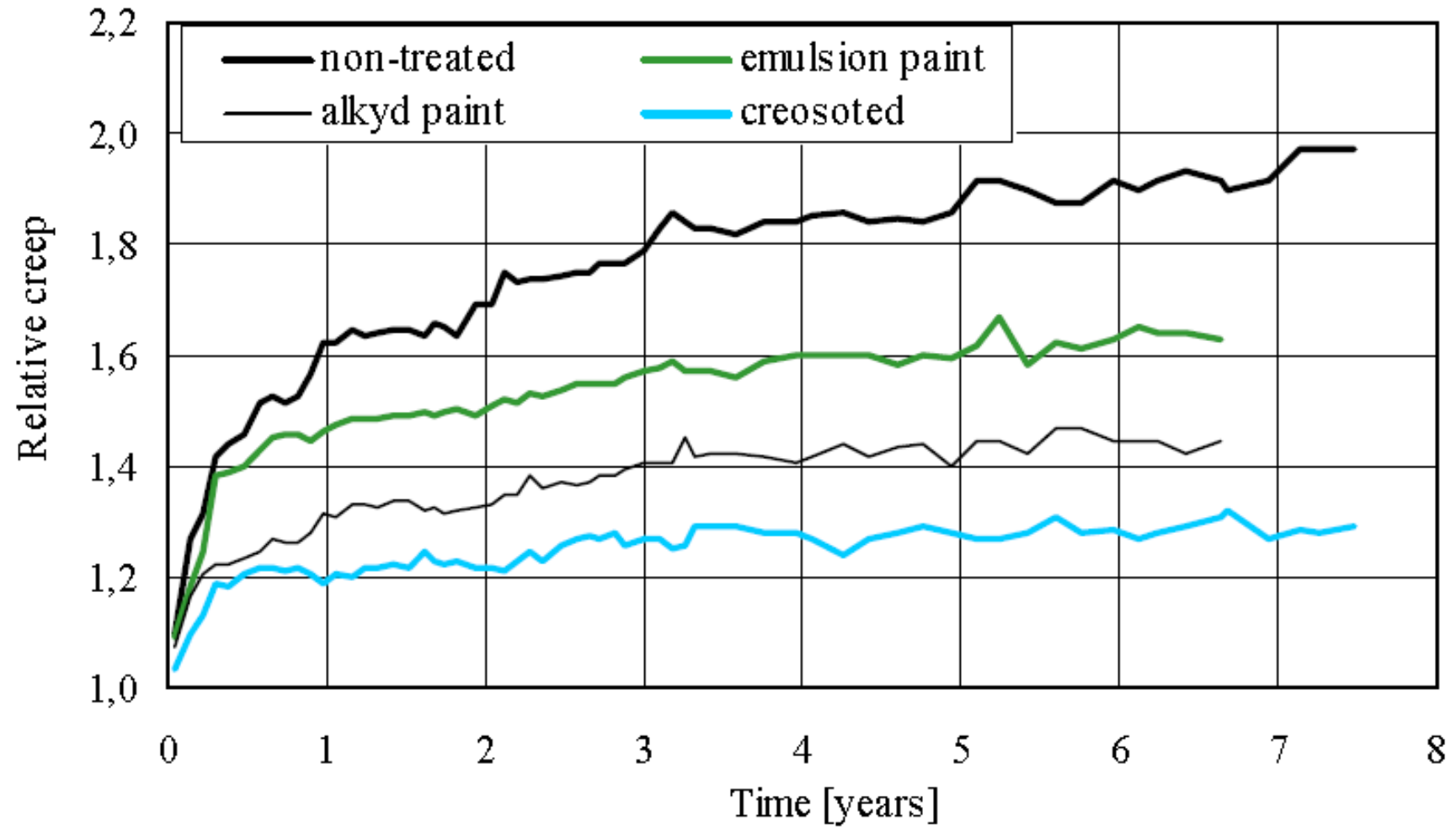


Figure 3. Mean moisture content of 3 end-sealed, untreated 16 to 22 mm thick boards in sheltered environment.



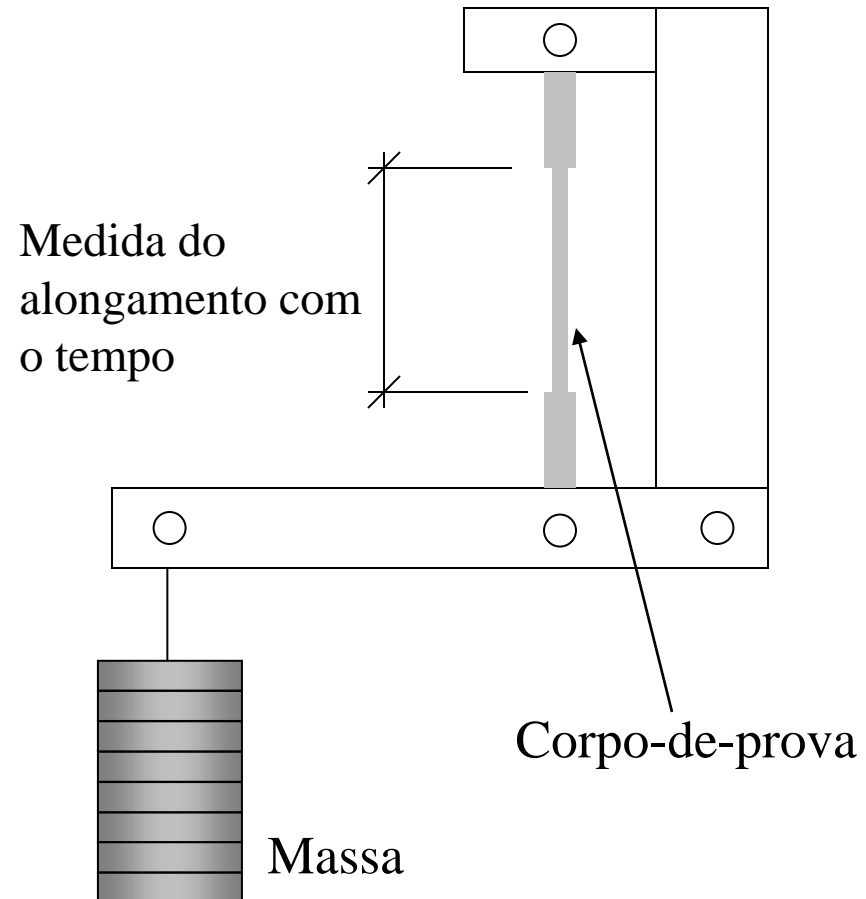
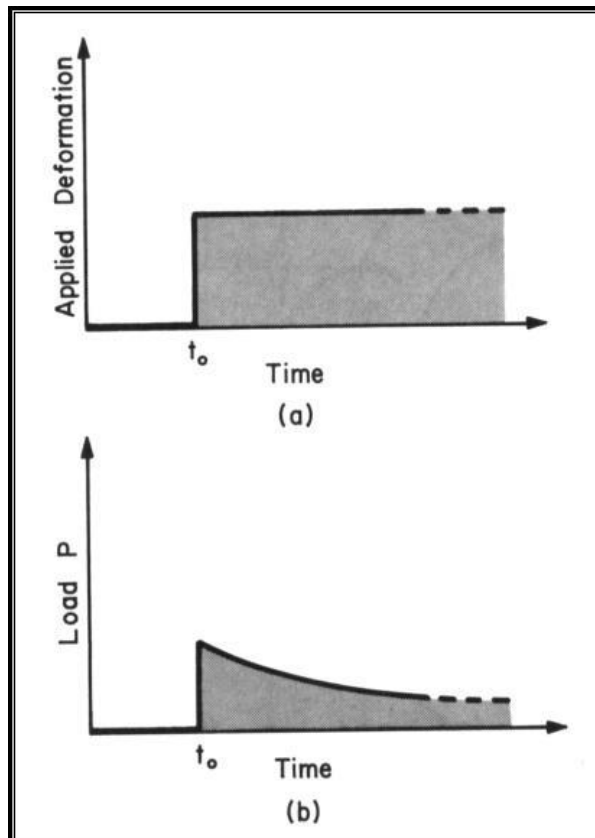
Fluência na madeira



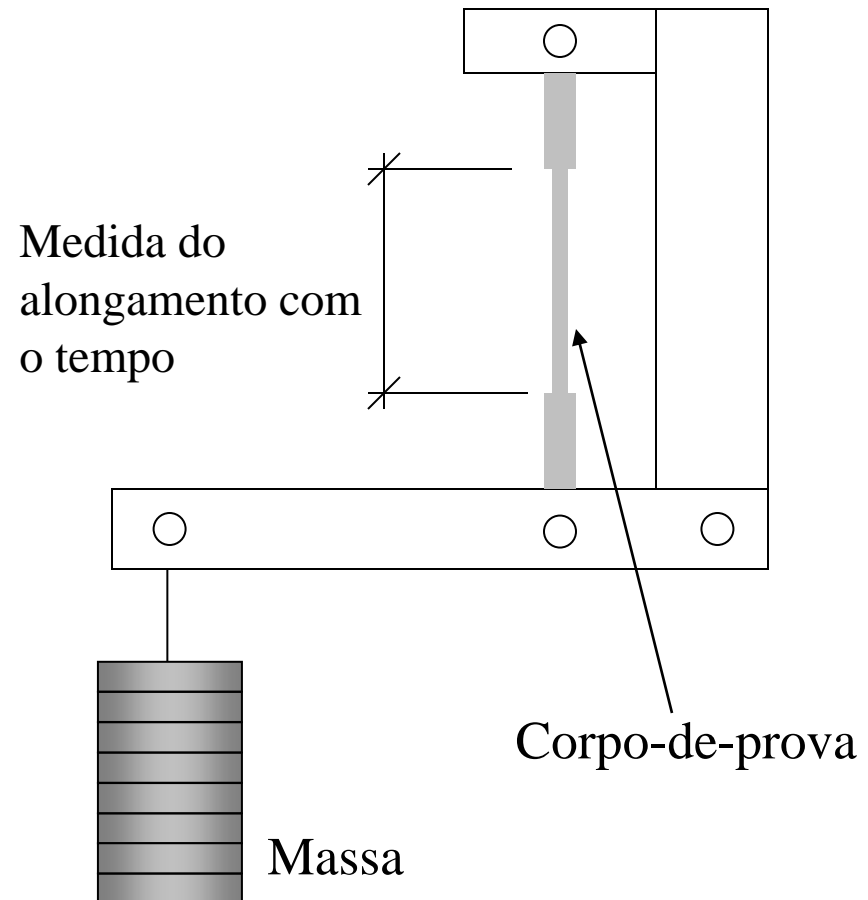
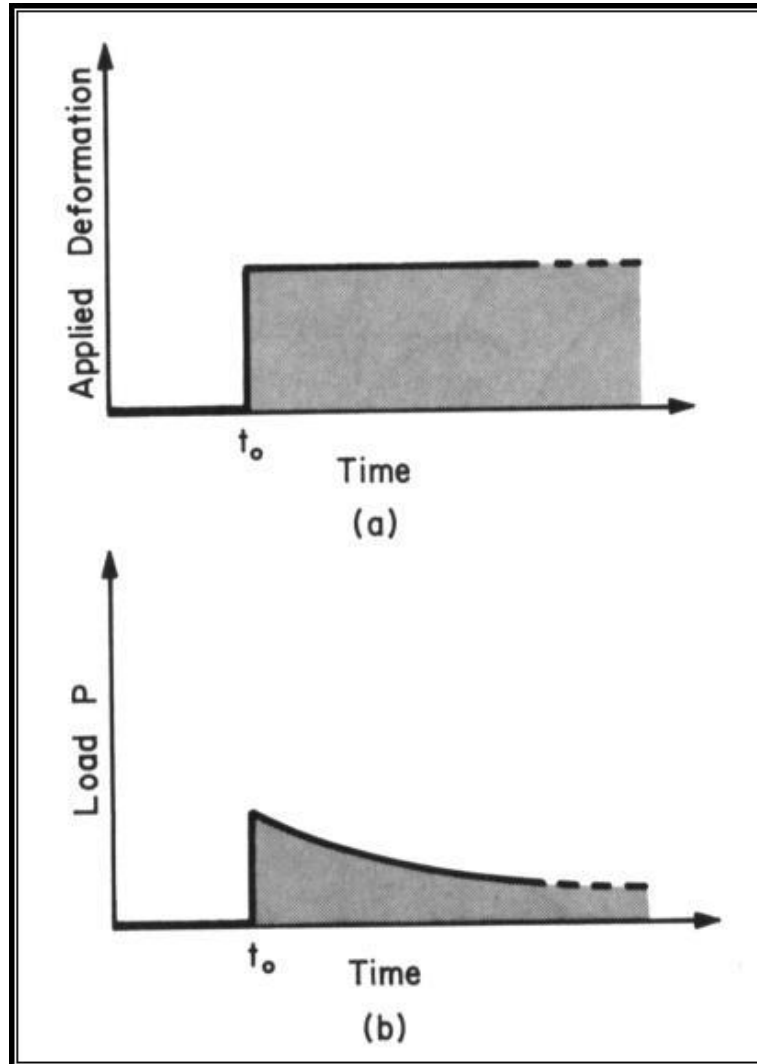
Relaxação

Perda de tensão ao longo do tempo

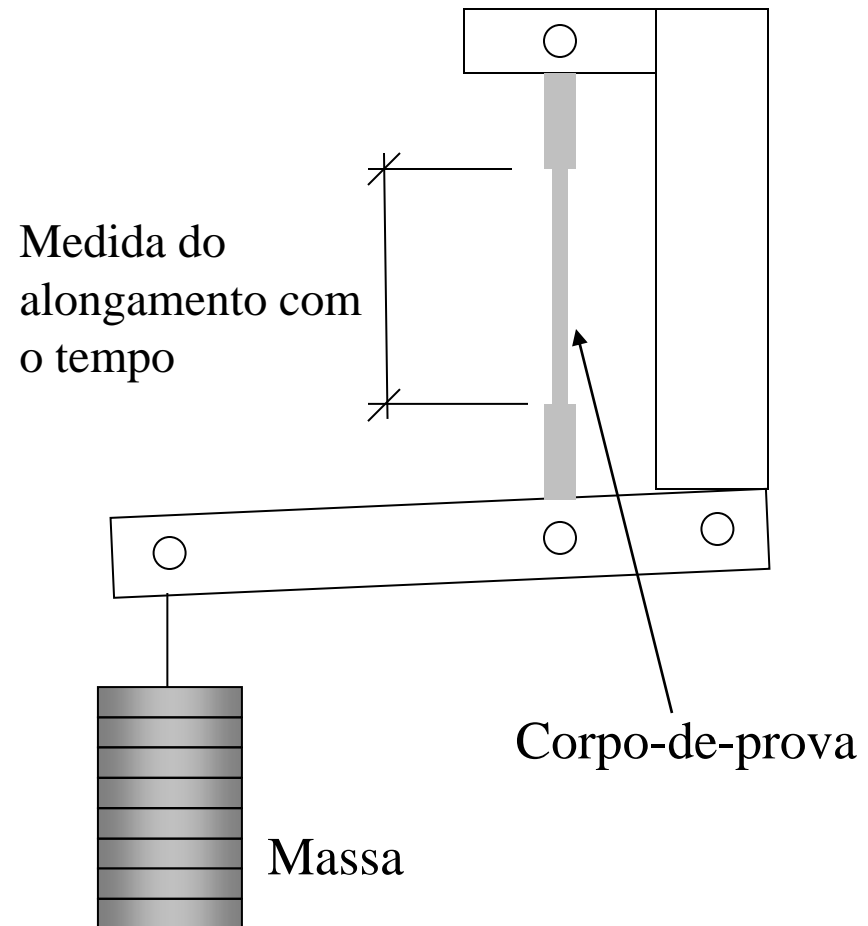
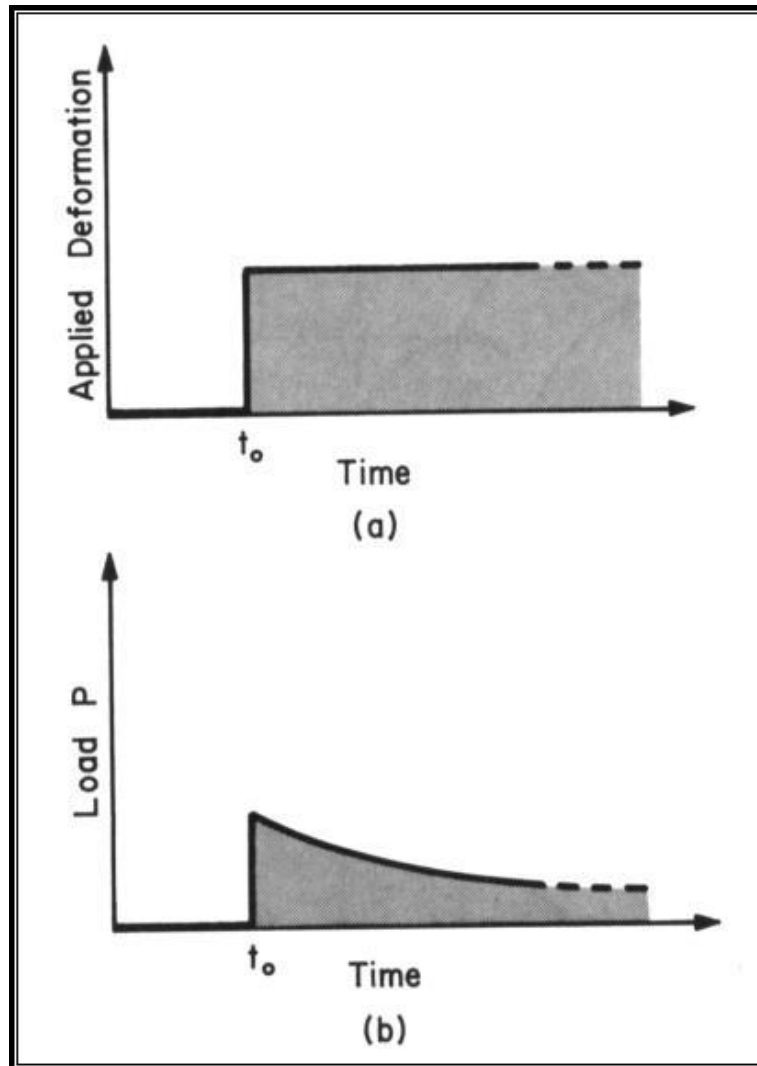
Função do carregamento inicial



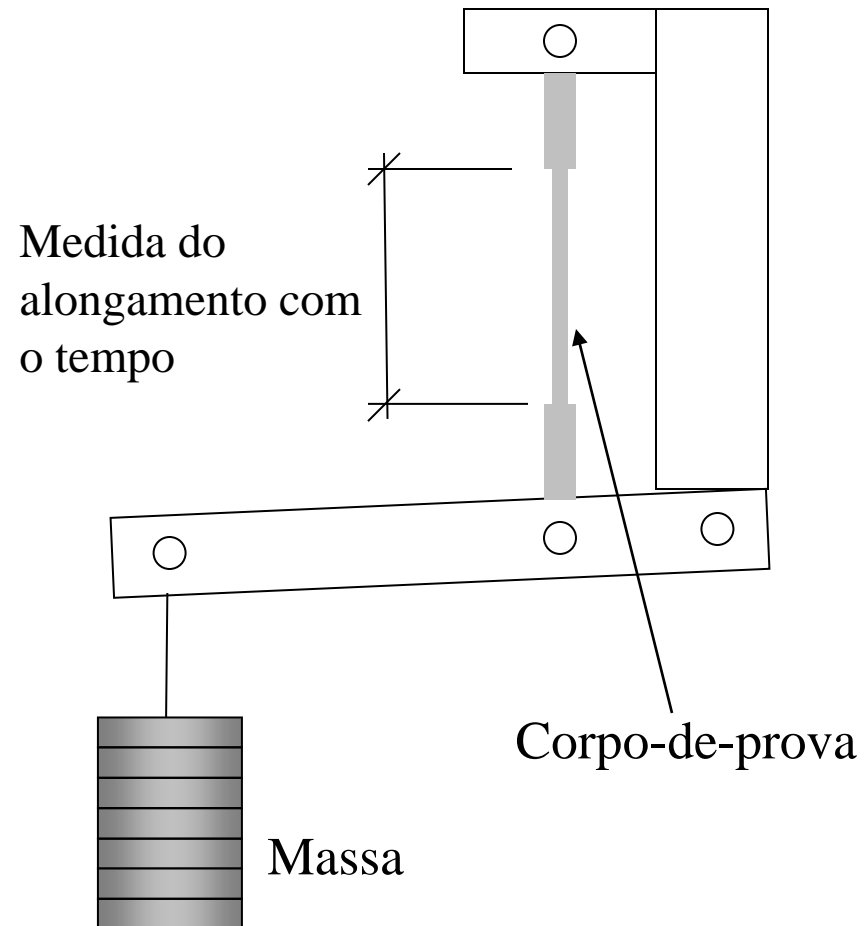
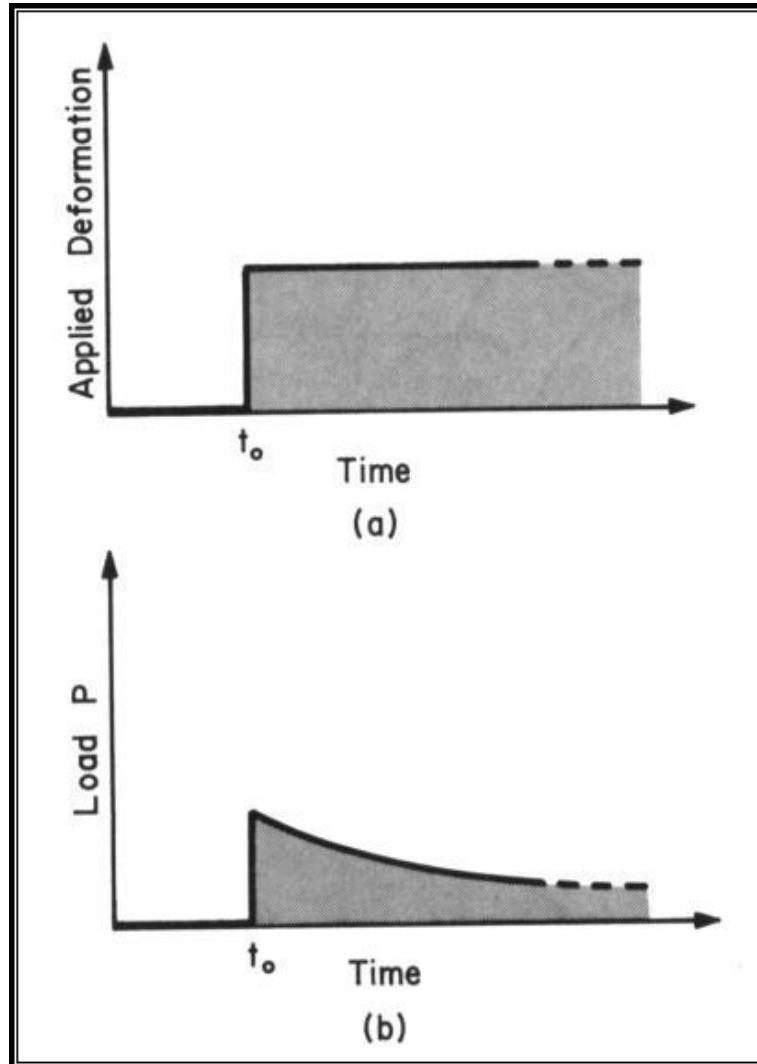
Ensaio de relaxação



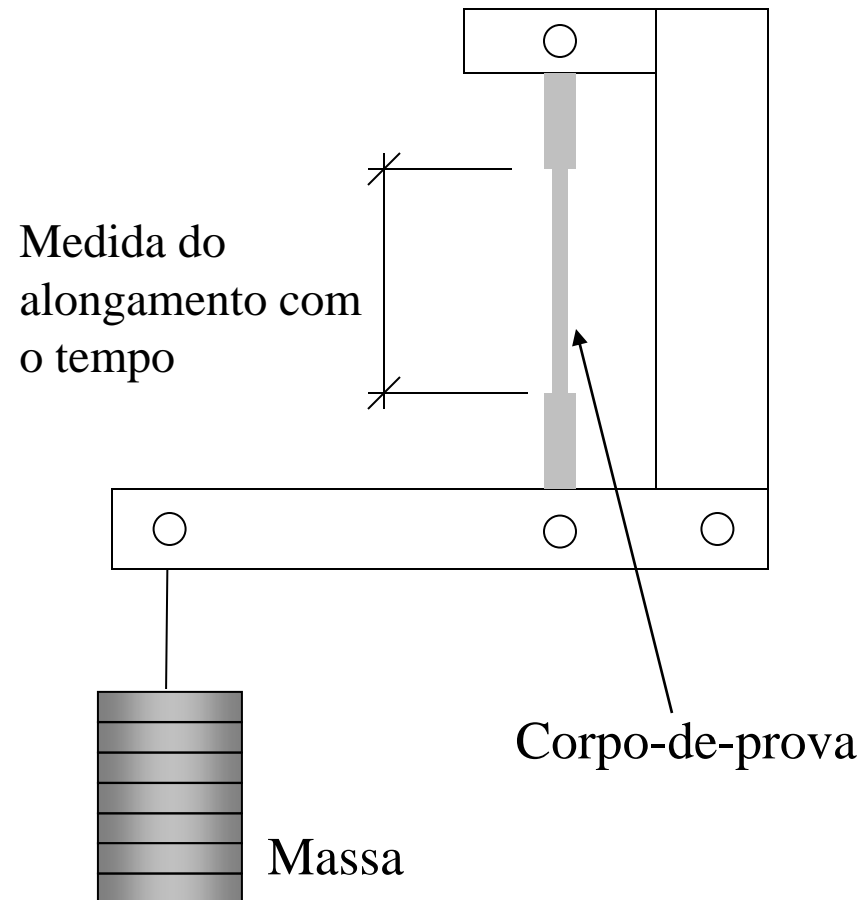
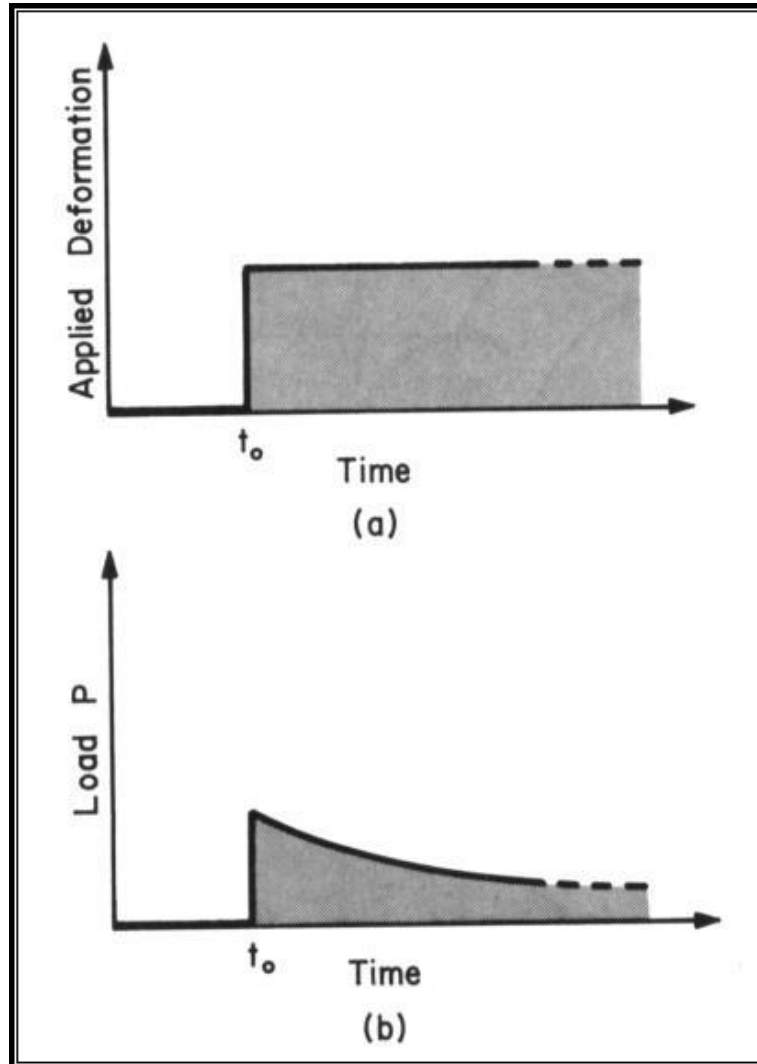
Ensaio de relaxação



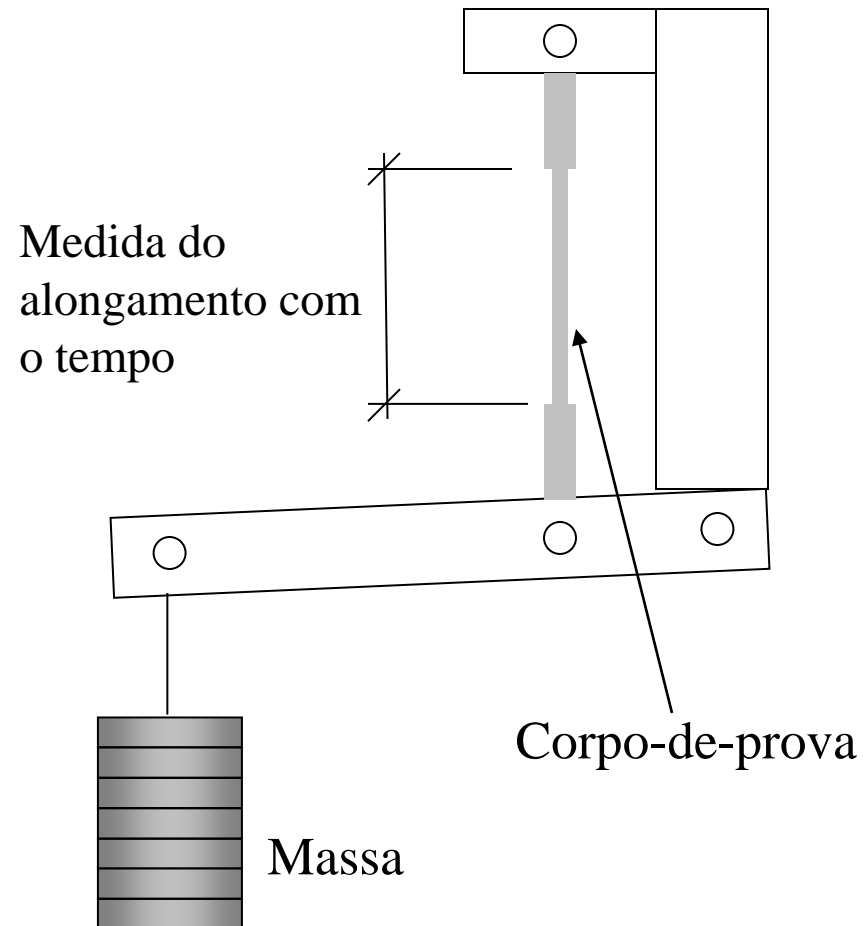
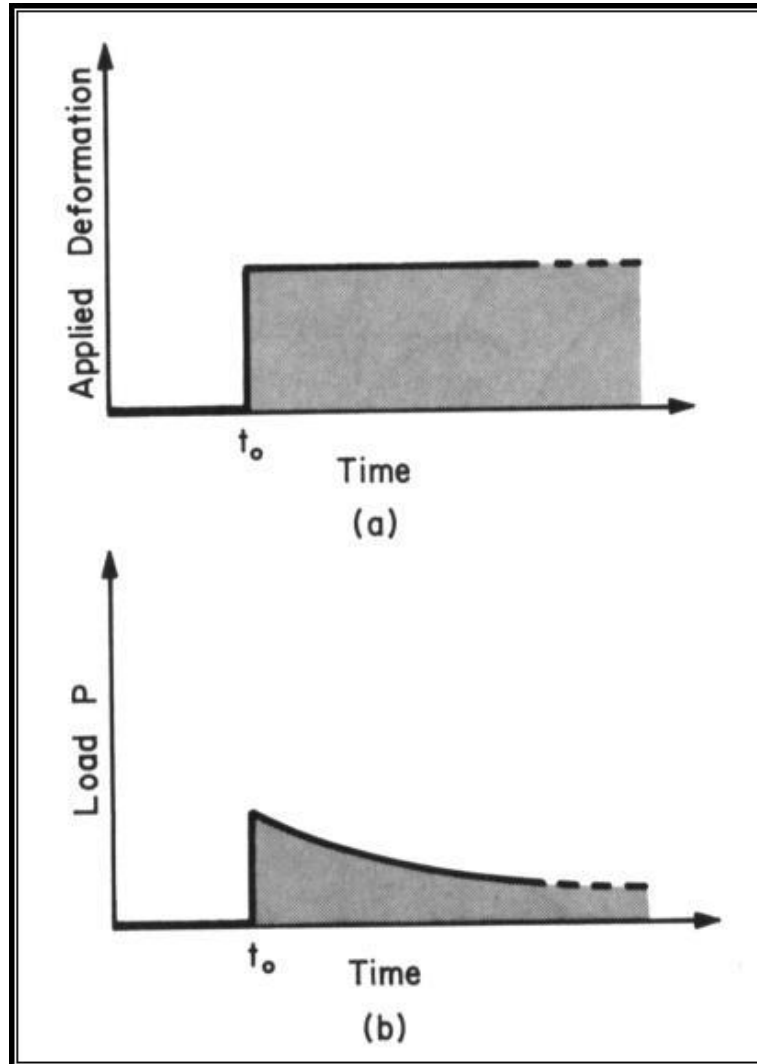
Ensaio de relaxação



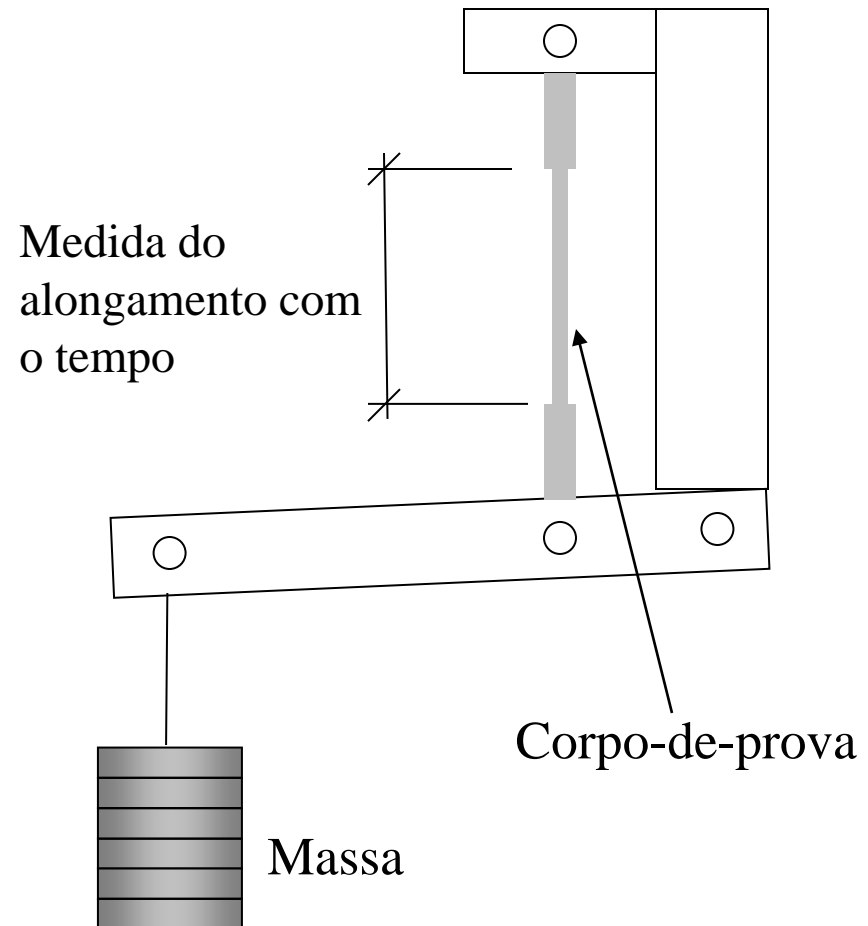
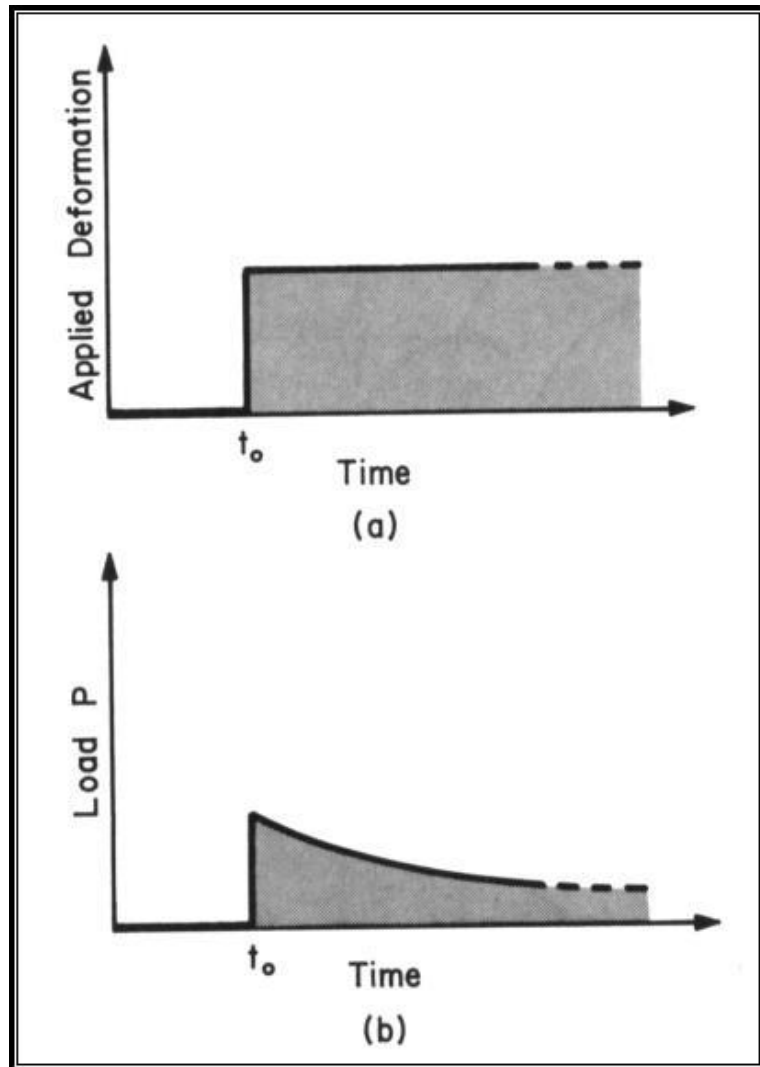
Ensaio de relaxação



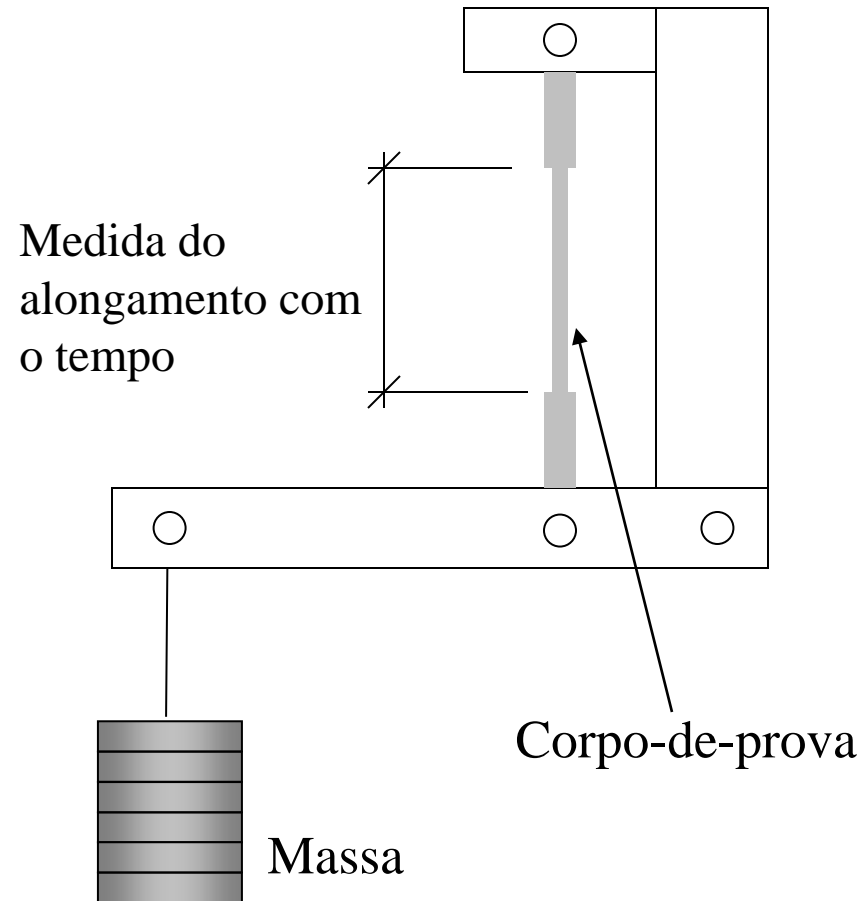
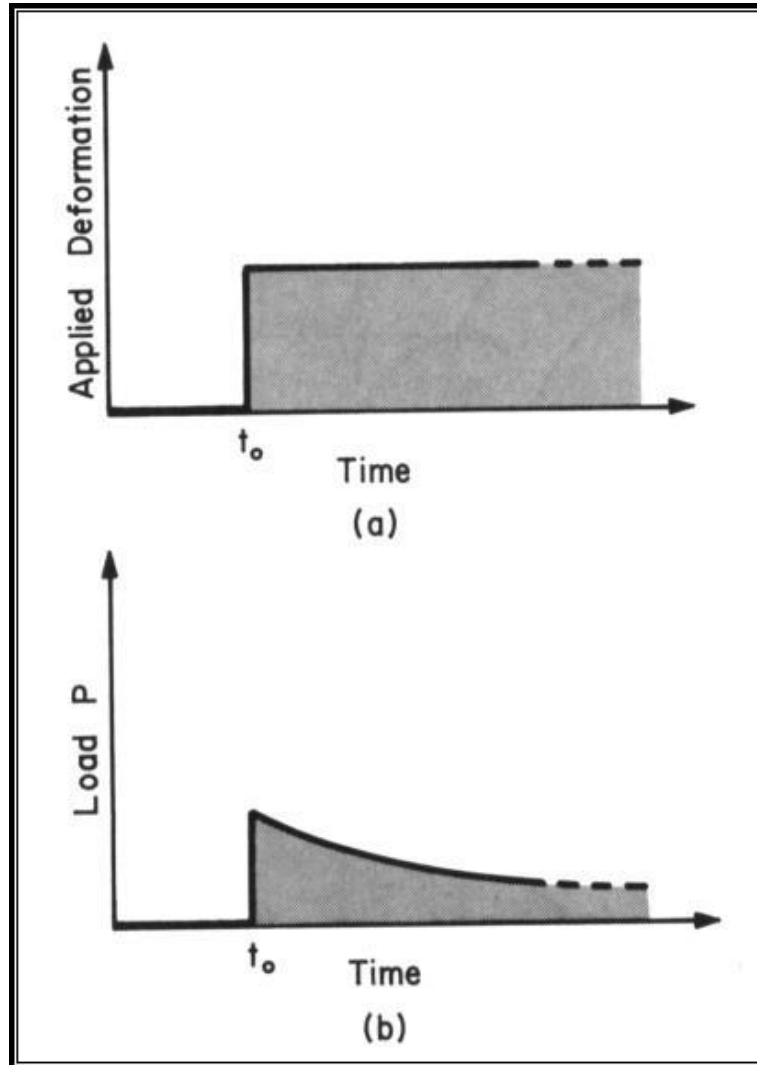
Ensaio de relaxação



Ensaio de relaxação

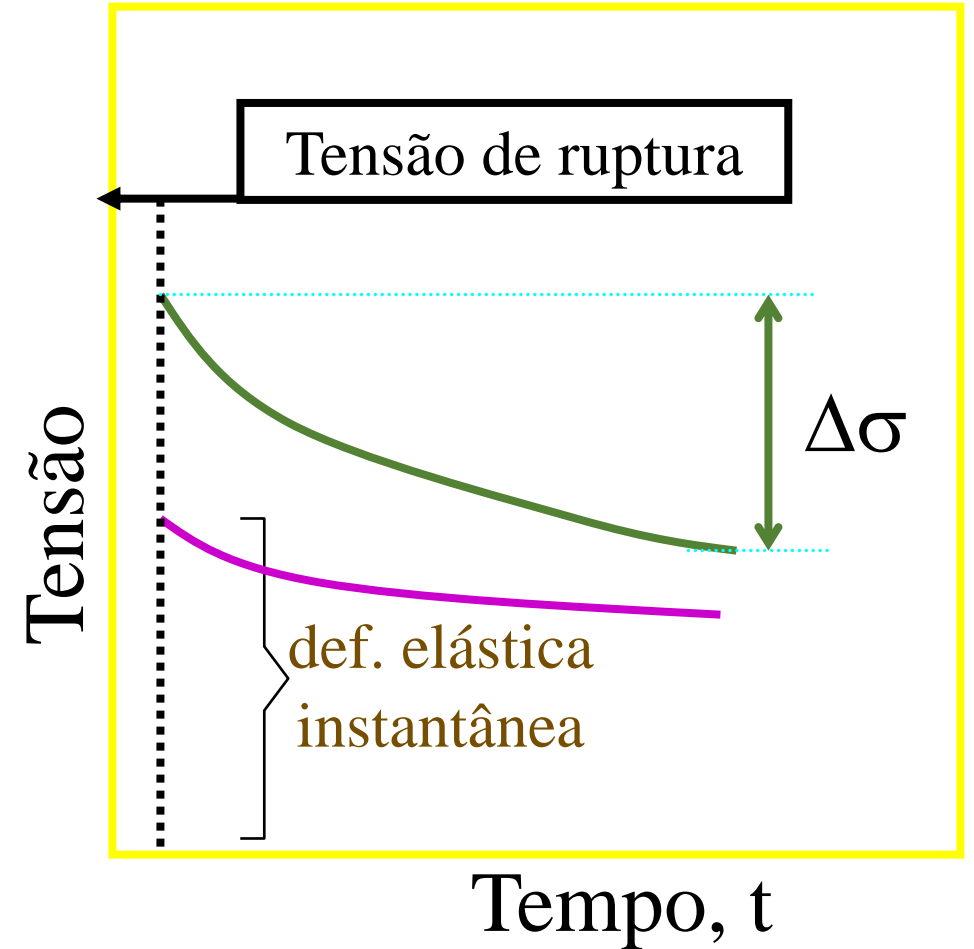


Ensaio de relaxação



Relaxação

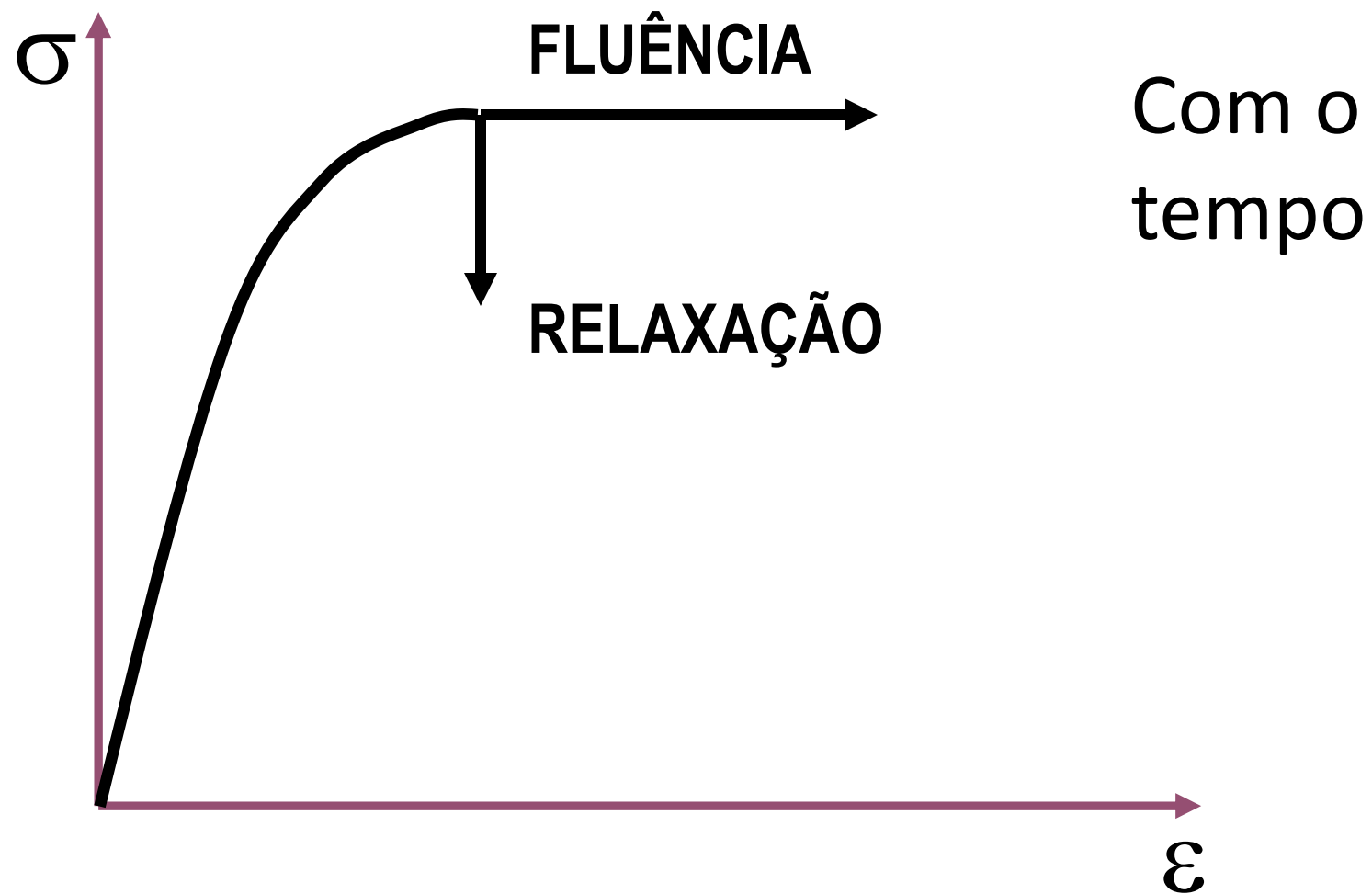
- Tensão variável a temperatura constante.
- Deformação constante
- Deslocamento relativo entre moléculas (polímeros)
- Deformação típica de concreto submetido a cargas de longa duração (movimentação de água)
- Deformação em metais com movimentação de discordância.
- Tão mais intensa quanto maior o nível de tensão.



Carregamento inicial elevado

Carregamento inicial baixo

Fluência X Relaxação



Pontos importantes:

Fratura retardada \neq Fratura por fluência

Como ocorre a fratura por fluência?

Quais as diferenças entre ruptura por fadiga e ruptura por fluência?

Quais as diferenças entre relaxação e fratura retardada?